



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA DE PROCESSOS EM  
UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

Ricardo Silva de Souza

Lajeado, novembro de 2017.



Ricardo Silva de Souza

## **APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA DE PROCESSOS EM UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do Curso de Engenharia de Produção, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Me. Carlos Henrique Lagemann.

Lajeado, novembro de 2017.

Ricardo Silva de Souza

## **APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA DE PROCESSOS EM UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia de Produção, da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção:

Prof. Me. Carlos Henrique Lagemann  
Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES

Prof. Me. Cláudio Roberto do Rosário  
Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES

Prof. Dr. Claus Haetinger  
Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES

Lajeado, 1 de Dezembro de 2017.

## RESUMO

A crescente globalização do mercado e a maior exigência do consumidor em relação a produtos de qualidade, fez com que as organizações mantivessem uma alta competitividade em seus segmentos. Em virtude desse cenário, o estudo buscou encontrar melhorias no processo de envase de refrigerantes, por meio da ferramenta FMEA (Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial, do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*). A ferramenta foi aplicada para identificar o seu desempenho a campo e as principais vantagens da utilização no setor de manufatura. O levantamento realizado pela equipe multifuncional foi descrito e apresentado em formulários padronizados da FMEA, para que os setores de manutenção e operação atuassem nas principais falhas do equipamento. O estudo viabilizou investimentos acima de R\$ 200.000,00 no equipamento, com *payback* de quatro anos. A implementação destes controles obteve resultados positivos em relação ao descarte de produto, reduzindo 6% em relação a 2016. Outro fator importante foi o aumento da produtividade em 15% após implantação da ferramenta em 2017.

**Palavras-chave:** FMEA; Modo de Falha; NPR; Confiabilidade.

## **ABSTRACT**

The increasing globalization of the market and the greater demand of the consumer in relation to quality products, made the organizations maintain a high competitiveness in their segments. Due to this scenario, the study sought to find improvements in the refrigerant packaging process, through the FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) Analysis of Mode and Effects of Potential Failure. The tool was applied to identify its field performance and the main advantages of its use in the manufacturing sector. The multifunctional team survey was described and presented in standard FMEA forms for the maintenance and operation sectors to address major equipment failures. The study enabled investments over R \$ 200,000.00 in equipment, with a payback of four years. The implementation of these controls had positive results in relation to product disposal, reducing 6% compared to 2016. Another important factor was the increase in productivity by 15% after the implementation of the tool in 2017.

**Keywords:** FMEA; Fail mode; NPR; Reliability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de Ishikawa.....	18
Figura 2 – Curva da banheira.....	23
Figura 3 – Evolução da manutenção.....	24
Figura 4 – Cabeçalho do formulário da FMEA de Processo.....	33
Figura 5 – Coluna Função na planilha de FMEA de Processo.....	33
Figura 6 – Coluna Modo de Falha na planilha de FMEA de Processo.....	34
Figura 7 – Coluna Efeito da Falha na planilha de FMEA de Processo.....	35
Figura 8 – Coluna Severidade na planilha de FMEA de Processo.....	37
Figura 9 – Coluna Classificação na planilha de FMEA de Processo.....	37
Figura 10 – Coluna Causa na planilha de FMEA de Processo.....	38
Figura 11 – Coluna de controle de Prevenção e Detecção na planilha de FMEA de Processo.....	40
Figura 12 – Coluna de Detecção na planilha de FMEA de Processo.....	42
Figura 13 – Relação entre ocorrência e severidade.....	44
Figura 14 – Fluxograma de apresentação do projeto.....	49
Figura 15 – Vista aérea da empresa.....	52
Figura 16 – Definição de operações realizadas na linha citrus.....	54
Figura 17 – Equipamentos que foram adicionados ao sistema.....	63
Figura 18 – Inserto que serve para fazer o travamento da garrafa.....	64
Figura 19 – Diferentes tipos de materiais, que geravam danificação no componente.....	65
Figura 20 – Inspetor de metais instalado em outra linha da empresa.....	65
Figura 21 – Suporte onde pino fica acoplado e cuba de nível de xarope e água, onde estão acondicionados eletrodos.....	66

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Participação da linha no descarte líquido global .....	67
Gráfico 2 – Custo financeiro em relação ao descarte nos anos de 2016 e 2017 .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critério de avaliação do nível de ocorrência. ....	39
Tabela 2 – Avaliação do NPR .....	43
Tabela 3 – Ordens de NPR.....	43
Tabela 4 – Principais causas.....	43
Tabela 5 – Parte resumida no desenvolvimento de uma planilha FMEA.....	62

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de severidade.....	36
Quadro 2 – Escala de detecção .....	41
Quadro 3 – Matriz de priorização de riscos .....	57

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIR	Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcoólicas
ABNT	Associação Brasileira de Norma Técnicas
AFREBRAS	Associação dos Fabricantes de Refrigerantes do Brasil
AMBEV	Companhia de Bebidas das Américas
APPCC	Análise dos Perigos e Pontos Críticos de Controle
ASQ	<i>American Society for Quality</i>
BPF	Boas Práticas de Fabricação
CO <sup>2</sup>	Dióxido de Carbono
DFMEA	<i>Design Failure Modes and Effects Analysis</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
GPR	Graus de Prioridade de Riscos
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
mL	Mililitro
MPT	Manutenção Preventiva Total
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NBR	Norma Brasileira
NPR	Número de Prioridade de Risco
PAS	Programa Alimento Seguro
PGQP	Programa Gaúcho de Qualidade e Produtividade
PFMEA	<i>Process Failure Modes and Effects Analysis</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 Tema .....	13
1.2 Delimitação do tema .....	13
1.3 Problema de pesquisa .....	13
1.4 Objetivos .....	14
1.4.1 Objetivo geral .....	14
1.4.2 Objetivos específicos.....	14
1.5 Justificativa.....	14
1.6 Estrutura .....	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1 Definição de processo .....	16
2.2 Definição de controle de processo .....	18
2.3 Histórico da qualidade .....	19
2.4 Definição do conceito de qualidade .....	19
2.5 Evolução e definição da Confiabilidade .....	20
2.6 Manutenção .....	23
2.6.1 Tipos de manutenção.....	25
2.7 MPT: Manutenção Preventiva Total.....	26
2.8 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).....	26
2.9 Definição de falha.....	27
2.10 FMEA .....	27
2.11 Definição do FMEA.....	28
2.12 Tipos de FMEA.....	29
2.12.1 FMEA de Projeto.....	29
2.12.2 FMEA de Processo .....	30
2.13 Desenvolvimento da FMEA de Processo .....	31
2.14 Planilha de FMEA de Processo .....	32
2.14.1 Cabeçalho .....	32
2.14.2 Item/Função .....	33
2.14.3 Modos potenciais de falha.....	33
2.14.4 Efeitos potenciais de falha .....	34
2.14.5 Severidade (S) .....	35

2.14.6 Classificação .....	37
2.14.7 Causa.....	38
2.14.8 Ocorrência .....	38
2.14.9 Controles de prevenção e detecção .....	40
2.14.10 Detecção .....	40
2.14.11 Número de Prioridade de Risco (NPR) .....	42
2.14.12 Ações recomendadas .....	44
2.14.13 Responsável e data .....	45
2.14.14 Ações efetuadas .....	45
2.14.15 Risco resultante .....	46
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>47</b>
3.1 Método científico .....	47
<b>4 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....</b>	<b>51</b>
4.1 A empresa .....	51
<b>5 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>53</b>
5.1 Sistema de fabricação do xarope e do refrigerante .....	53
5.2 Descrição do processo de produção de refrigerantes.....	54
5.3 Aplicação da ferramenta FMEA de processo para aumentar a confiabilidade no sistema de envase .....	56
5.3.1 Definição do projeto.....	56
5.3.2 Aplicação da FMEA de processo e identificação dos modos de falhas ....	57
5.3.3 Análises dos principais NPRs do processo.....	58
5.3.4 Ações tomadas a partir da elaboração do FMEA de processo .....	63
5.3.4.1 Realizar mistura fora dos parâmetros de °Brix.....	63
5.3.4.2 Torque fora do padrão, má aplicação da tampa e ângulo fora do padrão .....	64
5.3.4.3 Residual de borracha ou peças de inox .....	64
5.3.4.4 Oscilação de nível e falta de água .....	65
5.4 Resultados alcançados com a aplicação da FMEA de Processo.....	66
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>76</b>
APÊNDICE A – Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial – FMEA de Processo .....	77
APÊNDICE B – Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial – FMEA de Processo .....	83

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente globalização do mercado e a maior exigência do consumidor em relação a produtos de qualidade e preços atraentes, fez com que as organizações mantivessem uma alta concorrência em seus segmentos. Com isso, surgiu a necessidade de reavaliar as estratégias internas, de modo a sobressair em relação à seus concorrentes diretos. Diante disto, as empresas foram buscar metodologias e padronização de ferramentas que consigam assegurar e aperfeiçoar seus processos, a fim de otimizar e conseqüentemente reduzir custos, podendo assim ter um maior resultado econômico (ROMEIRO FILHO, 2010).

Na visão de Porter (2004), o sucesso e o crescimento econômico das organizações estão entrelaçados com a estabilidade e previsibilidade. Neste sentido, para haver uma vantagem competitiva, as empresas necessitam inovar e buscar soluções em seus processos, otimizar seus recursos e se destacarem frente aos seus concorrentes. O autor ainda afirma, que a disputa industrial de um país está diretamente ligada a capacidade das organizações em poder melhorar seus processos frente as melhores forças concorrentes do mundo, pois assim estarão em constante desafio.

O setor de bebidas é um dos mercados mais competitivos no Brasil e no mundo, sendo que duas das maiores empresas estão neste segmento, grupo Coca-Cola e a Companhia de Bebidas das Américas (AMBEV). De acordo com a Associação dos Fabricantes de Refrigerantes do Brasil (AFREBRAS, texto digital) nos últimos anos estes dois grupos atenderam 80% do mercado de bebidas não

alcoólicas e 91% do faturamento deste segmento. O restante divide-se entre os pequenos fabricantes espalhados pelo país. Além de gerar tributos para o governo, dispõe de aproximadamente 60 mil empregos diretos. Conforme a Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcoólicas (ABIR, texto digital), em 2015 foram produzidos mais de 15,3 bilhões de litros de refrigerante com um consumo médio por ano por habitante de 75,1 litros.

De acordo com a AFEBRAS (texto digital) é possível perceber um mercado altamente disputado, onde empresas necessitam obrigatoriamente analisar e garantir uma confiabilidade nos seus processos internos, a fim de reduzir retrabalhos e perdas e propor melhorias diariamente para manter-se no mercado e atender as necessidades do cliente.

Em virtude deste cenário, o presente estudo irá avaliar a implementação da ferramenta FMEA (Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial, do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*) de Processos em uma indústria de bebidas.

## **1.1 Tema**

Aplicação da ferramenta FMEA de Processo em uma indústria de bebidas no Vale Taquari, Rio Grande do Sul.

## **1.2 Delimitação do tema**

O estudo consiste na coleta de dados das principais falhas no processo da linha de envase de refrigerantes Pet 600mL, por meio da aplicação da ferramenta FMEA de Processo. Os investimentos e retornos financeiros não serão demonstrados por completo, visando a preservação das informações da organização.

## **1.3 Problema de pesquisa**

Como reduzir as falhas no processo de envase para melhorar a produtividade e confiabilidade, por meio da FMEA de Processo?

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo geral

Com base na literatura, melhorar o desempenho de produtividade através da implantação da ferramenta FMEA de Processo, que busca melhorias para falhas específicas aumentando a confiabilidade do processo, além da redução do descarte de produtos, refletindo na qualidade e segurança.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar e analisar falhas potenciais e graus de severidade das etapas do envase; *mixer*, enchedora e tampador;
- Capacitar a equipe envolvida no processo;
- Obter indicadores e gerar ações para as falhas potenciais;
- Definir estratégias de manutenção para os componentes que apresentaram ocorrências ou altos níveis de severidade.
- Padronizar a manutenção do equipamento.

## 1.5 Justificativa

Este estudo tem como proposta identificar falhas potenciais, níveis de criticidade e severidade na envasadora de refrigerantes, com intuito de reduzir o descarte de produto, bem como, o número de não conformidades.

Uma análise realizada anteriormente pela empresa demonstrou que o maior custo de manutenção e descarte de produtos da linha, estava concentrado neste equipamento.

Este foi o fator que levou a utilização da FMEA de Processo, cujo objetivo,

conforme o autor Romeiro Filho (2010), é a busca de uma melhor performance e confiabilidade.

## **1.6 Estrutura**

A parte inicial deste trabalho apresenta a introdução, o tema, a delimitação, o problema, os objetivos gerais e específicos, a justificativa, a estrutura de elaboração do trabalho e o cronograma.

O segundo capítulo é destinado ao referencial teórico do tema abordado.

O terceiro capítulo refere-se à metodologia aplicada para a execução do trabalho.

O quarto capítulo refere-se à caracterização da empresa.

O quinto capítulo apresenta o estudo de caso, descrevendo o processo de envase da empresa, bem como, a execução da ferramenta FMEA de Processo.

No sexto capítulo são descritas as considerações finais deste trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os conceitos e abordagens das ferramentas, através de uma revisão bibliográfica para o desenvolvimento do objetivo preestabelecido,

### 2.1 Definição de processo

Segundo Harrington e Liske (1993), processo é qualquer atividade que recebe uma entrada (*input*), agrega-lhe valor e gera uma saída (*output*) para um cliente interno ou externo, fazendo uso dos recursos da organização para gerar resultados concretos. Já Juran (1991), afirma que processo está relacionado a um conjunto de ações direcionados para a execução de uma meta. Ainda segundo o mesmo autor todas as instalações aplicavam processo. Para Campos (1992), processo é um conjunto de causas que provoca um ou mais efeitos. Davis, Aquilano e Chase (2001), definem um processo como qualquer passo ou conjunto de passos que estão envolvidos na conversão ou na transformação de insumos em resultados. Ishikawa (1993), vai mais longe quando afirma que enquanto houver causas e efeitos, ou fatores de causa e características, todos podem ser processos. Já Hradesky e Santos (1989), é mais específico ao afirmar que processo é qualquer combinação de material, máquinas, ferramentas, métodos e pessoas que criam por meio de especificações produtos desejados.

As afirmativas acima tornam unanime que processo é um conjunto de causas

(*input*) que tem como objetivo produzir um determinado efeito, o qual é denominado de produto de processos. A Figura 1 apresenta graficamente o conceito de Ishikawa (1993).

Este diagrama, que recebeu o nome do seu autor, caracteriza claramente o processo mostrando quais são os fatores de causa de um processo a que ele se referia e sobre os quais Hradesky e Santos (1989) conceituou da seguinte forma:

**Método:** Esta etapa analisa como está sendo realizado o procedimento. Falhas no método podem impactar diretamente no processo.

**Máquina:** Refere-se a fadigas em componentes mecânicos, pneumáticos, elétricos, entre outros. Essas falhas podem impactar diretamente no processo analisado.

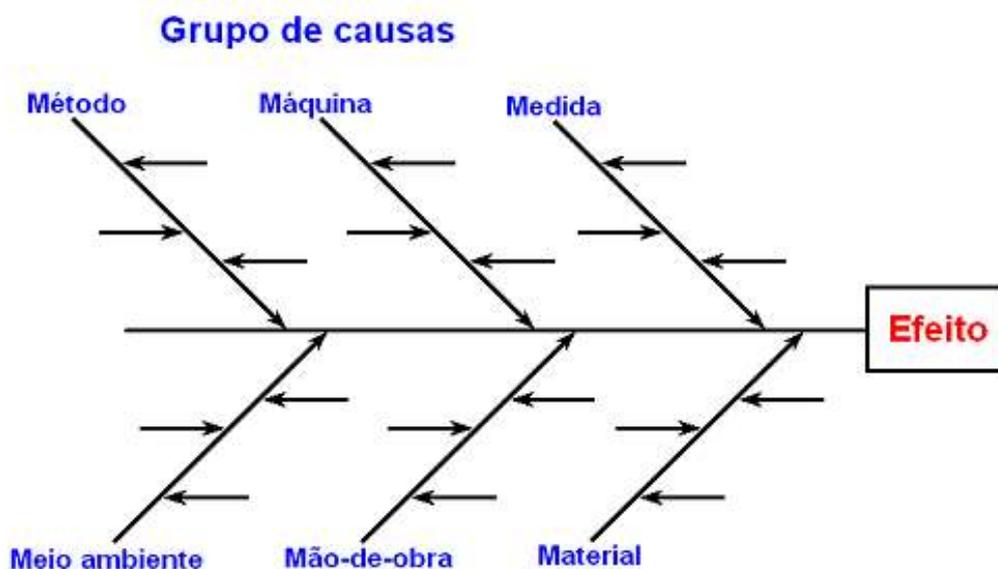
**Medida:** Falta de calibrações ou aferições em equipamento que servem para realizar a leitura, podendo causar variações no processo.

**Meio Ambiente:** Falhas que são geradas por umidade, luz solar, temperatura, entre outros, que podem impactar no produto.

**Mão-de-obra:** Falta de treinamento e conhecimento do operador, que podem gerar erros graves ao processo.

**Material:** Matérias primas de baixa qualidade ou sem uma análise correta no momento de recepção, ou seja, características anormais que podem gerar falhas no processo.

Figura 1 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Do autor, com base em Caten, Ribeiro e Flogliatto (1999).

