

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE**

**ALÉCIO JULIO SILVA**

**REDUÇÃO DA INDISPONIBILIDADE DE UM ATIVO ATRAVÉS DA  
MANUTENÇÃO SUPORTADA PELA CONFIABILIDADE**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2017**

**ALÉCIO JULIO SILVA**

**REDUÇÃO DA INDISPONIBILIDADE DE UM ATIVO ATRAVÉS DA  
MANUTENÇÃO SUPOSTADA PELA CONFIABILIDADE**

Monografia de especialização apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção de título de especialista em Engenharia de Confiabilidade

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

**CURITIBA**

**2017**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **REDUÇÃO DA INDISPONIBILIDADE DE UM ATIVO ATRAVÉS DA MANUTENÇÃO SUPPORTADA PELA CONFIABILIDADE**

por

**ALÉCIO JULIO SILVA**

Esta monografia foi apresentada em 15 de fevereiro de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Professor Orientador - UTFPR

---

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

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

Aos meus pais Aldori e Ana Maria  
que me agradaram com os  
presentes mais valiosos da minha  
vida: os estudos

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Professor Emerson Rigoni pela a orientação durante este trabalho e ao Professor Carlos Henrique Mariano pelas sugestões enriquecedoras.

Agradeço também ao Professor Cláudio Spanó pelo esclarecimento das dúvidas durante a execução das etapas de aplicação das ferramentas de confiabilidade

## RESUMO

JULIO SILVA, Alécio. **Redução da indisponibilidade de um ativo através da manutenção suportada pela confiabilidade.** Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Em aplicações que abrangem o estudo de confiabilidade e disponibilidade é possível usar ferramentas matemáticas para auxílio a tomada de decisões. Neste trabalho, o foco principal é mostrar a aplicação de ferramentas de confiabilidade como Análise de degradação, análise de dados de vida e Análise RAM como estratégia para atuação na indisponibilidade de um ativo. Foi selecionado um equipamento que atua em uma indústria de bebidas e sobre este realizado o estudo de seus mecanismos de falha e determinado os tempos ótimos de intervenção em seus componentes. Ao final, foi possível atingir uma redução de aproximadamente 15% na indisponibilidade por manutenção não planejada do inspetor eletrônico de garrafas vazias.

**Palavras-chave:** Engenharia da Confiabilidade, Ferramentas da Confiabilidade, Indisponibilidade de Ativos

## ABSTRACT

JULIO SILVA, Alécio. **Redução da indisponibilidade de um ativo através da manutenção suportada pela confiabilidade.** Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

In some applications involving reliability and availability studies, it is possible to use specific mathematics tools to make decisions. This work has as objective show how is conducted an unavailability analysis using some reliability tools such as: Degradation Analysis, Life data Analysis and RAM Analysis. Beside this, is possible to check a case of study that is implement on a Beverage Industry Business. At this experience, the reliability concepts are useful to recognize the failure mechanism and determine the right time to replace the machinery parts. Despite this, the industries areas are able to check the availability results after the reliability implementation program. As a result, after the project implementation, the decrease in unavailability was around 15% on a case of study – an empty bottle inspection machine.

**Keywords:** Reliability Engineering, Reliability tools, Unavailability of Assets

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Foto unidade Petrópolis. ....  | 15 |
| Figura 2 Gráfico exemplo de uma análise de degradação. ....                             | 23 |
| Figura 3 Planilha padrão de modelagem criada. ....                                      | 26 |
| Figura 4 Planilha de dados inseridos no software Weibull.....                           | 27 |
| Figura 5 Gráfico confiabilidade vs tempo do software Weibull.....                       | 27 |
| Figura 6 Diagrama blocos representativo Linha 2 software BlockSim. ....                 | 28 |
| Figura 7 Simulação do Diagrama de blocos construído no software BlockSim. ....          | 28 |
| Figura 8 Resultado manutenibilidade, confiabilidade, disponibilidade BlockSim. ....     | 29 |
| Figura 9 Inspetor Eletrônico de Garrafas Vazias - <i>Toptronic</i> .....                | 30 |
| Figura 10 Inspetor Eletrônico de Garrafas Vazias - <i>Toptronic</i> .....               | 31 |
| Figura 11 IHM de operação do inspetor de garrafas vazias – <i>Toptronic</i> .....       | 32 |
| Figura 12 Esquema ilustrativo do Subsistema Acionamento da Rosca Sem Fim. ....          | 34 |
| Figura 13 Esquema ilustrativo do Subsistema Estrelas de Entrada e Saída. ....           | 34 |
| Figura 14 Esquema ilustrativo do Subsistema <i>Pusher</i> . ....                        | 34 |
| Figura 15 Esquema ilustrativo do Subsistema Estrela de Inspeção. ....                   | 36 |
| Figura 16 Esquema ilustrativo do Subsistema Perno de Centragem.....                     | 37 |
| Figura 17 Esquema Subsistema Painel Elétrico pontos inspeções de 1 a 6.....             | 38 |
| Figura 18 Esquema parte inferior subsistema lubrificação central <i>Toptronic</i> ..... | 39 |
| Figura 19 Esquema parte superior subsistema lubrificação central <i>Toptronic</i> ..... | 39 |
| Figura 20 Esquema ilustrativo subsistema ar condicionado do <i>Toptronic</i> .....      | 40 |
| Figura 21 Esquema ilustrativo componentes sistema acionamento rosca sem fim ..          | 42 |
| Figura 22 FMEA sistema acionamento da rosca sem fim norma MIL-STD 1629A....             | 43 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 23 Fotos e dados do cubo e arrastador separados e montados .....                     | 44 |
| Figura 24 Medição desgaste folgas entre o conjunto Cubo e Arrastador .....                  | 45 |
| Figura 25 Resultado cálculo troca ótima do conjunto cubo e arrastador .....                 | 46 |
| Figura 26 Gráfico análise degradação do conjunto cubo e arrastador.....                     | 46 |
| Figura 27 Foto do rolamento do eixo da rosca sem fim.....                                   | 47 |
| Figura 28 Dados de falha do rolamento do eixo da rosca sem fim .....                        | 48 |
| Figura 29 Gráfico probabilidade densidade falha (pdf) rolamento rosca sem fim .....         | 48 |
| Figura 30 Quadro de resultados da simulação rolamento eixo rosca sem fim.....               | 48 |
| Figura 31 Quadro de tempos de vida do sistema acionamento sem fim.....                      | 50 |
| Figura 32 Quadro geral dos tempos estimados de vida para <i>Toptronic</i> .....             | 51 |
| Figura 33 Gráfico indisponibilidade por paradas manutenção <i>Toptronic</i> .....           | 52 |
| Figura 34 Gráfico indisponibilidade linha envase e indisponibilidade <i>Toptronic</i> ..... | 53 |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 Linhas de Envase Unidade Petrópolis..... | 15 |
|---|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* – Análise de Modos e Efeitos de Falhas

IHM – Interface Homem Máquina

LDA – *Life Data Analysis* – Análise de Dados de Vida

PDF – *Probability Density Failure* – Função Densidade de Probabilidade

PLC - *Power Line Communication* – Comunicação via rede elétrica

RAM - *Reliability, Availability, Maintainability analysis* – Análise de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade

TTF - *Time to failure* – Tempo para falhar

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $f(t)$  - Função densidade de probabilidade de falha no tempo
- $\lambda$  - Taxa de falhas nas condições operacionais
- $e$  - Função exponencial
- $t$  - Tempo
- $R(t)$  - Função confiabilidade no tempo
- $\theta$  - Parâmetro de escala da distribuição
- $\gamma$  - Parâmetro de forma da distribuição
- $\Gamma$  - Função gama, integral indefinida tabelada

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA.....                                      | 13        |
| 1.2. APRESENTAÇÃO DA OPORTUNIDADE .....                             | 14        |
| 1.3. OBJETIVO .....   | 16        |
| 1.3.1. OBJETIVO GERAL .....   | 16        |
| 1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO .....                                    | 16        |
| 1.4. JUSTIFICATIVA.....   | 17        |
| 1.5. METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO .....                      | 19        |
| <b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                 | <b>20</b> |
| 2.1. FMEA – ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DAS FALHAS.....             | 20        |
| 2.2. ANÁLISE RAM.....   | 21        |
| 2.3. ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO.....                                     | 22        |
| 2.4. ANÁLISE DE DADOS DE VIDA .....                                 | 24        |
| 2.4.1. DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL .....                               | 24        |
| 2.4.2. DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL.....                                 | 25        |
| <b>3. APLICAÇÃO REFERENCIAL TEÓRICO NO OBJETO DA PESQUISA .....</b> | <b>26</b> |
| 3.1. APRESENTAÇÃO DOS SUBSISTEMAS DO TOPTRONIC .....                | 33        |
| 3.1.1. SISTEMA ACIONAMENTO ROSCA SEM FIM .....                      | 34        |
| 3.1.2. SISTEMA ESTRELA DE ENTRADA E SAÍDA .....                     | 34        |
| 3.1.3. SISTEMA <i>PUSHER</i> .....                                  | 35        |
| 3.1.4. SISTEMA DE ESTRELA DE INSPEÇÃO.....                          | 36        |
| 3.1.5. SISTEMA PERNO DE CENTRAGEM.....                              | 36        |
| 3.1.6. SISTEMA PAINEL ELÉTRICO.....                                 | 37        |
| 3.1.7. SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO CENTRAL.....                         | 38        |
| 3.1.8. SISTEMA DE AR CONDICIONADO .....                             | 40        |
| 3.2. APLICAÇÃO CONFIABILIDADE ACIONAMENTO ROSCA SEM FIM.....        | 41        |
| 3.2.1. FMEA DO SISTEMA ACIONAMENTO ROSCA SEM FIM .....              | 43        |
| 3.2.2. ANÁLISE DEGRADAÇÃO ACIONAMENTO ROSCA SEM FIM.....            | 44        |
| 3.2.3. LDA DO ACIONAMENTO ROSCA SEM FIM.....                        | 47        |
| <b>4. RESULTADOS ALCANÇADOS COM O TRABALHO .....</b>                | <b>51</b> |
| <b>5. CONCLUSÃO.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>6. TRABALHOS FUTUROS .....</b>                                   | <b>55</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>56</b> |

# **1 – INTRODUÇÃO**

Dentro do cenário contemporâneo, empresas em todo mundo investem em alternativas capazes de superar patamares cada vez mais desafiadores de produtividade. Lafraia (2001) cita que em setores como o da manutenção industrial é cada vez maior a busca pelo aumento da disponibilidade de ativos físicos. Nesta corrida, exige-se a pesquisa em estratégias que possam atender a estas demandas. Nota-se então o aparecimento de iniciativas dentro da área de Confiabilidade como meio de atingir níveis desejados de excelência em produtividade, além de possibilitar a área de manutenção uma potencialização de seu poder de gerenciamento.

Nesta linha de pensamento está Moubay (1996) que, visando maximização de disponibilidade, cita que a manutenção tem procurado novos modelos de pensar, técnicos e administrativos, já que as novas exigências de mercado tornaram visíveis as limitações dos atuais sistemas de gestão.

## **1.1 – APRESENTAÇÃO DO TEMA**

Para Fogliatto (2009) em seu sentido mais amplo, confiabilidade está associada à operação bem-sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas.

Segundo Blanchard&Fabrycky (1990) confiabilidade é uma característica inerente ao projeto e pode ser definida como a probabilidade na qual um sistema ou produto irá operar de modo satisfatório em um dado intervalo de tempo, quando utilizado restrito às condições de operação específicas.

Tais definições podem ser implementadas em dois aspectos diferentes. No âmbito quantitativo, é realizada uma medição de número de falhas a qual é trazida para uma abordagem estatística para o ajuste a uma distribuição de probabilidade de falha. Qualitativamente, dentre muitas técnicas, a confiabilidade pode ser analisada pelo estudo de modos de falha e seus efeitos para o sistema em análise.

Em Azevedo (2007) a Confiabilidade trata da probabilidade de uma máquina desempenhar suas funções de maneira adequada em circunstâncias específicas por determinado período de tempo. Por meio de modelagens estatísticas, essa disciplina permite compreender o que acontece com a máquina quando ela trabalha em determinadas condições.

Este trabalho é então executado em uma atmosfera fabril muito semelhante à citada por Moubray (2000) em muitas empresas industriais, o pessoal da manutenção e operação faz reuniões diárias. Estas reuniões consistem quase sempre de discussões acerca do que falhou, o que causou a falha (e a quem culpar), o que está sendo feito para reparar e, muitas vezes, o que pode ser feito para evitar que aconteça novamente. Em resumo, a reunião é toda consumida na discussão dos modos de falha. Infelizmente, em muitos casos, estes modos de falha são discutidos, lembrados ou tratados *depois* de ter ocorrido a falha. Tratar as falhas depois delas terem acontecido é, naturalmente, a essência da manutenção *reativa*.

