

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

THAISA KNOB

**IDENTIFICAÇÃO DE POSSÍVEIS FALHAS DE UMA MÁQUINA
ENCHEDORA UTILIZANDO O FMEA DE SISTEMA**

TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

Medianeira

2017

THAISA KNOB

**IDENTIFICAÇÃO DE POSSÍVEIS FALHAS DE UMA MÁQUINA
ENCHEDORA UTILIZANDO O FMEA DE SISTEMA**

TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel do curso de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Ms. Neron Alípio Cortes Berghauser

Medianeira

2017



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS MEDIANEIRA

Diretoria de Graduação
Coordenação de Engenharia de Produção
Curso de Graduação em Engenharia de Produção



TERMO DE APROVAÇÃO

IDENTIFICAÇÃO DE POSSÍVEIS FALHAS DE UMA MÁQUINA ENCHEDORA UTILIZANDO O FMEA DE SISTEMA

por

THAISA KNOB

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 19h30min do dia 30 de junho de 2017 como requisito parcial para aprovação na disciplina de TCC2, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou este trabalho de diplomação **aprovado**.

Prof. Ms. Neron Alípio Cortes Berghauer (orientador)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Esp. Edward Seabra Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Esp. Alencar Servat
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

– O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as bênçãos recebidas e por mais essa realização.

Aos meus pais, Dulce e Celso, e a toda minha família por me apoiarem em todos os momentos da minha vida, e por me incentivarem a alcançar meus objetivos. Obrigada por cada palavra, ajuda, motivação, orientação e pelas orações em meu favor.

A Thamara, porque em você encontrei uma verdadeira irmã.

Ao professor Prof. Ms. Orientador Neron Alípio Berghauser que, com muita paciência e atenção, dedicou do seu valioso tempo para me orientar em cada passo deste trabalho.

Aos responsáveis que me acompanharam na empresa para o desenvolvimento deste trabalho com muita paciência e pedagogia.

Aos meus amigos e colegas da universidade por todo apoio.

A todo corpo docente, pelo conhecimento transmitido. Obrigada por cada ensinamento.

Obrigada a todos que, mesmo não estando citados aqui, contribuíram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho.

“Os intelectuais resolvem problemas, os gênios os impedem.”

Albert Einstein

RESUMO

KNOB, Thaisa. **Identificação de possíveis falhas de uma máquina enchedora utilizando o FMEA de sistema.** 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A cada ano o mercado mundial vem mostrando-se mais competitivo, não apenas através da frequente inserção de produtos inovadores no mercado como também com a oferta de uma grande variedade de produtos semelhantes de diferentes fabricantes. Essa disputa proporciona ao cliente a possibilidade de escolher o produto que mais lhe agrada e obriga os fabricantes a buscarem por diferenciais competitivos a fim de entregar produtos com menores custos e maior qualidade. É neste contexto que o presente trabalho busca aplicar a ferramenta de Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos em uma máquina enchedora de refresco que se encontra na fase de concepção do produto. Para que os objetivos fossem alcançados elaboraram-se diagramas de bloco do sistema, identificaram-se os possíveis modos de falha que uma máquina enchedora possa apresentar capazes de causar algum dano às embalagens ou ao produto líquido durante o processo de enchimento, apontaram-se os efeitos das falhas, avaliaram-se os riscos existentes quanto ao índice de severidade, ocorrência e detecção e, para finalizar, determinaram-se quais os testes e medidas devem ser realizadas na fase de construção do protótipo do produto para minimizar ou até mesmo eliminar os modos de falha antes mesmo que elas aconteçam. Esta ferramenta mostra ser um artifício eficiente para o gerenciamento de risco durante o processo desenvolvimento de um novo produto.

Palavras-chave: Análise de falhas. Concepção do produto. Indústria de bebidas.

ABSTRACT

KNOB, Thaisa. **Identification of possible failures in a filler machine using a System FMEA.** 2017. Monographic (Bachelor of Production Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Every year the global market has been proving to be more competitive, not just only through the frequent innovative product insertion but also with a large variety of similar products from different manufactures. This contest provides de consumer the possibility of choosing the product that more pleases it and forces manufacturers to search for competitive differentials looking for the delivery of products with lower prices and higher qualities. In this context, the present work seeks to apply the Failure Mode and Effect Analysis in a soda filler machine that is in the product design phase. This tool shows to be an efficient device to identify the possible failure modules that a filler machine could present causing some damage at packaging or to the liquid product during the filling process which would cause dissatisfaction of the final customer of the beverage. In addition, to measure the level of severity of possible failures, the risk in a severity index, occurrence and detection were acceded. To conclude the analysis, it was possible to define which tests and measurements must be performed at the construction stage of the product's prototype to minimize or even eliminate all failure modules before they occur.

Keywords: Failure analysis. Product conception. Beverage industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Custo das falhas.....	10
Figura 2 – FMEA auxilia na descoberta das falhas no início do PDP.....	11
Figura 3 – Tipos de embalagens.....	17
Figura 4 – Tipos de tampas.....	18
Figura 5 – Enchedora linear.....	20
Figura 6 – Esquema de uma máquina enchedora circular.....	21
Figura 7 – Esquema de uma máquina enchedora circular.....	21
Figura 8 – Tipos de transporte das embalagens.....	22
Figura 9 – Estrela de entrada.....	23
Figura 10 – Arrolhador.....	24
Figura 11 - Painel HMI.....	25
Figura 12 – Modelo de Diagrama de Bloco.....	35
Figura 13 – Etapas do Trabalho.....	39
Figura 14 – Ilustração esquemática da máquina enchedora em funcionamento.....	41
Figura 15 – Matriz de Risco.....	46
Figura 16 – Características não funcionais.....	51
Figura 17 – Transferência da garrafa PET da estrela de entrada para o carrossel de enchimento.....	55
Figura 18 – Enchimento da garrafa PET.....	58
Figura 19 – Fechamento da garrafa PET.....	61
Figura 20 – Saída da garrafa PET.....	65

LISTA DE GRÁFICOS E QUADROS

Gráfico 1 – Consumo de bebidas embaladas no mundo no ano de 2011 e 2014	13
Gráfico 2 – Consumo de bebidas embaladas no mundo no ano de 2011	14
Quadro 1 – Fator de ocorrência com base nas probabilidades de falhas	30
Quadro 2 – Fator de severidade.....	31
Quadro 3 – Fator de detecção.....	32
Quadro 4 – Descrição das categorias	44
Quadro 5 – Critérios de avaliação de risco	45

LISTA DE SIGLAS

AIAG	<i>Automotive Industry Action Group</i>
EUA	Estados Unidos da América
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
GMP	<i>Good Manufacturing Practice</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
MIL-STD	<i>Military Standards</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NBR	Norma Brasileira
NPR	Número de Prioridade de Risco
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SENAC	Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA.....	10
1.2 OBJETIVO GERAL	11
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 MERCADO DE BEBIDAS EMBALADAS.....	13
2.2 CLASSIFICAÇÃO DA MÁQUINA ENCHEDORA	14
2.2.1 Mecanismo de Enchimento por Peso	15
2.2.2 Mecanismo de Enchimento por Volume	15
2.3 EMBALAGENS E TAMPAS.....	16
2.3.1 Embalagens	16
2.3.2 Tampas	18
2.4 SISTEMAS DE ENCHIMENTO	19
2.5 ARROLHADOR	23
2.6 PAINEL HMI	24
2.7 HIGIENE.....	25
2.8 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS	27
2.8.1 Recapitulação Histórica.....	27
2.8.2 Tipologia do FMEA	28
2.8.3 Estrutura da FMEA	28
2.8.4 Formulário da FMEA	33
2.8.5 Benefícios da aplicação da FMEA.....	33
2.9 DIAGRAMA DE BLOCO.....	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA	36
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	37
3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1 SELEÇÃO DA EQUIPE	40
4.2 CARACTERÍSTICAS DA MÁQUINA ENCHEDORA	40
4.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ENCHIMENTO	42
4.4 DIAGRAMA DE BLOCOS	43
4.5 IDENTIFICAÇÃO DAS FALHAS	43
4.6 AVALIAÇÃO DE RISCO.....	44
4.7 ELABORAÇÃO DA ANÁLISE.....	45
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE A – Características Não Funcionais	51
ANEXO A – Modelo de formulário FMEA de Processo - 4 (AIAG)	68

1 INTRODUÇÃO

Todos os anos, uma grande variedade de novos produtos e serviços é ofertada no mercado mundial. Deste modo, os fabricantes encontram-se pressionados a oferecer vantagens competitivas – como baixos preços, maior qualidade, e melhores serviços – sobre os concorrentes.

Outra grande preocupação das empresas hoje é a identificação de falhas em produtos que já se encontram no mercado, que, além de causar uma imagem negativa ao cliente também gera grandes perdas na forma de reclamações de garantia, custos de reparação, insatisfação do cliente, perda de vendas e recall de produtos.

Pensando nisso, empresas vêm investindo alto em novas técnicas e metodologias para reduzir o número de falhas já nas etapas de concepção e fabricação do produto, e conseqüentemente, aumentar a qualidade e a confiabilidade dos seus produtos.

Uma das técnicas consagradas e difundidas que promete, quando adequadamente aplicada, identificar os modos de falha que um sistema e seus itens possam apresentar já na etapa de concepção de produto é a Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos, do inglês *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

Além de apontar as possíveis falhas e seus efeitos, esta ferramenta também faz uma avaliação dos riscos associados, classifica-os em termos de gravidade e sugere ações corretivas para minimizar ou até mesmo eliminar as falhas mais graves.

O estudo de caso realizado neste trabalho dedica-se a aplicação da ferramenta FMEA em uma máquina enchedora, que se encontra na fase de concepção do produto, com o objetivo de identificar as possíveis falhas que possam causar uma imagem negativa ou até mesmo algum dano ao cliente final que compra o produto embalado pela máquina enchedora e propor sugestões de melhorias para reduzir ou eliminar as falhas significativas.

Para atingir os objetivos descritos, foram utilizadas ferramentas da qualidade como diagrama de bloco e matriz de risco para a análise dos dados e o FMEA de sistema como ferramenta principal.

Este trabalho foi realizado no departamento de pesquisa e desenvolvimento

de uma empresa multinacional localizada no sul da Alemanha.

1.1 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

Segundo dados da Secretaria Nacional do Consumidor (2016), apenas no ano de 2016, foram realizados 138 recalls no Brasil, sendo que mais de 9 milhões de produtos foram recolhidos. A realização desta recolha se deve a possibilidade de ocorrência de algum dano à saúde ou à segurança do consumidor.

Além da perda da qualidade e confiabilidade do produto, de acordo com a Figura 1, o custo da detecção de falhas de um produto que se encontra com o consumidor pode chegar a ser 100 mil vezes maior que quando descoberto no início do projeto.

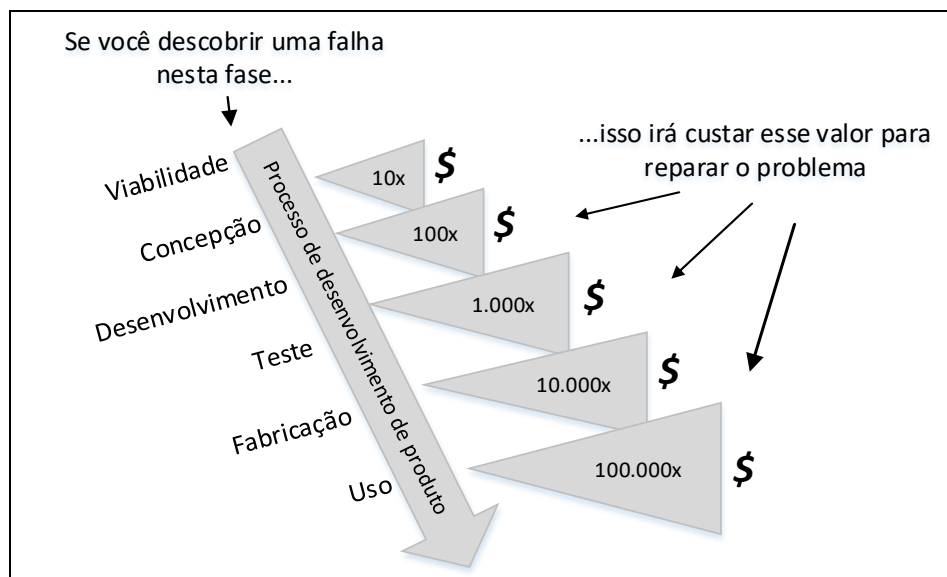


Figura 1 – Custo das falhas
Fonte – Adaptado de Carlson (2012)

Na Figura 1 pode-se ver também que os custos para reparar uma falha aumentam exponencialmente no decorrer das fases do processo de desenvolvimento do produto (CARLSON, 2012).

Para Werdich (2012), a ferramenta mais utilizada e eficiente para detectar as falhas de um produto já no início do processo de desenvolvimento do produto é a Análise de Modos de Falha e seus Efeitos.

Na Figura 2, proposta por Carlson (2012) percebe-se a afirmação feita pelo autor anterior, na qual demonstra que a utilização da ferramenta FMEA no início do processo de desenvolvimento de produto antecipa a detecção das falhas.

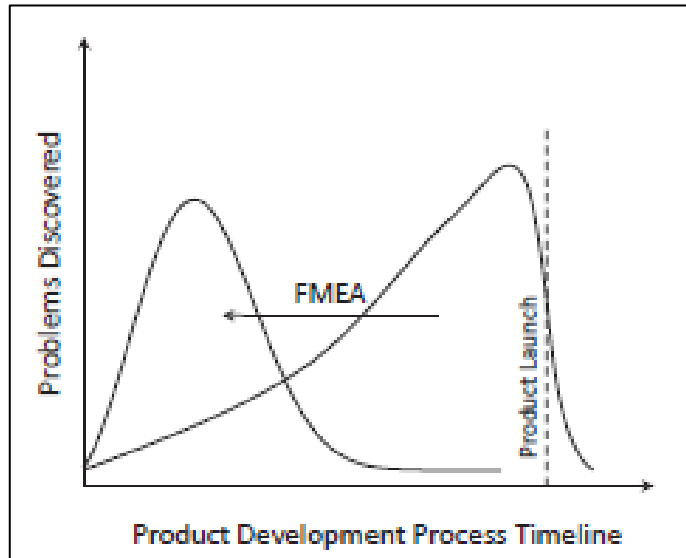


Figura 2 – FMEA auxilia na descoberta das falhas no início do PDP
Fonte – Carlson (2012)

Deste modo, o presente trabalho justifica-se pelo desejo da empresa de aplicar a ferramenta de análise FMEA para identificar as possíveis falhas que uma máquina enchedora possa apresentar já no início do processo de desenvolvimento de produto e, se possível, por meio da realização de testes e melhorias eliminá-las antes mesmo que a falha ocorra.