Muitos conhecem este diagrama como Causa e Efeito utilizado para identificar a causa fundamental e as possíveis variáveis do processo (CATEN; RIBEIRO; FLOGLIATTO, 1999).

Para Campos (1992), os itens de controle de um processo são indicadores estabelecidos sobre os sintomas de cada processo para controlar a sua qualidade total. Conforme Pyzdek e Keller (2011), a definição de controle de processo remete-se as atividades repetitivas e sequenciadas, ou seja, se não seguirem esta sequência, não pode ser considerado somente um processo e sim múltiplos processos ou infinitos processos.

## 2.2 Definição de controle de processo

Segundo Campos (1992), manter o processo sob controle é identificar, analisar, padronizar e definir pontos ou itens de controle para que a falha não ocorra novamente. O objetivo do controle de processo é garantir que não sejam produzidos produtos não conformes, e que estes não vão para o próximo processo ou cliente final (COUTO; MARASH, 2012). Entretanto, Pyzdek e Keller (2011), alertam que os planos de controle deveriam ser preparados para cada processo considerado crítico, e estes planos deveriam ser planejados por equipes que entendam este processo e saibam suas peculiaridades.

É importante que a organização busque com seus controles de processo, obter produtos com características semelhantes. Desta forma é possível tornar os processos mais previsíveis, de modo a atender a qualidade desejada no produto (AGUIAR, 2006).

### **2.3 Histórico da qualidade**

A gestão da qualidade ganhou grande notoriedade a partir do início da década de 1980, no entanto, não se trata de uma invenção moderna. Muitos acadêmicos acreditam que a filosofia ou conceito de qualidade existe há centenas ou milhares de anos. Contudo, o nascimento do controle de qualidade está associado à década de 1930, através da aplicação da carta de controle que seria adotada como um novo paradigma de gestão (ANTONIO; TEIXEIRA, 2007).

Para Lins (2000), a qualidade surgiu a partir de 1776 com o desenvolvimento da máquina a vapor, quando o homem começou a substituir a operação manual por outra forma de trabalho. Segundo ele, as quantidades de falhas, os acidentes de trabalho, os prejuízos e a falta de capacitação operária, impulsionaram a implantação de inspeções dos produtos e a supervisão das atividades. Desta forma, através dos trabalhos de Taylor e Fayol no início do século XX é que a administração de empresas se consolidou em relação ao gerenciamento da qualidade.

Cada autor possui uma maneira diferente de conceituar a qualidade, não há uma fórmula fidedigna para isso. O importante é encontrar formas de gestão para monitorar o que pode ser notável pelo consumidor, atendendo de maneira satisfatória às suas necessidades.

### **2.4 Definição do conceito de qualidade**

O conceito de qualidade vem se tornando cada vez mais importante nas organizações, pois é uma forma de auto gerenciar e garantir a qualidade dos produtos e processos, entretanto, não existe uma fórmula de gestão que seja implantada na íntegra por todas as empresas. Um produto ou serviço de qualidade é

aquele que consegue atender de forma segura, acessível e no tempo certo a necessidade do cliente, deixando claro que qualidade não é somente produzir sem defeitos (CAMPOS, 1992).

Segundo Paladini (2009), a qualidade envolve vários itens, com níveis de importância diferentes. Para o autor, centrar a atenção em um único ponto ou deixar algum de fora, pode ter um significado estrategicamente ruim para a empresa. A qualidade se define como uma forma de gestão intrínseca no produto ou serviço, notável pelos consumidores e que atenda às suas necessidades (MOURA, 1997). Entretanto, Deming, Aubert e Knuse (1990) defendem que a qualidade está associada a constantes melhorias realizadas no dia a dia, seja ela profissional ou pessoal. Então desenvolveu os quatorze pontos de qualidade que deve-se seguir para alcançar a perfeição. Os autores ainda afirmam que nos Estados Unidos em 1950, havia um mito no qual qualidade e produtividade não andam juntas, pois para se obter uma boa qualidade se deixa de lado a produtividade e vice e versa. Esta era a visão de qualquer gerente de empresa naquela época. Assim como a qualidade, a confiabilidade também é fundamental em um processo produtivo. Para Fogliatto e Ribeiro (2009), confiabilidade e qualidade andam juntas. A confiabilidade é a garantia de um processo seguro e conseqüentemente o resultado de produtos de qualidade.

## **2.5 Evolução e definição da Confiabilidade**

O conceito técnico de confiabilidade começou a ser aplicado há pouco mais de 50 anos, sendo que o significado tecnológico veio junto com o fim da Primeira Guerra Mundial, onde a confiabilidade era o termômetro de acidentes por hora de voo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Para Sellitto (2005), a confiabilidade surgiu em 1950 nos Estados Unidos da América, através de um estudo realizado por estudantes americanos na utilização de componentes eletrônicos de uso militar. Esses procedimentos prosseguem até os dias de hoje, ou seja, se um item não possui um modo de falha característico e predominante, logo, verificações programadas afetam pouco a confiabilidade do mesmo, sendo que para vários componentes a manutenção preventiva não é eficaz.

Durante a Segunda Guerra Mundial um grupo de engenheiros alemães trabalhou no desenvolvimento de mísseis V-1, porém estes falharam, explodindo antecipadamente ou aterrissando antes do alvo. Para entendimento destes fatos foi contratado o matemático Robert Lusser para analisar o sistema operacional dos mísseis. Lusser conseguiu definir que sistemas em séries com vários componentes tendem a ocorrer um maior número de falhas, tornando-se assim inseguro (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Durante a década de 1950 e início de 1960, alguns interesses motivaram os americanos a buscar uma maior confiabilidade em seus equipamentos. Isso porque chegar à lua era uma busca incansável, já que seriam o primeiro país a alcançar o objetivo. Foi em 1963 que surgiu nos Estados Unidos, a primeira associação que integravam engenheiros de confiabilidade e o primeiro periódico desenvolvido na área, o *IEEE- Transactions on Reliability* (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Segundo esses autores, foi na década de 1970 que a análise de riscos a confiabilidade passou a ter maior importância em diversos segmentos, pois teve grande relevância para construção de usinas nucleares, tendo como premissas:

- Análise de risco e segurança – é essencial analisar a confiabilidade quanto ao risco que pode ser gerado. Nestes casos, utiliza-se geralmente a técnica de análises de modo e efeito de falha (FMEA) e a análise da árvore de falhas;
- Qualidade – Confiabilidade e qualidade andam juntas e para se ter uma boa qualidade é preciso ter confiabilidade nos processos, pois assim aumenta a probabilidade do processo estar seguro;
- Otimização da manutenção – Com o aumento da confiabilidade dos equipamentos é possível reduzir as atuações corretivas e preventivas, aumentando a disponibilidade da equipe técnica e conseqüentemente reduzindo o custo;
- Proteção ambiental – Estudos de confiabilidade podem melhorar ou manter equipamentos com menor emissão de poluentes, como por exemplo, os gasosos;
- Projeto de produtos – Empresas estão implantando confiabilidade no desenvolvimento de seus produtos para prevenir futuros problemas, pois produtos com alto valor agregado não podem apresentar falhas.

As empresas só alcançaram resultados satisfatório através de um sistema de gestão capaz de garantir a confiabilidade dos processos. A manutenção, por sua vez, deve aplicar recursos e ferramentas e inspeções que assegurem a confiabilidade dos equipamentos, bem como aumentar a disponibilidades dos mesmos (NASCIF; DORIGO, 2009; PINTO et al., 2002).

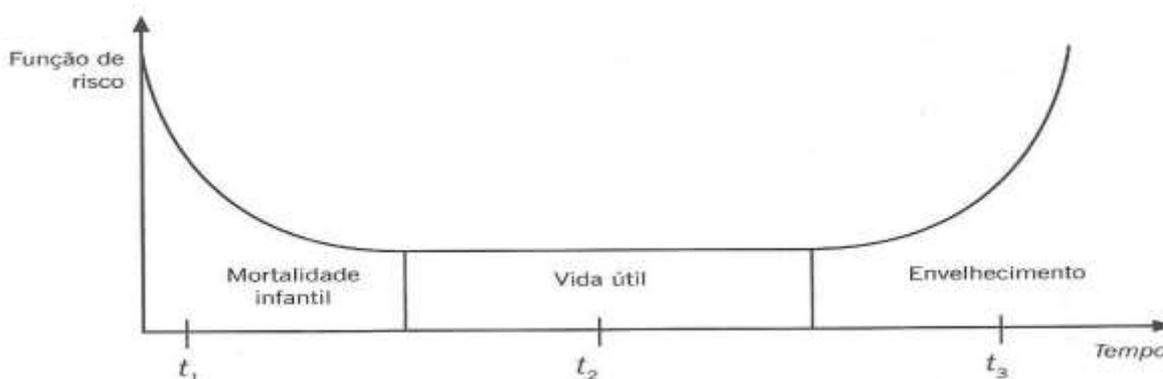
A confiabilidade é a possibilidade de um item desempenhar sua função normal por um certo período de tempo sem afetar a integridade do produto (PINTO; XAVIER; BARONI, 2001). Pode ser também, a competência de desempenhar um sistema, produto ou serviço, por um certo período de tempo atendendo tal necessidade (SLACK et al., 1999). Além disso, ela está onde um componente consiga realizar sua função básica, por um período determinado, sob designação da operação (PINTO; LAFRAIA, 2002).

A norma brasileira NBR 5462 (1994, texto digital), define confiabilidade como a capacidade de um determinado item desenvolver sua função requerida, por intervalo de tempo estabelecido e sob condições de uso definida. Filho (2006) e Pereira (2009), definem confiabilidade como a capacidade de um componente realizar sua operação por um determinado período de tempo ou executar sua função específica, em condições preestabelecidas por um espaço de tempo.

Segundo Pinto e Xavier (2001), o conceito de quanto mais velho for o componente mais irá falhar, não é verdadeiro. Este conceito pode ser aceito quando se tem partes em contato com produtos, como exemplo bombas, correias, porém, isso se denomina como modo de falha.

Conforme a Figura 2, pode-se analisar diferentes taxas de falhas e determinar o tipo de manutenções a serem realizadas.

Figura 2 – Curva da banheira



Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 11).

Na taxa de falha decrescente denominada como mortalidade infantil, indiferente do tipo de manutenção realizada, aumentará em taxas de falhas, conseqüentemente diminuindo a confiabilidade (PINTO; LAFRAIA, 2002). As falhas que acontecem na fase de vida útil do produto deve acontecer somente em condições adversas do ambiente de operação do produto e pode ocorrer da mesma maneira em qualquer instante de tempo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). A última fase da curva da banheira é denominada como envelhecimento (PINTO; LAFRAIA, 2002). Conforme o autor, para garantir a confiabilidade dos equipamentos e processos, e produzir produtos seguros e de qualidade, é importante contar com a manutenção dos itens envolvidos nas etapas produtivas, evitando falhas e custos desnecessários.

## 2.6 Manutenção

A definição da palavra manutenção vem do “ato ou o efeito de manter”, porém, sua origem está ligada ao conceito militar de *Manu + Tener*, significado “ter a mão”, transferindo para filosofia contemporânea significa “garantir disponibilidade” (PINTO et al., 2002).

A história da manutenção pode ser dividida em três fases: Primeira geração - Mecanização; Segunda geração – Industrialização; Terceira geração – Automação. A primeira geração que ocorreu por volta de 1940 à 1950 tinha como características máquinas simples e superdimensionadas, onde o tipo de manutenção executado para falhas era corretivo. A segunda geração inicia nos anos de 1950 a 1975, onde

necessitou aumentar a disponibilidade de equipamentos, pois a demanda aumentou significativamente exigindo mais das máquinas. Neste período surgiram as manutenções preditivas e preventivas. A terceira geração surge a partir de 1975, devido as técnicas anteriores não atenderem ao nível de exigências e complexidades que os processos necessitavam. Com a automação conseguiu-se oferecer um melhor desempenho aos equipamentos, assegurando uma maior disponibilidade, confiabilidade e aumentando a vida útil (PINTO; XAVIER, 2001; SIQUEIRA, 2005). A Figura 3, demonstra a evolução da manutenção e suas gerações.

Figura 3 – Evolução da manutenção



Fonte: Siqueira (2005, p. 4).

A manutenção é um sistema de atividades, que visa garantir um bom funcionamento do equipamento sem gerar desgaste em um período de tempo (CABRAL, 2006). É considerada um conjunto de ações técnicas e administrativas que busquem preservar o estado funcional ou a sua condição original e assim melhorar o desempenho do equipamento (FILHO, 2006). Não basta que ela seja eficiente reparando o equipamento em menor tempo para rodar, mas sim eficaz, garantindo uma disponibilidade para produção sem que ocorra paradas durante o processo produtivo (PINTO et al., 2002).

### 2.6.1 Tipos de manutenção

Os tipos de manutenção são definidos como o modo de atuação realizado nos equipamentos, máquinas e sistemas. As mais conhecidas são: Manutenção Detectiva, Manutenção Corretiva e Manutenção Preditiva (PINTO; XAVIER; BARONI, 2001). Lafkaia (2001), afirma que existem apenas dois tipos de manutenção, a corretiva e a preventiva.

Dentro da manutenção corretiva existem as manutenções não planejadas, que são aquelas que não foram programadas, mas precisam ser realizadas. Geralmente, esse tipo de manutenção é a que gera maior custo financeiro e impacto ao produto (PINTO; XAVIER, 2001). Pereira (2009), afirma que a manutenção corretiva é a forma mais comum de se realizar a manutenção, caracterizada pela falta de planejamento. As manutenções corretivas planejadas acontecem quando há queda de desempenho ou falha por decisão gerencial. Esta estratégia pode ser tomada através de um acompanhamento preditivo ou por ter um baixo custo de reparo sem oferecer risco ao produto (PINTO; XAVIER, 2001). A manutenção corretiva ocorre em um determinado período e tem como principal objetivo prevenir ou reduzir as consequências e probabilidade das falhas (LAFRAIA, 2001).

Diferentemente da corretiva, a manutenção preventiva é considerada a chave do sucesso, pois é neste momento que se trocam peças com desgaste e são realizadas inspeções mais aprofundadas nos equipamentos. O custo é mais elevado, porém, a garantia de confiabilidade e disponibilidade do equipamento aumentam em relação a manutenção corretiva (XENOS, 2004).

Já a manutenção preditiva tem como característica monitorar as falhas que podem ser corrigidas. A sinalização para atuação é a apontada através da avaliação do equipamento, acompanhamento e monitorização de parâmetros (SIQUEIRA, 2005). Para Oliveira (2009), a manutenção preditiva busca aumentar o tempo entre falhas do equipamento, definir o ponto de intervenção antes da falha e acelerar o tempo médio de atuação ou substituição e assim reduzir perdas com manutenção e otimizar os resultados. Esse tipo de manutenção assegura o nível de serviço esperado, com a utilização de técnicas de controle e análises preestabelecidas em tempo integral ou amostragem. Dentre as mais utilizadas pode-se citar a termografia e análise de vibração (PEREIRA, 2009).

## 2.7 MPT: Manutenção Preventiva Total

A *Total Productive Maintenance* (TPM), traduzido para português Manutenção Preventiva Total (MPT) tem como foco a eliminação de fatores de perda de produção para melhorar o desempenho da fábrica (DEEPAK; JAGATHY, 2014). Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a TPM é o avanço natural das manutenções corretivas e preventiva e para Takahashi e Osada (1993), é de forma geral, a ferramenta mais eficaz para modificar uma indústria para o gerenciamento voltado ao equipamento.

Essa ferramenta considera que os colaboradores da empresa são os que tem maior conhecimento sobre a máquina. Eles trabalham diretamente com o equipamento, sendo os responsáveis por mantê-lo em bom funcionamento e disponibilidade, através de limpezas, lubrificações, inspeções visuais, troca de reparos e padronizações de trabalho (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

## 2.8 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

Com o decorrer dos anos percebe-se que a complexidade e as exigências dos diversos tipos de sistemas vêm aumentando, fazendo com que a engenharia busque e aperfeiçoe conhecimentos de modo que consiga atender esta demanda com eficácia. A palavra confiabilidade está entrelaçada com sistemas de saúde, transportes, comunicação e equipamentos sendo estes de total importância. Desastres como *Seveso, Bhopal, ou Chernobyl* ficarão para sempre marcados na memória da população, provando quanto a confiabilidade é importante e imprescindível nos processos, garantindo um bom desempenho dos equipamentos durante sua vida útil estabelecida (PEREIRA; SENA, 2012).

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), se define como um programa que engloba várias técnicas de engenharia, para manter um bom desempenho do equipamento de uma planta industrial. Permite que os equipamentos trabalhem de uma forma mais eficaz, aumentando a disponibilidade, reduzindo acidentes e produtos defeituosos, reparos e substituições, fazendo com que as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção.

A MCC emprega técnicas de manutenção preventiva, preditiva, detectiva e

corretiva, sendo estas integradas para garantir uma maior confiabilidade ao processo, gerando o mínimo de manutenção. Ela busca que a decisão de manutenção seja baseada pela técnica e pela justificativa de economia (BENEDITTI, 2002).

Para Lafraia (2001, p. 238), “no enfoque tradicional da manutenção todas as falhas são ruins e, portanto, todas devem ser prevenidas”. Na prática, essa teoria não é aplicada, por ser impossível eliminar todas as falhas e, caso fosse possível, faltariam recursos financeiros para tal (LAFRAIA, 2001). Da mesma forma, Fogliattto e Ribeiro (2009) afirmam que o esforço dedicado para que a ocorrência não aconteça deve ser proporcional aos efeitos que a falha possa gerar. Por fim, afirmam que a MCC deve ser planejada quando não é possível atuar de forma proativa na resolução da causa.