## 1.2 – APRESENTAÇÃO DA OPORTUNIDADE

Na abordagem que se fez neste trabalho, a aplicação de confiabilidade foi mostrada dentro do cenário de uma indústria cervejeira. Foi observado que se trata de um ambiente fabril de produção de bebidas receptivo a este tipo de estudo no sentido de oportunidades de ganhos muito interessantes os quais foram possíveis de serem constatados ao longo desta experiência.

A empresa estudo de caso neste trabalho foi o Grupo Petrópolis que atualmente ocupa a posição de maior indústria cervejeira de capital 100% nacional no Brasil. O Grupo Petrópolis é detentor das marcas Itaipava, Lokal e Crystal. Também possui linhas produtivas de cervejas especiais tais como Petra e Weltenburger Kloster. Possui hoje 6 parques fabris de produção de bebidas e um parque de produção de plásticos. A maior demanda do grupo é a produção de cervejas do tipo Pilsen, mais comuns no mercado cervejeiro. No estudo será abordada a unidade de Petrópolis – RJ a primeira a ser inaugurada do grupo. Desde 2009 esta unidade opera com 3 linhas produtivas sendo 2 de envasamento de garrafas e uma de envasamento de latas. Nesta unidade é produzida apenas cervejas do tipo Pilsen.

A fábrica de Petrópolis, conforme mostrada na figura 1, possui um volume de produção total de cerca de 400.000 hectolitros mensais. No Grupo Petrópolis, ocupa a 3ª colocação em capacidade produtiva. Os meses de outubro a janeiro são os de maior demanda de produção em virtude das festas comemorativas de fim de ano e do tradicional carnaval brasileiro.



**Figura 1 – Foto Unidade Petrópolis**

Fonte: Banco de imagens Grupo Petrópolis

A unidade de Petrópolis opera com três linhas de produção de cerveja Pilsen e de acordo com as características que são mostradas na tabela 1 abaixo:

| Número da Linha | Tipo de vasilhame | Volume do vasilhame (ml) | Capacidade horária |
|-----------------|-------------------|--------------------------|--------------------|
| 1               | Latas             | 269/350/473/550          | 120.000 latas      |
| 2               | Garrafas          | 1000                     | 22.000 garrafas    |
| 3               | Garrafas          | 600                      | 63.000 garrafas    |

**Tabela 1 – Linhas de Envase Unidade Petrópolis**

Fonte: Autoria Própria

Uma análise de performance foi elaborada visando entender o comportamento operacional destas linhas de envase. O intuito foi saber como o impacto das paradas por manutenção afetavam as produções da fábrica.

Observou-se uma oportunidade de estudo na linha de envase número 2 na qual o impacto de indisponibilidade por manutenção estava sendo mais forte. Historicamente também utilizando informações coletadas a partir de entrevistas com especialistas da área de manutenção, esta linha possuía uma maior deficiência operacional devido sem maior tempo em operação, cerca de 3 anos a mais do que as linhas número 1 e número 3.



Um outro ponto importante a respeito da linha número 2 foi o fato de ter passado por adaptações para mudança do seu processo produtivo. Esta linha foi concebida em 2003 para o envase em vasilhames de 600ml. Três anos mais tarde em 2006, foi modificada para envasar cerveja em vasilhames de 1000ml. Para isto ser possível foi necessária a realização de uma série de modificações o que segundo especialistas que atuam na unidade, impacta até hoje em seu regime produtivo, pois são vasilhames maiores e mais pesados.

Conhecidas estas informações, decidiu-se por focar os estudos na linha de envase número 2. Foram iniciadas pesquisas em bancos de dados existentes na empresa. Estavam disponíveis dois tipos de softwares de gerenciamento de dados. Um deles armazenava dados relativos a operação dos equipamentos e outro dizia respeito apenas a dados de manutenção. Ambas as fontes foram utilizadas visando uma pesquisa mais aprofundada e que fosse capaz de obter informações com maior detalhamento possível.

### **1.3 - OBJETIVO**

#### **1.3.1 – OBJETIVO GERAL**

Determinar para uma linha de envase de cerveja o ativo que mais impacta negativamente em sua disponibilidade por meio de análise RAM. Propor e aplicar ferramentas de confiabilidade para a redução de indisponibilidade de um equipamento pertencente a esta linha de produção.

#### **1.3.2 – OBJETIVO ESPECÍFICO**

Para o cumprimento do objetivo geral deste trabalho as seguintes etapas foram executadas:

1. Escolha de uma linha de envase de cerveja dentro da unidade de produção da companhia;
2. Extração do banco de dados disponível desta companhia as informações de falha e de reparo dos equipamentos existentes na linha de envase em análise;

3. Aplicação destes dados em uma planilha de modelagem para que sejam calculados os TTF's – Tempos até Falha e os TTR's – Tempos para Reparo;
4. Exportação dos TTF's e os TTR's para o software Weibull para o levantamento das curvas de confiabilidade e manutenibilidade dos diferentes equipamentos existentes na linha de envase;
5. Construção do diagrama de blocos utilizando o software BlockSim simulando a linha de envase em estudo e extração do resultado da Análise RAM;
6. Utilização do resultado da análise RAM para a determinação do ativo de maior contribuição negativa para a disponibilidade da linha;
7. Aplicação das ferramentas de análise de degradação e análise de dados de vida nos subsistemas do ativo selecionado após análise RAM;
8. Apresentar os resultados obtidos com a aplicação da Análise RAM e das ferramentas de confiabilidade.

#### **1.4 - JUSTIFICATIVA**

As indústrias de bebidas têm como característica grandes volumes de produção de itens que são muito consumidos no Brasil. As linhas de produção destes parques fabris são compostas por equipamentos instalados capazes de atingir volumes produtivos na marca de 120.000 latas de cerveja por hora de operação. Em linhas produtivas de garrafas de cerveja, o volume de produção horária pode variar de 22.000 até 62.000 garrafas horárias.

Portanto, com números produtivos em patamares como este, sob o ponto de vista operacional de uma linha de envasamento de bebidas, a disponibilidade dos equipamentos torna-se um fator preponderante para o sucesso do negócio. Grande parte do maquinário existente no chão de fábrica destas indústrias, quando indisponíveis por motivos operacionais ou por quebras significam a parada de toda a linha de produção. Salvo momentos em que há equipamentos duplicados e a linha apenas reduz sua velocidade, porém ainda assim, são registradas perdas produtivas. Como forma de mitigar perdas produtivas, surge a necessidade de uma

alternativa metodológica a ser aplicada e que seja efetiva para alcançar níveis de indisponibilidade adequados aos anseios da gerência industrial.

Em Ross (2006), as ferramentas de Confiabilidade são capazes de trazer à tona a opção de tornar possível o aumento da disponibilidade de ativos físicos das corporações através da redução da probabilidade de falhas em componentes que integram tais ativos.

Para Kardec (2002) disponibilidade pode ser definida como a confiança de que um componente ou sistema que sofreu manutenção exerça sua função satisfatoriamente para um dado tempo. Na prática, é expressa pelo percentual de tempo em que o sistema estava pronto para operar, para componentes que operam continuamente. Para componentes reservas, é a confiança de sucesso na operação quando demandado.

Dentro do departamento de manutenção desta unidade fabril em estudo, traçou-se uma estratégia e a primeira ação foi a contratação de um engenheiro de confiabilidade para integrar o setor. Este profissional ficou responsável então por apresentar as alternativas possíveis para o cenário em estudo e as necessidades em questão.

Como uma forma de redução da indisponibilidade causada por quebras, será apresentado neste trabalho a aplicação de ferramentas da confiabilidade. Inicialmente percebeu-se a necessidade de se realizar uma análise global da performance operacional do parque fabril estudado. Foi realizada uma análise de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade conhecida como análise RAM – *Reliability, availability and maintainability*. Identificou-se os ativos com mais impactantes nestes três quesitos em cada linha de produção.

De acordo com Kardec (2002) manutenibilidade pode ser definida como a expectativa do equipamento ou sistema ser colocado em condições de operação dentro de um período de tempo estabelecido, quando a ação da manutenção é executada de acordo com procedimentos prescritos.

Como delimitação do estudo será focado um único ativo da lista gerada como forma de apresentação da metodologia da confiabilidade aplicada a equipamentos neste parque fabril. Será mostrado como foram aplicadas as ferramentas e que resultados práticos foram atingidos neste estudo em indisponibilidade por manutenção não planejada.

## 1.5 – METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO

Os conceitos de FMEA, Análise RAM, Análise de Dados de Vida e Análise de Degradação são apresentados no capítulo 2 como forma de consulta de definições dadas por autores referências nestes temas e fundamentação deste estudo de caso.

No capítulo 3 apresenta-se a aplicação dos conceitos pesquisados. Utilizou-se primeiramente a análise RAM para se conhecer os equipamentos mais impactantes na disponibilidade de uma linha de envase de cerveja. Em seguida, foi selecionado um equipamento e após sua hierarquização, aplicou-se as ferramentas de confiabilidade – Análise de Dados de Vida e Análise de Degradação para a determinação de tempos ótimos de substituição de alguns componentes. Para um dos subsistemas deste equipamento escolhido, foi apresentada a aplicação da ferramenta qualitativa de Análise dos Modo e Efeito das Falhas (FMEA) como forma de mapeamento de modos de falha e tarefas de bloqueio.

No capítulo 4 foi apresentado os resultados atingidos com o trabalho. Por meio de gráficos de barras a redução, é mostrada a redução no indicador de indisponibilidade por manutenção não programada após adoção de um plano de manutenção suportado pelas ferramentas da confiabilidade estudadas e utilizadas.

Ao final, são apresentadas como oportunidades futuras a aplicação das ferramentas da confiabilidade em outros subsistemas do equipamento em estudo. Um outro ponto a ser também explorado é o baixo desempenho dos demais equipamentos existentes na linha de envase, cuja ocorrência de paradas por manutenção não programada impactam de forma significativa a disponibilidade da linha de envase em estudo.

## **2 – REFERENCIAL TEÓRICO**

A partir da necessidade de melhorar a disponibilidade de uma linha de envase de cerveja, pesquisou-se ferramentas de confiabilidade que pudessem atender esta demanda do Grupo Petrópolis. Foram encontradas ferramentas qualitativas e quantitativas que pudessem trazer resultados práticos no indicador de indisponibilidade gerada por manutenção não planejada de equipamentos pertencentes a uma linha de envase em estudo. Após verificação das suas aplicações, selecionou-se a Análise de Modos e Efeitos das Falhas (FMEA) como ferramenta qualitativa e como ferramentas quantitativas a Análise de Dados de Vida (LDA) e Análise de Degradação. Todas estas ferramentas classificadas como possíveis de serem aplicadas na realidade da empresa em estudo e com um potencial de retorno rápido de resultados práticos.

### **2.1 - FMEA – ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DAS FALHAS**

Segundo Fogliatto (2009) a FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis* ou Análise dos Modos e Efeitos de Falha) é uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimento futuros do projeto ou processo. Neste trabalho, o uso da FMEA foi realizado em uma etapa posterior ao uso de algumas ferramentas quantitativas de confiabilidade. Primeiramente realizou-se uma análise das fronteiras do sistema dividindo o equipamento escolhido em subsistemas. A análise FMEA foi fundamental para a elaboração das tarefas de manutenção da máquina em estudo visando a redução das chances de ocorrência de modos de falhas levantados. Uma equipe multidisciplinar foi criada e foram utilizadas as dependências da fábrica para a realização de encontros frequentes. A equipe era composta por especialistas de operação, manutenção e abastecimento de peças sobressalentes de equipamentos das linhas de envase da empresa. Outrora, em encontros menos sazonais,

especialistas advindos do fabricante do equipamento KRONES também participaram puderam contribuir com o trabalho nesta etapa.

Em Siqueira (2014) a Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA) tornou-se procedimento padrão na indústria para definir e documentar todos os modos de falhas potenciais em um sistema. Um estudo de FMEA envolve a identificação sistemática dos seguintes aspectos, para cada função de uma instalação:

- Função – objetivo, com o nível desejado de performance;
- Falha funcional – perda da função ou desvio funcional;
- Modo de falha – o que pode falhar
- Causa da falha – porque ocorre a falha;
- Efeito da falha – impacto resultante na função principal;
- Criticidade – severidade do efeito.