1.2 OBJETIVO GERAL

Identificar os modos de falha durante a fase de concepção do produto de uma máquina enchedora, analisar os efeitos dessas falhas e mensurar os seus riscos com o intuito de apontar quais os testes e medidas preventivas devem ser feitos para minimizar e eliminar a ocorrência das falhas potenciais.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Elaborar diagramas de bloco para representar as etapas do sistema de produção da empresa estudada
- b) Identificar os possíveis modos de falha no sistema analisado
- c) Apontar os efeitos dos modos de falha identificados no sistema da empresa
- d) Avaliar os riscos característicos nos modos de falha
- e) Propor testes e medidas preventivas para mitigar ou eliminar as falhas potenciais

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são abordados assuntos fundamentais do ponto de vista teórico utilizados como base para a elaboração e execução deste trabalho, dentre eles estão a revisão bibliográfica acerca das máquinas enchedoras e dos conceitos e definições sobre a ferramenta FMEA.

2.1 MERCADO DE BEBIDAS EMBALADAS

Estudos realizados pela empresa alemã Statista revelam que o consumo de bebidas embaladas no mundo aumentou de maneira significativa entre os anos de 2011 e 2014 conforme pode ser visto no Gráfico 1.

Fazendo-se uma análise por regiões, pode-se perceber que, entre 2011 e 2014, o mercado que obteve maior índice de crescimento no consumo de bebidas embaladas foi a China, com um aumento de 26,6% seguida pela Ásia/Pacífico com 17,7% e a América do Sul com 11,8% (Statista, 2017).

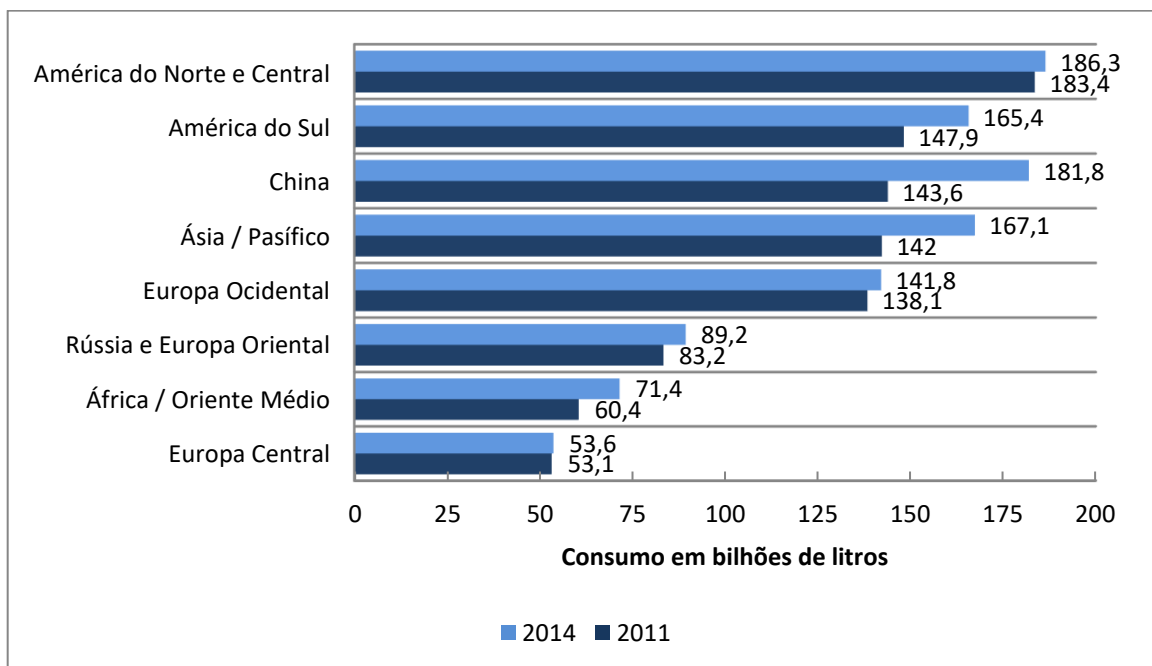


Gráfico 1 – Consumo de bebidas embaladas no mundo no ano de 2011 e 2014
 Fonte – Adaptado de Statista (2017)

Para Blüml e Fischer (2009), a sede, o prazer em beber, a saúde e o esporte são os principais fatores que levam as pessoas a consumirem algum tipo de bebida.

E, como pode ser visto no Gráfico 2, a bebida embalada mais consumida no mundo no ano de 2011 foi a cerveja, com cerca de 239 bilhões de litros consumidos, seguida da água com 228 bilhões de litros consumidos e das bebidas gaseificadas com 210 bilhões de litros consumidos. No total, foram cerca 952 bilhões de litros de bebidas embaladas consumidas no mundo no ano de 2011.

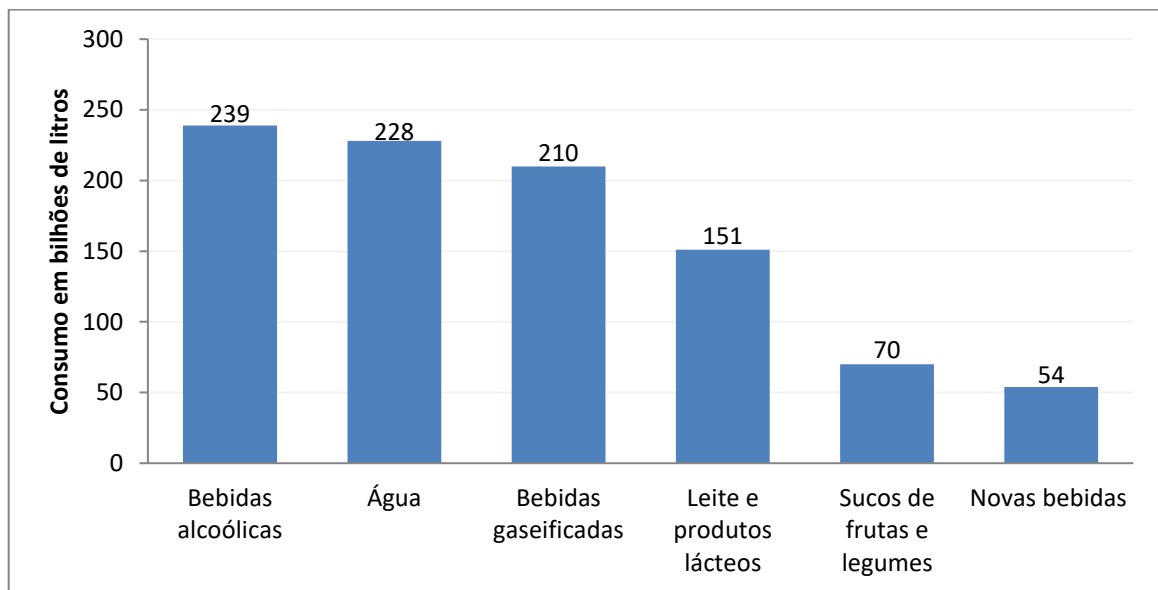


Gráfico 2 – Consumo de bebidas embaladas no mundo no ano de 2011
 Fonte – Adaptado de Statista (2017)

Sabendo disso, a indústria de bebidas vem investindo, cada vez mais, em novas bebidas, novas embalagens e novas tecnologias. E isso inclui também novas máquinas enchedoras, pois elas são construídas pensando individualmente nas características e na composição de cada produto e embalagem.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DA MÁQUINA ENCHEDORA

As máquinas enchedoras são classificadas como embaladoras, e possuem a função de introduzir a quantidade exata de produto, que pode ser líquido ou pastoso, em cada uma das embalagens (ORTHUBER, BECKER, SCHEIBER et al., 1968).

Após ser acondicionado nas embalagens, o produto é empregado no ramo

de produtos alimentícios, farmacêuticos, cosméticos ou químicos.

Para medir a quantidade exata de produto a ser acondicionado nas embalagens, podem-se utilizar dois tipos diferentes de mecanismos, por peso ou por volume (BLÜML e FISCHER, 2009).

2.2.1 Mecanismo de Enchimento por Peso

Esse tipo de mecanismo faz uso de balanças para controlar a quantidade de produto a ser acondicionado nas embalagens. Durante o processo de enchimento, quando a embalagem chega ao carrossel de enchimento, ela aciona a válvula de enchimento através do seu peso que se abre, e quando o peso bruto da embalagem mais o do produto atingem juntos o valor necessário, a válvula de enchimento é fechada e a embalagem com o produto segue no processo de enchimento (DRECHSEL E VETTER, 2007).

O mecanismo de enchimento por peso é empregada principalmente na indústria farmacêutica e química por acondicionar a quantidade exata de produto líquido de diferentes consistências (BLÜML E FISCHER, 2009).

2.2.2 Mecanismo de Enchimento por Volume

Segundo Blüml e Fischer (2009), é possível dividir o mecanismo de enchimento por volume em três tipos diferentes:

a) Mecanismo de enchimento por dosagem: esse tipo de mecanismo possui uma válvula de enchimento que, primeiramente separa certa quantidade de produto em um reservatório e só na sequência esse volume é totalmente injetado na embalagem;

b) Mecanismo de enchimento por nível: esse tipo mecanismo possui um sistema de controle de nível. Assim, quando as embalagens chegam ao carrossel de enchimento, a válvula de enchimento abre e o produto, líquido ou pastoso, será acondicionado dentro da embalagem até o nível pré-determinado;

c) Mecanismo de enchimento por tempo: esse tipo mecanismo possui um sistema de intervalo de tempo, onde a válvula de enchimento abre durante um intervalo de tempo estipulado e depois fecha por um período de tempo também estipulado. Por isso, o tempo de enchimento e o tempo de troca da embalagem devem ser sempre exatos.

2.3 EMBALAGENS E TAMPAS

De acordo com Drechsel e Vetter (2007), existem algumas especificações importantes a serem seguidas na hora de fazer a escolha da melhor embalagem e tampa para um produto líquido ou pastoso. Os materiais, por exemplo, que podem ser empregados na produção de bebidas são: vidro, PET (polietileno tereftalato), PEN (polinaftalato de etileno), HDPE (polietileno de alta densidade), LPC, metal, e filme composto.

Os materiais das embalagens e tampas possuem uma importância fundamental para o produto, para o fabricante, e para o consumidor como:

- a) Proteção do produto;
- b) Informação e;
- c) Marketing.

Dependendo da perspectiva de cada pessoa podem-se encontrar diferentes opiniões sobre o mais importante entre eles, porém proteção do produto deveria sem dúvida estar sempre em primeiro lugar (BLÜML e FISCHER, 2009).

2.3.1 Embalagens

A análise das características e aplicabilidade dos materiais utilizados para a produção de embalagem de bebidas é de fundamental importância para a estabilidade do produto. Existem também alguns critérios essenciais para a realização de testes, antes de os materiais serem utilizados como embalagem, e que

são diretamente relacionados com o produto, como:

- a) Permeabilidade;
- b) Translucidez;
- c) Propriedades de barreira contra oxigênio, dióxido de carbono, umidade, e aroma;
- d) Características térmicas;
- e) Resistência contra a influência química e mecânica;
- f) Peso;
- g) Limpeza e;
- h) Opções de descarte que o material proporciona.

Para Schwarz (2015), os tipos de embalagens mais empregadas para o depósito de líquidos são (como visto na Figura 3):

- a) Recipientes de vidro;
- b) Latas;
- c) Garrafas de plástico;
- d) Embalagens cartonadas e;
- e) Bolsas verticais.

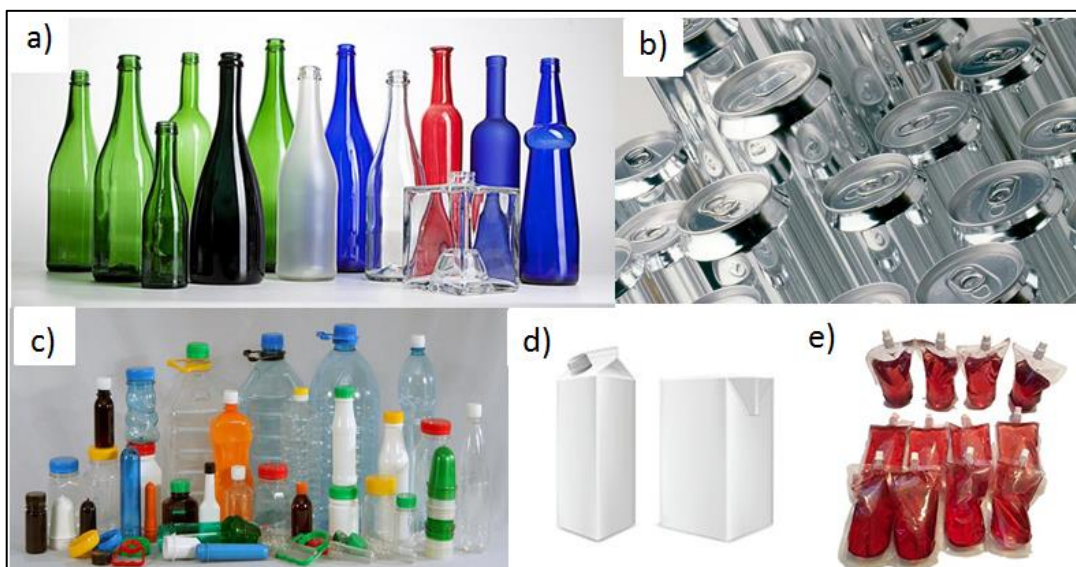


Figura 3 – Tipos de embalagens
Fonte – Adaptado de Neue Verpackung (2015)

2.3.2 Tampas

No mundo todo são utilizadas inúmeras embalagens de bebidas dos mais variados tamanhos e formatos, e nesta mesma proporção pode-se encontrar também os mais diferentes tipos de tampas. Os tipos mais conhecidos de tampas para realizar o fechamento de garrafas são os seguintes (como pode ser visto na Figura 4):

- a) Rolha tipo coroa;
- b) Rolha natural;
- c) Tampa roscada de alumínio;
- d) Tampa roscada de plástico.



Figura 4 – Tipos de tampas
Fonte – Adaptada de Blüml e Fischer (2009)

De acordo com Blüml e Fischer (2009), as tampas devem ser impermeáveis para prevenir a perda de produto, conter a pressão interna e, impedir a entrada de substâncias externas como oxigênio. Outra característica importante para as tampas é a de praticidade, ou seja, devem ser de fácil abertura e fechamento.