## **2.9 Definição de falha**

As falhas são ocorrências que determinam a inadequação de um recurso para o uso em um determinado processo (OLIVEIRA; PAIVA; ALMEIDA, 2010). Há falhas que podem acontecer por alguma circunstância do processo, podendo ser tratadas com naturalidade, como por exemplo, a queima da luz interna de um automóvel. Por outro lado, em alguns casos, se a falha ocorrer pode ser crucial, como por exemplo, aviões em voo, eletricidade em hospitais e frenagem de um veículo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). Os autores Rausand e Oien (1996), acreditam que as falhas originam-se de mau uso ou provenientes de materiais frágeis.

## **2.10 FMEA**

A FMEA (*Failure Mode Effects Analysis*) ou análise dos modos e efeitos das falhas, é uma das ferramentas mais adotadas para análise de falhas. Surgiu nos anos 60 pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), com a finalidade de gerar uma maior confiabilidade nos projetos das indústrias aeroespaciais. Em seguida, foi diversificada para demais setores industriais automotivos, nuclear e aeronáutica. No final dos anos 1960, a empresa de veículos

*Ford* americana necessitou uma técnica mais refinada para detectar e prevenir problemas potenciais (ROMEIRO FILHO, 2010).

Esta ferramenta vem trazendo vários ganhos não somente para indústrias, como também para diversos segmentos, tais como farmacêutica e hospitais. Nas indústrias automotivas esta técnica está cada vez mais presente, desde o desenvolvimento de um novo produto ou em alguma alteração por parte da engenharia (CRUZ, 2009). Recchia et al. (2016), mostra que em 1988 as empresas automobilística *Chrysler, Ford e General Motors* criaram a norma QS-9000, através da ASQ (*American Society for Quality*). Posteriormente, essa norma foi ajustada para a ISO-9000, sendo em seguida nomeada ISO TS-16949. Essa norma padronizou o setor da indústria automotiva no modelo de sistemas e ferramentas de qualidade para todo o mundo.

## **2.11 Definição do FMEA**

A FMEA é uma técnica analítica para apontar e registrar falhas potenciais no sistema, tendo como objetivo eliminar a falha ou minimizar suas ocorrências (ROMEIRO FILHO, 2010). É um método de confiabilidade, onde seus objetivos principais são: i) reconhecer e analisar as falhas potenciais no processo e produto, (ii) elencar ações que possam eliminar ou minimizar a ocorrência da falha, (iii) realizar estudos documentados para que no futuro possam ser utilizados para contribuir em revisões de projetos ou processo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Segundo Palady (2004), a FMEA é uma técnica que oferece algumas funções distintas, (i) é uma ferramenta para previsão de problemas, sendo uma técnica de baixo risco, porém, eficiente para identificação e solução de problemas, (ii) procedimento que oferece de uma forma estruturada o estudo para elaboração de projetos e processos, (iii) é considerado um diário, pois, qualquer mudança, que por ventura possa impactar em qualidade ou confiabilidade, que houver no período deve ser documentada. Essa ferramenta tem o propósito de apontar modos de falha, em que um produto ou processo possa falhar, e necessitando gerar medidas para melhorar o desempenho de qualidade, confiabilidade e segurança (COUTO; MARASH, 2012).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 5462 (1994, texto digital), adota a sigla originária do inglês FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) e a traduz como sendo Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. Segundo a norma é um método qualitativo de análise de confiabilidade, onde são estudadas os modos de falhas que cada componente pode ter e os efeitos que podem gerar no item e no conjunto.

Para Palady (2004), a FMEA consiste em criar uma equipe para dar suporte ao engenheiro responsável pela implantação do projeto. A responsabilidade do estudo da FMEA deve ser dada a um indivíduo, mas realizada por uma equipe multifuncional. Em geral, deve conter engenheiros que detêm conhecimento do projeto, desenvolvimento de fornecedores, manufatura, vendas, qualidade, confiabilidade e assistência técnica. É importante, sempre que possível, realizar um estudo antes que a falha ocorra e não após a ocorrência, reduzindo custos desnecessário à organização (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Os estudos da FMEA têm uma origem cíclica, pois no cenário atual com constantes inovações, mudam-se as especificações, materiais e novas tecnologias. Isso faz com que a ferramenta de análise e modo de falha se torne mais importante (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

## **2.12 Tipos de FMEA**

Neste tópico serão apresentados os tipos mais comuns de FMEA. Alguns autores referem-se a quatro diferentes tipos, como, FMEA de Sistema, Produto, Processo e Serviço. Já outros autores, referem-se a somente três diferentes tipos, como FMEA de Produto, Processo e Serviço. Os mais conhecidos e utilizados, no entanto, são dois: FMEA de Projeto e FMEA de Processo.

### **2.12.1 FMEA de Projeto**

A FMEA de projeto ou DFMEA (*Design Failure Modes and Effects Analysis*), segundo Palady (2004), surgiu por volta da década de 60 e tem como objetivo deixá-

lo acontecer sem empecilhos e prevenir as falhas potenciais que poderão aparecer. É um método analítico utilizado pela equipe de colaboradores ou engenheiro, onde são estudados cada detalhe do projeto. Este acompanhamento possibilita prevenir possíveis falhas de determinado item do projeto, com base na experiência da equipe. Este método sistemático formalizado e documentado, possibilita o acompanhamento do projeto do início ao fim (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Segundo Romeiro Filho (2010), a FMEA de projeto é realizada quando o esboço do projeto está definido. Geralmente, tem características da FMEA de sistema, porém, mais específico detalhando itens individuais. Essa técnica visa analisar item por item, identificando possíveis modos de falhas e consequências como um todo. Além disso, avalia funções, materiais utilizados, tolerância, componentes, etc. (OLIVEIRA; PAIVA; ALMEIDA, 2010).

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), o cliente ou consumidor final da FMEA de projeto é que sai ganhando, pois terá um produto com uma maior confiabilidade e sem falhas previsíveis. Os autores salientam que para cada mudança ou alteração no projeto de um componente, necessita de um novo FMEA de projeto.

### **2.12.2 FMEA de Processo**

A FMEA de processo ou PFMEA (*Process Failure Modes and Effects Analysis*) tem como principais objetivos assegurar que as atividades sejam realizadas conforme designadas e prevenir as falhas potenciais do processo (PALADY, 2004). É uma técnica analítica utilizada pelo grupo para garantir que os modos potenciais de falha não gerem problemas no processo. Todas as etapas do processo são detalhadas e analisadas para identificar as falhas potenciais (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Segundo Couto e Marash (2012), a FMEA de processo é uma ferramenta usada para identificar os modos de falhas potenciais e consequentemente agir para eliminar ou reduzir os impactos negativos no processo. É geralmente usada para analisar as fases de fabricação e montagem, a partir da definição do processo

produtivo. Porém, quando houver uma falha no procedimento ou na qualidade, também deve ser aplicado (ROMEIRO FILHO, 2010).

Esse procedimento pode ser aplicado para fazer o planejamento antes de produzir, focando nos modos potenciais de falha de produção. Os resultados apontam as necessidades de mudanças nos pontos mais críticos, estabelecendo métricas por prioridade de atuações (GONÇALVES, 2010).

Martins (2013), resume que FMEA de processo aponta os itens que podem vir a falhar. A avaliação desses itens é realizada por equipe capacitada, antes de iniciar a produção e ao longo da vida útil do produto.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), a FMEA de processo deve ter seu início logo após o esboço do processo, devendo ser considerado todo o processo de manufatura. Auxilia a antecipar, prevenir e minimizar os impactos, tendo uma maior confiabilidade em toda a cadeia produtiva, entretanto, deve ser revisto periodicamente ou a cada ciclo de melhoria contínua do processo. Pode-se citar algumas vantagens do FMEA do processo, tais como:

- Identifica parâmetros do processo para controle;
- Prioriza os modos de falhas potenciais, estabelecendo ordem para atuações;
- Aumenta o conhecimento de todos os engenheiros em relação ao processo; e
- Apresenta um referencial que auxilia na análise de melhoria de processos semelhantes.

### **2.13 Desenvolvimento da FMEA de Processo**

Inicialmente o engenheiro responsável pelo projeto da FMEA deve reunir-se com a equipe de trabalho, sendo colaboradores de setores diversos (materiais, montagem, manufatura, qualidade, manutenção, etc.). O ponto inicial é a identificação das falhas em potencial, devendo ser conduzida por uma equipe que tenha participação de diversas áreas da organização e que estejam envolvidas no processo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). A continuação é realizada com reuniões

periódicas, até a conclusão de análise do sistema ou componente (ROMEIRO FILHO, 2010).

Palady (2004), afirma que um dos maiores erros na elaboração da FMEA é a falta de planejamento. Frequentemente, acontecem casos onde a equipe descreve o formulário, esclarecendo a função, os modos de falhas e os efeitos dos modos, para listar as ações recomendadas. Esse modo pode gerar dúvidas e adicionar custos desnecessários ao processo.

Desta forma, o estudo deve iniciar com a descrição das características que o processo deve atender e as que não precisa atender. O melhor detalhamento das características desejadas, fará com que os modos potenciais de falhas sejam encontrados com maior facilidade. Deve ser realizado um fluxograma com as atividades listadas para tornar mais claro o estudo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

## **2.14 Planilha de FMEA de Processo**

Uma vez definida a estruturação da equipe, a etapa do processo e os documentos necessários para dar apoio, é possível iniciar a construção da planilha física da FMEA de processo que servirá para facilitar o desdobramento do estudo e documentá-lo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

### **2.14.1 Cabeçalho**

Para Palady (2004), a FMEA é considerada um diário e por isso o cabeçalho deve conter todas as informações necessárias, e garantir que as informações descritas não deixem dúvida para uma possível mudança no futuro. Já Fogliatto e Ribeiro (2009), comentam que o cabeçalho é particular de cada empresa, mas em sua normalidade as empresas colocam um número no documento para a rastreabilidade. A Figura 4, apresenta um cabeçalho utilizado pela maioria das empresas.

Figura 4 – Cabeçalho do formulário da FMEA de Processo.

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO			
FMEA:	Nº.:	Responsável:	Telefone:
Data início:	Revisão:	Preparado por:	
Equipe:			

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

### 2.14.2 Item/Função

Com o preenchimento do cabeçalho, será desdobrado o processo em análise, divididas em etapas e operações. As primeiras colunas contém o propósito da análise, devendo realizar uma descrição clara e simples, como por exemplo: furação, soldagem, polimento, armazenagem, etc., (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Os problemas mais comuns encontrados na elaboração da FMEA estão relacionados às funções, que não são todas identificadas, a descrição, que não é concisa ou exata, além de não utilizar linguagem direta. As funções do projeto devem ser respondidas por todos os membros da equipe, pois nesta etapa todos pontos levantados serão importantes (PALADY, 2004). A Figura 5, apresenta a coluna “função” com a pergunta “o que este processo tem que fazer?”, servindo assim de apoio para a construção das funções.

Figura 5 – Coluna Função na planilha de FMEA de Processo

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO			
FMEA:	Nº.:	Responsável:	Telefone:
Data início:	Revisão:	Preparado por:	
Equipe:			
Função			
O que este processo tem que fazer?			

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

### 2.14.3 Modos potenciais de falha

Nesta etapa é que acontece o início do trabalho técnico. Neste momento são analisadas as operações e os modos de falhas potenciais. Os modos de falhas são definidos, a partir, que um determinado processo possa vir a falhar e gerar requisitos fora da especificação ou produtos não conformes (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). É a descrição de uma não conformidade nesta etapa, que pode ser associada ao

modo de falha potencial subsequente (*output*) ou efeito de uma falha associada ao processo anterior (*input*) (MOURA, 1997).

A lista de modo de falha é construída pela equipe, devendo conter termos técnicos e não a forma usual como o cliente fala. Algumas fontes importantes para identificar os modos de falhas são projetos similares, relatórios de problemas no processo, assistência técnica e reclamações de clientes (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). A Figura 6, apresenta como deveria ser a pergunta para identificar os modos de falhas.

Figura 6 – Coluna Modo de Falha na planilha de FMEA de Processo

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO			
FMEA:	Nº.:	Responsável:	Telefone:
Data início:	Revisão:	Preparado por:	
Equipe:			
Função	Modo de Falha		
O que este processo tem que fazer?	Como este processo falha?		

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

#### 2.14.4 Efeitos potenciais de falha

Os efeitos potenciais de falha são denominados conforme seria a percepção do cliente, sendo definido como cliente, o processo subsequente, o revendedor ou o cliente final. Um modo de falha pode gerar mais que um efeito de falha e estes problemas podem ocorrer dentro da organização e outros efeitos no cliente final (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Segundo Palady (2004), a coluna da Figura 7 deve ser desenvolvida com a voz do cliente, pois às vezes, mesmo estando próximo da falha não consegue identificá-la. Caso o cliente for externo à organização, esta informação deve vir do setor de *marketing* ou assistência técnica.

Alguns manuais de FMEA dividem esta etapa em efeitos locais, efeitos globais, efeitos de nível superior, etc. Na maioria dos casos, esta divisão não acrescenta melhorias, trazendo uma confusão para os desdobramentos seguintes

(PALADY, 2004). A Figura 7, apresenta como deveria ser a pergunta para identificar os efeitos de falha.

Figura 7 – Coluna Efeito da Falha na planilha de FMEA de Processo

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO			
FMEA:	Nº.:	Responsável:	Telefone:
Data início:	Revisão:	Preparado por:	
Equipe:			
Função	Modo de Falha	Efeito da Falha	
O que este processo tem que fazer?	Como este processo falha?	Qual impacto desta falha no produto final?	

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

### 2.14.5 Severidade (S)

Neste item é feito um levantamento qualitativo da severidade dos efeitos listados anteriormente, através do nível de impacto que a falha pode gerar em relação a satisfação do cliente (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Essa avaliação geralmente é analisada por uma escala de 1 à 10. O número 1 indica que o efeito não é sério ou não será percebido pelo cliente e o número 10 remete ao pior resultado do modo de falha. Neste caso a segurança do cliente poderá ser comprometida ou o custo da falha gerar sérios problemas financeiros à empresa (PALADY, 2004).

Caso o cliente afetado esteja fora da fábrica, como por exemplo, uma montadora, a avaliação da severidade pode estar fora da organização, devendo o cliente ser consultado, tendo em vista que o conhecimento e dos efeitos que serão percebidos por ele (MOURA, 1997). O Quadro 1 apresenta os números de escalas para severidades, sendo estes exemplos que poderiam ser utilizados.

Quadro 1 – Critérios de severidade

**CRITÉRIOS DE SEVERIDADE**

<b>Efeito</b>	<b>Severidade do Efeito - Efeito no Cliente</b>	<b>Severidade do Efeito - Efeito na Manufatura/Montagem</b>	<b>Índice de Severidade</b>
Perigoso sem aviso prévio	Quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental <b>sem aviso prévio</b> .	Pode pôr em perigo o operador (máquina ou montagem) <b>sem aviso prévio</b> .	10
Perigoso com aviso prévio	Quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental <b>com aviso prévio</b> .	Pode pôr em perigo o operador (máquina ou montagem) <b>com aviso prévio</b> .	9
Muito alto	Veículo/Item inoperável (perda das funções primárias).	Ou 100% dos produtos podem ter que ser sucateados, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo com um tempo de reparo maior que uma hora.	8
Alto	Veículo/Item operável, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	Os produtos podem ter que ser selecionados e uma parte (menor que 100%) sucateada, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo com um tempo de reparo entre 0,5 hora e 1 hora.	7
Moderado	Veículo/item operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência inoperável(is). Cliente insatisfeito.	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos podem ter que ser sucateados sem seleção, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo com um tempo de reparo menor que 0,5 hora.	6
Baixo	Veículo/item operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência operável(is) com níveis de desempenho reduzidos.	Ou 100% dos produtos podem ter que ser retrabalhados, ou veículo/item reparado fora da linha mas não vai para o departamento de reparo.	5
Muito baixo	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%).	Os produtos podem ter que ser selecionados, sem sucateamento, e uma parte (menor que 100%) ser retrabalhada.	4
Menor	Itens de ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes.	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos podem ter que ser retrabalhados, sem sucateamento, na linha mas fora da estação.	3
Muito menor	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (menos que 25%).	Uma parte (menor que 100%) dos produtos podem ter que ser retrabalhados, sem sucateamento, na linha e dentro da estação.	2
Nenhum	Sem efeito identificado.	Pequena inconveniência no operador ou na operação, ou sem efeito.	1

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

A Figura 8, apresenta qual pergunta deve ser feita para definir o nível de escala que será adicionado nesta coluna.

Figura 8 – Coluna Severidade na planilha de FMEA de Processo

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO			
FMEA: Data início: Equipe:		Nº.: Revisão:	
		Responsável: Preparado por:	
		Telefone:	
Função	Modo de Falha	Efeito da Falha	Severidade (S)
O que este processo tem que fazer?	Como este processo falha?	Qual impacto desta falha no produto final?	Qual a gravidade do efeito no cliente?

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

### 2.14.6 Classificação

Esta coluna é utilizada para definir qual a característica da operação, podendo ter um controle especial. As prováveis classificações podem ser: críticas para a segurança, qualidade e produtividade. Essa coluna facilita o estudo, pois a planilha em formato eletrônico permite fazer uma análise mais aprofundada de cada critério, como por exemplo, analisar somente riscos à segurança (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A Figura 9 demonstra qual pergunta deve ser realizada para definir a classificação da falha.