Através do preenchimento e atendimento a este sequenciamento listado, foi possível observar no decorrer do desenvolvimento do trabalho, muitas atividades superficiais e outras desnecessárias sob o ponto de vista de bloquear modos de falha do equipamento em estudo. O uso da FMEA foi capaz de trazer luz aos planos de manutenção existentes e permitiu um enxugamento de tarefas e conseqüentemente melhor uso da mão de obra de manutenção.

## **2.2 - ANÁLISE RAM**

Conforme Calixto (2005), o objetivo da análise RAM (confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade) é avaliar o desempenho de um equipamento ou sistema através da definição e melhoria dos equipamentos críticos, para que o sistema atinja a disponibilidade necessária. Será visto no decorrer do capítulo 4 a aplicação desta metodologia em um passo a passo que iniciou com a delimitação e escolha de uma linha de envase específica para estudo. A análise RAM foi capaz de identificar um equipamento crítico que comprometia a disponibilidade – o *Toptronic*. O intuito da apresentação da análise RAM dentro do ambiente fabril se mostrou importante por significar uma análise quantitativa do desempenho de uma linha de produção. Muito comum em ambientes de produção como estes, prevalecer a

opinião e “sentimento” de alguns especialistas presentes no chão de fábrica apontando este ou aquele equipamento como sendo “o mais crítico da linha” sem ter nenhum tipo de dado em mãos. Isso possibilita muitas vezes o gasto desnecessário de tempo e recursos com ações em equipamentos que não irão beneficiar a disponibilidade da linha de produção em estudo.

Em Alvarenga (2005), a técnica aplicada à análise RAM é a simulação de rede por eventos discretos. Trata-se de uma técnica quantitativa de análise de confiabilidade com grande desenvolvimento e aplicação nos anos recentes.

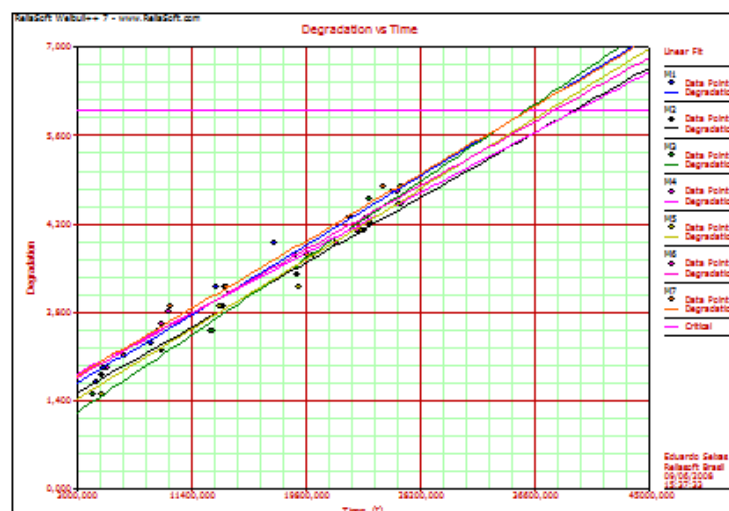
Como etapas de realização de uma análise RAM é importante citar como sendo a primeira a reunião de dados referentes a dados de falha e de reparos do sistema em análise. Em seguida vem a construção de um diagrama de blocos representativo deste sistema em questão onde deve-se atentar quanto à disposição de equipamentos e como eles se inter-relacionam (disposição em série ou paralelo). É importante lembrar que nesta etapa deve-se realizar os carregamentos dos dados de falha e de reparo advindos do banco de dados existente em cada bloco montado representando o sistema. Uma vez carregadas estas informações, chega momento de rodar a simulação do sistema. O sistema então opera virtualmente e mede-se sua disponibilidade a partir dos mecanismos de falha e de reparo carregados. O sistema é capaz de demonstrar através de um relatório final a performance de cada equipamento que opera neste sistema. Demonstra-se ao usuário da simulação quais são os pontos críticos sob o ponto de vista da disponibilidade do sistema em análise. Um relatório com este nível de detalhamento serve como instrumento de tomada de decisão para o uso de ferramentas quantitativas e qualitativas da confiabilidade. Algumas delas serão apresentadas a seguir neste trabalho e também como foram implementadas no ativo crítico selecionado após a coleta dos resultados da análise RAM realizada.

### **2.3 - ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO**

A análise de degradação se caracteriza como uma análise de confiabilidade do sistema que vai se repetindo no tempo, diferentemente de uma análise estática. Melhor explicando esta questão, para componentes que sofrem desgaste mecânico ao longo do tempo, aplicar a análise de degradação pode ser uma boa opção para a

determinação dos tempos ótimos de substituição de peças de equipamentos. Para Fogliatto (2009) uma segunda suposição importante diz respeito ao estado dos componentes e sistema no momento da análise. Nas seções que se seguem, componentes e sistemas estão operantes (isto é, funcionando) ou não operantes. Ainda que tal suposição binária possa não descrever de forma correta e realista certos tipos de componentes e sistemas, ela é necessária, na maioria dos casos, para tornar possíveis os cálculos envolvidos na análise do sistema. Sendo assim, os componentes e sistemas discutidos estão sujeitos (i) a falhas catastróficas ou (ii) a falhas causadas por degradação gradual, mas para as quais se estabelece um valor limite que caracteriza a ocorrência da falha.

Neste trabalho, realizou análise de degradação para uma série de componentes presentes no equipamento *Toptronic*. Um exemplo de uma análise de degradação está mostrado na Figura 2 abaixo. Embora seja realizada a delimitação mostrando cálculos de degradação para sobressalentes do sistema de acionamento da rosca sem fim, mostra-se ao fim uma lista contendo todos os componentes deste equipamento que passaram por testes de degradação visando obter seus tempos de reposição ótima mediante este método de confiabilidade. Aliado aos ensaios de degradação são apresentados também peças que passaram por análise de dados de vida – LDA que é uma outra ferramenta da confiabilidade utilizada neste trabalho e que será apresentada como um conceito a seguir.



**Figura 2 Gráfico exemplo de uma análise de degradação**

Fonte: Autoria Própria



## **2.4 – ANÁLISE DE DADOS DE VIDA**

Em situações em que há a necessidade de análise de dados de vida de componentes, cuja fonte de pesquisa é um banco de dados com razoável riqueza de informações e que possuam tratamento quanto sua consistência, o método de análise de dados de vida (LDA) mostra-se uma importante ferramenta da confiabilidade. Contudo, em situações em que há uma fonte de pesquisa com pouco dados para análise, a assertividade do resultado ficará comprometida. Outros momentos em que não há dados de falha e reparo, torna-se necessário o uso de tempo a mais em busca de informações, coleta de dados em campo, consulta a especialistas da operação e manutenção do equipamento em que o componente atua e também entrevistas e encontros com fabricantes e/ ou fornecedores de sobressalentes.

O ponto em comum dentre as situações listadas acima está a pesquisa. Em Scapin (2007) através do uso da análise de dados de vida (LDA), a pesquisa sobre o componente torna o trabalho mais assertivo e há ganho técnico das equipes que trabalham em torno deste aprofundamento.

O uso de dados de vida possibilitar ter em mãos os tempos até falha. Segundo Fogliatto (2009) a probabilidade de sobrevivência até um tempo  $t$  de interesse é possível através da modelagem dos tempos até falha da unidade em estudo. Conhecendo-se a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a estes tempos, é possível estimar a probabilidade de sobrevivência da unidade para qualquer tempo  $t$ , bem como outras medidas de confiabilidade tais como o seu tempo médio até falha. A modelagem dos tempos até falha é, portanto, central em estudos de confiabilidade.

É citado abaixo as duas distribuições de probabilidade mais utilizadas pelos especialistas em confiabilidade.

### **2.4.1 - DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL**

A equação 1 indica a Função de densidade de probabilidade sob uma distribuição exponencial.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \text{Eq. 1}$$

A equação 2 mostra a função de confiabilidade de acordo com uma distribuição exponencial.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{Eq. 2}$$

A equação 3 ilustra o tempo médio até a falha sob os moldes de uma distribuição exponencial.

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Eq. 3}$$

#### 2.4.2 - DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A equação 4 indica a função de densidade de probabilidade sob uma distribuição de Weibull.

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} t^{\gamma-1} e^{-t^{\frac{\gamma}{\theta}}} \quad \text{Eq. 4}$$

A equação 5 mostra a função de confiabilidade de acordo com uma distribuição de Weibull.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma}} \quad \text{Eq. 5}$$

A equação 6 ilustra o tempo médio até a falha sob os moldes de uma distribuição de Weibull.

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad \text{Eq. 6}$$

Será observada ao longo do trabalho a forma de aplicação de ambas as distribuições de maneira prática gerando resultados para os componentes do equipamento em estudo.

### **CAPÍTULO 3 – APLICAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO NO OBJETO DA PESQUISA**

Os estudos de confiabilidade da linha número de envase número 2 iniciaram com a realização da análise RAM. O objetivo foi identificar os principais ativos responsáveis pelo impacto em indisponibilidade causada por manutenção não programada, ou seja, por quebras. Neste trabalho será feita a delimitação seguindo estudos em apenas o primeiro ativo da lista de resultados da análise RAM. Será apresentada a metodologia que foi utilizada para atuar no resultado de indisponibilidade deste ativo.

Primeiramente com o auxílio de uma planilha de modelagem conforme mostrado na figura 3, foram extraídos os dados de falha e dados de reparo do banco de dados do software de gerenciamento disponível na empresa. Foram extraídas informações de falha e reparo dentro de um período de 18 meses de cada equipamento que compõe a linha de envase número 2.

Pelo fato de estar trabalhando com grande quantidade de informações de falha e se tratarem de dados cuja carga é feita por operadores do equipamento, era preciso realizar uma revisão e um tratamento destes dados de falha e reparo. A planilha de modelagem serviu então para o tratamento destas informações prevenindo que possíveis inconsistências não afetassem os resultados da análise. Esta planilha foi concebida internamente pelo engenheiro de confiabilidade corporativo e serviu como ferramenta para a execução de alguns projetos de confiabilidade de outros engenheiros sediados em unidades fabris do Grupo Petrópolis. Através desta ferramenta de trabalho foi possível realizar a determinação dos TTF – Tempos até a falha e os TTR - Tempos para reparo.

| DATA       | HORA  | TEMPO | ÁREA     | COMENTÁRIOS                              | INICIO           | FIM              | F/R | TTR(h)    | TTR (h)  |
|------------|-------|-------|----------|--|------------------|------------------|-----|-----------|----------|
| 22/06/2014 | 16:30 | 6     | Elétrica | FOI SOLICITADO PELO OPERADOR O AJUSTE NA | 22/06/2014 16:30 | 22/06/2014 16:36 | S   | 4144,5033 | 6 0,1000 |
| 23/05/2015 | 22:47 | 6     | Elétrica | FOI SOLICITADO PELO OPERADOR O AJUSTE NA | 23/05/2015 22:47 | 23/06/2015 22:53 | F   | 8046,1953 | 6 0,1000 |
| 10/06/2016 | 22:47 | 6     | Elétrica | FOI SOLICITADO PELO OPERADOR O AJUSTE NA | 10/06/2016 22:47 | 10/06/2016 22:53 | F   | 5215,9000 | 6 0,1000 |
|            |       |       |          |  | 29/08/2016 23:59 |                  | S   | 1921,1011 | 0        |

**Figura 3 Planilha padrão de modelagem criada**

Fonte: Autoria Própria

Em posse destas duas informações de cada equipamento destacadas em amarelo na planilha de modelagem (figura 3) desta linha de envase em estudo, realizou-se a exportação para o software Weibull, conforme a figura 4 exibida abaixo. Desta forma, foi possível levantar curvas de confiabilidade e curvas de tempo de reparo individuais.

| Condição | Tempo até  | Subconjunto |
|----------|------------|-------------|
| F ou S   | F ou S (h) | ID 1        |
| 1        | 6,0833     |             |
| 2        | 6,1022     |             |
| 3        | 6,1119     |             |
| 4        | 6,1150     |             |
| 5        | 6,1336     |             |
| 6        | 6,1369     |             |
| 7        | 6,1453     |             |
| 8        | 6,1506     |             |
| 9        | 6,1506     |             |
| 10       | 6,1647     |             |
| 11       | 6,1668     |             |
| 12       | 6,1786     |             |
| 13       | 6,1873     |             |
| 14       | 6,1961     |             |
| 15       | 6,2114     |             |
| 16       | 6,2139     |             |
| 17       | 6,2203     |             |
| 18       | 6,2286     |             |
| 19       | 6,2303     |             |
| 20       | 6,2318     |             |
| 21       | 6,235      |             |
| 22       | 6,2478     |             |
| 23       | 6,2489     |             |
| 24       | 6,2551     |             |
| 25       | 6,2556     |             |
| 26       | 6,2747     |             |

**Figura 4 Planilha de dados inseridos no software Weibull**

Fonte: Autoria Própria

No total foram 11 equipamentos diferentes cujas curvas foram levantadas. Uma das curvas de confiabilidade vs. Tempo está exibida na figura número 5 abaixo.