2.4 SISTEMAS DE ENCHIMENTO

De um modo geral, uma máquina enchedora é composta pelo equipamento de alimentação, o dispositivo de dosagem, a unidade de enchimento e pelo equipamento de transporte da embalagem (DRECHSEL e VETTER, 2007).

No entanto pode-se diferenciar as máquinas enchedoras quanto ao tipo sendo elas: linear ou circular; e quanto ao processo: contínuo ou intermitente. E o produto a ser acondicionado pode ser líquido ou pastoso (BLÜML e FISCHER, 2009).

2.4.1 Enchedora Linear

Empregada normalmente para uma produção de baixa a média capacidade, a máquina enchedora linear ou em linha, é também recomendável para processos intermitentes devido ao seu modelo flexível e versátil.

Para realizar o processo de enchimento, as embalagens são transportadas em linha reta sobre uma esteira através da máquina enchedora que realiza o enchimento do produto nas embalagens no momento e na quantidade correta. É importante destacar, que apesar da baixa capacidade produtiva, a máquina enchedora linear apresenta a possibilidade de realizar uma troca rápida e prática do tipo de embalagem como também do tipo de produto (BLÜML e FISCHER, 2009).



Figura 5 – Enchedora linear
Fonte – BREITNER (2017)

Na Figura 5, é possível ver um exemplo de uma máquina enchedora linear intermitente, com capacidade para envasar 120 embalagens/minuto e o volume da embalagem pode variar de 20 ml até 25 litros (BREITNER, 2017).

2.4.2 Enchedora Circular

Devido ao seu sistema contínuo, a enchedora circular é considerada mais eficiente do que a enchedora em linha. Segundo Blüml e Fischer (2009), com uma enchedora circular de alto rendimento é possível encher em média 84.000 garrafas/h ou 120.000 latas/h. Naturalmente, estes dados podem variar muito, uma vez que diversos fatores influenciam diretamente no desempenho de uma enchedora, como o tamanho e o formato da embalagem e também o tipo e a composição do produto.

A estrutura de uma máquina enchedora circular também varia muito de fabricante para fabricante, sendo assim, este trabalho traz apenas alguns exemplos e variações existentes com o objetivo de fazer com que o leitor compreenda da melhor maneira possível o seu funcionamento básico.

Na Figura 6, vê-se como exemplo, a imagem de uma enchedora circular de garrafas de vidro.



Figura 6 – Esquema de uma máquina enchedora circular
Fonte – Blüml e Fischer (2009)

A máquina ilustrada na Figura 6, pode ser dividida em seis partes: 1 - parafuso de divisão, 2 - estrela de entrada, 3 - carrossel de enchimento, 4 - estrela de transferência, 5 - arrolhador e 6 - estrela de saída. Na Figura 7 pode-se ver o diagrama esquemático da enchedora circular.

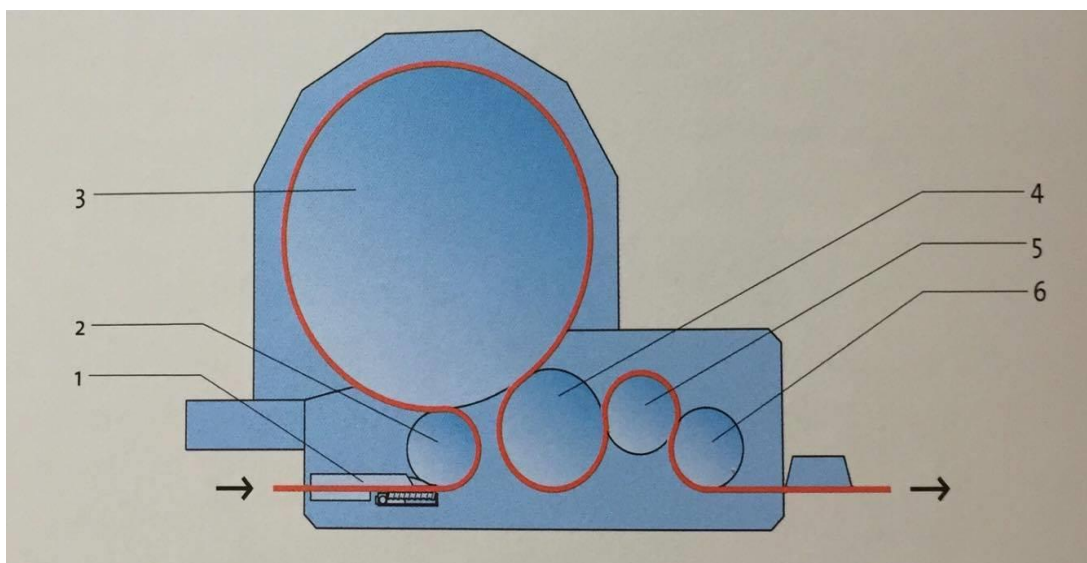


Figura 7 – Esquema de uma máquina enchedora circular
Fonte – Blüml e Fischer (2009)

Para um melhor esclarecimento do funcionamento de uma máquina enchedora circular, a subseção seguinte traz uma explicação mais detalhada dos seus componentes.

2.4.3 Partes da Máquina Enchedora Circular

Para Blüml e Fischer (2009), existem dois tipos diferentes de transportes para as embalagens. O primeiro, mais utilizado para as embalagens de vidro, lata e garrafas PET retornáveis, é o transporte sobre um suporte de aço inox durante o processo de enchimento, e o segundo é chamado de transporte aéreo, mais recomendado para as garrafas PET não retornáveis, onde as embalagens são presas pela “garganta” por um grampo conforme visto na Figura 8.



Figura 8 – Tipos de transporte das embalagens
Fonte –Adaptado de KM Beverage (2017)

Na entrada do processo de enchimento de garrafas de vidro, as embalagens chegam em fila sobre uma esteira e passam por um parafuso de divisão.

Com o formato de um parafuso, esse mecanismo é utilizado para regular a velocidade e a distância entre as garrafas de vidro auxiliando a passagem dos mesmos, individualmente, para a estrela de entrada. Outra função deste mecanismo é evitar a quebra ou a deformação das embalagens quando estas forem transferidas para a estrela de entrada conforme pode ser visto ao lado direito da Figura 9.



Figura 9 – Estrela de entrada
Fonte – Blüml e Fischer (2009)

Já na entrada do processo de enchimento de garrafas PET não recicláveis, as embalagens são individualmente agarrados por um grampo na parte de baixo da garganta e transferidos na sequência para o carrossel de enchimento (veja Figura 9 lado esquerdo).

O carrossel de enchimento consiste em um tanque, que contém o produto a ser acondicionado nas embalagens, com válvulas de enchimento e, ele fica girando durante o processo de enchimento, assim como as estrelas de entrada, de transferência e de saída. O carrossel de enchimento pode ter um diâmetro de 1440 mm até 6480 mm.

2.5 ARROLHADOR

O arrolhador é normalmente agregado ao carrossel de enchimento para que o produto permaneça o menor tempo possível dentro da embalagem aberta (DRECHSEL e VETTER, 2007).



Figura 10 – Arrolhador
Fonte – Blüml e Fischer (2009)

Na Figura 10 pode-se ver um arrolhador de tampa roscada de plástico. E para que a tampa seja assentada exatamente sobre a garrafa PET, o desempenho do arrolhador é regulado de acordo com o desempenho da do carrossel de enchimento.

2.6 PAINEL HMI

De acordo com Schug (2016), toda máquina enchedora necessita de um painel HMI (*Human Machine Interface*), do português, painel Interface Homem x Máquina. Esse equipamento facilita a comunicação entre o homem e a máquina. Através do painel, todas as funções da máquina podem ser operadas e supervisionadas como visto na Figura 11.



Figura 11 - Painel HMI
Fonte – SCHUG (2016)

2.7 HIGIENE

Atualmente, a longevidade do produto é considerada como sendo o objetivo principal do setor de controle da qualidade em uma empresa do ramo de bebidas. E, segundo Evers (2015), este objetivo só é alcançado quando a empresa segue seriamente o seu programa de higiene.

O autor ainda afirma que não é possível realizar uma esterilização perfeita dos equipamentos e instalações das máquinas enchedoras. Mas vendo de uma perspectiva legal (BRASIL, Decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009), esta esterilização também não é exigida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – órgão responsável pelo registro, padronização, classificação e, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de bebidas no Brasil – sendo que ele tolera um pequeno nível de resíduos inevitáveis que não são prejudiciais a saúde.

Assim, os objetivos higiênicos de uma empresa de produtos líquidos ou pastosos podem ser considerados alcançados quando organismos que possam prejudicar o produto não cheguem a bebida e quando organismos estranhos são identificados e retirados do produto de modo que este não continue contaminando a bebida (DRECHSEL e VETTER, 2007).

O circuito de limpeza em uma máquina enchedora é feito pelo equipamento CIP (*Cleaning In Place*), em português: limpeza no local. Para esta higienização é necessária a retirada do produto e dos restos da máquina, e o melhor agente de limpeza para efetuar esta tarefa é a água, porém é importante ter cuidado com a manutenção da temperatura. A água fria, por exemplo, é excelente e eficaz para a retirada dos restos do produto que ainda não estão secos e tem a vantagem de não gerar vapor. Já a água quente arrasta, por meio da crescente quantidade de vapor, bactérias que se depositam na parte superior da máquina enchedora contaminando não apenas o produto como também o ar.

Com base nas constatações percebe-se que a água fria sozinha também não é perfeita para a higienização da máquina enchedora, pois a água quente também possui a vantagem, devido a sua alta temperatura, de matar muitas bactérias.

Neste caso, para resolver as carências da água na higienização, são adicionados produtos de limpeza e desinfetantes (BLÜML e FISCHER, 2009).

Devido às causas aqui citadas, os produtos de limpeza e desinfetantes adicionados à água precisam seguir as seguintes exigências:

- a) Ter boa solubilidade;
- b) Ser eficiente em baixas temperaturas;
- c) Ser de baixo custo.

E para se enquadrar nestas exigências, é feita uma mistura entre vários produtos de limpeza e desinfetantes tendo como principais componentes as soluções alcalinas ou ácidas.

Após a higienização com os produtos de limpeza e desinfetantes, é necessário enxaguar estes componentes com água de modo que não fique resquícios que possam depois entrar em contato com o produto. Assim, é importante se ater a temperatura da água, sua penetração e a quantidade que será utilizada, pois pouca água acaba deixando resíduos e quando utilizado mais que o necessário,

acaba havendo desperdício.

2.8 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS

De acordo com a norma NBR 5462 (1994), da Associação Brasileira de Normas Técnicas, o acrônimo FMEA, originado da abreviação inglesa de “*Failure Mode and Effects Analysis*”, é traduzido para o português como “Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos”.

Esta ferramenta é utilizada na engenharia para definir, identificar e eliminar as falhas potenciais de um sistema, produto, processo ou serviço antes que este chegue ao cliente final (STAMATIS, 2003; DALOSTO, 2015).

2.8.1 Recapitulação Histórica

Originalmente criada nos EUA, a ferramenta FMEA tem sido há muitas décadas utilizada no auxílio da detecção de falhas em projetos de novos produtos, processos de fabricação, serviços e manutenção.

O primeiro registro da utilização do FMEA foi consignado na década de 1960 pela agência norte-americana NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) durante a missão Apollo. No final da década de 1970, a *Ford Motors Company* introduziu o FMEA como ferramenta de garantia de qualidade na fabricação de automóveis (GILCHRIST, 1993; LIU, 2016).

Atualmente o FMEA é uma poderosa ferramenta de análise de qualidade e confiabilidade de produtos e processos sendo amplamente empregada na indústria dentro dos mais diversos setores (LIU, 2016).

2.8.2 Tipologia do FMEA

Segundo Stamatis (2003), o FMEA pode ser dividido em quatro principais tipos:

a) FMEA de sistema – é empregado na análise de sistemas e subsistemas durante o processo de conceito e de desenvolvimento de um novo produto. O foco preponderante de um FMEA de sistema é identificar os modos de falhas potenciais, causados por deficiências do sistema, ou das funções do sistema. Nas análises realizadas para este tipo de FMEA são incluídas interações entre sistemas e entre subsistemas de um sistema;

b) FMEA de produto ou de projeto – é empregado na análise de um produto antes que seja autorizada a sua manufatura. O FMEA de produto enfoca os modos potenciais de falha causados pelas deficiências do produto;

c) FMEA de processo – é empregado na análise de processos de fabricação e/ou montagem. Um FMEA de processo direciona seu foco nos modos de falha causados por deficiências nas etapas de planejamento e execução dos processos de fabricação e/ou montagem;

d) FMEA de serviço – é empregado na análise de serviços antes que estes atinjam o consumidor. Um FMEA de serviço foca em modos de falha (tarefas, erros ou enganos) causados por deficiências no sistema ou nos processos.

Segundo Fritzsche (2010), independentemente do tipo, o propósito fundamental de toda análise dos modos de falha e seus efeitos é prevenir a ocorrência de falhas, e quando aplicada, ela deve ser continuamente revisada.

2.8.3 Estrutura do FMEA

A Análise de Modos de Falha e seus Efeitos deve ser desenvolvida por uma equipe de especialistas com experiências e conhecimentos técnicos variados nas áreas envolvidas com o produto ou sistema que se deseja analisar. Os profissionais devem, sobretudo, ter uma gama de conhecimento suficiente para examinar todos

os fatores a serem considerados durante a elaboração da análise do FMEA (LIU, 2016).

O número de profissionais envolvidos com a elaboração do FMEA depende principalmente da complexidade do produto ou sistema a ser analisado (AIAG, 2008). No entanto, se o grupo ultrapassar o número de oito membros, o dinamismo das discussões entre os especialistas pode ser prejudicado por falta de interação entre os envolvidos (LEVIN e KALAL, 2003).

Com o objetivo de auxiliar na elaboração do FMEA, Carlson (2012), recomenda a esquematização de um diagrama de bloco de todo o sistema.

Para Liu (2016), a primeira parte da elaboração do documento do FMEA é qualitativa onde deve-se:

- a) Analisar todo o sistema, suas funções, e interações;
- b) Identificar os modos de falha;
- c) Descrever os efeitos.

Na sequência, realiza-se um diagnóstico quantitativo dos modos de falha identificados. Esta análise irá determinar a confiabilidade do sistema através do cálculo do **Número de Prioridade de Risco (NPR)**, o qual é definido através da multiplicação dos fatores de risco para ocorrência, severidade e detecção:

$$\text{NPR} = \text{ocorrência (O)} \times \text{severidade (S)} \times \text{detecção (D)}$$

A ocorrência é o fator que define a frequência com que os modos de falha ocorrem, levando em consideração os controles de prevenção já existentes (LIU, 2016). Um exemplo que pode ser utilizado na aplicação do FMEA de processo como base para a análise de ocorrência pode ser visto no Quadro 1.