Figura 9 – Coluna Classificação na planilha de FMEA de Processo

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO				
FMEA: Data início: Equipe:		Nº.: Revisão:		
		Responsável: Preparado por:		
		Telefone:		
Função	Modo de Falha	Efeito da Falha	Severidade (S)	Classificação
O que este processo tem que fazer?	Como este processo falha?	Qual impacto desta falha no produto final?	Qual a gravidade do efeito no cliente?	Quais os modos de falhas prioritários para avaliação da engenharia?

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

### 2.14.7 Causa

Esta é uma das etapas mais importantes do processo, pois neste momento busca-se encontrar a raiz do problema. O conhecimento da equipe é um ponto importante para gerar o resultado esperado. Em alguns casos a causa pode ser uma deficiência no processo, passando assim ser o modo de falha, que a princípio poderá ser corrigida ou monitorada (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Acontecem dificuldades para encontrar as causas na FMEA, e em alguns casos são adicionadas causas que pouco contribuíram com o problema. Para isso necessita uma equipe capacitada para identificar as causas básicas que geralmente contribuem em 80% dos modos de falha potencial, e com isso otimizar e assegurar a solução das falhas. Algumas ferramentas contribuem para identificar essas causas, como por exemplo, o Diagrama de *Ishikawa* e *Brainstorming* (tempestade de ideias) que podem ser muito úteis neste item, além das outras ferramentas de qualidade que podem ajudar a descobrir as causas (PALADY, 2004).

A Figura 10, apresenta qual questionamento deve ser feito para chegar nas causas das falhas potenciais.

Figura 10 – Coluna Causa na planilha de FMEA de Processo

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO					
FMEA: Data início: Equipe:		N.º: Revisão:		Responsável: Preparado por:	
				Telefone:	
Função	Modo de falha	Efeito da falha	(S)	Classificação	Causa
O que este processo tem que fazer?	Como este processo falha?	Qual impacto desta falha no produto final?		Quais os modos de falhas prioritários para avaliação da engenharia?	Quais são as causas que fazem esta falha ocorrer?

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

### 2.14.8 Ocorrência

Nesta etapa são apontadas as frequências dos modos de falha ou causa, para uma avaliação, sendo que os esforços para minimizar o número de ocorrências

podem levar à avaliação das causas básicas. Existem diversas formas de criar o grau de ocorrência, porém é importante a organização definir ou ajustar esse grau para a sua necessidade de trabalho, evitando desperdício de tempo. Os índices de capacidade de processo são medidas de desempenho de qualidade, geralmente utilizados pelo setor automobilístico. Através desses índices é possível estimar o percentual de produtos fora do especificado ou a ocorrência estimada da falha. Sendo assim, pode-se definir o índice de qualidade exigida, logo, o possível número de ocorrência que poderia acontecer (PALADY, 2004).

A ocorrência corresponde à probabilidade em que uma causa escrita anteriormente venha a ocorrer. Geralmente para reduzir a ocorrência da causa ou mecanismo, é necessário que façam alterações no projeto. A análise da ocorrência é feita em uma escala qualitativa de 1 à 10, sendo que o critério utilizado para gerar a tabela deve ser consistente para garantir uma melhora no processo. A Tabela 1, apresenta o critério de avaliação sugerido (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Tabela 1 – Critério de avaliação do nível de ocorrência.

Probabilidade de Falha	Taxas de falha possíveis	Índice de Ocorrência
<b>Muito Alta:</b> Falhas Persistentes	100 por mil peças	10
	50 por mil peças	9
<b>Alta:</b> Falhas frequentes	20 por mil peças	8
	10 por mil peças	7
<b>Moderada:</b> Falhas ocasionais	5 por mil peças	6
	2 por mil peças	5
	1 por mil peças	4
<b>Baixa:</b> Relativamente poucas falhas	0,5 por mil peças	3
	0,01 por mil peças	2
<b>Mínima:</b> Falha improvável	≤ 0,01 por mil peças	1

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 179).

No caso em que os dados quantitativos estiverem dispostos, a fórmula da equação 1 apresenta aproximadamente os valores de ocorrência (definida na tabela acima).

$$\text{Ocorrência} = (\text{Taxa de Falha} / 0,000001)^{0,20} \quad (1)$$

Quando os dados quantitativos não estão disponíveis, a equipe deve analisar qualitativamente a ocorrência. Neste caso, onde não se tem a certeza dos valores é necessário adotar uma atribuição de valores maiores para a possibilidade de ocorrência do modo de falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

### 2.14.9 Controles de prevenção e detecção

Neste momento devem ser listados todos os controles que são capazes de impedir ou detectar a causa e o respectivo modo de falha. Os controles que geralmente utilizados, tem origem em outros processos já implantados. Dentre esses controles, destacam-se *Poka-Yoke*, controle estatístico, inspeção, etc. Na Figura 11, são utilizadas duas colunas, sendo a primeira para indicar os controles de processo já utilizados, que servem para reduzir a ocorrência da causa, e a segunda para descrever os itens de detecção, que irão identificar o problema (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Figura 11 – Coluna de controle de Prevenção e Detecção na planilha de FMEA de Processo

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO								
FMEA: Data início: Equipe:		Nº: Revisão:		Responsável: Preparado por:			Telefone:	
Função	Modo de falha	Efeito da falha	(S)	Classificação	Causa	Ocorrência	Controle do processo de prevenção	Controle do processo de detecção
O que este processo tem que fazer?	Como este processo falha?	Qual impacto desta falha no produto final?		Quais os modos de falhas prioritários para avaliação da engenharia?	Quais são as causas que fazem esta falha ocorrer?	Qua a frequência do modo ou da causa da falha?	Quais são os controles atuais que impedem que o modo de falha ocorra?	Quais são os controles atuais que detectam que o modo de falha ocorra?

Fonte: Do autor, com base em Fogliatto e Ribeiro (2009).

O principal objetivo da FMEA é prever os problemas mais críticos e buscar uma solução para eliminar ou reduzir os impactos, quando os mesmos ocorrem. Porém, nem sempre é possível identificar as falhas potenciais, por isso, estrategicamente são implantados controles para auxiliar na prevenção de possíveis problemas (PALADY, 2004).

### 2.14.10 Detecção

A detecção refere-se a uma estimativa, onde os controles atuais são capazes de detectar a falha antes que passe para um processo subsequente. Utiliza-se uma escala de 1 à 10, onde 1 representa uma situação de fácil detecção e 10 representa

uma situação delicada, de difícil detecção. Para que a equipe consiga avaliar o modo de falha por meio da escala é importante que a falha ocorra e assim identificar se os controles implantados estão sendo eficientes no processo. Inspeções aleatórias e amostragem são métodos válidos e que geralmente apresentam um bom resultado para detecção (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Segundo Martins (2013), o índice de detecção avalia a probabilidade do problema chegar até o consumidor ou no processo seguinte.

O Quadro 2, apresenta a escala de detecção, onde são analisados os tipos de detecção, sendo A - Prova de erro; B - Medição e C – Inspeção Manual. Considere-se que A é o método mais completo para detecção e C o menos confiável.

Quadro 2 – Escala de detecção

Detecção	Critério	Tipos de Inspeção			Faixas Sugeridas dos Métodos de Detecção	Índice de Detecção
		A	B	C		
Quase impossível	Certeza absoluta da não detecção.			x	Não pode detectar ou não é verificado.	10
Muito remota	Controles provavelmente não irão detectar.			x	Controle é alcançado somente com verificação aleatória ou indireta.	9
Remota	Controles têm pouca chance de detecção.			x	Controle é alcançado somente com inspeção visual.	8
Muito Baixa	Controles têm pouca chance de detecção.			x	Controle é alcançado somente com dupla inspeção visual.	7
Baixa	Controles podem detectar.		x	x	Controle é alcançado com métodos gráficos, tais como CEP (Controle Estatístico do Processo).	6
Moderada	Controles podem detectar.		x		Controle é baseado em medições por variáveis depois que as peças deixam a estação, ou em medições do tipo passa/não-passa feitas em 100% das peças depois que deixam a estação.	5
Moderadamente alta	Controles têm boas chances para detectar.	x	x		Detecção de erros em operações subsequentes, OU medições feitas na preparação de máquina e na verificação da primeira peça (somente para casos de preparação de máquina).	4
Alta	Controles têm boas chances para detectar.	x	x		Detecção de erros na estação, ou em operações subsequentes por múltiplos níveis de aceitação: fornecer, selecionar, instalar, verificar. Não pode aceitar peça discrepante.	3
Muito alta	Controles quase certamente detectarão.	x	x		Detecção de erros na estação (medição automática com dispositivo de parada automática). Não pode passar peça discrepante.	2
Quase certamente	Controles certamente detectarão.	x			Peças discrepantes não podem ser feitas porque o item foi feito a prova de erros pelo projeto do processo/produto.	1

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Para Palady (2004), a escala de detecção demonstra o nível de maturidade da organização perante aos seus processos e programas de qualidade e confiabilidade, portanto estes controles devem ser avaliados periodicamente.

Na Figura 12, será colocado o número identificado na escala de detecção.

Figura 12 – Coluna de Detecção na planilha de FMEA de Processo

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO									
FMEA: Data início: Equipe:		Nº.: Revisão:		Responsável: Preparado por:			Telefone:		
Função	Modo de falha	Efeito da falha	(S)	Classificação	Causa	Ocorrência	Controle do processo de prevenção	Controle do processo de detecção	Detecção
O que este processo tem que fazer?	Como este processo falha?	Qual impacto desta falha no produto final?		Quais os modos de falhas prioritários para avaliação da engenharia?	Quais são as causas que fazem esta falha ocorrer?	Qual a frequência do modo ou da causa da falha?	Quais são os controles atuais que impedem que o modo de falha ocorra?	Quais são os controles atuais que detectam que o modo de falha ocorra?	Qual a chance de detectar o modo de falha?

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

### 2.14.11 Número de Prioridade de Risco (NPR)

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), o NPR é calculado para priorizar as ações de melhoria do processo, sendo que neste cálculo considera-se resultado (R), severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), conforme a fórmula da equação 2:

$$R = S \times O \times D \quad (2)$$

Conforme Rosa e Garrafa (2009), pode-se observar que o risco pode variar de 1 à 1000, podendo apresentar até 120 resultados possíveis, sendo que a equipe deve concentrar esforços para os itens em que o NPR é maior. No entanto, Palady (2004) acredita que o NPR deve ser desconsiderado, pois pode desorientar a atenção da equipe, que poderá priorizar os problemas não muito importantes. Para o autor, deve-se trocar NPR por Graus de Prioridade de Riscos (GPR), onde a prioridade à investigação deve ser para o grau de severidade que apresenta um número igual ou maior que 9. Outro fator apontado pelo GPR, é que devem ser considerados altos índices de severidade e ocorrência. A Tabela 2, apresenta a utilização do NPR ou GPR.

Tabela 2 – Avaliação do NPR

Item	Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR
A	9	2	5	90
B	7	4	4	112

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Neste exemplo, observa-se o nível de atenção em NPR, item B, por ser o que contém maior valor no somatório. Porém, por análise de GPR, a atenção seria voltada para o item A, pois o número de severidade é 9, sendo considerado muito alto. Ou seja, para o autor deve-se levar em consideração todo o contexto, não apenas o resultado final.

O grau de atuação poderia ser feito através de um gráfico de correlação entre severidade e ocorrência, para ter certeza de qual atuação seria mais importante (ROSA; GARRAFA, 2009). O autor demonstra que nem sempre o NPR deve ser o adotado e sim o que oferece maior risco. A Tabela 3, apresenta em ordem decrescente os maiores NPR.

Tabela 3 – Ordens de NPR

Ordem	Modelo de falha/efeito	NPR
1	5a	60
2	5b	48
3	1a/1b	36
4	2b/24a/24b	27
5	1e	16

Fonte: Rosa e Garrafa (2009, p. 67).

A Tabela 4, apresenta as causas com os maiores risco e os respectivos efeitos de maior atenção.

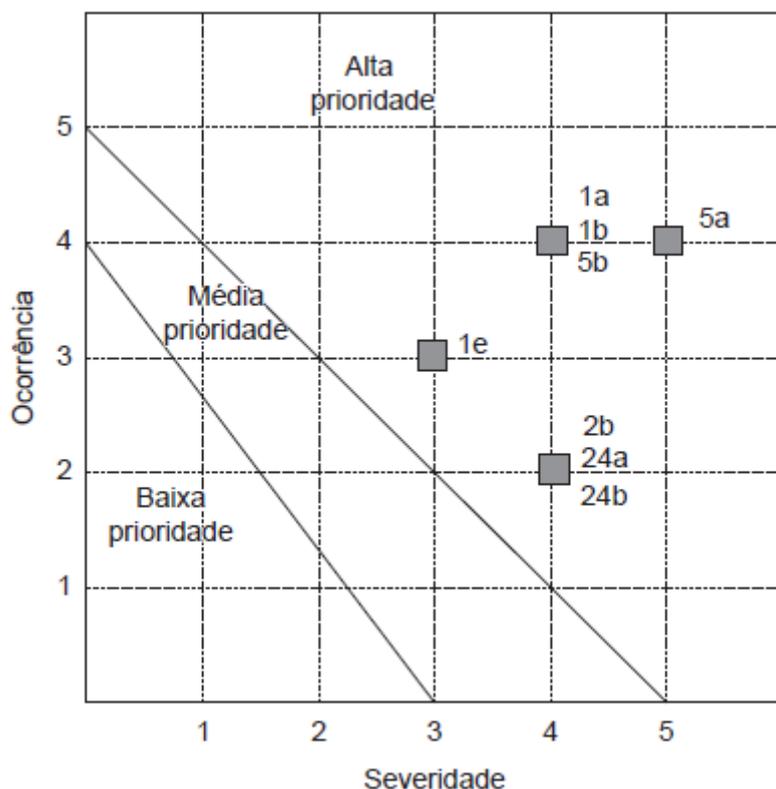
Tabela 4 – Principais causas

Causa e descrição		Modo de falha/efeitos							
		5a	1a	1b	5b	2b	24a	24b	1e
C1	Erro/negligência do responsável técnico		X	X		X	X	X	X
C2	Erro do operador		X	X		X	X	X	X
C12	Ocorrência de ventos fortes/chuvas	X			X				
C13	Erro de amostragem de colheita para verificação da amostragem de grãos		X	X		X			X
C16	Inadequado treinamento do operador		X	X		X	X	X	X
C24	Erro na leitura da umidade da amostra		X	X		X			X

Fonte: Rosa e Garrafa (2009, p. 68).

A Figura 13, demonstra o gráfico de relação entre ocorrência e severidade.

Figura 13 – Relação entre ocorrência e severidade



Fonte: Rosa e Garrafa (2009, p. 67).

Como pode-se observar, alguns itens obtiveram um NPR baixo, porém no gráfico apresentaram alta prioridade, por ter um índice alto de severidade ou ocorrência. Por isso, o autor afirma que o método NPR é importante para implementação da FMEA de Processo, mas outros fatores devem ser analisados antes das ações serem geradas, para a redução do impacto (ROSA; GARRAFA, 2009).

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), em muitos exemplos de FMEA o valor de risco NPR é = 80 ou 100, e a partir deste valor são geradas as ações de correção, entretanto, cada equipe deve determinar a sua linha de corte para gerar as ações.

#### 2.14.12 Ações recomendadas

Para Romeiro Filho (2010), as ações recomendadas devem ser registradas para eliminar ou reduzir a falha da gravidade. Uma vez que os modos de falha

tenham sido identificados e priorizados através do risco, as ações devem atacar os índices com maior risco. Indiferente do risco, as causas que afetam a segurança dos operadores devem ser eliminadas ou monitoradas por dispositivos de segurança (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Definir e escolher a melhor ação a ser utilizada para prevenir problemas potenciais e reduzir os custos, dependerá de como a equipe vai interpretar a ferramenta concluída (PALADY, 2004).

As ações recomendadas podem contemplar mudanças nos processos, novos controles e tecnologias, a intensificação de manutenções, mudanças de leiaute, etc. Intensificar ou aumentar os controles de detecção é caro, e não garante a melhoria de qualidade. O que pode garantir são as ações permanentes que reduzem as ocorrências de defeitos no processo, podendo na maioria das vezes, implicar em mudanças no Sistema de Garantia de Qualidade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

#### **2.14.13 Responsável e data**

Em geral, as atividades são realizadas pela equipe ou setor capacitado. No entanto, a recomendação é de que se tenha um profissional responsável pelo acompanhamento das tarefas, garantindo que sejam cumpridas até a data especificada no plano de ação (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

#### **2.14.14 Ações efetuadas**

Nas ações efetuadas, encontra-se a descrição das ações corretivas e melhorias que foram efetivamente implantadas, bem como, o preenchimento da data de conclusão da implantação. Nem sempre é possível realizar exatamente o que foi planejado na FMEA, e as vezes, em outros momentos, os envolvidos percebem melhorias que podem ser eficientes e vão além do recomendado inicialmente na FMEA. Em quaisquer um dos casos é importante registrar todas as ações realizadas, mantendo a atualização da FMEA em relação as modificações no processo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

#### **2.14.15 Risco resultante**

Após a identificação das ações corretivas, porém, antes de serem efetuadas, deve-se fazer uma estimativa da situação futura em relação a severidade, ocorrência e detecção. As ações elencadas devem influenciar uma ou mais parcelas, reduzindo o risco de forma suficiente para incluir a operação na condição de risco aceitável. Não sendo assim, as ações devem ser reformuladas de maneira que alcancem o efeito desejado (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Se nenhuma ação é prevista, as últimas colunas permanecem em branco. No final, após as ações realizadas serem registradas, os riscos resultantes devem ser novamente verificados e, se as ações adicionais forem consideradas fundamentais, deverão ser incluídas (CRUZ, 2009).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No presente capítulo são apresentados os métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho afim de alcançar os objetivos pré-estabelecidos, bem como apresentar o tipo de pesquisa com a utilização de um fluxograma para facilitar o entendimento de cada etapa do estudo.