**Figura 7 Simulação do Diagrama de blocos construído no software BlockSim**

Fonte: Autoria Própria

Foi considerado um tempo de análise de 14592 horas equivalente a 18 meses de operação desta linha de envase.

Finalmente, tem-se o resultado da análise de manutenibilidade, confiabilidade e disponibilidade – Análise RAM de acordo com a figura 8. É importante a observação e análise dos seguintes resultados:

- Número esperado de falhas;
- Tempo indisponível do bloco;
- Quantidade e tempo indisponível por MC – manutenção corretiva.

Legenda das Siglas exibidas na figura 8

- RS FCI – Índice da Reliasoft para mensurar a criticidade da falha;
- RS DECI – Índice da Reliasoft para mensurar a criticidade dos eventos que provocam indisponibilidade;
- RS DTCTI – *Reliasoft's Downtime Criticality Index* – Índice de criticidade de indisponibilidade

| Engenharia de Confiabilidade – PTR<br>ANÁLISE RAM LINHA 22.000gph<br>DETALHES |        |         |         |                             |                               |                   |   |                              |                                 |                               |                   |                              |
|---|--------|---------|---------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|---|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Resumo Individual do Bloco  |        |         |         |                             |                               |                   |   |                              |                                 |                               |                   |                              |
| Nome do Bloco   | RS FCI | RS DECI | RS DTCI | Disp. Média (Todos Eventos) | Disp. Média (sem MP, OC e IP) | # Esperado Falhas | Nº Esperado de Eventos de INDISPONIBILIDADE por Gatilho | Eventos de Parada do Sistema | Tempo Indisponível do Bloco (h) | Tempo Disponível do Bloco (h) | Quantidade de MCs | Tempo Indisponível da MC (h) |
| Toptronic   | 34,04% | 34,04%  | 32,69%  | 0,994395                    | 0,994395                      | 643,19            | 0   | 622,83                       | 227,712244                      | 14364,2878                    | 643,19            | 227,712244                   |
| Linapac   | 10,67% | 10,67%  | 12,23%  | 0,994161                    | 0,994161                      | 203,7             | 0   | 195,33                       | 85,20738                        | 14506,7926                    | 203,7             | 85,20738                     |
| Lavadora de Garrafas  | 6,35%  | 6,35%   | 6,73%   | 0,996796                    | 0,996796                      | 123,08            | 0   | 116,13                       | 46,899511                       | 14545,1005                    | 123,08            | 46,899511                    |
| Transporte de Garrafas Cheias   | 4,65%  | 4,65%   | 4,38%   | 0,99791                     | 0,99791                       | 89,11             | 0   | 85,07                        | 30,501593                       | 14561,4984                    | 89,11             | 30,501593                    |
| Pasteurizador   | 4,86%  | 4,86%   | 5,50%   | 0,997376                    | 0,997376                      | 93,16             | 0   | 88,99                        | 38,285744                       | 14553,7143                    | 93,16             | 38,285744                    |
| Despeletizadora   | 3,42%  | 3,42%   | 2,31%   | 0,998897                    | 0,998897                      | 65,31             | 0   | 62,61                        | 16,090292                       | 14575,9097                    | 65,31             | 16,090292                    |
| Início  | 0,00%  | 0,00%   | 0,00%   | 1                           | 1                             | 0                 | 0   | 0                            | 0                               | 14592                         | 0                 | 0                            |
| Transporte de Caixas  | 0,00%  | 0,00%   | 0,00%   | 1                           | 1                             | 0                 | 0   | 0                            | 0                               | 14592                         | 0                 | 0                            |
| FIM   | 0,00%  | 0,00%   | 0,00%   | 1                           | 1                             | 0                 | 0   | 0                            | 0                               | 14592                         | 0                 | 0                            |
| Enchhedra L2  | 10,94% | 10,94%  | 9,11%   | 0,995652                    | 0,995652                      | 209,53            | 0   | 200,23                       | 63,441855                       | 14528,5581                    | 209,53            | 63,441855                    |
| Arrochador  | 4,59%  | 4,59%   | 3,88%   | 0,998147                    | 0,998147                      | 88,05             | 0   | 84,03                        | 27,042431                       | 14564,9576                    | 88,05             | 27,042431                    |
| Check mat   | 0,00%  | 0,00%   | 0,00%   | 1                           | 1                             | 0                 | 0   | 0                            | 0                               | 14592                         | 0                 | 0                            |
| Datador   | 0,75%  | 0,75%   | 2,46%   | 0,998824                    | 0,998824                      | 14,79             | 0   | 13,77                        | 17,165028                       | 14574,835                     | 14,79             | 17,165028                    |
| Rotuladora  | 3,72%  | 3,72%   | 4,01%   | 0,998094                    | 0,998094                      | 71,53             | 0   | 68,06                        | 27,95598                        | 14564,044                     | 71,53             | 27,95598                     |
| Paletizadora  | 3,23%  | 3,23%   | 3,84%   | 0,998167                    | 0,998167                      | 62,04             | 0   | 59,1                         | 26,74054                        | 14565,2595                    | 62,04             | 26,74054                     |
| Transporte de Paletes   | 4,43%  | 4,43%   | 3,46%   | 0,998346                    | 0,998346                      | 84,96             | 0   | 81,12                        | 24,131394                       | 14567,8686                    | 84,96             | 24,131394                    |
| Desbuk  | 2,00%  | 2,00%   | 3,50%   | 0,998328                    | 0,998328                      | 38,42             | 0   | 36,52                        | 24,390824                       | 14567,6092                    | 38,42             | 24,390824                    |
| Transporte de Garrafas Vazias   | 6,35%  | 6,35%   | 5,88%   | 0,997193                    | 0,997193                      | 121,54            | 0   | 116,14                       | 40,965423                       | 14551,0346                    | 121,54            | 40,965423                    |

**Figura 8 Resultado de manutenibilidade, confiabilidade e disponibilidade do Diagrama de blocos construído no software BlockSim**

Fonte: Autoria Própria

Verificando o relatório gerado pela análise RAM e nos quesitos acima destacados é possível observar que o *Toptronic* está no topo da lista como equipamento com maior contribuição para a indisponibilidade, maior número falhas esperadas e maior quantidade de manutenções corretivas.

Após a escolha do estudo da linha de envase número 2 pelos motivos relatados no início do capítulo, realizou-se uma nova delimitação de estudo que foi a escolha da análise do equipamento *Toptronic* presente nesta família de equipamentos.

O *Toptronic*, conforme figuras 9 e 10, é um equipamento batizado pelo fabricante alemão *KRONES*, cuja a descrição mais simples é *Inspetor de Garrafas Vazias*. Sua função é realizar a inspeção de garrafas vazias por meio de comandos eletrônicos que incluem fotos digitalizadas, sensores infravermelhos e sensores de alta frequência. O *Toptronic* é capaz de realizar análises a uma velocidade de até 25.000 garrafas por hora.



**Figura 9 Inspetor Eletrônico de Garrafas Vazias - Toptronic**

Fonte: Foto Autoria Própria

A operação de inspeção de recipientes vazios na indústria de bebidas é uma operação das mais complexas e importantes deste setor. Devido ao fato de trabalhar com garrafas retornáveis do mercado, torna-se necessária antes do envasamento da bebida a lavagem e a inspeção dos vasilhames visando a detecção de corpos estranhos no interior em seu interior, sujidades em seu contorno e defeitos no bocal. Estas não conformidades podem comprometer a qualidade do produto e afetar a imagem da empresa e, portanto, torna-se um equipamento muito visado por toda direção da fábrica.





**Figura 10 Inspetor Eletrônico de Garrafas Vazias - *Toptronic***

Fonte: Foto Autoria Própria

No ponto de vista operacional, cada garrafa que passa pelo *Toptronic* recebe um total de 6 inspeções. Na figura 11 é apresentada a IHM onde é possível o operador do equipamento observar o status de rejeição em cada inspeção. Há uma classificação de cada inspeção:

1. Inspeção de corpo – verificar se a garrafa está entrando completamente inteira no inspetor, ou seja, se não está faltando alguma parte.
2. Inspeção de contorno 1 – é a inspeção que analisa se é uma garrafa do Grupo Petrópolis ou do concorrente. Garrafas de concorrentes (outras cervejarias) não podem ser envasadas com produtos. Estas são separadas e devolvidas ao respectivo fabricante.
3. Inspeção de contorno 2 – inspeção de irregularidade na parede externa da garrafa. Manchas e sujidade aderidas e não retiradas na etapa anterior de lavagem do recipiente.
4. Inspeção de bocal – detecta irregularidades que possam existir no bocal da garrafa. Imperfeições nesta área afetam o processo de

arrolhamento da garrafa ocasionando vazamentos de gás CO2 contido na cerveja afetando a qualidade do produto.

5. Inspeção de fundo – é o momento em que se detecta possíveis corpos estranhos no interior e no fundo da garrafa. É muito comum a presença de pedaços plásticos e filtros de cigarro dentro do vasilhame de cerveja.
6. Inspeção de líquido – detecta-se neste estágio a presença de líquidos que fazem parte do processo de lavagem. A lavagem é realizada em um equipamento chamado de lavadora de garrafas. A etapa de lavagem antecede a inspeção no *Toptronic*.



**Figura 11 IHM de operação do Inspetor Eletrônico de Garrafas Vazias - *Toptronic***

Fonte: Autoria Própria

No *Toptronic*, há um sistema de controle eletrônico capaz de alertar o operador por uma Interface Homem Máquina – IHM informando o status das inspeções a todo momento. Alertas visuais avisam ao usuário sobre qual inspeção está em falha e sempre que isto ocorre o equipamento interrompe suas atividades imediatamente. Neste IHM é também apresentado um status *on line* da performance

das rejeições e por qual motivo (tipo de inspeção) as garrafas estão sendo reprovadas nas inspeções.

Todo este aparato eletrônico de controle de inspeções está alocado no Sistema Painel Elétrico do Equipamento.

### **3.1 - APRESENTAÇÃO DOS SUBSISTEMAS DO TOPTRONIC**

Para a análise de confiabilidade do *Toptronic*, foi realizada uma subdivisão deste equipamento em 8 subsistemas. São eles:

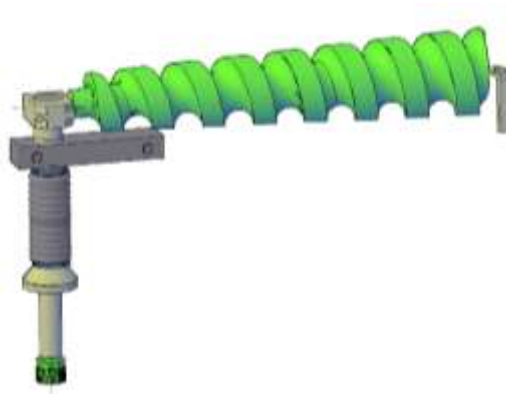
- 1) Sistema de acionamento da rosca sem fim
- 2) Sistema de estrelas de entrada e saída
- 3) Sistema de Perno de Centragem
- 4) Sistema de Estrela de Inspeção
- 5) Sistema *Pusher*
- 6) Sistema Painel Elétrico
- 7) Sistema de Lubrificação Central
- 8) Sistema de Ar Condicionado

A iniciativa de se realizar uma subdivisão como esta é justificada por facilitar o conhecimento das fronteiras do equipamento e apresentar seus componentes visando o entendimento de seus mecanismos de falha e reparo. Torna-se importante tal divisão em subsistemas também para verificar como estas partes do equipamento se inter-relacionam, observando como a deficiência em uma parte da máquina pode afetar outras partes. É possível então fazer uma análise sob o ponto de vista de sua manutenção visando sua melhor preservação quanto sua disponibilidade.

Em seguida serão apresentados em um nível um pouco maior detalhes cada subsistema do *Toptronic*.

### 3.1.1 – SISTEMA DE ACIONAMENTO DA ROSCA SEM FIM

O sistema de acionamento da rosca sem fim, conforme figura 12, tem a função de realizar a sincronia das garrafas que chegam pela esteira de entrada e assim entrega-las de forma controlada para a estrela de entrada.