Probabilidade	Probabilidade de falha	Índice
Muito alta: a falha é quase inevitável	1 em 10	10
Alta: muitas falhas	1 em 20	9
	1 em 50	8
	1 em 100	7
Moderada: falhas ocasionais	1 em 500	6
	1 em 2.000	5
	1 em 10.000	4
Baixa: poucas falhas	1 em 100.000	3
	1 em 1.000.000	2
Remota: a falha é improvável de ocorrer	Falhas eliminadas através de controles preventivos (Poka-Yokes)	1

Quadro 1 – Fator de ocorrência com base nas probabilidades de falhas
Fonte – AIAG (2008) apud SAXER (2015)

A severidade é vista como a consequência do efeito potencial dos modos de falha identificados (LUI, 2016). Um exemplo que pode ser utilizado na aplicação do FMEA de processo como base para analisar o fator de severidade, tanto para o cliente como para a manufatura, como pode ser visto no Quadro 2.

Severidade	Critério		Índice
	Efeitos para os clientes	Efeito para manufatura	
Perigoso sem avisos	Quando um efeito de modo de falha em potencial de um sistema de segurança opera sem avisos (compromete a segurança) e/ou envolve o não cumprimento de regulamentação do governo.	Pode colocar o operador em risco sem avisos.	10
Perigoso com aviso	Quando um efeito de modo de falha em potencial de um sistema de segurança opera sem avisos (compromete a segurança) e/ou envolve o não cumprimento de regulamentação do governo.	Pode colocar o operador em risco com avisos.	9
Muito alta	Sistema inoperável (parada da função primária)	100% do produto possivelmente deverá ser jogado fora, ou reparado no departamento com um tempo maior que 1 hora.	8
Alta	Sistema operável, porém em um nível de performance reduzido.	O produto deverá ser desmontado e classificado e uma porção dele jogada fora ou produto deverá ser reparado no departamento com um tempo entre 0,5 e 1 hora.	7
Moderada	Sistema operável, porém com itens de conforto/conveniência inoperáveis. Cliente insatisfeito.	Uma porção do produto deverá ser jogada fora sem necessidade de desmontá-lo e classificá-lo ou produto deverá ser reparado no departamento com um tempo menos de 0,5 hora.	6
Baixa	Sistema operável, porém com itens de conforto/conveniência operáveis em um nível reduzido de performance. Cliente um pouco insatisfeito.	100% do produto deverá ser retrabalhado ou o produto deverá ser reparado fora da linha de produção, mas não precisa ir para o departamento de reparos.	5
Muito baixa	Sistema produz barulhos e chiados; encaixes não estão de acordo. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%).	Um produto deverá ser remontado e classificado em uma porção dele deverá ser retrabalhado.	4
Mínima	Sistema produz barulhos e chiados; encaixes não estão de acordo. Defeito notado pela metade dos clientes.	Uma porção do produto deverá ser retrabalhada dentro de linha, mas fora da estação.	3
Quase nula	Sistema produz barulhos e chiados; encaixes não estão de acordo. Defeito notado por poucos clientes.	Uma porção do produto deverá ser retrabalhada dentro de linha, mas dentro da estação.	2
Nula	Nenhum defeito	Nenhum efeito ou pequenos inconvenientes para o operador.	1

Quadro 2 – Fator de severidade
Fonte – AIAG (2008) apud SAXER (2015)

A detecção indica a probabilidade de se detectar o modo de falha, levando em consideração a capacidade dos controles existentes em identificar a falha (LUI, 2016). Um exemplo que pode ser utilizado na aplicação da FMEA de processo como base para analisar o fator de detecção é apresentado no Quadro 3.

Detecção	Critério	A	B	C	Alcance sugerido para métodos de detecção	Índice
Nula	Absoluta certeza de não detecção			x	Não pode detectar ou não é checado.	10
Muito Remota	O controle provavelmente não irá detectar			x	O controle é executado com checagens indiretas ou aleatórias.	9
Remota	O controle tem uma chance pequena de detecção			x	O controle é executado apenas com inspeção visual.	8
Muito Baixa	O controle tem uma chance pequena de detecção			x	O controle é executado apenas com dupla inspeção visual.	7
Baixa	O controle pode ou não detectar		x	x	O controle é executado com representações gráficas, como controle estatístico de processo, por exemplo.	6
Moderada	O controle pode ou não detectar		x		O controle é baseado em uma variável a ser medida após as peças terem saído da estação ou medição do tipo passa não passa em 100% das peças após elas terem saído da estação.	5
Moderada/Alta	O controle tem uma boa chance de detectar	x	x		Detecção de erros em operações subsequentes ou medição feita na montagem.	4
Alta	O controle tem uma boa chance de detectar	x	x		Detecção de erros dentro da estação ou em operações subsequentes por camadas múltiplas de aceitação; suprimentos, seleção, instalação e verificação. Não se pode aceitar partes discrepantes.	3
Muito alta	É quase certeza que o controle irá detectar	x	x		Detecção do erro dentro da estação (medição automática com parada automática). Não pode passar partes discrepantes.	2
Muito alta	O controle irá detectar	x			Partes discrepantes não podem ser feitas porque o item foi imunizado a erros devido ao projeto ou processo do produto.	1
Legenda:						
A: Fortalecido contra erros B: Medições C: Inspeções manuais						

Quadro 3 – Fator de detecção
Fonte – AIAG (2008) apud SAXER (2015)

Helman e Andery (1995) sugerem uma sequência de etapas a serem realizada para aplicar a ferramenta FMEA com sucesso:

- a) Selecionar uma equipe;
- b) Definir os elementos do sistema para a análise;
- c) Coletar os dados;
- d) Analisar os elementos do sistema;

- e) Identificar os modos de falha e seus efeitos;
- f) Determinar as causas das falhas;
- g) Apontar os controles atuais existentes;
- h) Mensurar os critérios de risco;
- i) Sugerir recomendações;
- j) Revisar os procedimentos;
- k) Preencher os formulários do FMEA;
- l) Refletir sobre o processo.

2.8.4 Formulário do FMEA

Existe uma série de publicações que apresentam diferentes diretrizes e padrões de como elaborar um formulário do FMEA. No entanto, Reliability Engineering Resource (2017), afirma que os quatro principais modelos são: SAE J1739, AIAG FMEA-4 e MIL-STD-1629A. A título de exemplo, no Anexo A deste trabalho, encontra-se um modelo de formulário do FMEA de Processo-4 AIAG.

Por outro lado, muitas indústrias e empresas acabam desenvolvendo seu próprio modelo de formulário do FMEA que atende as necessidades específicas dos seus produtos e processos.

2.8.5 Benefícios da aplicação do FMEA

Para realizar o FMEA com sucesso, é de extrema importância utilizá-lo no momento adequado, procurando sempre agir de maneira preventiva, para evitar que os modos de falha de projeto, processo, sistema ou serviço sejam integrados ao produto. Quando o FMEA é implementada no período apropriado, ele é capaz de otimizar os custos com alterações nos produtos, processos, sistemas ou serviço, auxiliar na detecção das modificações necessárias para eliminar as falhas identificadas, além de evitar a aplicação de medidas corretivas, pelo fato do sistema já ter suas ameaças e vulnerabilidades monitoradas e mitigadas.

Stamatis (2003) também lista alguns benefícios notórios desta ferramenta, quando aplicada corretamente, como:

- a) O aumento da qualidade, confiabilidade e segurança dos produtos fabricados e/ou serviços oferecidos;
- b) A redução da variabilidade do processo;
- c) A melhora da competitividade e da imagem da empresa;
- d) A integração das diferentes áreas e dos funcionários dentro da empresa;
- e) A promoção de uma melhor compreensão do projeto, processo, sistema ou serviço;
- f) A promoção das atividades preventivas visando a melhora da qualidade;
- g) O alcance das expectativas dos clientes;
- h) A documentação e o acompanhamento das ações efetuadas com o objetivo de minimizar os riscos.

2.9 DIAGRAMA DE BLOCO

Muito utilizado como ferramenta de auxílio no desenvolvimento de uma análise FMEA, o diagrama de bloco representa de uma forma visual todo o sistema ou projeto a ser analisado. Esta visualização ajuda a equipe a identificar os limites, as entradas e saídas, as relações e dependências entre os itens e outras informações importantes para descrever o escopo do FMEA (CARLSON, 2012; WERDICH, 2012).



Figura 12 – Modelo de Diagrama de Bloco
Fonte – SENAC (2017)

Na Figura 12 pode-se ver um exemplo de diagrama de blocos com um início, suas etapas, processos de decisão e fim.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a estratégia de pesquisa, a caracterização da empresa escolhida para o estudo, e os procedimentos metodológicos.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Segundo Yin (2010), as estratégias de pesquisa auxiliam na escolha da melhor forma para coletar e analisar os dados de um trabalho. Contudo, o autor destaca que cada tipo de estratégia apresenta suas próprias vantagens e desvantagens. Assim, para escolher a melhor estratégia devem ser levadas em consideração às seguintes condições: o tipo de questão que nomina a pesquisa; o controle que se tem sobre os eventos comportamentais; e o nível de enfoque sobre os acontecimentos históricos, em disparidade a acontecimentos contemporâneos.

Nas ciências sociais, existem três principais e tradicionais estratégias de pesquisa: experimento, pesquisa e estudo de caso (ROBSON, 1993). O pesquisador pode optar pelo método: experimento, quando for possível identificar relações causais entre duas variáveis estudadas; pesquisa, quando descreve a distribuição das características ou acontecimentos que ocorrem naturalmente a partir de grupos de pessoas; e estudo de caso, quando envolve uma investigação empírica de um fenômeno particular contemporâneo.

Segundo Gil (2002), esta pesquisa é classificada como de estudo de caso, uma vez que ela busca analisar uma realidade específica. É elaborada basicamente por meio de observações diretas das atividades do grupo estudado e de entrevistas para recolher explicações e interpretações do que ocorre na realidade estudada.

Sendo assim, o estudo de caso é a estratégia de pesquisa adotada para o desenvolvimento deste trabalho.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

Este trabalho foi realizado no departamento de pesquisa e desenvolvimento de uma empresa multinacional, fornecedora de linhas de engarrafamento de bebidas e empacotamento.

Os principais clientes da empresa são cervejarias, fábricas de bebidas, indústrias de alimentos, farmacêuticos e de cosméticos.

Com as suas máquinas, a empresa cobre todo o processo de produção, engarrafamento, e empacotamento de bebidas e integra ainda por completo todos os sistemas de TI necessários. Ela realiza também projetos completos para fábricas da indústria de bebidas, incluindo a elaboração da planta, a produção das máquinas e a instalação das mesmas.

No decorrer dos anos, a empresa passou a ser referência mundial no mercado, não apenas pelas suas grandiosas máquinas feitas especialmente para suprir as necessidades específicas de cada cliente, como também pelas suas completas linhas de produção no âmbito de bebidas e empacotamento.

Dentro da empresa, a pesquisa e o desenvolvimento são considerados elementos cruciais. Para ela, o desenvolvimento de novos produtos é essencial para manter-se no mercado competitivo, por isso, em 2004, a empresa desenvolveu seu próprio processo de desenvolvimento de produto.

Com o passar dos anos, por meio de experiências, novas necessidades e novos métodos, esse processo passou por várias melhorias até chegar ao modelo atual. Um modelo sistemático, com um planejamento seguro, transparente nos prazos e custos, de qualidade e funcional.

O processo de desenvolvimento de produto utilizado atualmente pela empresa possui seis fases:

a) Formulação do produto: nessa primeira fase é desenvolvida a ideia do produto, e é feita uma estimativa do esforço e tempo para realizar o projeto;

b) Fase de requisitos: na segunda fase são analisados os requisitos do produto, a dimensão do mercado, os concorrentes, o retorno do investimento, e os custos de produção do produto;

c) Fase de concepção: na terceira fase é feito o detalhamento dos componentes do produto e as suas funções;

d) Fase de construção: na quarta fase é criado o modelo em 3D da máquina, é construído o primeiro protótipo e realizado os testes necessários;

e) Arranque do produto: na quinta fase a primeira máquina é enviada para o cliente e testada na fábrica, ocorre a otimização do desempenho do produto, e é feito um documento das lições aprendidas;

f) Produção em série: na sexta e última fase é iniciada a produção em série, é liberada a venda do produto, e é feito o lançamento do produto no mercado.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com o objetivo de aplicar a ferramenta FMEA em uma máquina enchedora que se encontra na fase de concepção do produto, o presente estudo de caso foi dividido em três etapas conforme pode ser visto na Figura 13. Na primeira etapa desenvolveu-se a pesquisa bibliográfica sobre a máquina enchedora e a ferramenta FMEA.

Na segunda etapa deste trabalho, formou-se uma equipe de profissionais com conhecimentos e experiências sobre a máquina enchedora para desenvolver a análise FMEA dentro da empresa. Com o auxílio do esquema da máquina enchedora, elaboraram-se diagramas de bloco para melhor compreender o funcionamento da máquina enchedora, identificaram-se os modos de falha e os efeitos do sistema e seus subsistemas e em seguida, avaliaram-se os riscos baseando-se nos critérios ocorrência, severidade e detecção.

Na terceira e última etapa foi possível realizar uma análise das possíveis falhas e sugerir algumas melhorias.