#### 3.1 Método científico

Do ponto de vista da natureza, este trabalho apresenta uma pesquisa aplicada. Segundo Gil (2002), os conhecimentos adquiridos podem ser facilmente aplicados em um problema prático. Para Boaventura (2004), a pesquisa aplicada é clara e gera conhecimentos proveitosos para resolução de problemas concretos e lógicos.

O modo de abordagem, também ligado a natureza da pesquisa, é qualitativo e quantitativo. A pesquisa qualitativa busca encontrar o significado das situações que não tenham resultados absolutos, a partir do princípio do levantamento das hipóteses do estudo (GIL, 2009). Baseada na ideia de Chemin (2015), a pesquisa qualitativa, é uma pesquisa de valores, atitudes, motivação do público entrevistado e, tem como objetivo principal buscar um melhor detalhamento para compreensão dos assuntos, sem embasamento de dados estatísticos.

Miguel (2010), avalia que a forma de mensurar variáveis são características

do modo quantitativo, cujo objetivos são a busca dos dados e informações que possibilitem a definição de planos de ações que melhorem os resultados da organização.

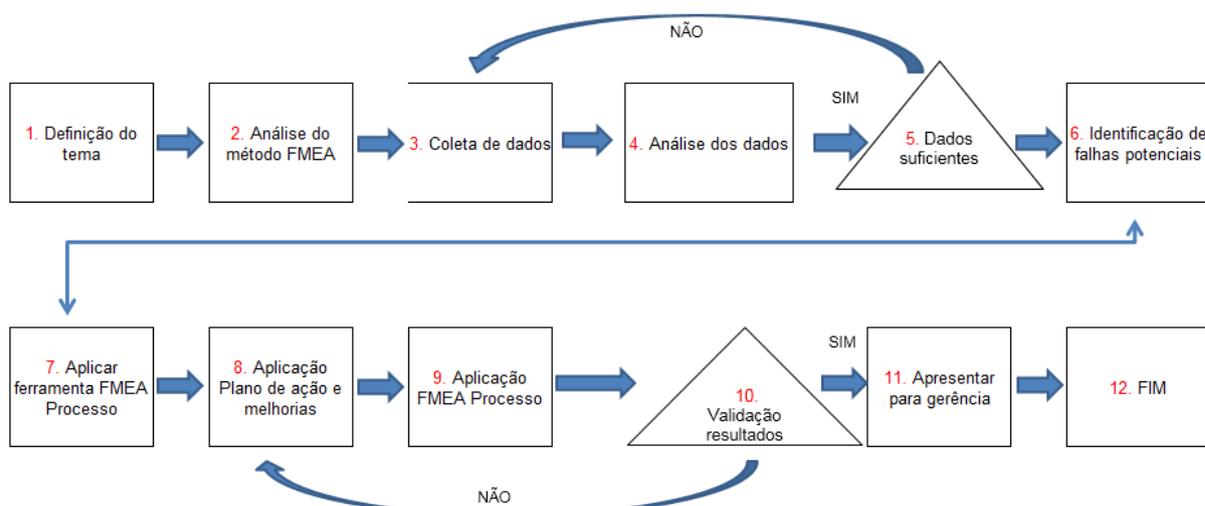
A atual pesquisa, segundo seu objetivo pode ser definida como exploratória, pois avaliou a aplicação da FMEA de Processo em uma empresa do ramo de bebidas. Conforme Gil (2010), esta pesquisa tem como finalidade buscar uma maior aproximação com o problema para torná-lo mais claro, facilitando a construção de hipótese e aprimorar pensamentos.

Para Yin e Grassi (2005), este tipo de pesquisa favorece a integração e a troca de experiência e um melhor entendimento do problema a ser investigado, afirmando que o problema geralmente está ligado as palavras 'o quê, qual, quais'.

Este trabalho pode ser classificado como estudo de caso e pesquisa bibliográfica. O estudo de caso, segundo Sampieri, Collado e Lucio (2006), necessita de uma exposição bem especificada das etapas do estudo, a partir do próprio caso e de todo o seu contexto. Da mesma forma, Chemin (2015) refere que o estudo de caso busca aprofundar os objetos visando o amplo e detalhado conhecimento, sendo que o mesmo problema de pesquisa pode ser estudado por um ou mais casos. Conforme Gil (2010), a pesquisa bibliográfica é embasada sob materiais já elaborados, onde inclui materiais impressos tais como, livros, jornais, revistas, teses, dissertações, anais de artigos científicos. Para Chemin (2015) a pesquisa bibliográfica é basicamente utilizada em trabalhos acadêmicos e são utilizados em todas as pesquisas.

Para um melhor entendimento da aplicação da ferramenta do FMEA de Processo, foi desenvolvido um fluxograma apresentado na Figura 14, no intuito de facilitar a compreensão em relação ao projeto.

Figura 14 – Fluxograma de apresentação do projeto



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

- Atividade 1: O tema FMEA de processo foi definido a partir da necessidade da organização em identificar os modos específicos de falhas, devido aos baixos resultados em eficiência de linha e descartes de produto que este equipamento apresentava na linha.
- Atividade 2: Nesta etapa foi nivelado o conhecimento sobre a ferramenta com a equipe (foram envolvidos os setores de produção, manutenção, segurança, meio ambiente e engenharia), com o objetivo de analisar o método FMEA e adequar essa ferramenta de acordo com a necessidade atual da empresa.
- Atividade 3: Identificar se os dados fornecidos pela empresa foram suficientes para a continuidade do estudo.
- Atividade 4: Os dados dos principais riscos do processo tais como: nível baixo, erro de aplicação de tampa, torque, °Brix e CO<sub>2</sub> fora dos padrões serão levantados juntamente com o controle de qualidade.
- Atividade 5: É realizada somente se houver a necessidade de uma nova coleta. A aprovação será de responsabilidade do Coordenador de Manutenção e do autor, através do registro de paradas da máquina.
- Atividade 6: Identificar as falhas potenciais dos componentes que são geradores de descartes ou reclamações de clientes.

- Atividade 7: Aplicar a ferramenta FMEA para analisar as possíveis causas das falhas na enchedora, e propor melhorias e planos de ação, afim de se obter diversas perspectivas que viriam a facilitar a solução dos problemas.
- Atividade 8: Com a ajuda da ferramenta *5W2H*, conhecida também como Espinha de Peixe ou *Ishikawa*, foram realizadas melhorias para eliminar ou reduzir a severidade das falhas potenciais encontradas no FMEA.
- Atividade 9: A partir das estratégias baseadas nos planos de ação, aplicar o FMEA de processo com a equipe que acompanhou a primeira aplicação da ferramenta e ainda verificar se as ações foram efetivas.
- Atividade 10: A validação dos resultados foi apresentada pelo acompanhamento da redução do número de reclamações da linha e pela planilha de descarte de produto, que é gerenciada pelo setor de meio ambiente. Caso o resultado não seja satisfatório, deve-se retornar aos planos de ação da atividade 8, reformulando-os e recomeçando a partir deste ponto.
- Atividade 11: Se aprovados, os dados foram apresentados para a gerência industrial e difundidos aos demais equipamentos da linha de envase.
- Atividade 12: Após apresentação para gerência e, com os resultados satisfatórios, o projeto FMEA de processo foi finalizado.

## **4 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA**

O presente capítulo apresenta a empresa onde o trabalho foi desenvolvido, sendo evidenciado de maneira objetiva o ramo de atividade, bem como os dados da organização.

### **4.1 A empresa**

A Bebidas Fruki S/A é uma empresa de origem familiar, fundada em 1924, na cidade de Arroio do Meio, inicialmente com a produção de refrigerantes e cervejas. Atualmente a empresa está situada às margens da BR 386, KM 346, em Lajeado (RS), tendo como atividade principal a produção de bebidas não alcoólicas. Presente no estado gaúcho e em algumas regiões de Santa Catarina, a empresa é a terceira maior fabricante de refrigerantes no Rio Grande do Sul, segundo Nielsen (empresa especializada no setor - 2015), e a primeira em refrigerante sabor guaraná. A marca consolidada Fruki Guaraná é a primeira de vendas no segmento de água mineral, esta com a marca Água da Pedra.

Seu parque industrial está distribuído em uma área de 25 mil m<sup>2</sup> no município de Lajeado - RS com uma produção aproximada de 420 milhões de litros de bebidas por ano, a empresa conta com sete linhas de produção automatizadas, com equipamento de ponta e tecnologia de última geração. Para garantir a qualidade e segurança em seus processos, e, conseqüentemente, nos seus produtos, conta com ferramentas que auxiliam nestes controles, dentre elas, se

destacam: BPF (Boas Práticas de Fabricação); APPCC (Análise dos Perigos e Pontos Críticos de Controle); PAS (Programa Alimento Seguro); Programa de Tecnologias Limpas; MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade); TPM (*Total Productive Maintenance*).

Os refrigerantes são conhecidos pela marca FRUKI, a água mineral pela marca ÁGUA da PEDRA e os repositores energéticos pela marca FRUKITO. Este ano a empresa lançou a marca ELEV, para o energético e a marca COM TEM, para a linha de sucos naturais. A Bebidas Fruki conta com cinco centros de distribuição (Lajeado, Canoas, Pelotas, Caxias e Santo Ângelo) estrategicamente definidos com intuito de melhor atender seus clientes.

A empresa é composta por aproximadamente 900 profissionais, distribuídos nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A organização se destaca por sua gestão, sendo reconhecida por premiações no PGQP (Programa Gaúcho de Qualidade e Produtividade), com troféus Bronze, Prata e Ouro. Na Figura 15, visualiza-se a empresa através da imagem aérea da área ocupada, permitindo uma melhor percepção da sua estrutura física.

Figura 15 – Vista aérea da empresa



Fonte: Bebidas Fruki S.A. (2017).

## 5 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta o desenvolvimento, juntamente com a linha de pesquisa em que foi realizado o trabalho. Este estudo de caso apresenta a aplicação da ferramenta FMEA de processo para melhorar a confiabilidade no desempenho, qualitativo e quantitativo de uma máquina de envase de refrigerantes.

O capítulo irá apresentar os principais processos de envase, onde inicialmente, será apresentado como se prepara o xarope e, conseqüentemente, o refrigerante. Finalizando com explicação do processo produtivo de refrigerantes em garrafas de 600mL.

### 5.1 Sistema de fabricação do xarope e do refrigerante

A fabricação do xarope simples (mistura de água mais açúcar) é a base para todos os tipos de refrigerantes. A partir desta etapa são adicionados, os ingredientes que dão a cor, sabor, acidez. Nesta etapa também ocorre (quando necessário) a adição dos sucos naturais. Após a adição de todos estes itens, o xarope simples passa a ser chamado de xarope composto, pois já está pronto para ser enviado para as linhas de produção (ESTEVES; MOURA, 2010).

Este xarope chega na linha de produção através do equipamento denominado *mixer*. Este equipamento tem a função de fazer a diluição do xarope composto com água. Na sequência esta mistura passa para um trocador de calor que tem como

finalidade resfriar a bebida de 20°C em média para 4°C. Este resfriamento é necessário para realização da etapa de carbonatação (injeção de CO<sub>2</sub>) na bebida.

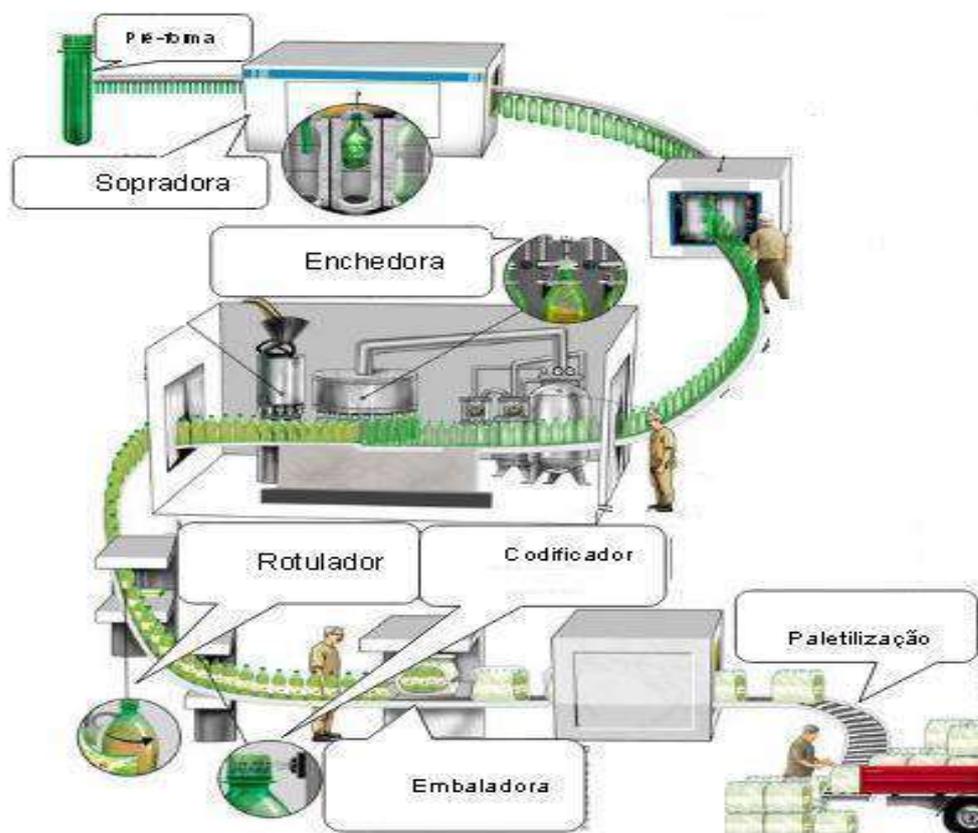
Após o refrigerante ser carbonatado, ele deixa o *mixer* e é transportada (por uma bomba) para a enchedora.

## 5.2 Descrição do processo de produção de refrigerantes

A ferramenta FMEA de processo foi realizado na linha Citrus, com capacidade produtiva de 8000 garrafas por hora, em um turno único de 8 horas. Nesta linha, são produzidos sete sabores de refrigerantes nas embalagens 600ml (Guaraná, Limão, Laranja, Uva, Cola, Guaraná Light e Cola Ligth) e água mineral na embalagem 1,5L.

Conforme pode ser observado na Figura 16, esta linha é composta por 5 equipamentos, cada um deles com uma função específica para o processamento.

Figura 16 – Definição de operações realizadas na linha citrus



Fonte: Cruz (2012).

Sopradora: a matéria prima das embalagens, chamada de Politereftalato de Etileno (PET), chega até a sopradora em caixas padronizadas, já em formato de pré-formas. Para se transformar em garrafa, essas pré-formas passam por um forno de lâmpadas incandescentes que aquecem à 120°C. Em seguida, esta pré-forma quente é transferida para o interior de um molde, onde sofre o estiramento por uma haste e em seguida um pré-sopro, deixando em formato de um balão. Por fim, recebe uma pressão de ar de 28 bar, para que a embalagem possa inflar, e assim, dar o formato a embalagem. Saindo da sopradora as garrafas são encaminhadas para a enchedora por um transporte aéreo pneumático.

Enchedora: Ao chegar na enchedora, as embalagens sofrem um processo de enxague, denominado rinsagem. A partir desta sanitização, é feito o envase por válvulas de enchimento à uma temperatura em média de 4°C, que enchem até um determinado nível, no caso deste equipamento 600mL. Após estarem cheias, é realizada a aplicação da tampa por um capsulador. Neste momento, as embalagens são encaminhadas por uma esteiras até a rotuladora.

Rotuladora: A garrafa entra na máquina e em seguida é realizada a aplicação da cola na mesma, através de um rolo. Ocorrendo simultaneamente a aplicação do rótulo. Esta aplicação é feita, a partir de uma estrela que faz um giro no sentido horário para que o rótulo possa envolver a garrafa. Esta segue para o codificador.

Codificador: É o responsável por fazer a impressão da data de fabricação e lote na embalagem, servindo de informação para o cliente e para a empresa como forma de rastreabilidade do produto. Em seguida a garrafa segue para a embaladora.

Embaladora: É responsável por fazer o agrupamento das embalagens (em 12 unidades para refrigerantes e 6 unidades para água mineral). Após essa junção, adiciona-se um filme que envolve as embalagens antes de entrarem no forno de aquecimento à 220°C, que tem como função fazer o encolhimento do filme e deixá-lo com o formato de pacotes, para facilitar o transporte.

Após a etapa de empacotamento, estes pacotes são conduzidos por esteiras para a paletização. Neste setor, ocorre o empilhamento manual destes fardos em paletes que posteriormente serão destinados ao estoque de produtos acabados.

O desenvolvimento deste trabalho, foi realizado exclusivamente na Enchedora Citrus. O envase deste equipamento é do tipo isobarmétrico, ou seja, por equiparação de pressões entre a cuba de envase e a garrafa, onde o produto começa a escoar pelas paredes da garrafa devido à gravidade.