**Figura 12 Esquema ilustrativo do Subsistema Acionamento da Rosca Sem Fim**

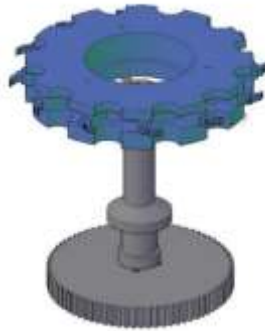
Fonte: Autoria Própria

O sistema de acionamento da rosca sem fim, é composto de rosca sem fim, arrastador e cubo, redutor, rolamento bomba d'água, coifa, eixo de acionamento do redutor, rolamentos da coluna de acionamento e anilha de freio dentada (embreagem). Este sistema será utilizado como exemplo para ilustrar a metodologia utilizada neste trabalho.

### 3.1.2 – SISTEMA DE ESTRELA DE ENTRADA E SAÍDA

A estrela de entrada, conforme figura 13, recebe as garrafas sincronizadas pela rosca sem fim e as entregam para o sistema de pernos de centragem onde ocorrerá a inspeção de contorno. Esta estrela é equipada com um sistema de travamento e fixação das garrafas chamado de insertos ou popularmente chamado de unhas da estrela. Na estrela de saída estas unhas são responsáveis pela

liberação das garrafas nas esteiras corretas dependendo da aprovação ou tipo de reprovação durante a inspeção.



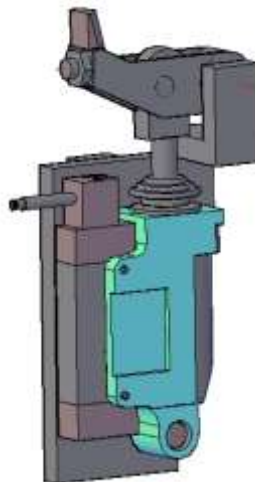
**Figura 13 Esquema ilustrativo do Subsistema Estrelas de Entrada e Saída**

Fonte: Autoria Própria

No funcionamento das estrelas de entrada e saída, caso as garrafas estejam com sujidades as unhas liberam as garrafas para esteira de relavagem. Caso haja a rejeição por defeitos no bocal a estrela libera esta garrafa para esteira de refugos e descarte. Se a garrafa for aprovada em todas as 6 inspeções a estrela de saída libera a garrafa para o enchimento de produto que neste caso é a Enchedora de Cerveja.

### **3.1.3 – SISTEMA *PUSHER***

O sistema *pusher* (Figura 14) opera em conjunto com as estrelas de entrada e saída do *Toptronic*.



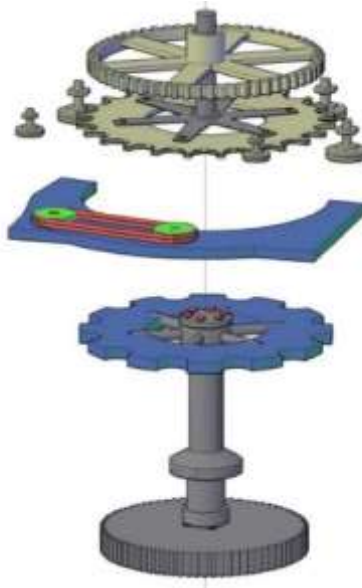
**Figura 14 Esquema ilustrativo do Subsistema *Pusher***

Fonte: Autoria Própria

Trata-se de uma válvula eletropneumática que é capaz de atuar os insertos ou unhas da estrela realizando movimento de abertura ou fechamento para liberação das garrafas para as esteiras ou fixação das garrafas para realização de movimentos de entregas de garrafas nas respectivas esteiras.

#### 3.1.4 – SISTEMA ESTRELA DE INSPEÇÃO

O sistema chamado de estrela de inspeção, conforme figura 15, é o responsável pela etapa de inspeção das partes de bocal e fundo da garrafa. Neste subsistema do *Toptronic* é também realizada a inspeção quanto a presença de líquidos advindos da etapa de lavagem na lavadora de garrafas.



**Figura 15 Esquema ilustrativo do Subsistema Estrela de Inspeção**

Fonte: Autoria Própria

#### 3.1.5 – SISTEMA PERNO DE CENTRAGEM

O sistema perno de centragem está ilustrado na figura 16. Este sistema tem a função de realizar a fixação e centralização das garrafas para a realização da inspeção de contorno.



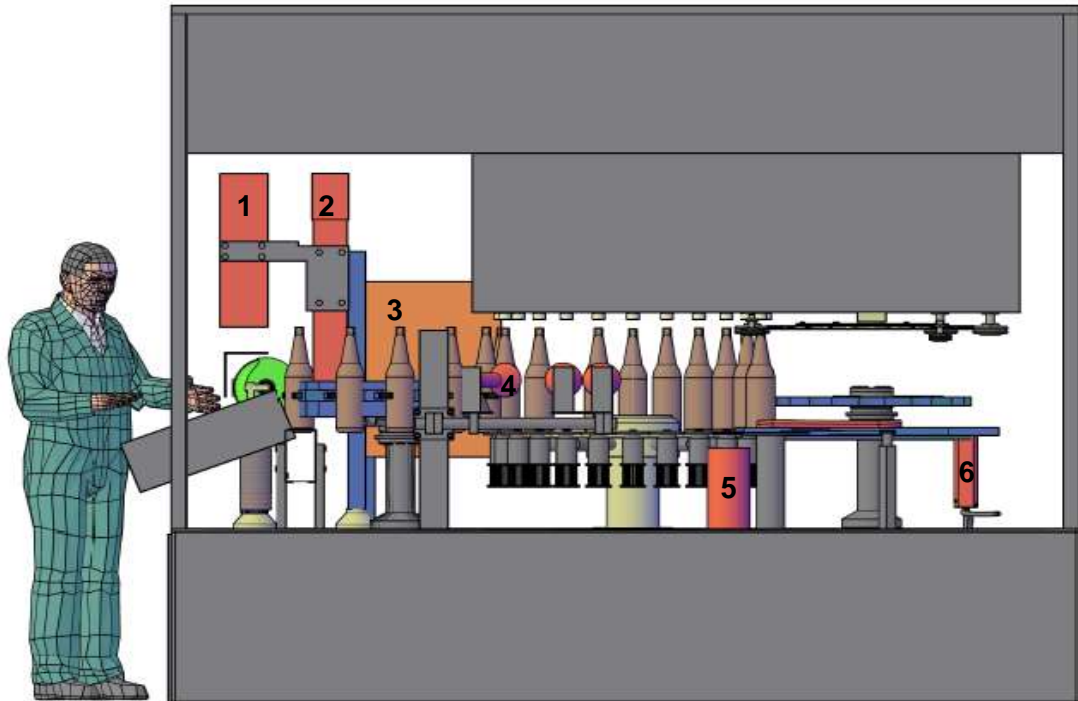
**Figura 16 Esquema ilustrativo do Subsistema Perno de Centragem**

Fonte: Autoria Própria

Este sistema realiza um movimento rotativo de  $360^\circ$  na garrafa em torno de seu próprio eixo para garantir que toda a superfície externa da garrafa seja inspecionada quanto a sujidades. Sujeiras grossas e sujeiras leves são detectadas pelo sistema de câmeras de inspeção.

### **3.1.6 – SISTEMA PAINEL ELÉTRICO**

O sistema painel elétrico, ilustrado abaixo na figura 17, tem a função de realizar o gerenciamento das inspeções das garrafas. Por meio de sistema de comandos de lógica programável – PLC's são tomadas automaticamente decisões acerca da aprovação ou reprovação das inspeções das garrafas que adentram o *Toptronic*.



**Figura 17 Esquema ilustrativo do Subsistema Painel Elétrico em destaque os pontos de inspeções numerados de 1 a 6**

Fonte: Autoria Própria

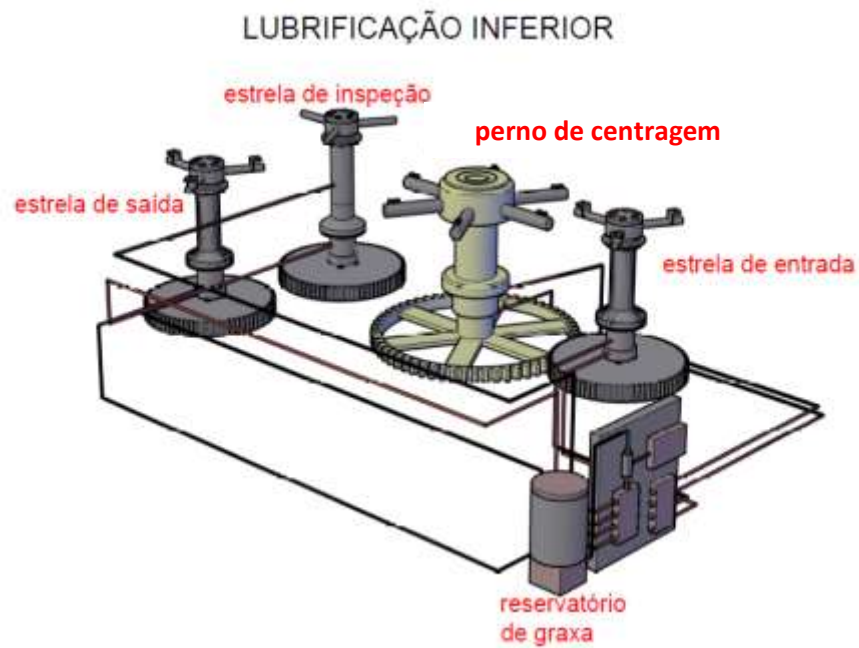
O Sistema Painel Elétrico tem a função de realizar todo o controle do equipamento sendo capaz de interromper a operação do *Toptronic* quando algum tipo de inspeção não sair de acordo com os padrões pré-estabelecidos e alguma garrafa não for por exemplo expulsa corretamente para a esteira de refugo ou relavagem.

Na figura 17 os componentes deste subsistema estão destacados em cor laranja e rosa para visualização e numerados de 1 a 6.

### **3.1.7 – SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO CENTRAL**

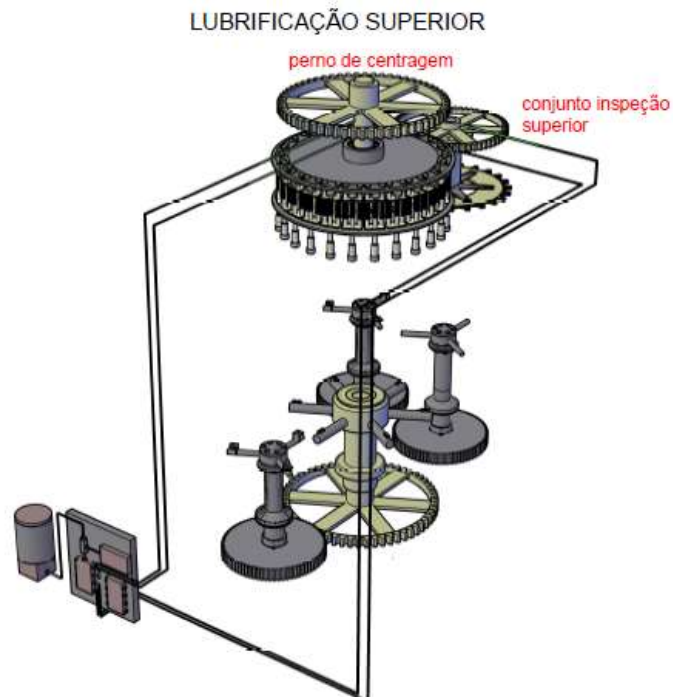
O sistema de lubrificação central, conforme ilustrado na figura 18, integra o *Toptronic* visando a preservação de componentes mecânicos articulados que necessitam de lubrificação constante.





**Figura 18** Esquema ilustrativo parte inferior do subsistema  
De lubrificação central do *Toptronic*

Fonte: Autoria Própria



**Figura 19** Esquema ilustrativo parte superior do subsistema de  
lubrificação central do *Toptronic*

Fonte: Autoria Própria

Os locais atendidos por este sistema são em geral pontos de difícil acesso e demandariam tempo demasiado de desmontagens caso fosse necessária a lubrificação manual.

O sistema lubrificação central é dividido em sistema de Lubrificação Inferior e Lubrificação Superior e este *layout* ilustrado nas figuras 18 e 19.