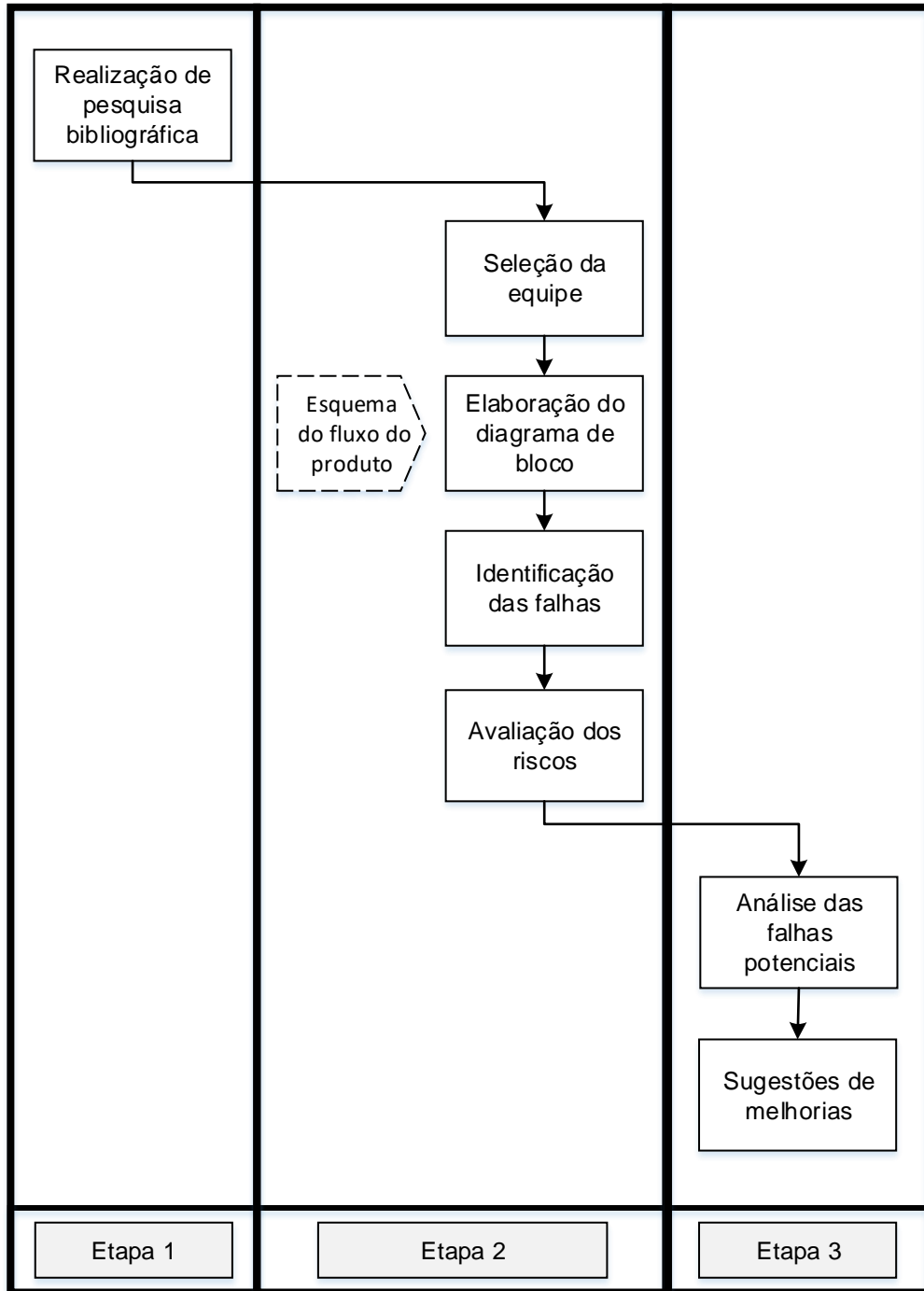


Figura 13 – Etapas do Trabalho
Fonte – Elaboração própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo relata um estudo de caso concernente à aplicação do FMEA durante a fase de concepção do produto de uma máquina enchedora, que possui como principal objetivo identificar os riscos que possam causar uma impressão negativa ou até mesmo algum dano ao consumidor final do refresco que será produzido pela máquina enchedora.

Para uma melhor compreensão dos resultados alcançados ao longo da execução deste trabalho, o capítulo foi dividido na seguinte ordem: seleção da equipe, caracterização da máquina enchedora, descrição do processo de enchimento, diagrama de bloco, identificação das falhas, avaliação de risco e análise.

4.1 SELEÇÃO DA EQUIPE

Para realizar a aplicação do FMEA, elegeu-se um grupo de profissionais qualificados e com anos de experiência na área de tecnologia de enchimento. Sendo assim, a equipe contou com a participação de um especialista da máquina enchedora, um engenheiro de qualidade, um engenheiro mecânico, um técnico em montagem, um engenheiro de desenvolvimento de produto e uma estagiária.

4.2 CARACTERÍSTICAS DA MÁQUINA ENCHEDORA

Como a máquina enchedora ainda encontrava-se na fase de desenvolvimento de produto no período da aplicação do FMEA, a equipe de profissionais utilizou uma ilustração esquemática da máquina enchedora em funcionamento, como pode ser visto na Figura 14, para auxiliar no desenvolvimento da aplicação da ferramenta FMEA.

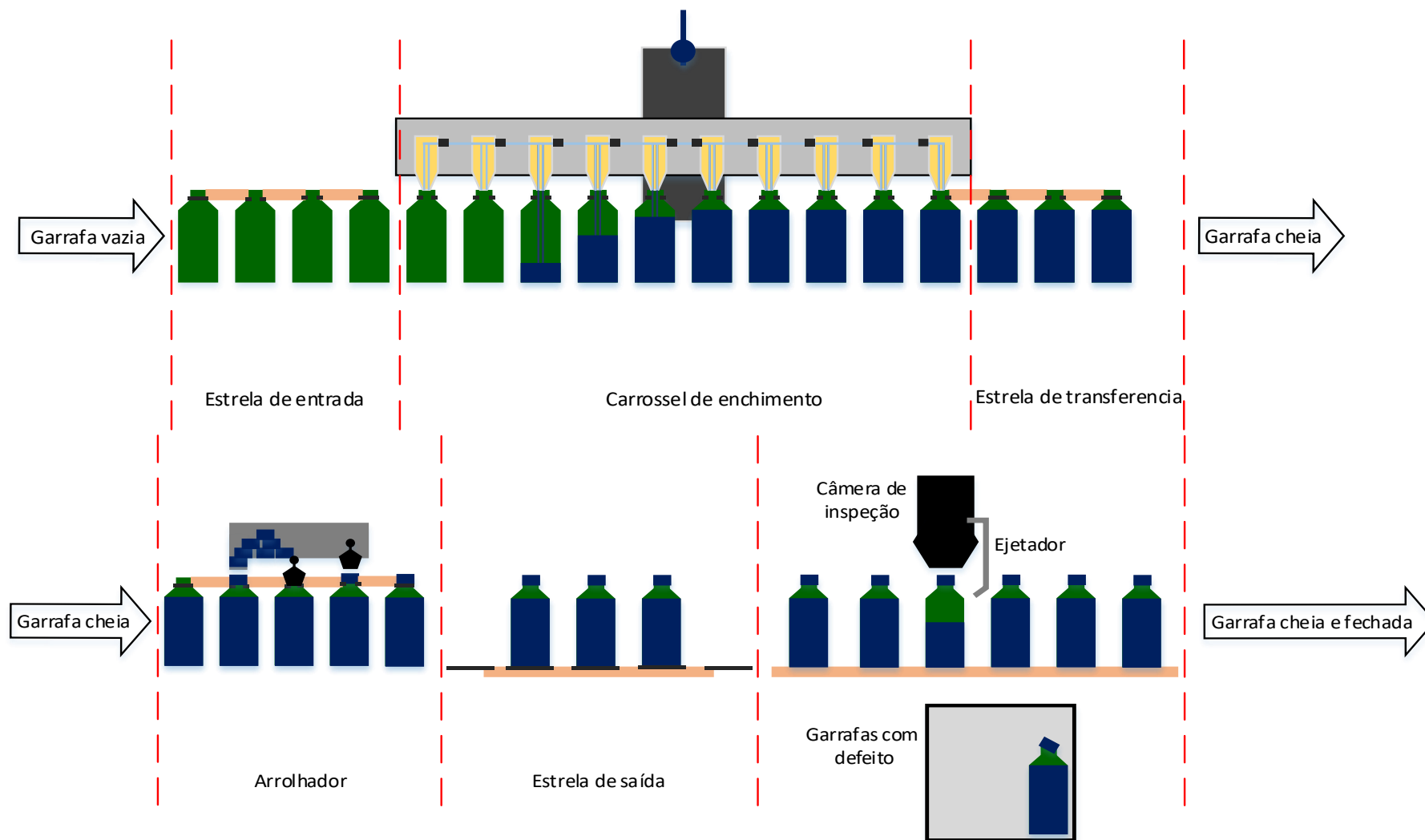


Figura 14 – Ilustração esquemática da máquina enchedora em funcionamento

O esquema apresentado na Figura 14 representa como será o processo de enchimento da máquina enchedora. O sistema de enchimento da máquina enchedora é circular, de transporte aéreo e o carrossel de enchimento possui um total de 54 válvulas de enchimento. A embalagem empregada no processo é de garrafa PET não retornável e o produto a ser acondicionado nas garrafas PET é um refresco.

O mecanismo para medir a quantidade de produto líquido acondicionado nas garrafas PET é por peso. E, a capacidade da máquina enchedora deve atingir a produção de 14.000 garrafas/hora de 1,5 litros ou até 23.000 garrafas/horas de 0,5 litros.

4.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ENCHIMENTO

Antes de programar as máquinas para iniciar a produção, um operador autorizado deve verificar se todos os parâmetros necessários do painel HMI estão corretos, caso esteja tudo certo, ele pode dar início a produção.

O processo a ser analisado inicia quando a garrafa PET vazia chega a estrela de entrada, ela é agarrada por um grampo, pela “garganta”, e transportada até o carrossel de enchimento.

Com o peso da garrafa PET vazia a válvula de enchimento, como visto na Figura 14 pela cor amarela, é acionada e o processo de enchimento é inicializado (caso uma posição do carrossel de enchimento fique vazia, ou seja, sem garrafa PET, a válvula de enchimento não abre).

Durante esse processo, o carrossel de enchimento gira com a garrafa 278 graus e transfere a garrafa, agora cheia, para a estrela de transferência. Durante todo esse processo o transporte é aéreo, onde as garrafas são agarradas por grampos. No arrolhador, as tampas são assentadas na garrafa e fechadas.

Na sequência, a estrela de saída transfere a garrafa cheia e fechada para a esteira onde uma câmera de inspeção confere se há alguma falha na garrafa, no fechamento da tampa e se o peso do produto líquido mais a garrafa estão corretos. Caso a câmera de inspeção detecte alguma falha, este produto é ejetado da produção e caso a câmera de inspeção não detecte nenhum problema a garrafa

com o produto líquido segue no processo.

4.4 DIAGRAMA DE BLOCOS

Para auxiliar na elaboração do FMEA, a primeira ação do grupo de trabalho foi de transformar a ilustração esquemática, representada na Figura 14, em diagramas de blocos.

No total foram criados cinco diagramas de bloco descritos abaixo:

- a) Características não funcionais: esse diagrama descreve, de uma maneira geral, as principais etapas do processo de enchimento, para auxiliar na identificação das falhas não funcionais da máquina enchedora;
- b) Transferência da garrafa PET da estrela de entrada para o carrossel de enchimento;
- c) Enchimento da garrafa PET;
- d) Fechamento da garrafa PET;
- e) Saída da garrafa PET.

No Apêndice A deste trabalho é possível identificar todos os diagramas de bloco listados anteriormente, apresentando as entradas, saídas, processos e funções do sistema analisado.

4.5 IDENTIFICAÇÃO DAS FALHAS

Com base na revisão bibliográfica, na ilustração esquemática da máquina enchedora em funcionamento e nos diagramas de bloco elaborados, foi possível preencher a primeira parte do formulário FMEA.

No Quadro 4 é possível ver uma explicação de como o formulário FMEA foi preenchido.

Nomenclatura das colunas	Explicação
Categoria	Pré-requisito, estradas e saídas, processos, notificações, acionamento manual.
Modo de falha	Possível falha que possa ocorrer nas diferentes categorias analisadas.
Efeito de falha	Impacto da falha sobre o produto (garrafa e refresco).
Relevante?	Avaliação da relevância da falha SIM: os riscos da falha devem ser avaliados NÃO: os riscos não precisam ser avaliados, pois a falha não é relevante.
Causa	A decisão tomada na avaliação da relevância da falha pode ser explicada nesta coluna

Quadro 4 – Descrição das categorias

Durante a aplicação da ferramenta FMEA, fez-se uma análise de relevância dos modos de falha. Considerou-se relevante, todas as falhas encontradas que possam causar uma imagem ruim ao cliente final do refresco. E, não relevante as falhas que de uma maneira ou de outra não cheguem ao consumidor final do refresco. Nesse caso, também não se fez necessário mensurar os riscos dessas falhas.

Durante a elaboração do formulário FMEA, a palavra produto é utilizada para referir-se ao refresco acondicionado nas embalagens durante o processo de enchimento.

Todos os modos de falha identificados, como seus efeitos encontram-se no Apêndice A deste trabalho.

4.6 AVALIAÇÃO DE RISCO

Para realizar a avaliação das possíveis falhas, a equipe de trabalho seguiu aos critérios estabelecidos no Quadro 5, em que diferentes aspectos foram numerados dentro de uma escala de 1-5 e os critérios analisados foram:

- a) Ocorrência (O): estima a probabilidade de ocorrência de falha;
- b) Severidade (S): estima quão grave seria o impacto da falha
- c) Detecção (D): estima a rapidez em que a falha pode ser detectada;

CRITÉRIOS					
Pontos	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detecção (D)	NPR	Risco
1	Muito baixa; medidas preventivas existentes	Muito baixa; cliente não reconhece a falha e ela não causa impacto	Protegido; existe um monitoramento direto para esta falha; máquina para a produção	1-8	Não é crítico
2	Baixa; apenas uma medida preventiva existente	Baixa; cliente reconhece a falha, porém ela não causa impacto	Protegido; existe um monitoramento para esta falha; máquina não para; produtos com falha serão descartado		
3	Média; nenhuma medida preventiva existente	Média; cliente não consegue usar a garrafa devido a falhas na produção	Média; existe um monitoramento indireto;	9-125	Crítico
4	Alta; nenhuma medida preventiva existente	Alta; não é possível rastrear produto; não contém número de série	Não está protegido; a falha pode ser descoberta através de testes; produto com defeito poderia ser vendido		
5	Muito alta; nenhuma medida preventiva existente	Muito alta; garrafa com falha contendo produto, perigo ao consumidor; contaminação	Não está protegido; a falha não será reconhecida; produto com defeito será vendido		

Quadro 5 – Critérios de avaliação de risco

A avaliação dos riscos também se encontra no Apêndice A deste trabalho, junto ao formulário preenchido do FMEA.

4.7 ELABORAÇÃO DA ANÁLISE

O formulário criado com a aplicação do FMEA, que se encontra no Apêndice A deste trabalho, passou por três versões. A primeira versão foi criada pelo grupo na última semana de janeiro de 2017, entre os dias 23 e 27, e passou por uma revisão no dia 15.02.2017. No dia 23.02.2017 o FMEA foi apresentada em forma de Workshop para a equipe interna responsável pelo desenvolvimento do novo produto

e assim criou-se a terceira e última versão do formulário.

Com a aplicação da ferramenta FMEA foram encontrados 79 modos de falha na máquina enchedora. Dentre elas, 57 possíveis falhas poderiam causar uma imagem negativa ou algum dano aos consumidores do refresco embalado.