### **5.3 Aplicação da ferramenta FMEA de processo para aumentar a confiabilidade no sistema de envase**

As etapas do método FMEA de processo, assim como as técnicas e ferramentas utilizadas em cada fase da realização do projeto de melhoria, são expostas a seguir.

#### **5.3.1 Definição do projeto**

O primeiro passo para iniciar o estudo da ferramenta FMEA, foi a definição da equipe para assim estipular quais seriam as metas do projeto e quais os impactos deste projeto no ambiente de trabalho. A equipe foi composta por 8 integrantes de diversas áreas (Coordenador de Produção e Manutenção, Supervisor de Produção, Qualidade e Manutenção, Operador Técnico, Analista de Meio Ambiente e Operador da Máquina). Todos os envolvidos receberam o escopo através do Supervisor de Produção (o autor desse trabalho). Primeiramente, foi realizada uma reunião com todos os integrantes, onde foram unificadas as informações sobre a ferramenta, bem como os objetivos para sua aplicação.

Neste momento, definiu-se reuniões semanais para a equipe analisar as coletas de dados e fazer um mapeamento dos mesmos, criando uma matriz de priorização para o gerenciamento dos riscos, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Matriz de priorização de riscos

<b>Esforço</b>	<b>Impacto</b>
<b>Alto:</b> Fora da indústria Falta de gerenciamento dos processos	<b>Alto:</b> Reclamações de clientes importantes Infrações, <i>Recall</i> , interdições
<b>Médio:</b> Fora da indústria Falta de gerenciamento dos processos	<b>Médio:</b> Reclamações rotineiras de clientes Notificações, descarte de produtos.
<b>Baixo:</b> Fora da indústria Falta de gerenciamento dos processos	<b>Baixo:</b> Problemas internos de qualidade sem descarte de produto. Desvio de qualidade

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Através deste mapeamento foram levantados os principais pontos onde ocorriam os problemas nos processos de qualidade e ineficiência, sendo estes elencados abaixo.

- Descarte de produto; **Esforço alto/Impacto médio.**
- Ineficiência de linha; **Esforço alto/Impacto alto.**
- Custo elevado de manutenção; **Esforço alto/Impacto baixo.**
- Reclamações de clientes. **Esforço alto/Impacto médio.**

Os itens citados acima foram gerados por falhas potenciais de alguns componentes do equipamento, não garantindo confiabilidade ao processo e assim, tornando-se uma linha de produção instável.

### 5.3.2 Aplicação da FMEA de processo e identificação dos modos de falhas

Após a capacitação de todos os componentes da equipe multifuncional e verificação do conhecimento dos mesmos sobre a ferramenta FMEA, a mesma foi aplicada no equipamento conforme apêndice A. Foram analisados os NPR's de cada modo de falha, sendo identificados e priorizados os que apresentavam maiores riscos à qualidade do processo. Algumas bibliografias indicam a importância de dar atenção aos NPR's acima de 90. Neste projeto, a equipe adotou os NPR's acima de 120.

Abaixo são demonstrados os modos de falhas mais significativos para o processo.

- Realizar mistura fora dos parâmetros de °Brix;
- Torque fora do padrão;
- Residual de borracha ou peças de inox;
- Má aplicação da tampa;
- Ângulo fora do padrão;
- Oscilação de nível;
- Falta de água.

### 5.3.3 Análises dos principais NPRs do processo

Para iniciar a análise de FMEA é necessário a elaboração de uma planilha em formato Excel, onde as etapas são descritas. Serão apresentados os dois principais NPRs para um melhor entendimento da aplicação da ferramenta, sendo os demais apresentados nos apêndices A (FMEA sem os planos de ação) e B (FMEA com os planos de ação e NPR recalculados).

**Cabeçalho:** constam as informações do componente, início do projeto, os responsáveis e também a equipe participante. Em seguida as colunas serão avaliados os itens que apresentaram maior criticidade, sendo cada uma com a sua função já pré-estabelecida.

**Item:** os itens avaliados foram o misturador e a válvula de enchimento, nomes utilizados para estes componentes.

**Função do processo:** o misturador tem como função fazer a mistura da água e do xarope, de acordo com o padrão especificado. As válvulas de enchimento tem como função fazer o enchimento correto das embalagens.

**Modo de falha potencial:** o misturador pode fazer a mistura de água e de

xarope fora dos parâmetros de °Brix. As válvulas podem apresentar desgastes nas borrachas ou nas partes de inox.

**Efeito potencial da falha:** misturador apresentar °Brix abaixo do especificado por sabor. As falhas das válvulas podem ser as borrachas dentro da embalagem.

**Severidade:** a equipe avaliou o nível de severidade da falha em relação à mistura fora dos parâmetros. Esta falha pode impactar diretamente na qualidade do produto, o que explica o motivo de ter sido utilizado o valor 8. Em relação à válvula de enchimento o grau de severidade é maior, sendo considerado de nível 9. Isso porque além do risco de qualidade existe o de segurança, devido as fagulhas de borrachas ou inox poderem ser ingeridas.

**Classificação:** ambas impactam na qualidade e no meio ambiente.

**Causas das falhas:** ambas geram descartes de produtos e reclamações de clientes.

**Ocorrência:** a equipe avaliou o índice de ocorrência, analisando quantas eram identificadas a cada três mês. Algumas literaturas utilizam este índice por um número de peças produzidas para definir a escala. Outras, no entanto, dizem que a organização deve escolher e adequar o melhor índice de escala para o seu processo.

**Controles atuais de prevenção:** no caso do item misturador não há controle. Já para as válvulas de enchimento, acontecem as trocas anuais das vedações.

**Controles atuais de detecção:** para o misturador existe a análise do controle de qualidade a cada 30 minutos, mas para as válvulas não há controles.

**Detecção:** para ambos os itens, os níveis de detecção ficaram 7 e 8 respectivamente, pois são poucas as chances de serem identificados.

**NPR:** para Fogliatto e Ribeiro (2009), o NPR é calculado para priorizar as ações de melhoria do processo, sendo que neste cálculo considera-se a severidade (S), a ocorrência (O) e detecção (D), conforme a fórmula da equação 3:

$$R = S \times O \times D \quad (3)$$

No caso do misturador o valor de NPR (NPR inicial – antes do plano de ação) era de:

$$R = 8 \times 7 \times 7 = 392$$

Para o valor de severidade foi definido o nível 8, pois conforme a literatura, quando o produto, no caso o refrigerante, pode sofrer perda total da batelada do tanque, o efeito é considerado muito alto. Para a ocorrência, a literatura geralmente trabalha com níveis de taxas de falhas possíveis. Porém, autores como Palady (2004), sugerem que a organização adote sua própria metodologia. Desta forma, a empresa definiu adotar o número de falhas que ocorresse em um período de três meses. Para o nível de detecção foi atribuído o índice 7. De acordo com a literatura, os controles atuais possuíam reduzidas chances de detectar a falha por °Brix baixo.

E para as válvulas de enchimento:

$$R = 9 \times 3 \times 8 = 216$$

Para o valor de severidade foi definido o nível 9, pois conforme a literatura, quando o produto, no caso o refrigerante, pode impactar a segurança do consumidor e conseqüentemente ocasionar problemas com legislação governamental, o efeito é considerado perigoso com aviso prévio. Para a ocorrência foi definido o nível 3, de acordo com o período avaliado. Para a detecção, foi atribuído o nível 8. De acordo, a literatura, os controles atuais possuem reduzidas chances de detectar a falha de materiais físicos na embalagem.

**Ações recomendadas:** a partir do valor de NPR a equipe multifuncional sugeriu melhorias para a redução deste índice.

Misturador:

- Instalação de um analisador online.
- Instalação de um inversor na bomba para controle de vazão da bomba.
- Tanque pulmão para produtos não conforme.

Válvulas de enchimento:

- Atualização do plano de manutenção para a troca de vedações a cada seis meses.

- Qualificação dos fornecedores.

**Responsável:** as ações foram direcionadas ao Supervisor de Manutenção e ao Analista de manutenção.

**Ações tomadas:** a partir das ações sugeridas pela equipe, foi realizada uma discussão entre os envolvidos para verificar quais ações teriam o melhor custo/benefício para a organização. Para o misturador foram tomadas as seguintes ações:

- Instalação de um analisador *online*.

- Instalação de um inversor na bomba, para controle de vazão da bomba.

Para as válvulas de enchimento:

- Atualização do plano de manutenção para troca de vedações a cada seis meses.

- Qualificação dos fornecedores.

**Resultados das ações:**

Com a aplicação das ações, os resultados de NPRs reduziram. Para o misturador as ações reduziram o nível de detecção, onde o valor era 7 e após diminuiu para 2. Esta redução se deve a instalação de um analisador *online* e de um inversor de frequência na bomba de xarope. Estes equipamentos fazem a leitura instantânea do °Brix do refrigerante. Quando a leitura dos parâmetros é desviada, o analisador tem a ação de parar a bomba de envio de xarope, gerando o mínimo possível de produto não conforme. Com isso o nível de risco passou de 392 para 112 NPR.

No caso das válvulas de enchimento, as ações reduziram as ocorrências. Inicialmente o nível era 3 e passou para 1. Com a redução da periodicidade de troca das vedações e a qualificação dos fornecedores, o nível de ocorrência diminuiu.

Com isso, o nível de risco passou de 216 para 72 NPR. Para facilitar o entendimento, a Tabela 5, a seguir, demonstra uma forma resumida de como é feita a aplicação da ferramenta FMEA de Processo. Nesta tabela são apresentados os dois itens descritos acima. Os NPRs destacados em amarelo correspondem aos resultados antes das ações e os destacados em verde correspondem aos resultados após as ações.

Tabela 5 – Parte resumida no desenvolvimento de uma planilha FMEA

Apresentação de uma parte da planilha Fmea com o resultado de NPR antes e após as ações tomadas										
Item	S e v e r	O c o r r	D e t e c	N P R	Responsá vel	Resultado das ações				
						Ações tomadas	S e v e r	O c o r r	D e t e c	N P R
Misturador	8	7	7	392	1. Sup. Manutenção 2. Sup. Manutenção	1. Instalação de um analisador online. 2. Instalação de um inversor na bomba, para controle de vazão da bomba.	8	7	2	112
Válvula de enchimento	9	3	8	216	1. Analista Manutenção	1. Atualização do plano de manutenção para troca de vedações a cada seis meses. 2. Qualificação dos fornecedores	9	1	8	72

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

A partir desta tabela é possível verificar que a utilização de ações adequadas e o envolvimento de profissionais que conheçam o processo, possibilita a obtenção de resultados positivos ao componente.

Observações: Vale ressaltar que a utilização de níveis de severidade e detecção, foram embasados nas reuniões de consenso para validar o valor que cada componente deveria ter.

### 5.3.4 Ações tomadas a partir da elaboração do FMEA de processo

No apêndice B pode-se observar que, os membros da equipe multifuncional sugeriram ações que poderiam ser tomadas. A partir destas ações, foram definidas as que seriam implantadas no equipamento. Algumas ações podem ser observadas abaixo.

#### 5.3.4.1 Realizar mistura fora dos parâmetros de °Brix

Nesta etapa do processo, conforme Figura 17, foi adicionado um inversor (III) de frequência, na bomba (II), que faz o envio de água para mistura. Anteriormente, trabalhava-se com uma alta rotação, fazendo com que o medidor de nível perdesse o controle e, conseqüentemente, alterasse os parâmetros de dosagem.

De forma a mitigar os descartes dos produtos à nível zero, foi adquirido um analisador *online* (I), para medir o °Brix e CO<sub>2</sub>. Caso ocorram oscilações de medidas nos parâmetros estipulados, este equipamento interrompe o sistema de preparação de xarope (*Mixer*).

Figura 17 – Equipamentos que foram adicionados ao sistema



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

#### 5.3.4.2 Torque fora do padrão, má aplicação da tampa e ângulo fora do padrão

Foi definida a troca trimestral dos insertos (FIGURA 18), que fazem o travamento da garrafa para aplicar a tampa, pois ocorriam desgastes, devido à alta carga de pressão. Desta forma, não ocorria o travamento e, conseqüentemente, o ângulo e torque de aplicação ficavam fora dos limites de trabalho. Esta atividade foi atualizada no plano de TPM da máquina. Foi definida a realização de manutenção preventiva anual no tampador, onde serão trocados rolamentos e eixos dos cabeçotes.

Além disso, foi realizada uma reunião com o fornecedor de tampas, definindo em contrato, que serão realizadas visitas trimestrais, por técnicos capacitados na parte mecânica do tampador, cujo objetivo é analisar o comportamento da tampa, bem como, do equipamento.

Figura 18 – Inseto que serve para fazer o travamento da garrafa



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

#### 5.3.4.3 Residual de borracha ou peças de inox

Foi atualizado o plano de manutenção para troca de vedações semestrais, bem como, realizada uma homologação de fornecedores aptos a disponibilizarem estes itens. Conforme a Figura 19, pode ser observado os diferentes tipos de materiais que impactavam no processo.

Figura 19 – Diferentes tipos de materiais, que geravam danificação no componente



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Para garantir uma maior confiabilidade neste processo, foi acrescentado mediante aprovação da direção para o orçamento de 2018, um inspetor de metais que será instalado na saída da máquina, o mesmo já existente em outra linha de produção e pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 – Inspetor de metais instalado em outra linha da empresa



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

#### 5.3.4.4 Oscilação de nível e falta de água

Foi realizada a troca trimestral dos pinos de controle de nível da cuba de xarope e água, vide Figura 21. Estes pinos ficavam tortos e não realizavam o acionamento correto. Esta troca foi também acrescentada no plano de manutenção, pois não havia o controle desta atividade. O mesmo possui um baixo custo para a

sua substituição, entretanto, uma falha ocasionada por este componente poderá à implicar em altos custos para a empresa.

Foram criadas inspeções bimestrais nos eletrodos de controle da cuba do *mixer*, para identificação de possíveis falhas elétricas de acionamento. É importante ressaltar que as ações acima citadas: como, o analisador *online* e o inversor na bomba, contribuíram para o bom desempenho destes componentes.

Figura 21 – Suporte onde pino fica acoplado e cuba de nível de xarope e água, onde estão acondicionados eletrodos.

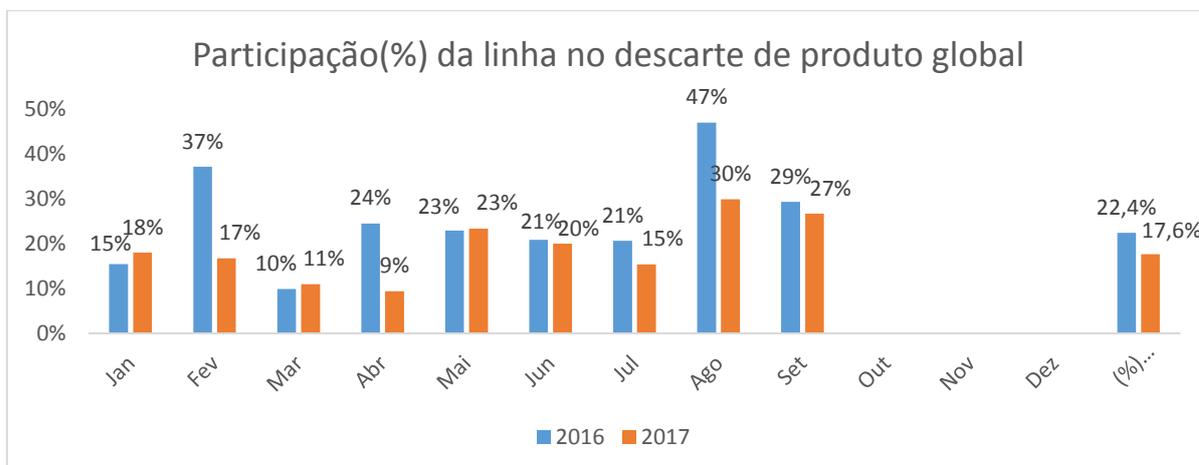


Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

#### 5.4 Resultados alcançados com a aplicação da FMEA de Processo

No Gráfico 1, pode ser observada a participação de descarte da linha. Mesmo com o aumento da produção, o resultado de participação global reduziu em 4,8% em relação ao ano de 2016.

Gráfico 1 – Participação da linha no descarte líquido global

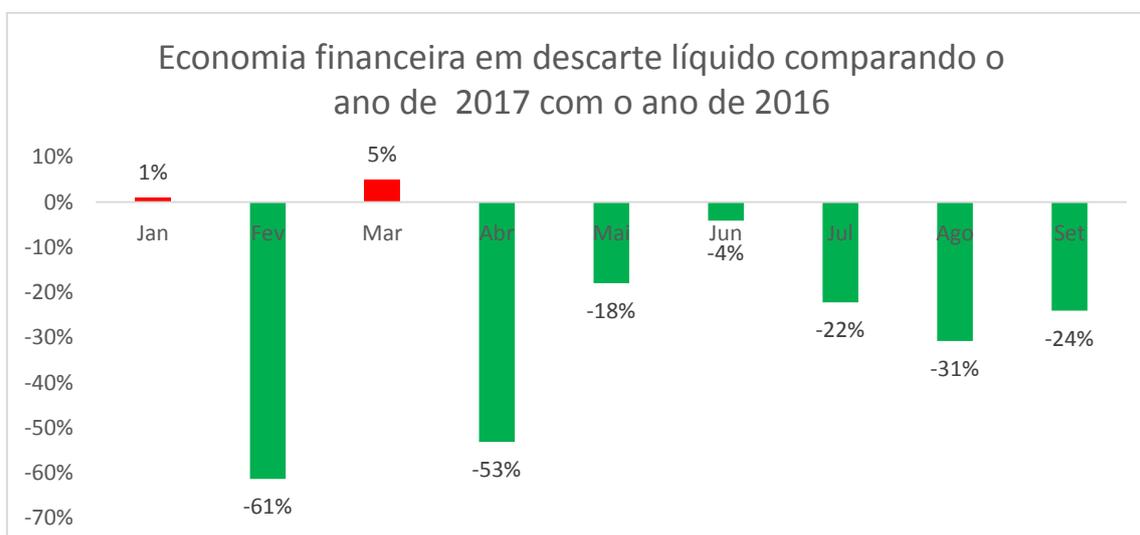


Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Comparando-se ao ano de 2016, é importante ressaltar que os resultados referentes a participação de descarte da linha foram satisfatórios a partir das melhorias implantadas em junho deste ano. Caso a participação de descarte fosse analisada somente nos meses de junho a setembro de 2017, haveria uma redução de 6% em relação ao ano anterior.