### 3.1.8 – SISTEMA DE AR CONDICIONADO

O sistema de Ar Condicionado está sendo mostrado na figura 20. Este sistema integra o *Toptronic* para a realização de refrigeração das partes eletrônicas presentes nos painéis de comando deste equipamento. Há aquecimentos naturais dos circuitos eletroeletrônicos e aquecimentos acima do normal podem significar danos e encurtamento de vida útil de placas de circuitos eletrônicos. O Ar condicionado é capaz de controlar a temperatura de operação destes circuitos evitando sobreaquecimentos.



**Figura 20 Esquema ilustrativo parte superior do subsistema de ar condicionado do *Toptronic***

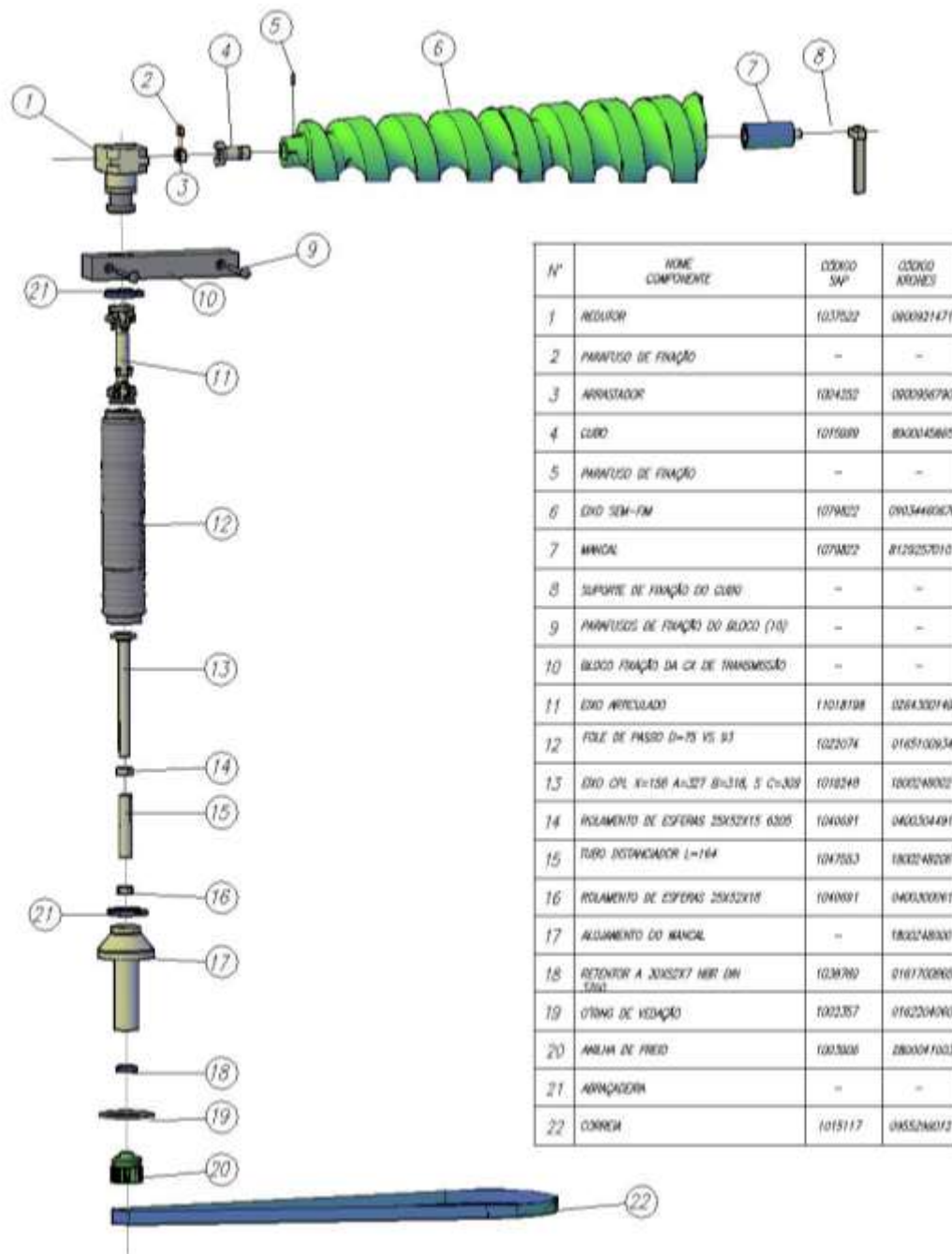
Fonte: Autoria Própria

Neste trabalho, para exemplificação da aplicação de ferramentas da confiabilidade, focaremos no subsistema número 3.1.1 – sistema de acionamento da

rosca sem fim. Aplicaremos análise qualitativas e quantitativas visando a redução de indisponibilidade do equipamento causadas por falhas neste subsistema.

### **3.2 – APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA CONFIABILIDADE NO SISTEMA DE ACIONAMENTO DA ROSCA SEM FIM.**

O desenho mostrado na figura 21 exemplifica a vista explodida do sistema de acionamento da rosca sem fim. Todos os componentes que compõe este sistema são ilustrados e seus códigos são mostrados na tabela ao lado da ilustração. Esta codificação é utilizada para pesquisas no software SAP de gerenciamento da manutenção do Grupo Petrópolis.



**Figura 21 Esquema ilustrativo do conjunto de componentes do sistema de acionamento da rosca sem fim**

Fonte: Autoria Própria

Cada código do SAP do software possui um correspondente *part number* cuja utilização é feita pelo fabricante do equipamento – KRONES em situações de consultas técnicas. O padrão mostrado acima na figura 21 foi criado e adotado pelo setor de manutenção do Grupo Petrópolis para facilitar a execução de intervenções

planejadas em subsistemas do equipamento *Toptronic*. Tal padrão passou a fazer parte do manual de plano de manutenção deste ativo.

### 3.2.1 – APLICAÇÃO DE FMEA NO SUBSISTEMA ACIONAMENTO DA ROSCA SEM FIM

Conhecidas as fronteiras dos subsistemas do *Toptronic* e conhecidos também os componentes que compõe este subsistema foco, foi realizado um estudo qualitativo FMEA - Análise dos Modos e Efeitos das Falhas que ocorrem no sistema de acionamento da rosca sem fim. O formulário utilizado está exemplificado abaixo conforme a figura 22. Foram envolvidos alguns especialistas que compõe o corpo operacional e da manutenção da unidade de produção do Grupo Petrópolis. Utilizou como apoio o software RCM++ da Reliasoft. A norma utilizada foi a MIL-STD 1629<sup>a</sup>.

| SISTEMA: TOPTRONIC   |   |       |   |  |                 |  |  |
|--|---|-------|---|--|-----------------|--|--|
| SUBSISTEMA: CONJUNTO DE ACIONAMENTO DO SEM FIM                             |   |       |   | SUBSISTEMA: CONJUNTO DE ACIONAMENTO DO SEM FIM         |                 |  |  |
| FUNÇÃO   | CAUSA   | Ocorr | MODO DE FALHA   | EFEITO   | Sever           | Método de Detecção da Falha  | Tarefas de Bloqueio da Falha   |
| Transmitir movimento rotativo, contínuo e preciso ao eixo da rosca sem fim | Desajuste entre sem fim e estrela de entrada                                | 3     | Perda de Sincronismo entre sem fim e estrela de entrada (fora de ponto) | Quebra ou enrosco de garrafas no eixo da rosca sem fim | EFEITO MODERADO | Avaliar se o sem fim entrega garrafa no centro da bolsa da estrela.  | Avaliar se o sem fim entrega garrafa no centro da bolsa da estrela. (Mec/Semanal) 15 minutos   |
|  | Sobrecarga no sem fim aliada ao mau funcionamento da embreagem              | 4     |   |  |                 | Simular manualmente sobrecarga no rosca sem fim a ponto de acionar a embreagem verificando sua sensibilidade de acionamento. | Simular manualmente sobrecarga no rosca sem fim a ponto de acionar a embreagem verificando sua sensibilidade de acionamento. (Mec/ Mensal) 30 minutos<br>*Determinar a frequência ótima de troca da embreagem  |
|  | Má fixação entre sem fim e  | 4     |   |  |                 | Conferir o torque dos parafusos de fixação do cubo e do arrastador   | Conferir o torque dos parafusos de fixação do cubo e do arrastador (Mec/Semanal). 15 min   |
|  | Desgaste excessivo entre cubo e arrastador                                  | 2     |   |  |                 | Medir a folga entre cubo e arrastador (desgaste)   | Medir a folga entre cubo e arrastador (desgaste). Usar calibre de lâminas. (Mec/ Mensal) 30min-inspeção e 60min-troca<br>*Substituir conjunto cubo/ arrastador quando: A folga entre cubo e arrastador for maior ou igual a 2mm. A cada 2545h (6meses) o que ocorrer primeiro.               |
|  | Correia dentada sincronizadora do conjunto de acionamento do sem fim frouxa | 3     |   |  |                 | Manualmente verificar o tensionamento da correia dentada sincronizadora do conjunto de acionamento do sem fim                | Inspeccionar o tensionamento da correia dentada sincronizadora do conjunto de acionamento do sem fim. (Mec/ Quinzenal). 30 min-inspeção e 60 min-troca<br>*Determinar a frequência ótima de troca da correia sincronizadora<br>*Determinar a frequência ótima de troca do Rolete tensionador |

**Figura 22 Formulário de FMEA preenchido para o sistema de acionamento da rosca sem fim seguindo a norma MIL-STD 1629A**

Fonte: Autoria Própria

Os profissionais participantes do grupo passaram por treinamentos na metodologia FMEA e contribuíram principalmente com sua experiência de anos na manutenção e uso do equipamento.

### 3.2.2 – APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO PARA COMPONENTES DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DA ROSCA SEM FIM

Foram estudados alguns mecanismos de desgaste do sistema de acionamento da rosca sem fim e para estes introduzido o método de análise de degradação. Fotos de dois dos componentes utilizados na análise estão mostradas abaixo na figura 23. Para título de exemplificação foram selecionados os seguintes:



| Componente        | Cod SAP | Cod Krones  |
|-------------------|---------|-------------|
| <b>Cubo</b>       | 1015899 | 89000921471 |
| <b>Arrastador</b> | 1004252 | 0900956790  |

**Figura 23 Fotos e dados do cubo e arrastador separados e montados formando Kit**

Fonte: Autorial Própria

Durante seu funcionamento no eixo da rosca sem fim, o conjunto cubo e arrastador vai apresentando folgas entre ambas as faces de contato. Com o passar do tempo estas folgas provacam irregularidades no funcionamento da rosca sem fim. Dados de folgas foram coletados e anotados em planilha do software Weibull ao longo do período de ensaios e estão ilustrados abaixo conforme a figura 24.

| Item ID | Tempo da Inspeção (h) | Folga entre cubo e arrastador (mm) | Item ID |
|---------|-----------------------|------------------------------------|---------|
| 1       | 0                     | 0,25                               | PONTO A |
| 2       | 256,8                 | 0,4                                | PONTO A |
| 3       | 385,2                 | 0,55                               | PONTO A |
| 4       | 506,7                 | 0,75                               | PONTO A |
| 5       | 754,1                 | 0,8                                | PONTO A |
| 6       | 909                   | 0,95                               | PONTO A |
| 7       | 1132,3                | 1                                  | PONTO A |
| 8       | 1246,6                | 1,1                                | PONTO A |
| 9       | 1371,2                | 1,15                               | PONTO A |
| 10      | 0                     | 0,251                              | PONTO B |
| 11      | 256,8                 | 0,401                              | PONTO B |
| 12      | 385,2                 | 0,551                              | PONTO B |
| 13      | 506,7                 | 0,751                              | PONTO B |
| 14      | 754,1                 | 0,805                              | PONTO B |
| 15      | 909                   | 0,951                              | PONTO B |
| 16      | 1132,3                | 1,05                               | PONTO B |
| 17      | 1246,6                | 1,1                                | PONTO B |
| 18      | 1371,2                | 1,15                               | PONTO B |
| 19      |                       |                                    |         |
| 20      |                       |                                    |         |

**Figura 24 Planilha de medição do desgaste – folgas entre o conjunto Cubo e Arrastador**

Fonte: Software Weibull Reliasoft

Quando se atinge um nível de folgas elevado, a rosca sem fim passa a apresentar sintomas indesejados e o operador começa a notar enroscos e quebras de garrafas excessivas no eixo sem fim.