Através da avaliação dos riscos, concluiu-se que 53 falhas são consideradas críticas. Porém apenas uma falha – 5.10. garrafa cai na esteira durante controle final da câmera de inspeção – foi avaliada com pontuação máxima nos três critérios: ocorrência, severidade e detecção.

Fazendo-se uma análise dos fatores de ocorrência e severidade pode-se elaborar a matriz apresentada na Figura 15, em que apenas uma falha possui índice de severidade menor que dois, ou seja, que não é crítica. Observando-se o índice de ocorrência, consegue-se perceber que menos da metade das falhas são consideradas críticas, porém 19 delas possuem índice máximo de gravidade.

Ocorrência ^	5		1	3		15
	4					
	3			2	2	
	2			2		8
	1			4	2	18
		1	2	3	4	5
		Severidade ->				

Figura 15 – Matriz de Risco

Dentre os modos de falha encontrados, pode-se verificar a falta de controle de qualidade durante o fechamento da garrafa PET e por isso, é o processo com os maiores índices de risco.

Por conta de todo o processo de enchimento ocorrer através de transporte aéreo, a falha que foi identificada em quase todas as etapas é na transferência da garrafa PET entre as estrelas de entrada, saída, transferência e o carrossel de enchimento.

5 CONCLUSÃO

O estudo de caso apresentado neste trabalho possibilitou a visualização prática da aplicação da ferramenta FMEA em uma máquina enchedora que se encontra na fase de concepção do produto.

A elaboração dos seis diagramas de rede no início do trabalho foi de vital importância para compreender o sistema e aplicar a ferramenta FMEA.

Através da metodologia FMEA foi possível identificar 57 possíveis falhas que poderiam causar danos no produto ou na embalagem onde o produto será acondicionado.

Com a análise de riscos dos modos de falha pode-se constatar que a maioria das falhas pode acontecer durante o processo de transferência da garrafa entre os ganchos do transporte aéreo, porém as falhas mais graves podem acontecer no processo de fechamento das garrafas por não haver nenhum sistema de controle.

Para cada modo de falha pode-se sugerir testes e/ou medidas preventivas para serem realizados na etapa de construção do protótipo do produto para minimizar ou eliminar os modos de falha identificados antes que eles venham a acontecer e assim validar a qualidade do produto e minimizar os custos com retrabalho e recalls.

Assim, através deste trabalho, pôde-se concluir a eficácia da ferramenta FMEA quando utilizada na etapa de concepção do produto para reduzir custos e melhorar a qualidade do produto analisado.

É importante mencionar que a aplicação do FMEA no processo de limpeza CIP da máquina enchedora circular não pode ser realizada neste trabalho devido a sua complexidade e extensão. Por isso, como sugestão para trabalhos futuros, poderá ser realizada a sequência dos estudos relacionados a aplicação do FMEA apenas no processo de limpeza CIP de uma máquina enchedora circular.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: **Confiabilidade e maneabilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BRASIL, **Decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>. Acessado em 05 de março de 2017.

BLÜML, S.; FISCHER, S. **Handbuch der Fülltechnik: Grundlagen und Praxis für das Abfüllen flüssiger Produkte**. Hamburg: Behr, 2004.

BREITNER, **Effiziente und flexible Füllmaschinen von BREITNER**. Disponível em: <http://www.breitner.de/fuellmaschinen.html>. Acessado em: 08 de março de 2017.

CARLSON, C. S. **Effective FMEAs: achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.

DALOSTO, D. N. **Análise da consistência do FMEA: uma abordagem quantitativa à uma ferramenta qualitativa. Dissertação**. Itajubá: Unoversidade Federal de Itajubá, 2015.

DRECHSEL, D.; VETTER, F. **Wäge-, Abfüll- und Verpackungsprozesse**. 2.ed. München: Deutscher Industrieverlag, 2007.

EVERS, H. **Reinigung und Desinfektion: Hygiene in der Abfüllung**. Nürnberg: BRAUWELT, v. 7, p.180-181, 2015.

FELDHUSEN, J.; GROTE K.H. **Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung**. 8.ed. Berlin: Springer, 2013.

FRITZSCHE, R. **Fehler und Einflüsse bei der FMEA: ein vergleich der Ansätze nach VDA und QS-9000**. Steiermark: INDUSTRIE v. 41, p.280-286, 2010.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas S. A, 2002.

GILCHRIST, W. **Modeling failure modes and effects analysis**. International Journal of Quality & Reliability Management, Bradford, v. 10, n. 5, p. 16-24, 1993.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas: (Aplicação dos métodos de FMEA e FTA)**. UFMG, Escola de Engenharia, 1995.

Konsum von abgepackten Getränken weltweit nach Art im Jahr 2011 (in Milliarden Litern). statista, 2011. Disponível em: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/245012/umfrage/konsum-von-abgepackten-getraenken-nach-getraenkeart-weltweit/>. Acessado em: 12 abril de 2017.

Konsum von abgepackten Getränken weltweit nach Art im Jahr 2011 (in Milliarden Litern). statista, 2014. Disponível em: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/245015/umfrage/konsum-von-abgepackten-getraenken-nach-regionen-weltweit/>. Acessado em: 12 de abril 2017.

KRONES AG. **Egobloc**. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/BI6vbnAAp79/?taken-by=kronesag>. Acessado em: 20 de abril de 2017.

KM Beverage. **Abfüllanlage**. Disponível em: <http://www.kmbeverage.com/filling-machine/juice-filling-machine/>. Acessado em: 21 de abril 2017.

LEVIN, M. A.; KALAL, T. T. **Improving Product Reliability: Strategies and Implementation**. West Sussex, England: Wiley. 2003.

LIU, H.-C. **FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods**. Singapore: Springer, 2016.

Neue Verpackung. **25 Jahre Forum PET**. Disponível em: <http://www.neue-verpackung.de/43773/25-jahre-forum-pet/>. Acessado em: 10 de março de 2017.

Orthuber, H.; Becker, W.; Scheiber, E.; Winkler, G.; Bachem, C.; Wolz, I.; Rudolph, H. Ulrich, W.; Acker, H. B.; Thiele, H.; Büchner, J.; Fell, F.; Gutenberg, E.; Heiss, T.; Kalveram, W.; Mand, J.; Meyer, C. W.; Morsch, D. A. A.; Munz, M.; Pawel, R.; Schönfeld, M. **Handbuch für die Getränkeindustrie: Ein kaufmännisches Lehr- und Informationswerk für die Getränkewirtschaft**. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1968.

RELIABILITY ENGINEERING RESOURCE. **Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA)**. Disponível em: <http://www.weibull.com/basics/fmea.htm>. Acesso em: 06 de março de 2017.

ROBSON C. **Real World Research: A Resource for Social Scientists and Practitioner-Researchers**. Oxford: Blackwell, 1993.

Secretaria Nacional do Consumidor. **Boletim Recall 2016**. Disponível em: <<http://www.justica.gov.br/noticias/ministerio-da-justica-lanca-balanco-de-recalls-em-2016/boletim-recall-2016.pdf>>. Acessado em: 23 de março de 2017.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution**. 2. ed. ASQC, Milwaukee: Quality Press, 2003.

SAXER, P. **Aplicação da FMEA para análise de riscos na qualidade do processo de embalagens em uma multinacional de agroquímicos**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso). Escola de Engenharia de Lorena. Universidade de São Paulo: 2015.

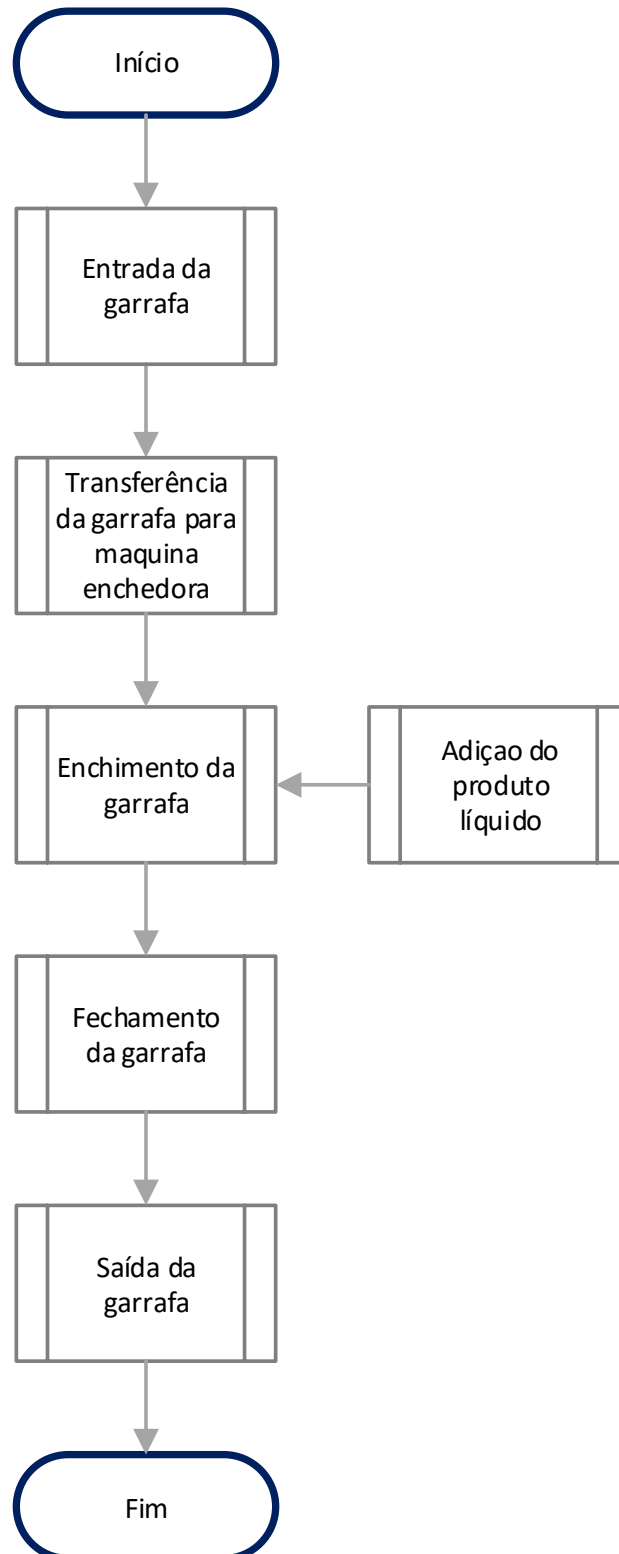
SCHUG, D. **Liquid filling machine trends: Today's equipment is more versatile**. Disponível em: <<http://www.foodengineeringmag.com/articles/96196-liquid-filling-machine-trends-todays-equipment-is-more-verstaile>>. Acessado em: 08 de março de 2017.

SCHWARZ, F. **Alu, Glas und PET: Neuheiten aus der Getränkeindustrie**. Neue Verpackung, Heidelberg, p. 22-25, v.3, 2015.

SENAC. **Fluxo de produção**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABZ_kAB/senac-fluxo-producao-apostila>. Acessado em: 20 de março de 2017

WERDICH, M. **FMEA – Einführung und Moderation**. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2012.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

APÊNDICE A – Características Não Funcionais**Figura 16 – Características não funcionais**

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada
					O	S	D	R		
1.01	Documentação	Documento técnico em falta ou com erro	Máquina será operada de maneira incorreta	SIM	1	5	5	25	-	Verificar documentação
1.02	Treinamento	Treinamento foi insuficiente ou não existiu	Máquina será operada de maneira incorreta	SIM	1	5	5	25	-	Realizar treinamento adequado para a operação da máquina
1.03	Operação	Operação não autorizada da máquina	Máquina enchedora trabalha com parâmetros errados	SIM	1	5	1	5	-	Verificar autorização de acesso ao painel HMI (Interface Homem-Máquina)
1.04	Espera	Tempo de espera da máquina incorreto	Danos no produto devido ao enchimento incorreto	SIM	1	5	5	25	-	Realizar teste de espera da máquina, fornecer instruções de uso ao operador
1.05		Peças para substituição não estão à disposição	Máquina não pode ser reparada	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	Possuir uma lista de peças para reposição e possuir peças de reposição em estoque
1.06	Limpeza da máquina	Limpeza interna e externa não é corretamente realizada ou não é realizada	Produto será contaminado pela sujeira	SIM	1	5	5	25	-	Usar manual de instruções para realizar a limpeza das máquinas
1.07	Calibração	Utilização do valor real errado no processo	Produto não será corretamente enchido	SIM	1	5	5	25	-	Usar manual de instruções para calibração

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada
					O	S	D	R		
1.08	Peça de reposição	Peça sem etiqueta ou com a etiqueta trocada	Peça não pode ser identificada, podendo assim ser montada de maneira incorreta	SIM	1	3	3	9	-	Identificação permanente das peças com o uso de etiquetas corretas
1.09		Peças montadas de maneira incorreta	Garrafas podem ser danificadas	SIM	3	3	4	36	-	Usar manual de instruções para montar as peças
1.10		Peças montadas na posição incorreta	Garrafas podem ser danificadas	SIM	3	3	4	36	-	Usar manual de instruções para montar as peças
1.11	Peças em contato com o produto	Peças em contato direto ou indireto com o produto são de material não autorizado	Interação entre o material e o produto	SIM	1	5	5	25	-	Verificar certificado do material utilizado
1.12	Material usado	Material utilizado não corresponde às especificações	Produto não está suficientemente protegido	SIM	5	5	4	100	-	Controlar qualidade do material na entrada da matéria prima
1.13	Serviços	Queda de energia	Máquina realiza uma parada incontrolada. Garrafas serão danificadas	SIM	2	5	2	20	Após uma queda de energia, todas as garrafas são retiradas do processo e descartadas e só assim o processo poderá ser novamente reiniciado	Verificar procedimento padrão de queda de energia no manual de instruções
1.14		Material de limpeza da CIP está contaminada	Produto será contaminado	SIM	1	5	5	25	-	Controle periódico de qualidade do material de limpeza da CIP