A participação financeira global da linha, em descarte de produto se manteve em 28% até o mês de setembro de 2017, uma vez que as demais linhas também reduziram seus descartes através de melhorias no processo. Neste gráfico, foram comparados os custos com descartes até os meses de setembro de 2016 e 2017 e apresentados em porcentagem. Os valores negativos significam as economias em cada mês em relação aos meses de 2016.

Gráfico 2 – Custo financeiro em relação ao descarte nos anos de 2016 e 2017



Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

Os dados acima demonstram a importância da aplicação da ferramenta, pois obteve-se uma grande economia financeira. No período de implantação do projeto (junho à setembro de 2017) essa economia foi de aproximadamente 22%. Vale ressaltar que o custo para o tratamento de efluentes não foi levado em consideração, assim como os impostos sobre o produto.

Outro ponto a ser observado, foi a produtividade da linha que em 2017 obteve um aumento de 16,61% em relação à 2016. Sabe-se que houveram outras melhorias na linha que contribuíram para gerar este resultado positivo, porém a implantação deste trabalho, gerou uma redução de 20 horas de paradas na enchedora, devido aos problemas que foram tratados na implantação do FMEA de Processo.

Comparando-se os meses de junho à setembro de 2017, ao mesmo período do ano anterior, houve um crescimento de 21% em produtividade, demonstrando que a aplicação desta ferramenta foi muito importante para o desempenho da linha de envase.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em busca da estabilidade no mercado e a garantia da qualidade, segurança, e satisfação dos consumidores, uma organização deve assegurar seus processos internos ou serviços prestados, através da adoção de um Sistema de Gestão da Qualidade.

Em virtude disso, a aplicação de ferramentas como a FMEA possibilita que as não conformidades possam ser identificadas antes de chegarem ao cliente interno ou externo.

A metodologia do projeto foi aplicar a FMEA de Processos em uma linha de refrigerantes, tendo como objetivo principal estudar e aplicar as técnicas desta ferramenta para a melhoria dos processos industriais. A escolha deste trabalho ocorreu devido ao alto custo gerado pelo desperdício de xarope e a baixa produtividade da linha de produção, motivada também pelas falhas potenciais que eram consideradas como falhas comuns, ou seja, que não possuíam planos de ações para minimizá-las ou reduzi-las.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a aplicação e os conceitos da ferramenta FMEA, possibilitando um melhor entendimento. A partir disso, a ferramenta foi aplicada, apresentando melhorias para o equipamento e como consequência houve o aumento da produtividade, a redução do descarte de produtos, a identificação das falhas potenciais através dos NPRs gerados na construção da planilha FMEA de Processos, bem como, o levantamento das ações para minimizar ou solucionar as falhas potenciais.

Os resultados obtidos com a aplicação desta ferramenta, impulsionaram investimentos acima de R\$ 200.000,00 na linha, com um *payback* estimado de quatro anos, o que indica que a metodologia utilizada foi adequada e satisfatória. Além disso, a aplicação da ferramenta contribuiu também com o aumento da disponibilidade do equipamento em aproximadamente 20 horas (entre junho e setembro de 2017), ou seja, houve uma redução significativa nas paradas da linha e como consequência, o aumento da confiabilidade do equipamento, gerando um aumento de 21% na produtividade no período da aplicação da ferramenta (entre junho e setembro de 2017). Outro fator relevante, que indica as melhorias obtidas com a aplicação da ferramenta, foi a redução no número de reclamações por parte dos consumidores. Mesmo que as reclamações dos clientes tenham sido avaliadas por um curto período de tempo, foi possível identificar que houve uma redução significativa (valores estes não divulgados pela organização), em relação as não conformidades que eram anteriormente apontadas.

Os resultados relacionados a redução financeira em descarte líquido também foram satisfatórios, visto que foi observada uma redução de 22% até o mês de setembro de 2017. A equipe envolvida no projeto, estima que até o final do ano de 2017 sejam reduzidos aproximadamente 35% em relação ao ano de 2016.

Com a aplicação da ferramenta, a equipe tornou-se mais motivada e engajada pela constante busca de melhorias nos processos, assim como nas suas atividades, tornando o ambiente de trabalho mais favorável.

Os resultados apresentados até o momento, demonstram que a metodologia aplicada para este problema foi satisfatória e será implantada em outros equipamentos do parque industrial da empresa.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE REFRIGERANTES E DE BEBIDAS NÃO ALCOOLICAS, ABIR. Disponível em: <<http://abir.org.br/o-setor/dados/refrigerantes/>> Acesso em: 04 fev. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAk3wAC/nbr5462>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

ASSOCIAÇÃO DOS FABRICANTES DE REFRIGERANTES DO BRASIL, AFEBRAS. Disponível em: <<http://afrebras.org.br/setor/bebidas-nao-alcoolicas/>>. Acesso em: 04 fev. 2017.

AGUIAR, Silvio. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2006.

ANTÓNIO, Nelson Santos; TEIXEIRA, António. **Gestão da qualidade**: de Deming ao modelo de excelência da EFQM. Lisboa: Edições Sílabo, 2007.

BENEDITTI, Julinho Alberto. **Manutenção Centrada em Confiabilidade e Análise de Vibração**. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3793>>. Acesso em: 09 fev. 2017.

BOAVENTURA, Edivaldo M. **Metodologia da pesquisa**: monografia, dissertação, tese. São Paulo: Atlas, 2004.

CABRAL, José Paulo Saraiva. **Organização e gestão da manutenção**. Lisboa: Lidel, 2006.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC**: controle da qualidade total (no estilo japonês). 5. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CATEN, C. T.; RIBEIRO, J. L.; FOGLIATTO, F.S. **Implantação do Controle Integrado de processos**. Revista Produto e Produção, no prelo, 1999.

CHEMIN, Beatris Francisca. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. ed. Lajeado: UNIVATES, 2015.

CRUZ, Simão Pedro Saimeiro. **Implementação de uma FMEA no caso de uma luminária**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Universidade de Aveiro. Aveiro. Disponível em: <<https://ria.ua.pt/handle/10773/1789>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

COUTO, Boanerges do Amaral; MARASH, I. R. **Gestão por processos em sistemas de gestão da qualidade: conceitos, métodos e ferramentas para a melhoria contínua**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. **Fundamentos da administração da produção**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DEEPAK, Prabhakar P.; JAGATHY, Dr. Raj V. P. **CBM, TPM, RCM and A-RCM - A Qualitative Comparison of Maintenance Management Strategies**. ISSN : 2230-9519 (Online) | ISSN : 2231-2463 (Print). IJMBS Vol. 4, Iss ue 3, July - Sept 2014. Disponível em: <<http://www.ijmbs.com/Vol4.3/8-Deepak-Prabhakar-P.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

DEMING, W. Edwards; AUBERT, Francis H.; KNUSE, Maria C. F. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

ESTEVEES, Edmilson Ferreira, and Leandro Souza Moura. **"Avaliação de desperdícios e perdas de matéria-prima no processo produtivo de uma fábrica de bebidas."** VII SEGeT (Simpósio de Excelência em Gestão e Tec.), 2010 .

FILHO, G. B. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2006.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

\_\_\_\_\_, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

\_\_\_\_\_, Antonio Carlos. **Estudo de caso: fundamentação científica, subsídios para coleta e análise de dados, como redigir o relatório**. São Paulo: Atlas, 2009.

GONÇALVES, Patrícia Raquel Rodrigues. **Aplicação da FMEA no desenvolvimento de novos produtos**. 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Universidade de Aveiro. Aveiro. Disponível em: <<http://ria.ua.pt/handle/10773/5335>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

HARRINGTON, James; LISKE, Luiz. **Aperfeiçoando processos empresariais**. São Paulo: Makron, 1993.

HRADESKY, John L.; SANTOS, Maria Claudia de O. **Aperfeiçoamento da qualidade e da produtividade**: guia prático para a implantação do Controle Estatístico de Processos - CEP. São Paulo: McGraw-Hill, 1989.

ISHIKAWA, Kaoru. **Controle de qualidade total**: à maneira japonesa. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

JURAN, J. M. **Controle de qualidade: componentes básicos da função qualidade**. São Paulo: McGraw-Hill/Makron, 1991.

LAFRAIA, João. **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro. Qualitymark: Petrobras, 2001.

LINS, Bernardo Felipe Estellita. **Breve história da engenharia da qualidade**. Cadernos Aslegis, 2000.

MARTINS, Claudinei Portella. **Aplicação da ferramenta FMEA no desenvolvimento do processo e cadastro de um produto rodoviário**. 2013. 83 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Unijui – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Panambi. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/1281>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MOURA, Cândido. Análise de modo e efeitos de falha potencial (FMEA). **Manual de Referência, IQA–Instituto da Qualidade Automotiva, Brasil**, 1997. Disponível em: <<http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/amario/Unidades%20Curriculares/Inova%C3%A7%C3%A3o/Textos%20apoio/FMEA.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

MOURA, Luciano Raizer. **Qualidade simplesmente total**: uma abordagem simples e prática da gestão da qualidade. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

NASCIF, J.; DORIGO, L. C. **Manutenção orientada para resultados**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

OLIVEIRA, Francisco de Paula. **Estratégia de manutenção: estrutura, ferramentas, benefícios/custos e melhoria contínua**. 2009. Disponível em: <<https://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v6n1/v6n1a3.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2017.

OLIVEIRA, Ualison Rebula de; PAIVA, Emerson José de; ALMEIDA, Dagoberto Alves de. **Metodologia integrada para mapeamento de falhas**: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas. Revista Produção, v. 20, n. 1, p. 77-91, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/prod/2010nahead/aop\\_200701003.pdf](http://www.scielo.br/pdf/prod/2010nahead/aop_200701003.pdf)>. Acesso em: 01 abr. 2017.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da Qualidade: Teoria e Prática**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

PALADY, Paul. **FMEA: análise dos modos de falha e efeitos : prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. 3. ed. São Paulo: IMAM, 2004.

PELLICIONE, André da Silva. [et,al.] colaboradores JAMBO, Hermano C. M. e SILVA, Paulo S. C. P. **Análise de falhas em equipamentos de processo: Mecanismos de danos e casos práticos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

PEREIRA, F. J; SENA, F. **Fiabilidade e sua aplicação à Manutenção**. Porto. Publindústria, 2012.

PEREIRA, Mario J. **Engenharia de Manutenção: teoria e prática**. Rio de Janeiro. Editora Ciência Moderna, 2009.

PINTO, Alan Kardec; Júlio de Aquino Nascif, BARONI, Tarcísio D'Aquino. **Gestão estratégica e técnicas preditivas**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

\_\_\_\_\_; XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

\_\_\_\_\_; et. al. **Gestão estratégica e Confiabilidade**. Rio de Janeiro. Qualitymark: ABRAMAN, 2002.

\_\_\_\_\_; LAFRAIA, João. **Gestão estratégica e técnicas preditivas**. Rio de Janeiro. Qualitymark: ABRAMAN, 2002.

PORTER, Michael E. **Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus; Elsevier, 2004.

PYZDEK, Thomas; KELLER, A. Paul. **Seis Sigmas: Guia do profissional, um guia completo para Green Belts, Black Belts e gerentes em todos os níveis**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011.

RAUSAND, M.; OIEN, K. **The basic concepts of failure analysis**. Reliability Engineering and System Safety, v. 53, n. 1, p. 73-83, 1996. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=DcbLBQAAQBAJ&pg=PA2122&dq=The+basic+concepts+of+failure+analysis.+RAUSAND,+M.%3B+OIEN,+K&hl=pt-BR&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=The%20basic%20concepts%20of%20failure%20analysis.%20RAUSAND%2C%20M.%3B%20OIEN%2C%20K&f=false](https://books.google.com.br/books?id=DcbLBQAAQBAJ&pg=PA2122&dq=The+basic+concepts+of+failure+analysis.+RAUSAND,+M.%3B+OIEN,+K&hl=pt-BR&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=The%20basic%20concepts%20of%20failure%20analysis.%20RAUSAND%2C%20M.%3B%20OIEN%2C%20K&f=false)>. Acesso em: 15 mar. 2017.

RECCHIA, Wania Maria et al. **Aplicação da metodologia FMEA na gestão de risco no planejamento estratégico da UFSCar**. 2016. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/8422>>. Acesso em: 19 mar. 2017.

ROMEIRO FILHO, Eduardo (Coord). **Projeto do produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

ROSA, Leandro Cantorski da.; GARRAFA, Marcos. **Análise dos modos de falha e efeitos na otimização dos fatores de produção no cultivo agrícola:** subprocesso colheita da canola. *Gestão & Produção*, v. 16, n. 1, p. 63-73, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v16n1/v16n1a07>>. Acesso em: 21 abr. 2017.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, Pilar Baptista. **Metodologia de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

SELLITTO, Miguel Afonso. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. *Revista Produção*, v. 15, n. 1, p. 44-59, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/prod/v15n1/n1a04.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

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

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

\_\_\_\_\_, et al. **Administração da produção:** edição compacta. São Paulo: Atlas, 1999. p.477-498.

TAKAHASHI, Yoshikazu; OSADA, Takashi. **TPM/MPT: Manutenção produtiva total**. São Paulo: Instituto IMAM, 1993.

XENOS, Harilaus Georgius D'Philippous. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

YIN, Robert K.; GRASSI, Daniel. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=XP7ICQAAQBAJ&pg=PA193&dq=YIN,+Robert+K.%3B+GRASSI,+Daniel.+Estudo+de+caso:+planejamento+e+m%C3%A9todos.+3.+ed.+Porto+Alegre:+Bookman,+2005&hl=pt-BR&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=YIN%20Robert%20K.%3B%20GRASSI%20Daniel.%20Estudo%20de%20caso%3A%20planejamento%20e%20m%C3%A9todos.%203.%20ed.%20Porto%20Alegre%3A%20Bookman%2C%202005&f=false](https://books.google.com.br/books?id=XP7ICQAAQBAJ&pg=PA193&dq=YIN,+Robert+K.%3B+GRASSI,+Daniel.+Estudo+de+caso:+planejamento+e+m%C3%A9todos.+3.+ed.+Porto+Alegre:+Bookman,+2005&hl=pt-BR&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=YIN%20Robert%20K.%3B%20GRASSI%20Daniel.%20Estudo%20de%20caso%3A%20planejamento%20e%20m%C3%A9todos.%203.%20ed.%20Porto%20Alegre%3A%20Bookman%2C%202005&f=false)>. Acesso em: 31 mar. 2017.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial – FMEA de Processo

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO																		
FMEA: Enchedora Citrus			Nº: 1			Responsável: Ricardo Souza												
Data início: 01/06/17			Revis 1			Preparado por: Ricardo Souza												
Equipe: Ricardo, Mateus, Leonardo, Rodrigo, Dieison, Lucas, Ramon, Jonas																		
Item	Função do Processo	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	S e v e r	C l a s s	Causas e Mecanismos potenciais de falha	O c o r r	Controles atuais do processo de prevenção	Controles atuais do processo de detecção	D e t e c	N P R	Ações recomendadas	Responsável	Resultado das ações				
														Ações tomadas	S e v e r	O c o r r	D e t e c	N P R
Trocador de calor	Resfriar a bebida entre 1°C à 8°C	Temperatura alta	Bebida espumando	7	Qualidade	Nível Baixo	1	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	5	35					0		
				7	Qualidade	Garrafas melecadas	1	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	5	35					0		
		Falta de fluxo de bebida	Oscila nível da bebida na cuba de mistura	8	Qualidade	CO2 abaixo do especificado por sabor	1	Não há controle	Não há controle	7	56					0		
				8	Qualidade	°Brix abaixo do especificado por sabor	1	Não há controle	Não há controle	7	56					0		
Desaerador	Remover oxigênio da água	Incorporação de oxigênio na bebida	Dificuldade de injetar CO2	3	Qualidade	CO2 abaixo do especificado por sabor	1	Não há controle	Não há controle	3	9					0		
			Bebida espumando	5	Qualidade	Garrafas melecadas	3	Não há controle	Não há controle	7	105					0		
				5	Qualidade/Meio ambiente	Nível Baixo	3	Não há controle	Não há controle	7	105					0		

(Continua...)

(...Continuação.)