Durante a aplicação da ferramenta de análise de degradação, determinou-se que o momento em que o operador começa a observar este fenômeno de quebras excessivas a folga entre o cubo e arrastador é da ordem de 3 mm. Em posse desta informação, passou-se ao software Weibull que carregado com as coletas de folga realizadas no período de acompanhamento de degradação do conjunto cubo e arrastador, realizou o cálculo do momento de troca ótima destes componentes. Segundo o software, para atingir a folga crítica de 3 mm, o conjunto cubo e arrastador deverá ser substituído no momento que atingir 2424 horas. Os resultados deste ensaio estão ilustrados nas figuras 25 e 26 abaixo.


| Relatório de Resultados Simplificado  |  |
|---|--|
|  | Tipo de Relatório: QCP Weibull++       |
| <b>Informações do Usuário</b>   |  |
| Usuário:  | Alécio Silva                           |
| Empresa:  | Grupo Petrópolis - Cervejaria Itaipava |
| Data:   | 27/06/2016                             |
| <b>Entradas do Usuário</b>  |  |
| Tempo Final da Missão (h) =   | <b>2424</b>                            |
| Limites de Confiança usados:  | 2-Lados                                |
| Método dos Limites de Confiança:  | Matriz de Fisher                       |
| Nível de Confiança =  | 0,95                                   |
| <b>Saída do Weibull++ 8</b>   |  |
| Limite Superior (0,975) =   | 1                                      |
| R(t=2424) =   | <b>0,993022</b>                        |
| Limite Inferior (0,025) =   | 0,116642                               |
| <b>Fim do Relatório de Resultados Simplificado</b>                                |  |

Figura 25 Resultado do cálculo para a troca ótima do conjunto cubo e arrastador

Fonte: Software Weibull Reliasoft

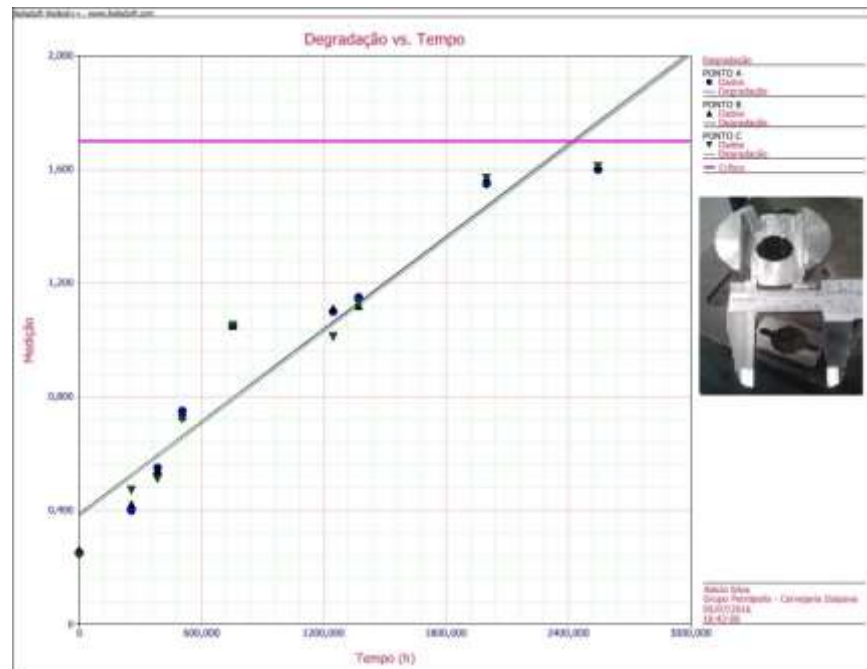


Figura 26 Gráfico da análise de degradação realizada no conjunto Cubo e Arrastador

Fonte: Software Weibull Reliasoft



### 3.2.3 – APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE DADOS DE VIDA (LDA) PARA COMPONENTES DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DA ROSCA SEM FIM

A análise de dados de vida (LDA) foi aplicada para alguns dos componentes do sistema de acionamento da rosca sem fim. Foi utilizado neste momento também o software Weibull da Reliasoft. Utilizou-se o banco de dados de falha dos componentes deste subsistema para a verificação de aderência dos dados às curvas de distribuição. Abaixo mostra-se como exemplo um dos componentes que passou por este estudo.

O Rolamento do eixo sem fim, também é conhecido dentro da linguagem técnica dos especialistas envolvidos no grupo de estudo, como rolamento da bomba d'água e está ilustrado na figura 27. Na figura 28 é mostrado os dados de falha deste componente extraídos do banco de dados de manutenção existente e disponível no Grupo Petrópolis



**Figura 27 Foto do rolamento do eixo da rosca sem fim**

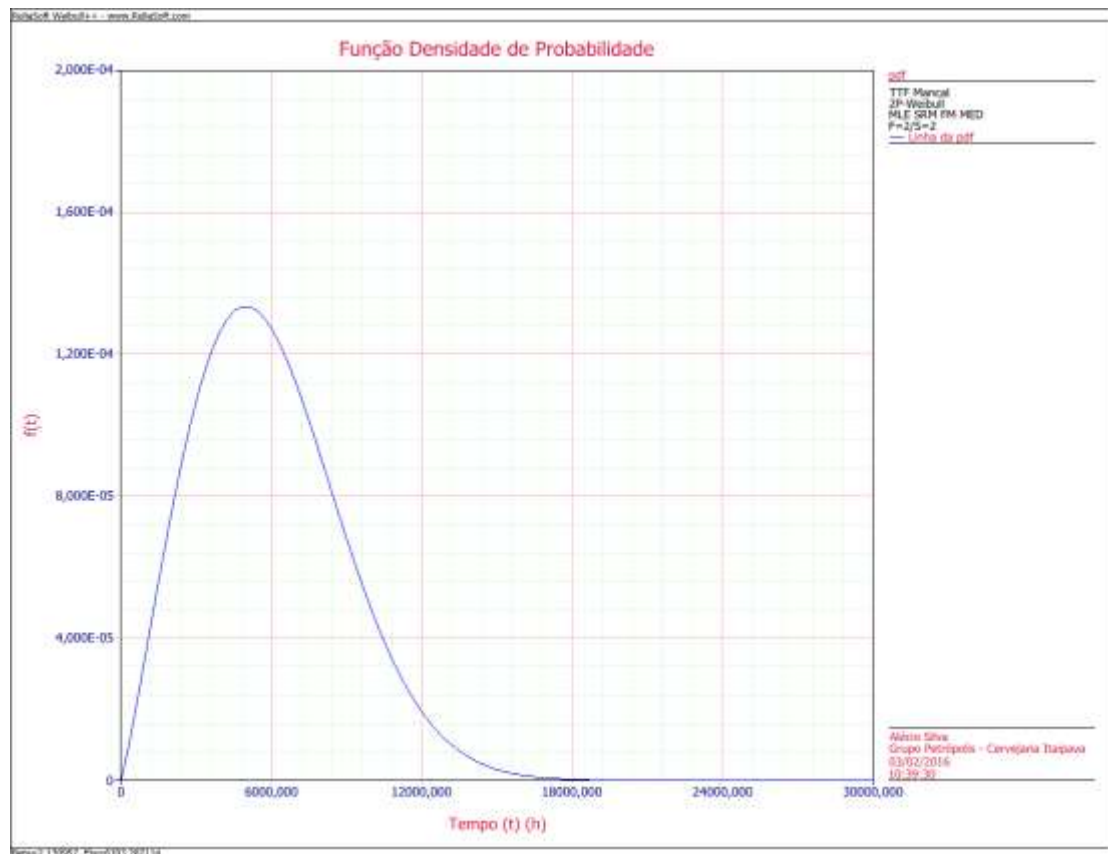
Fonte: Autoria Própria

|   | Condição<br>F ou S | Tempo até<br>F ou S (h) | Subconjunto<br>ID                 |
|---|--------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 1 | F                  | 1847,6667               | de 11/06/14 a 01/03/15 (468h/mês) |
| 2 | S                  | 2880,5                  | de 20/10/14 a 24/05/15 (468h/mês) |
| 3 | S                  | 5399,6667               | de 15/06/15 a 24/01/16 (468h/mês) |
| 4 | F                  | 7127,6667               | 15/06/15 a 24/01/2016 (468h/mês)  |
| 5 |                    |                         |                                   |
| 6 |                    |                         |                                   |
| 7 |                    |                         |                                   |

**Figura 28 Dados de falha do rolamento do eixo da rosca sem fim**

Fonte: Software Weibull Reliasoft


Abaixo, a figura 29 ilustra a curva de Probabilidade Densidade de Falha do rolamento do eixo da rosca sem fim.



**Figura 29 Gráfico de probabilidade densidade de falha (pdf) do rolamento da rosca sem fim**

Fonte: Software Weibull Reliasoft

Para o rolamento do eixo da rosca sem fim, de acordo com os cálculos realizados, a vida estimada deste componente para uma confiabilidade de 90% e intervalo de confiança igual a 0,9 é de 2700 horas de operação. Abaixo é mostrado na figura 30 o relatório gerado pelo software de análise Weibull da Reliasoft.

|   |                               |  |
|---|-------------------------------|--|
|  | Tipo de Relatório             | QCP Weibull++                          |
|   | <b>Informações do Usuário</b> |  |
|   | Usuário                       | Alécio Silva                           |
|   | Empresa                       | Grupo Petrópolis - Cervejaria Itaipava |
|   | Data                          | 03/02/2016                             |
|   | <b>Entradas do Usuário</b>    |  |
|   | Tempo Final da Missão (h) =   | 2700                                   |
|   | Limites de Confiança usados:  | 2-Lados                                |
| Método dos Limites de Confiança:  | Matriz de Fisher              |  |
| Nível de Confiança =  | 0,9                           |  |
| weibull 2P<br>$\beta = 2,131$<br>$\eta = 6703h$                                   | <b>Saída do Weibull++ 8</b>   |  |
|   | Limite Superior (0,95) =      | 0,979509                               |
|   | R(t=2700) =                   | 0,865867                               |
|   | Limite Inferior (0,05) =      | 0,367186                               |

**Figura 30 Quadro de resultados da simulação de dados de falha do rolamento do eixo da rosca sem fim**

Fonte: Relatório Software Weibull Reliasoft

A partir do quadro acima, figura 30, o descarte deverá ser realizado quando o componente – Rolamento do eixo do sem fim – atingir 2700 horas de operação. Beta (parâmetro de forma) e Eta (vida característica) correspondem respectivamente a 2,131 e 6703 horas em uma curva Weibull 2 parâmetros.

Os demais componentes pertencentes ao sistema de acionamento da rosca sem fim foram dispostos em um quadro mostrado na figura 31. Resumidamente foram citadas as ferramentas da confiabilidade utilizadas em cada caso.

| MAPA DE DESCARTE PROGRAMADO DO TOPTRONIC L2<br>(MAPA DE DEGRADAÇÃO DE UM ATIVO) |            |                        |                    |               |              |                      |            |
|---|------------|------------------------|--------------------|---------------|--------------|----------------------|------------|
| TOPTRONIC L2  | SUBSISTEMA | COMPONENTE             | COD SAP            | DADOS DE VIDA | MÉTODO USADO | DESCARTE PROG A CADA |            |
|   |            |                        |                    |               |              | Em horas             | Calendário |
| ACIONAMENTO SEM FIM   |            | CONJ ARRASTADOR E CUBO | 1004252            | -             | DEGRADAÇÃO   | 2545                 | 6 meses    |
|   |            | GUIAS DE ENTRADA       | 1000758            | -             | DEGRADAÇÃO   | 2300                 | 6 meses    |
|   |            | ROLAMENTO BS ÁGUA      | 1027896            | BETA = 2,13   | LDA          | 2331 (Vida B10)      | 6 meses    |
|   |            | EIXO SEM FIM           | 1041762            | -             | DEGRADAÇÃO   | 16500                | 2 anos     |
|   |            | ROLAMENTOS COLUNA      | 1040692<br>1040885 | BETA = 1,83   | LDA          | 2540                 | 6 meses    |
|   |            | CORREIA TRAPEZOIDAL    | 1015426            | BETA = 1,52   | LDA          | 1796                 | 4 meses    |

**Figura 31 – Quadro dos tempos estimados de vida dos componentes do Sistema de acionamento da rosca sem fim**

Fonte: Autoria Própria

O Descarte programado foi exibido em horas e em calendário de forma a deixar o usuário destas informações informado e capaz de carregar estas informações no sistema de gerenciamento de manutenção do Grupo Petrópolis.

## 4 – RESULTADOS ALCANÇADOS COM O TRABALHO

Após a estruturação das fronteiras do sistema *Toptronic* e realização da FMEA em conjunto com especialistas do equipamento, foi realizada a carga das tarefas de manutenção no sistema de gerenciamento da manutenção. Como visto anteriormente no capítulo 2, no Grupo Petrópolis é utilizado o SAP como software gerenciador. Todas as atividades de restauração e de descarte programado de componentes foram inseridas e passaram a ser executadas sistematicamente dentro do programa de manutenção do inspetor eletrônico de garrafas.