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada
					O	S	D	R		
1.15	Porta ou tampa de segurança	Porta ou tampa de segurança aberta durante o trabalho dos operadores no local	Produto pode ser danificado pelo operador, mesmo não sendo um trabalho direto com o produto, apenas próximo	SIM	1	5	5	25		Treinamento do operador sobre procedimentos que devem ser realizados quanto a porta de segurança se encontra aberta
1.16	Parada de emergência	Sistema acusa estado indefinido após a parada de emergência	Falta de sincronização pode levar a danificação da garrafa	SIM	1	4	5	20		Instituir sistema automático de sincronização após parada de emergência
1.17	Data e hora	Data e hora entre painel HMI e os equipamentos agregados não estão sincronizadas	Possível diferença do registro de data e hora em auditorias	SIM	3	4	5	60		Verificar sincronização de data e hora
1.18		Produção durante a troca do horário de verão /inverno	Sistema não atualiza o horário de verão/inverno	SIM	3	4	5	60		Programar e verificar atualização do horário de verão/inverno
1.19	Software	Software e/ou configuração especificada pelo cliente não é instalado corretamente	Funções do software não são seguras; qualidade do produto não é assegurada	SIM	1	5	5	25		Verificar software, sua versão, sua configuração e seus parâmetros corretos

a) Transferência da garrafa para o carrossel de enchimento

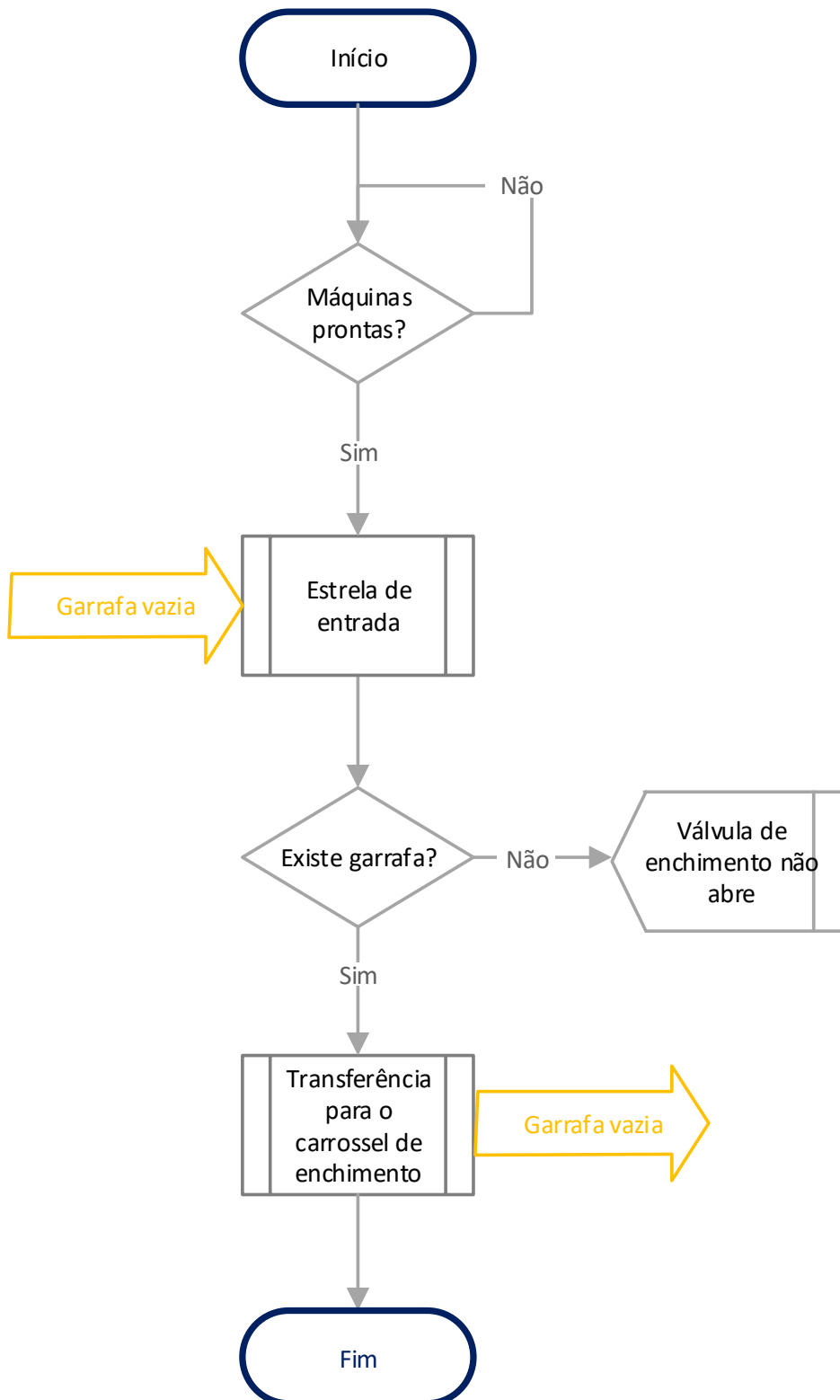


Figura 17 – Transferência da garrafa PET da estrela de entrada para o carrossel de enchimento

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada
					O	S	D	R		
2.01	Entrada: todas as máquinas estão prontas?	Acionamento da primeira máquina sendo que a máquina seguinte não está funcionando	As garrafas serão danificadas durante o processo de transferência da garrafa	SIM	2	3	1	6	Monitoramento da sincronização entre as máquinas	-
2.02	Entrada: existe garrafa?	Ausência de garrafa não é reconhecida pelo sistema de pesagem	Abertura da válvula de enchimento sem garrafa suja e contamina a máquina enchedora	SIM	5	5	3	75	-	Verificar controle de peso das garrafas
2.03		Existe garrafa, porém ela não é reconhecida pelo sistema de pesagem	Garrafa não será enchida/garrafa será retirada da produção	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	-
2.04	Saída: válvula de enchimento	A válvula de enchimento é aberta sem a existência da garrafa	Abertura da válvula de enchimento sem garrafa suja e contamina a máquina	SIM	5	5	3	75	-	Controle de peso das garrafas
2.05		Existe garrafa, porém a válvula de enchimento não abre	Garrafa não será enchida/garrafa será retirada da produção	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	-
2.06	Processo: repasse para a estrela de entrada	Estrela de entrada não agarra a garrafa	Uma posição da estrela de entrada permanece vazia	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	-
2.07			Garrafa não será enchida	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	-
2.08		Estrela de entrada agarra garrafa de forma incorreta	Danificação da garrafa	SIM	1	5	3	15	Gancho com problema	Análise da qualificação operacional

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada
					O	S	D	R		
2.09	Processo: repasse para o carrossel de enchimento	A garrafa permanece na estrela de entrada	Uma posição do carrossel de enchimento permanece vazia	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	-
2.10		A garrafa não é repassada/ ou não é repassada corretamente para o carrossel de enchimento	Abertura da válvula de enchimento sem garrafa suja e contamina a máquina; Danificação da garrafa	SIM	1	5	3	15	Gancho com problema	Verificar peso da garrafa; Análise da qualificação operacional

b) Enchimento da garrafa PET

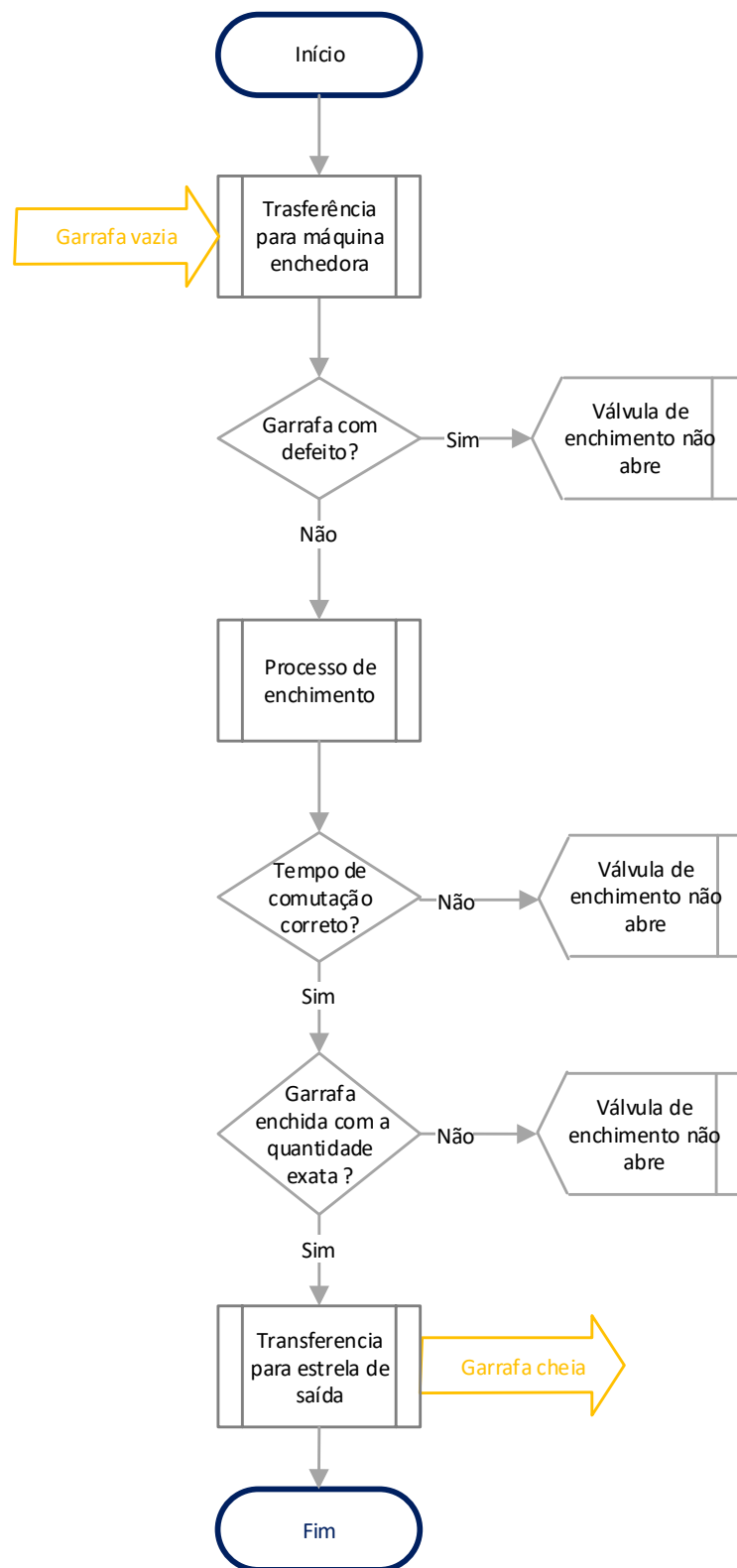


Figura 18 – Enchimento da garrafa PET

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada
					O	S	D	R		
3.01	Entrada: garrafa com defeito?	Garrafa perfeita é identificada pelo sistema como garrafa com defeito	Garrafa perfeita é retirada do processo	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	-
3.02		Garrafa com defeito é aceita pelo sistema como garrafa perfeita	Garrafa com defeito será enchida	SIM	1	5	3	15	-	Análise da qualificação operacional
3.03	Entrada: tempo de comutação correto?	Tempo de comutação incorreto	Parte do produto pode ser injetada na borda e/ou fora da garrafa	SIM	2	5	1	10	-	Verificar parâmetros de tempo de comutação no painel HMI
3.04	Entrada: garrafa enchida com a quantidade exata?	Sistema acusa quantidade exata enchida quando na verdade não está correto	Garrafa fora dos padrões de qualidade segue na produção	SIM	5	3	2	30	Controle feito pela câmera de inspeção no final do processo	Análise da qualificação operacional
3.05		Sistema acusa quantidade errada enchida quando na verdade está correto	Garrafa que está adequada aos padrões é retirada da produção	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	-
3.06	Saída: garrafa com defeito?	Garrafa perfeita é retirada do sistema	Máquina enchedora acusa garrafa perfeita como garrafa com defeito	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	-
3.07		Garrafa com defeito é aceita como garrafa perfeita	Garrafa com defeito será vendida	SIM	1	5	3	15	Controle feito pela câmera de inspeção no final do processo	Análise da qualificação operacional

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada
					O	S	D	R		
3.08	Processo: transferência para máquina enchedora	Carrossel de enchimento não pega garrafa	Uma posição do carrossel de enchimento permanece vazia	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	-
3.09			Garrafa é descartada	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	-
3.10		Carrossel de enchimento pega a garrafa incorretamente	Garrafa é danificada	SIM	1	5	3	15	Problema mecânico no gancho	Manutenção preventiva/ Reparação ou troca de peça
3.11			Enchimento ocorre incorretamente (suja a máquina)	SIM	2	5	3	30	Problema mecânico no gancho	Manutenção preventiva/ Reparação ou troca de peça
3.12	Processo: enchimento	Válvula de enchimento entupida	Garrafa incompletamente enchida será vendida	SIM	2	5	1	10	-	Verificar sistema de controle do processo de enchimento
3.13			Contaminação da garrafa devido ao enchimento incorreto	SIM	2	5	3	30	-	Verificar manual de informações para desentupir a válvula
3.14	Processo: transferência para a estrela de transferência	Garrafa permanece no carrossel de enchimento	Uma posição da estrela de transferência permanece vazia	NÃO	-	-	-	-	Falha não chega ao cliente	-
3.15		Garrafa é transmitida incorretamente para a estrela de transferência	Garrafa é danificada	SIM	1	5	3	15	-	Verificar problema mecânico no gancho
3.16			Garrafa bloqueia uma posição da estrela de transferência	SIM	1	3	1	3	Problema mecânico no pegador	-