Misturador	Misturar água e xarope dentro do padrão especificado	Fazer a mistura fora dos parâmetros de °Brix	°Brix abaixo do especificado por sabor	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	7	Não há controle	Análise do Controle de qualidade a cada 30 min.	7	392							0
Bomba do misturador	Levar produto para carbonatador	Falta de bebida no carbonatador	Variação de °Brix	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	1	Inspeções elétricas e mecânicas trimestrais	Não há controle	8	64							0
			Nível Baixo	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	1	Inspeções elétricas e mecânicas trimestrais	Não há controle	8	64							0
Bomba do desaerador	Manter nível da cuba da água	Falta de água	Variação de °Brix	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	4	Inspeções elétricas e mecânicas trimestrais	Não há controle	5	160							0
			Mixer entra em oscilação lig/desl	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	4	Inspeções elétricas e mecânicas trimestrais	Não há controle	2	64							0
Cuba de Xarope	Manter nível ideal para misturador	Oscilação de nível	Variação de °Brix	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	6	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	3	144	Inspeções nos eletrodos de nível trimestrais						0

(Continua...)

(...Continuação.)

Cuba de água	Manter nível ideal para misturador	Oscilação de nível	Variação de °Brix	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	8	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	3	192	Inspeções nos eletrodos de nível trimestral							0
Carbonatador	Injeção de CO2 na bebida	Fazer injeção de CO2 fora dos parâmetros	CO2 fora dos parâmetros	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	2	Troca de vedações anuais	Análise do Controle de qualidade a cada 30 min.	7	112								0
				8	Qualidade/Medio ambiente	Garrafas espumando, devido a CO2 alto	2	Troca de vedações anuais	Análise do Controle de qualidade a cada 30 min.	7	112								
Sistemas de ar esterelizado	Manter pressão da cuba entre (5 bar à 6,5 bar)	Pressão abaixo de 5 bar	Inundar cuba de envase	6	Qualidade/Medio ambiente	Nível Baixo	2	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	3	36	Criar periodicidade de troca de							0
				6	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	2	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	3	36								
Cuba	Manter nível de bebida para fazer o envase	Vazamento de ar (Despressurização)	Garrafas vazias	5	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	1	Troca de vedações anuais	Não há controle	2	10								0
			Garrafas nível baixo	6	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	6	Troca de vedações anuais	Não há controle	3	108								0
		Falta de ar esterelizado	Garrafas nível baixo	6	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	2	Troca de vedações anuais	Não há controle	3	36								0
		Vazamento de bebida	Garrafas nível baixo	6	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	6	Troca de vedações anuais	Não há controle	3	108								0

(Continua...)

(...Continuação.)

Válvula de enchimento	Fazer enchimento correto das embalagens	Não encher garrafas por completo	Garrafas vazias	5	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	4	Troca de vedações anuais	Não há controle	3	60							0	
			Garrafas cheias até o gargalo	8	Produtividade	Garrafas melecadas	3	Troca de vedações anuais	Controle de processo (15 min.)	3	72								0
				8	Qualidade	Reclamações de clientes por se sujar ao abrir	2	Troca de vedações anuais	Controle de processo (15 min.)	9	144								0
			Nível Baixo	6	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	5	Troca de vedações anuais	Controle de processo (15 min.)	3	90								0
		Residual de borracha ou peças de inox	Tubo de ar dentro da embalagem	9	Qualidade	Reclamações de clientes	1	Não há controle	Controle de processo (15 min.)	6	54								0
			Borrachas dentro da embalagem	9	Qualidade	Reclamações de clientes	3	Troca de vedações anuais	Não há controle	8	216								0

(Continua...)

(...Continuação.)

Rinser	Garantir a limpeza das garrafas com pressão mínima de 0,6bar	Pressão de água abaixo de 0,6 bar	Garrafas não ficam sanitizadas	7	Qualidade	Risco de contaminação	1	Não há controle	Controle de processo (15 min.)	6	42								0		
				7	Produtividade	Linha parada	1	Não há controle	Controle de processo (15 min.)	6	42									0	
		Falha no conjunto de pegadores desalinhados	Embalagens amassam	5	Meio Ambiente	Descarte de embalagem	4	Troca dos componentes anuais	Não há controle		3	60								0	
				Garrafas não ficam sanitizadas corretamente		8	Qualidade	Risco de contaminação	1	Troca dos componentes anuais	Não há controle	5	40								0
Tampador	Garantir a aplicação correta da tampa: Torque entre 8 à 20 lb/pol e ângulo de aplicação entre 760° à 840°	Torque fora do padrão	Tampas muito apertadas	8	Qualidade	Consumidor não consegue abrir garrafa	4	Não há controle	Controle de processo (60 min.)	8	256								0		
				Embalagens sem gás	8	Qualidade	Reclamação de clientes	2	Não há controle	Não há controle	8	128									0
					8	Meio Ambiente	Descarte de produto	2	Não há controle	Não há controle	8	128									0
				Embalagens vazando líquido	8	Qualidade	Reclamação de clientes	2	Não há controle	Não há controle	8	128									
		Ângulo fora do padrão	Embalagens sem gás		8	Qualidade	Reclamação de clientes	3	Não há controle	Controle de processo (120 min.)	8	192									0
				8	Qualidade	Reclamação de clientes	3	Não há controle	Controle de processo (120 min.)	8	192									0	
		Má aplicação da tampa	Embalagens vazando líquido	8	Qualidade/Meio ambiente	Descarte de produto	5	Preventiva anual	Inspetor eletrônico/ Barreira física	5	200									0	
				8	Qualidade	Reclamações de clientes	5	Preventiva anual	Inspetor eletrônico/ Barreira física	5	200									0	

(Continua...)

(...Conclusão.)

Pistões elevadores	Garantir elevação das garrafas para os tubos de ar entre 4 à 4,5 bar	Garrafas não pressurizam	Embalagens vazando líquido	5	Meio Ambiente	Descarte de produto	3	Controle de TPM semanal	Não há controle	3	45							0	
			Amassando garrafas	5	Meio Ambiente	Descarte de produto	3	Troca dos componentes anuais	Não há controle	3	45								0
			Embalagens vazias	5	Meio Ambiente	Descarte de produto	3	Troca dos componentes anuais	Não há controle	3	45								0
Aéreo de entrada para enchedora	Transportar garrafas do aéreo para o rinser	Não faz o transporte de garrafas corretamente	Garrafas amassadas	5	Meio Ambiente	Descarte de produto	6	Não há controle	Não há controle	3	90							0	
			Garrafas vazias	5	Meio Ambiente	Descarte de produto	6	Não há controle	Não há controle	3	90								0

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).

## APÊNDICE B – Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial – FMEA de Processo

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL - FMEA DE PROCESSO																		
FMEA: Enchedora Citrus			Nº: 1			Responsável: Ricardo Souza												
Data início: 01/06/17			Revis1			Preparado por: Ricardo Souza												
Equipe: Ricardo, Mateus, Leonardo, Rodrigo, Dieison, Lucas, Ramon, Jonas																		
Item	Função do Processo	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	S e v e r	C l a s s	Causas e Mecanismos potenciais de falha	O c o r r	Controles atuais do processo de prevenção	Controles atuais do processo de detecção	D e t e c	N P R	Ações recomendadas	Responsável	Resultado das ações				
														Ações tomadas	S e v e r	O c o r r	D e t e c	N P R
Trocador de calor	Resfriar a bebida entre 1°C à 8°C	Temperatura alta	Bebida espumando	7	Qualidade	Nível Baixo	1	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	5	35	N/A					0	
				7	Qualidade	Garrafas melecadas	1	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	5	35	N/A					0	
		Falta de fluxo de bebida	Oscila nível da bebida na cuba de mistura	8	Qualidade	CO2 abaixo do especificado por sabor	1	Não há controle	Não há controle	7	56	N/A					0	
				8	Qualidade	°Brix abaixo do especificado por sabor	1	Não há controle	Não há controle	7	56	N/A					0	
Desaerador	Remover oxigênio da água	Incorporação de oxigênio na bebida	Dificuldade de injetar CO2	3	Qualidade	CO2 abaixo do especificado por sabor	1	Não há controle	Não há controle	3	9	N/A					0	
				Bebida espumando	5	Qualidade	Garrafas melecadas	3	Não há controle	Não há controle	7	105	N/A					0
					5	Qualidade/Medio ambiente	Nível Baixo	3	Não há controle	Não há controle	7	105	N/A					0

(Continua...)

(...Continuação.)

Misturador	Misturar água e xarope dentro do padrão especificado	Fazer a mistura fora dos parâmetros de °Brix	°Brix abaixo do especificado por sabor	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	7	Não há controle	Análise do Controle de qualidade a cada 30 min.	7	392	1. Instalação de um analisador online. 2. Instalação de um inversor na bomba, para controle de vazão da bomba. 3. Tanque pulmão para produtos não conforme.	1. Sup. Manutenção 2. Sup. Manutenção	1. Instalação de um analisador online. 2. Instalação de um inversor na bomba, para controle de vazão da bomba.	8	7	2	112
Bomba do misturador	Levar produto para carbonatador	Falta de bebida no carbonatador	Varição de °Brix	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	1	Inspeções elétricas e mecânicas trimestrais	Não há controle	8	64	N/A						0
			Nível Baixo	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	1	Inspeções elétricas e mecânicas trimestrais	Não há controle	8	64	N/A						
Bomba do desaerador	Manter nível da cuba da água	Falta de água	Varição de °Brix	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	4	Inspeções elétricas e mecânicas trimestrais	Não há controle	5	160	1. Instalação de um analisador online. 2. Redundância de bomba. 3. Troca trimestral do pino de acionamento da boia. 4. Inspeções dos eletrodos de nível da cuba de água.	1. Sup. Manutenção 3. Sup. Manutenção 4. Sup. Manutenção	1. Instalação de um analisador online. 3. Troca trimestral do pino de acionamento da boia. 4. Inspeções dos eletrodos de nível da cuba de água.	8	3	2	48
			Mixer entra em oscilação lig/desl	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	4	Inspeções elétricas e mecânicas trimestrais	Não há controle	2	64	N/A						
Cuba de Xarope	Manter nível ideal para misturador	Oscilação de nível	Varição de °Brix	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	6	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	3	144	1. Instalação de um analisador online. 2. Redundância de bomba. 3. Troca trimestral do pino de acionamento da boia. 4. Inspeções dos eletrodos de nível da cuba de água.	1. Sup. Manutenção 3. Sup. Manutenção 4. Sup. Manutenção	1. Instalação de um analisador online. 3. Troca trimestral do pino de acionamento da boia. 4. Inspeções dos eletrodos de nível da cuba de água.	8	3	2	48

(Continua...)

(..Continuação.)

Cuba de água	Manter nível ideal para misturador	Oscilação de nível	Variação de °Brix	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	8	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	3	192	1. Instalação de um analisador online. 2. Redundância de bomba. 3. Troca trimestral do pino de acionamento da boia. 4. Inspeções dos eletrodos de nível da cuba de água.	1. Sup. Manutenção 3. Sup. Manutenção 4. Sup. Manutenção	1. Instalação de um analisador online. 3. Troca trimestral do pino de acionamento da boia. 4. Inspeções dos eletrodos de nível da cuba de água.	8	3	2	48
Carbonatador	Injeção de CO2 na bebida	Fazer injeção de CO2 fora dos parâmetros	CO2 fora dos parâmetros	8	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	2	Troca de vedações anuais	Análise do Controle de qualidade a cada 30 min.	7	112	N/A						0
				8	Qualidade/Medio ambiente	Garrafas espumando, devido a CO2 alto	2	Troca de vedações anuais	Análise do Controle de qualidade a cada 30 min.	7	112	N/A						
Sistemas de ar esterelizado	Manter pressão da cuba entre (5 bar à 6,5 bar)	Pressão abaixo de 5 bar	Inundar cuba de envase	6	Qualidade/Medio ambiente	Nível Baixo	2	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	3	36	N/A						0
				6	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	2	Não há controle	Controle de processo( 15 min.)	3	36	N/A						
Cuba	Manter nível de bebida para fazer o envase	Vazamento de ar (Despressurização)	Garrafas vazias	5	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	1	Troca de vedações anuais	Não há controle	2	10	N/A						0
			Garrafas nível baixo	6	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	6	Troca de vedações anuais	Não há controle	3	108	N/A						0
		Falta de ar esterelizado	Garrafas nível baixo	6	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	2	Troca de vedações anuais	Não há controle	3	36	N/A						0
		Vazamento de bebida	Garrafas nível baixo	6	Qualidade/Medio ambiente	Descarte de produto	6	Troca de vedações anuais	Não há controle	3	108	N/A						0

(Continua...)

(...Continuação.)

Válvula de enchimento	Fazer enchimento correto das embalagens	Não encher garrafas por completo	Garrafas vazias	5	Qualidade/Meio ambiente	Descarte de produto	4	Troca de vedações anuais	Não há controle	3	60	N/A						0	
			Garrafas cheias até o gargalo	8	Produtividade	Garrafas melecadas	3	Troca de vedações anuais	Controle de processo (15 min.)	3	72	N/A							0
				7	Qualidade	Reclamações de clientes por se sujar ao abrir	2	Troca de vedações anuais	Controle de processo (15 min.)	8	112	N/A							0
			Nível Baixo	6	Qualidade/Meio ambiente	Descarte de produto	5	Troca de vedações anuais	Controle de processo (15 min.)	3	90	N/A							0
		Residual de borracha ou peças de inox	Tubo de ar dentro da embalagem	9	Qualidade	Reclamações de clientes	2	Não há controle	Controle de processo (15 min.)	7	126	1. Instalação de um rejeitador capaz de identificar materiais físicos dentro da embalagem. 2. Instalação de um sensor de metal na saída da enchedora.	2. Sup. Manutenção	2. Instalação de um sensor de metal na saída da enchedora.	9	2	4	72	
			Borrachas dentro da embalagem	9	Qualidade	Reclamações de clientes	3	Troca de vedações anuais	Não há controle	8	216	1. Atualização do plano de manutenção para troca de vedações a cada seis meses. 2. Qualificação dos fornecedores	1. Analista Manutenção	1. Atualização do plano de manutenção para troca de vedações a cada seis meses. 2. Qualificação dos fornecedores	9	1	8	72	
Rinser	Garantir a limpeza das garrafas com pressão mínima de 0,6bar	Pressão de água abaixo de 0,6 bar	Garrafas não ficam sanitizadas	7	Qualidade	Risco de contaminação	1	Não há controle	Controle de processo (15 min.)	6	42	N/A						0	
				7	Produtividade	Linha parada	1	Não há controle	Controle de processo (15 min.)	6	42	N/A						0	
	Falha no conjunto de pegadores desalinhados	Embalagens amassam	5	Meio Ambiente	Desarte de embalagem	4	Troca dos componentes anuais	Não há controle	3	60	N/A							0	
		Garrafas não ficam sanitizadas corretamente	8	Qualidade	Risco de contaminação	1	Troca dos componentes anuais	Não há controle	5	40	N/A							0	

(Continua...)

(...Continuação.)

Tampador	Garantir a aplicação correta da tampa: Torque entre 8 à 20 lb/pol e ângulo de aplicação entre 760° à 840°	Torque fora do padrão	Tampas muito apertadas	8	Qualidade	Consumidor não consegue abrir garrafa	4	Não há controle	Controle de processo (60 min.)	8	256	1. Troca dos insertos trimestral 2. Preventiva anual dos cabeçotes 3. Visita periódica do fornecedor de tampas para avaliar condições de molas.	1. Sup. Manutenção 2. Sup. Manutenção 3. Sup. Produção	1. Troca dos insertos trimestral 2. Preventiva anual dos cabeçotes 3. Visita periódica do fornecedor de tampas para avaliar condições de molas.	8	1	8	64
			Embalagens sem gás	8	Qualidade	Reclamação de clientes	2	Não há controle	Não há controle	8	128				8	1	8	64
				8	Meio Ambiente	Descarte de produto	2	Não há controle	Não há controle	8	128				8	1	8	64
		Embalagens vazando líquido	8	Qualidade	Reclamação de clientes	2	Não há controle	Não há controle	8	128	8				1	8	64	
		Ângulo fora do padrão	Embalagens sem gás	8	Qualidade	Reclamação de clientes	3	Não há controle	Controle de processo (120 min.)	8	192				8	1	8	64
			Embalagens vazando líquido	8	Qualidade	Reclamação de clientes	3	Não há controle	Controle de processo (120 min.)	8	192				8	1	8	64
		Má aplicação da tampa	Embalagens vazando líquido	8	Qualidade/Meio ambiente	Descarte de produto	5	Preventiva anual	Inspetor eletrônico/ Barreira física	5	200				8	1	8	64
				8	Qualidade	Reclamações de clientes	5	Preventiva anual	Inspetor eletrônico/ Barreira física	5	200				8	1	8	64

(Continua...)

(...Conclusão.)

Pistões elevadores	Garantir elevação das garrafas para os tubos de ar entre 4 à 4,5 bar	Garrafas não pressurizam	Embalagens vazando líquido	5	Meio Ambiente	Descarte de produto	3	Controle de TPM semanal	Não há controle	3	45	N/A					0
			Amassando garrafas	5	Meio Ambiente	Descarte de produto	3	Troca dos componentes anuais	Não há controle	3	45	N/A					0
			Embalagens vazias	5	Meio Ambiente	Descarte de produto	3	Troca dos componentes anuais	Não há controle	3	45	N/A					0
Aéreo de entrada para enchedora	Transportar garrafas do aéreo para o rinser	Não faz o transporte de garrafas corretamente	Garrafas amassadas	5	Meio Ambiente	Descarte de produto	6	Não há controle	Não há controle	3	90	N/A					0
			Garrafas vazias	5	Meio Ambiente	Descarte de produto	6	Não há controle	Não há controle	3	90	N/A					0

Fonte: Do autor, com base em pesquisa (2017).