c) Fechamento da garrafa PET

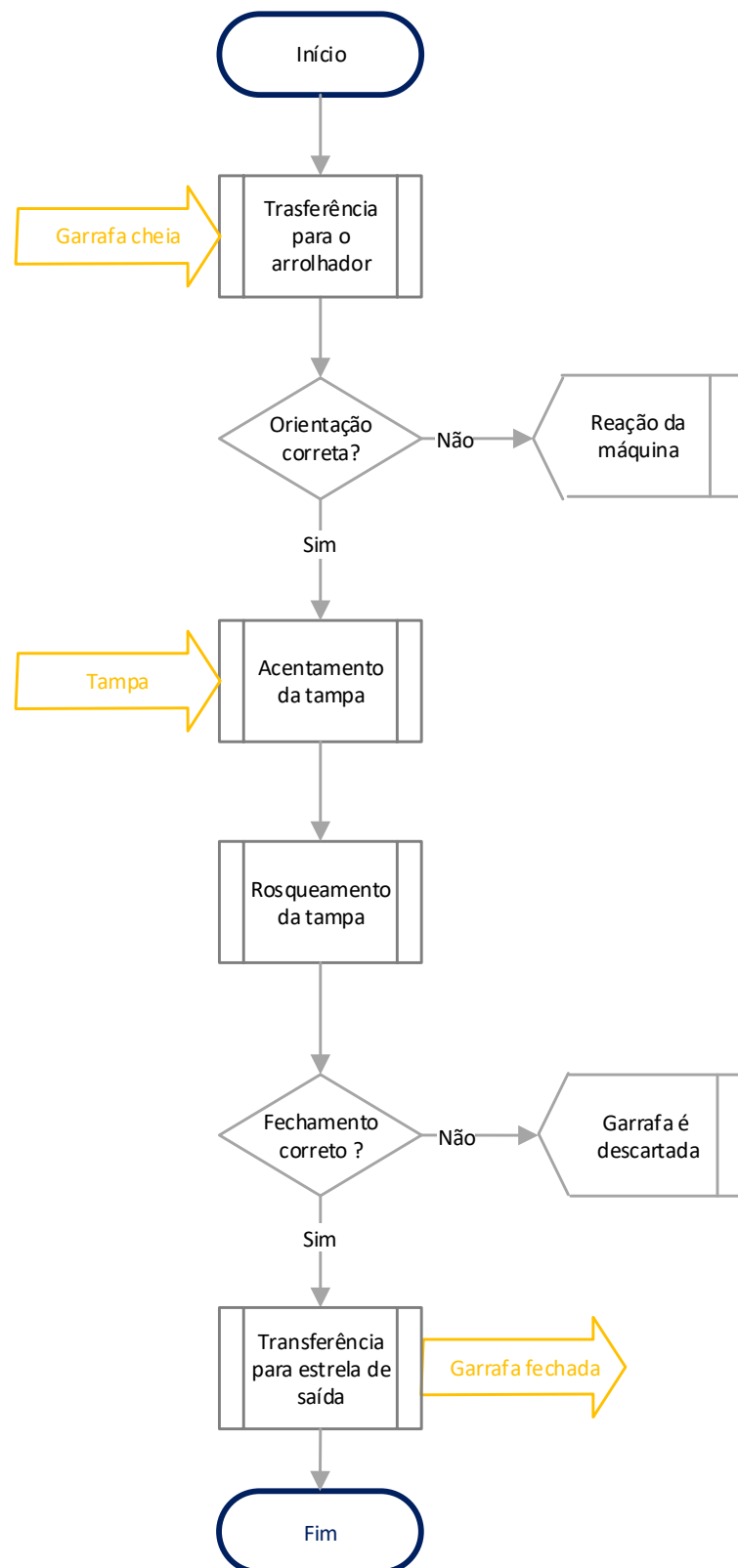


Figura 19 – Fechamento da garrafa PET

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada
					O	S	D	R		
4.01	Entrada: orientação correta da garrafa?	Sistema acusa orientação incorreta quando na verdade está correta	Produto perfeito será descartado	NÃO	-	-	-	-	Produto não chega ao cliente	
4.02		Sistema acusa orientação correta quando na verdade está incorreta	Garrafa incorretamente orientada será fechada	SIM	5	2	2	20		Calibrar os sensores utilizando o manual de instruções IQ/ OQ
4.03	Entrada: fechamento correto da garrafa?	Sistema acusa falha no fechamento quando na verdade está correta	Garrafa com produto perfeita será descartada	NÃO	-	-	-	-	Produto não chega ao cliente	
4.04		Sistema acusa fechamento correto quando na verdade está incorreto	Garrafa incorretamente fechada será vendida (possível contaminação)	SIM	5	5	2	50		Calibrar os sensores utilizando o manual de instruções IQ/ OQ
4.05	Saída: reação da máquina para garrafas que não estão corretamente orientadas	Nenhuma ou reação errada da máquina com as garrafas incorretamente orientadas	Tampa não é assentada na posição correta	SIM	5	2	4	40		Calibrar os sensores utilizando o manual de instruções IQ/ OQ
4.06	Saída: fechamento correto?	Sistema acusa falha em garrafa corretamente fechada	Garrafa perfeita é retirada da produção	NÃO	-	-	-	-	Produto não chega ao cliente	
4.07		Sistema não acusa falha no fechamento da garrafa	Garrafa com falha no fechamento será vendida	SIM	1	5	5	25		Análise da qualificação operacional

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada	
					O	S	D	R			
4.08	Processo: transferência para o arrolhador	Arrolhador não agarra garrafa	Uma posição no arrolhador permanece vazia; Garrafa é descartada	NÃO	-	-	-	-	Produto não chega ao cliente	-	
4.09		Arrolhador agarra garrafa incorretamente	Garrafa é danificada	SIM	5	3	3	45	Controle feito pela câmara de inspeção no final do processo	Análise da qualificação operacional	
4.10			Entupimento do arrolhador		SIM	5	3	1	15	-	Análise da qualificação operacional
4.11			Garrafa não é corretamente fechada (possível contaminação do produto)		SIM	5	5	2	50	-	Análise da qualificação operacional
4.12		Processo: assentamento da tampa	Não existe tampa no arrolhador	Garrafa não é fechada; Produto pode vazar ou ser contaminado	SIM	5	5	4	100	-	Instalar sensores de detecção de tampa
4.13			Garrafa e produto podem ser danificados através do fechamento do arrolhador sem a existência de tampa	SIM	5	5	4	100	-	Instalar sensores de detecção de tampa	
4.14	Tampa errada é assentada		Tampa não encaixa na garrafa; produto pode vazar ou ser contaminado	SIM	5	5	4	100	-	Verificar parâmetros das tampas antes de iniciar a produção	
4.15			Garrafa e produto podem ser danificados	SIM	5	5	4	100	-	Verificar parâmetros das tampas antes de iniciar a produção	

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada
					O	S	D	R		
4.16		Tampa com defeito é assentada	Garrafa não é corretamente fechada; produto pode vazar ou ser contaminado	SIM	5	5	4	100	-	Verificação da qualidade das tampas
4.17			Garrafa não é corretamente fechada (possível contaminação do produto)	SIM	5	5	4	100	-	Verificação da qualidade das tampas
4.18	Processo: fechamento da tampa	Tampa não é completamente fechada	Produto pode vazar ou ser contaminado	SIM	5	5	4	100	-	Análise da qualificação operacional
4.19		Tampa é incorretamente fechada	Produto pode vazar ou ser contaminado	SIM	5	5	4	100	-	Análise da qualificação operacional
4.20			Garrafa ou o produto pode ser danificados	SIM	5	5	4	100	-	Análise da qualificação operacional
4.21	Processo: transferência para a estrela de saída	Garrafa permanece na estrela de saída	Uma posição da estrela de saída permanece vazia	NÃO	-	-	-	-	Produto não chega ao cliente	-
4.22			Garrafa bloqueia arrolhador e sequência no processo	SIM	1	5	3	15	Problema mecânico no agarrador	Reparação ou troca de peça
4.23		Garrafa não é corretamente transferida para a estrela de saída	Garrafa é descartada	NÃO	-	-	-	-	Produto não chega ao cliente	-
4.24			Garrafa é danificada	SIM	1	5	3	15	Problema mecânico no agarrador	Reparação ou troca de peça

d) Saída da garrafa PET

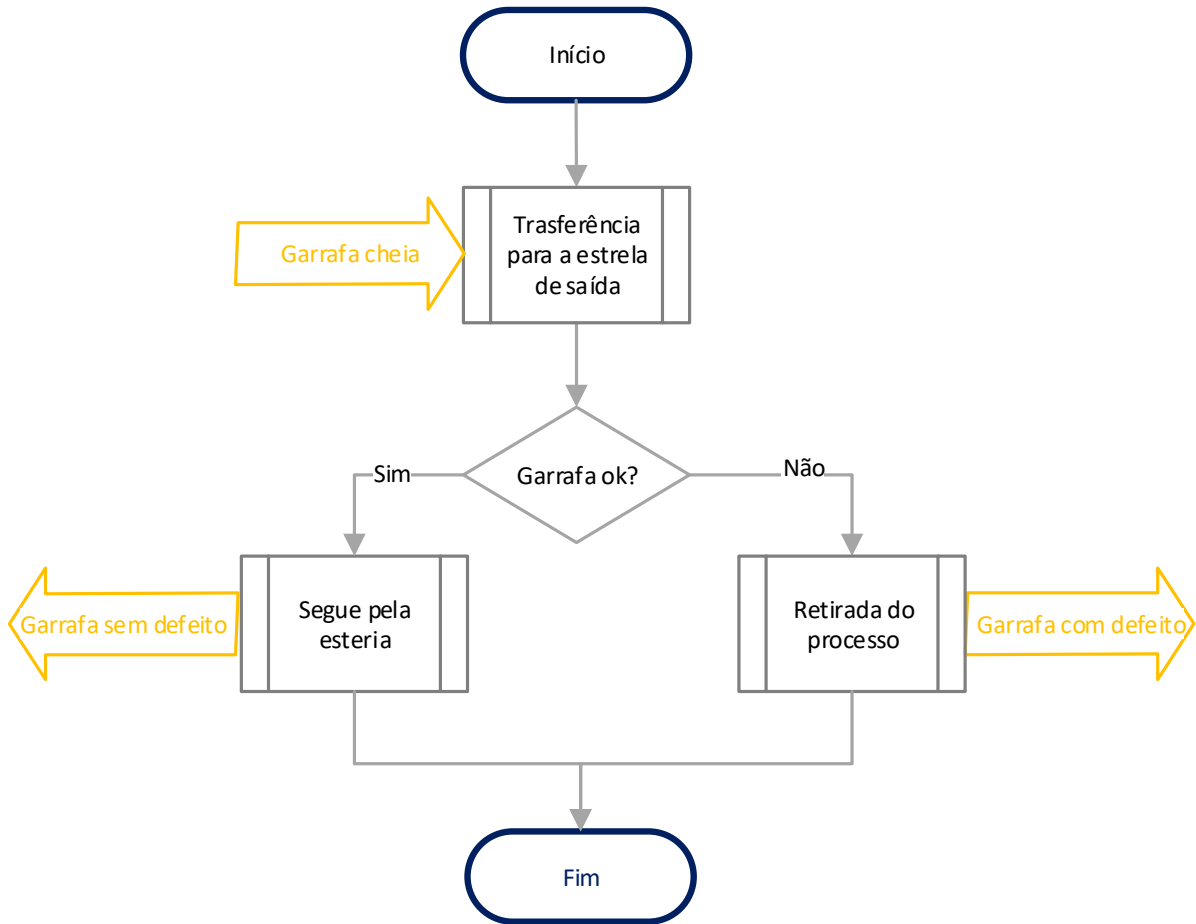


Figura 20 – Saída da garrafa PET

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada
					O	S	D	R		
5.01	Entrada: garrafa ok?	Resultado negativo do controle da câmera de inspeção sendo que a garrafa e/ou o produto não possuem defeito	Produto perfeito é descartado	NÃO	-	-	-	-	Produto não chega ao cliente	-
5.02		Resultado positivo do controle da câmera de inspeção sendo que a garrafa e/ou o produto possuem defeito	Produto com defeito será vendido	SIM	2	5	5	50	-	Análise da qualificação operacional
5.03	Processo: transferência para a estrela de saída	Garrafa permanece na estrela de saída	Uma posição da estrela de transferência permanece vazia	NÃO	-	-	-	-	Produto não chega ao cliente	-
5.04			Garrafa bloqueia o arrolhador ou a sequência do processo	SIM	1	3	1	3	Problema mecânico no agarrador	Reparação ou troca de peça
5.05		Garrafa não é transferida corretamente para a estrela de saída	Garrafa é descartada	NÃO	-	-	-	-	Produto não chega ao cliente	-
5.06			Garrafa é danificada	SIM	1	5	3	15	Problema mecânico no agarrador	Reparação ou troca de peça
5.07	Processo: garrafa é retirada do processo	Container com garrafas com defeito está lotado	Devido ao congestionamento as garrafas com defeito podem seguir na esteira	SIM	2	5	1	10	-	Análise da qualificação operacional

Nr.	Categoria	Modo de falha	Efeito da falha	Relevante?	Avaliação de risco				Causa	Ação corretiva recomendada
					O	S	D	R		
5.08	Processo: transferência para esteira	Garrafa não é transmitida corretamente para a esteira	Garrafa é descartada	NÃO	-	-	-	-	Produto não chega ao cliente	-
5.09			Garrafa é danificada	SIM	2	3	3	18	Controle final da câmera de inspeção	Análise da qualificação operacional
5.10		Garrafa cai na esteira durante controle final da câmera de inspeção	Controle final não pode ser corretamente feito	SIM	5	5	5	125	-	Análise da qualificação operacional

ANEXO A – Modelo de formulário FMEA de Processo - 4 (AIAG)

POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS Front Door L.H.				FMEA Number	1450
FMEA Type				Page	1 of 1
Item	1.1.1 - Front Door L.H.	Process Responsibility	Body Engineering	Prepared By	J. Ford - X6521 - Assy Ops
Model Year(s)/Vehicle(s)	20XX/Lion 4dr/Wagon	Key Date	3/10/2015	FMEA Date (Orig.)	3/10/2015 (Rev) 3/21/2015
Core Team	A. Tate Body Engrg, J. Smith - OC, R. James - Production, J. Jones - Maintenance				

Name / Function Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	SEVr	Classification	Potential Cause(s) of Failure	OCCr	Current Process Controls (Prevention)	Current Process Controls (Detection)	DETr	RPNr	Recommended Action(s)	Responsibility & Planned Completion Date	Action Results				
													Actions Taken & Actual Completion Date	SEVr	OCCr	DETr	RPNr
1.1.1 - Front Door L.H.																	
Op. 70 Manual application of wax inside door/ cover inner door, lower surfaces with wax to specification thickness.	Insufficient wax coverage over specified surface	Allows integrity breach of inner door panel. Corroded interior lower door panels. Deteriorated life of door leading to: - Unsatisfactory appearance due to rust through paint over time - Impaired function of interior door hardware	7		Manually inserted spray head not inserted far enough	8		Visual check each hour - 1/shift for film thickness (depth meter) and coverage.	5	280	Add positive depth stop to sprayer.	Mfg Engrg - 3/10/2003	Stop added, sprayer checked on line.	7	2	5	70
											Automate spraying.	Mfg Engrg - 3/10/2003	Rejected due to complexity of different doors on same line.				
					Spray head clogged- Viscosity too high- Temperature too low- Pressure too low.	5	Test spray pattern at start-up and after idle periods, and preventive maintenance program to clean heads.	Visual check each hour - 1/shift for film thickness (depth meter) and coverage.	5	175	Use Design of Experiments (DOE) on viscosity vs. temperature vs. pressure.	Mfg Engrg - 3/10/2003	Temp and press limits were determined and limit controls have been installed - control charts show process is in control Cpk = 1.85.	1	5	35	
Spray head deformed due to impact	2	Preventive maintenance program to maintain heads.	Visual check each hour - 1/shift for film thickness (depth meter) and coverage.	5	70								2	5	70		

Fonte – Reliability Engineering Resource (2017) *apud* AIAG (2016)