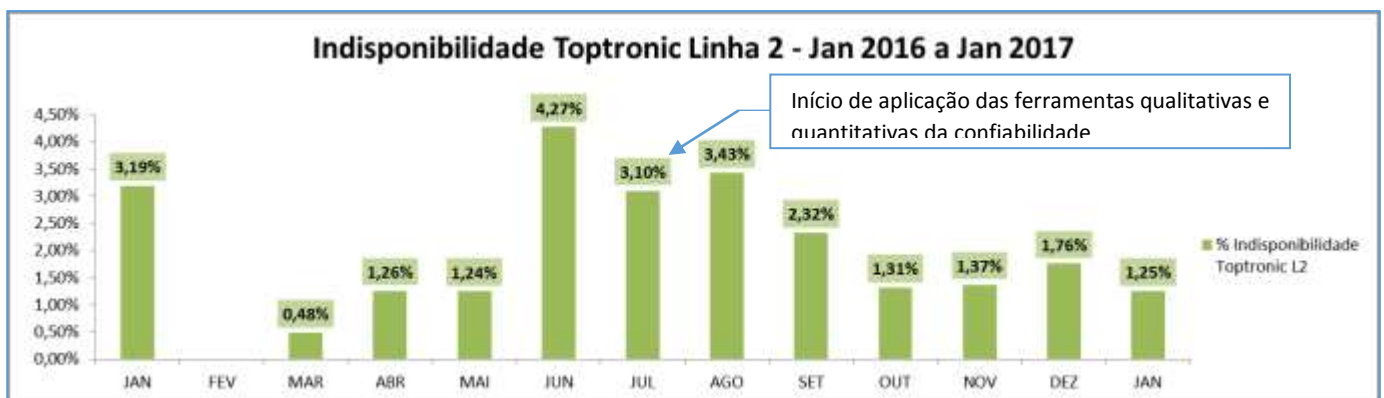
No quadro abaixo, conforme figura 32, é exibida a lista completa de componentes, cuja aplicação de ferramentas de confiabilidade foi realizada.

| MAPA DE DESCARTE PROGRAMADO - (MAPA DE DEGRADAÇÃO DE UM ATIVO) – LISTA COMPLETA |   |                                     |  |               |                         |                      |            |
|---|---|-------------------------------------|--|---------------|-------------------------|----------------------|------------|
|   | SUBSISTEMA                                | COMPONENTE                          | QTDE   | DADOS DE VIDA | MÉTODO USADO            | DESCARTE PROG A CADA |            |
|   |   |                                     |  |               |                         | Em horas             | Calendário |
| TOPTRONIC   | ACIONAMENTO DA ROSCA SEM FIM              | CONJ ARRASTADOR E CUBO              | 2  | -             | DEGRADAÇÃO              | 2545                 | 6 meses    |
|   |   | GUIAS DE ENTRADA                    | 2  | -             | DEGRADAÇÃO              |                      |            |
|   |   | ROLAMENTO BB ÁGUA                   | 9  | BETA = 2,13   | LDA                     | 2331 (Vida B10)      | 6 meses    |
|   |   | EIXO SEM FIM                        | 8  | -             | DEGRADAÇÃO              | 16500                | 2 anos     |
|   |   | ROLAMENTOS COLLINA                  | 20   | BETA = 0,83   | LDA                     | 2540                 | 6 meses    |
|   | PAINEL ELÉTRICO                           | ENCODER                             | 2  | BETA = 2,02   | LDA                     | 1200 (Vida B10)      | 3 meses    |
|   |   | LÂMPADA IV                          | 2  | BETA = 1,10   | LDA e TESTES ACELERADOS | 1200 (Vida B20)      | 3 meses    |
|   | ESTRELA DE INSPEÇÃO                       | CORREIA TRAPEZOIDAL                 | 2  | LOGNORMAL     | LDA                     | 1796                 | 4 meses    |
|   | ACIONAMENTO DE EIXO DE CANASTRAS          | ROLAMENTOS ROLMAX 3095 (100 e 80mm) | 16   | BETA=1,64     | LDA                     | 6518                 | 14 meses   |
|   | TRANSPORTE INTERNO                        | CORRENTE DE RECRVAÇÃO               | 1  | -             | DEGRADAÇÃO              | 28200                | 36 meses   |
|   | CÓPULA DE ENCHIMENTO                      | ROLETES DE ENCHIMENTO               | 3  | -             | TESTES ACELERADOS       | 24033                | 30 meses   |
|   | ESTERAS DE TRANSPORTE                     | ROLETES DE TRANSPORTE               | 24   | -             | DEGRADAÇÃO              | 2500                 | 6 meses    |
| <b>TOTAL</b>  | <b>COMPONENTES COM VIDA ÚTIL DEFINIDA</b> | <b>91</b>                           | <b>ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO, ANÁLISE DE DADOS DE VIDA E TESTES ACELERADOS</b> |               |                         |                      |            |

**Figura 32 – Quadro geral dos tempos estimados de vida dos componentes do *Toptronic***

Fonte: Autoria Própria

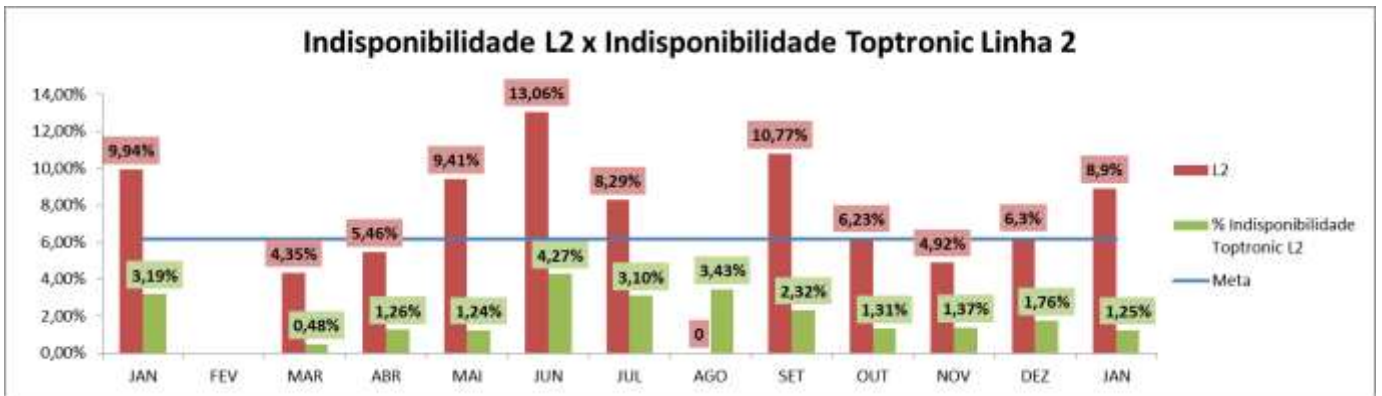
Abaixo, na figura 33, está apresentado graficamente o comportamento do indicador de indisponibilidade causada por parada não programada de manutenção do *Toptronic* e da linha número 2 de envase na qual opera este equipamento. O acompanhamento deste indicador iniciou antes da realização dos trabalhos de confiabilidade na unidade Petrópolis. É possível então observar como foi o impacto das intervenções de restauração programada e descarte programado inseridos no plano de manutenção do ativo. Em julho de 2016 o programa de confiabilidade foi implementado e a partir desta data acompanhamentos intensos realizados pelo grupo de especialistas.



**Figura 33 Gráfico de % Indisponibilidade devido paradas por manutenção do *Toptronic***

Fonte: Autoria Própria

O resultado da implementação do trabalho também é mostrado, conforme figura 34, comparando a redução de indisponibilidade geral da linha de envase número 2. Nota-se que embora haja melhora nos índices de indisponibilidade do *Toptronic*, objeto de estudo, outros equipamentos impactam negativamente nesta linha de envase. Isto é observado principalmente nos meses de novembro a dezembro de 2016. Isto significa uma oportunidade para futuros trabalhos.



**Figura 34 Gráfico comparativo do resultado de indisponibilidade da Linha de envase número 2 e indisponibilidade *Toptronic***

Fonte: Autoria Própria

Comportamentos não previstos foram registrados durante a fase de monitoramento. Novos modos de falha não conhecidos foram descobertos. Um exemplo disto foi a ocorrência de falhas de tombamento de garrafas na estrela de saída do *Toptronic* nos meses de agosto e setembro, conforme observado no gráfico figura 33. Imediatamente a equipe de confiabilidade composta por um coordenador de confiabilidade e os especialistas de manutenção e operação do equipamento reuniram-se e realizaram um novo FMEA exclusivo para este modo de falha e sintoma não mapeado no período de estudo.

Basicamente o sintoma ocorria devido a uma fragilidade estrutural e um desgaste excessivo em uma das guias de saída do inspetor. Foram estudadas as possíveis causas e chegou-se à conclusão da necessidade de criar novas tarefas de manutenção e também de um reprojeto para aumentar a resistência mecânica desta guia. Com a realização do reprojeto da estrutura a velocidade de desgaste também pode ser reduzida aumentando a vida útil da estrutura e os tempos entre restaurações foi revisado.

Nos meses de fevereiro e agosto de 2016 uma inconsistência nos dados impossibilitou a divulgação dos valores de indisponibilidade da linha de envase número 2 e do *Toptronic*. A meta de indisponibilidade que é mostrada no gráfico da figura 34 é referente a linha de envase número 2.

## **5 – CONCLUSÃO**

Foram gerados resultados de disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade da linha de envase de cerveja número 2 e através deste método selecionado o ativo mais impactante negativamente nos três critérios. Para este ativo, foi realizado sua hierarquização e identificado seus subsistemas para os quais foram aplicadas as ferramentas de confiabilidade quantitativas e qualitativas. O uso destas ferramentas possibilitou gerar uma lista de tempos ótimos de trocas de componentes e tarefas de bloqueio de modos de falha. Após a implementação do trabalho observou-se uma redução de indisponibilidade de cerca de 15%. Tal resultado foi atribuído à adoção de novas práticas de manutenção do equipamento. Desta forma, pode-se afirmar que o objetivo do trabalho foi atendido.



## 6 – TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho seguirá para o estudo dos demais subsistemas do equipamento. Aproveitando os conceitos aprendidos na utilização das ferramentas de confiabilidade apresentadas, será realizado um mapa completo de degradação do equipamento. Será realizada a análise de ciclo de vida do equipamento, também conhecida como *LCC – Life Cycle Cost*. Neste estudo será possível determinar a viabilidade econômica de operação do equipamento e sua substituição. É possível determinar se o ativo deve ser mantido com manutenções mais frequentes comparado ao plano atual proposto neste trabalho. Haverá a possibilidade de cruzar os tempos ótimos de intervenção sob o ponto de vista da confiabilidade e sob o ponto de vista econômico financeiro.

Há em alguns subsistemas, a possibilidade de aplicação de Ensaio Acelerado de vida também conhecido como *ALTA – Accelerated Life Tests*. Nestes subsistemas do *Toptronic*, há componentes que demandam alto tempo de acompanhamento (cerca de 8 meses) para se determinar o tempo de desgaste, além de possuírem poucos dados de falha, o que tornam o estudo menos assertivo. Os ensaios acelerados para estas situações aparecem como alternativa da confiabilidade.

Aplicar novamente a análise RAM para alinha de envase número 2. Avaliar através deste método a evolução do *Toptronic* sob critérios de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Realizar uma análise dos modos de falha que se manifestam neste equipamento e verificar se estão ou não mapeados em seu FMEA.

Como etapa subsequente, aplicar a metodologia e estrutura deste trabalho para outros 4 ou 5 equipamentos listados no resultado das análises RAM geradas conforme mostrado na figura 8. Haverá assim, para a mesma linha de envase de cerveja, uma lista de ativos cujos subsistemas e componentes mapeados e associados a um plano de descarte programado e tarefas de bloqueio de modos falhas. A exemplo do que foi visto neste estudo de caso para o *Toptronic*, tal prática recomendada será capaz de proporcionar a esta linha de envase, níveis de disponibilidade de equipamentos ainda mais interessantes.

## REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, Celso de, **Se as máquinas falassem: uma conversa franca sobre a gestão de ativos industriais**. Editora Saraiva, São Paulo, 2007.
- FOGLIATTO, Flávio Sanson, **Confiabilidade e Manutenção Industrial**/ Flávio Sanson Fogliatto e José Luis Ribeiro Duarte, Editora Elsevier, Rio de Janeiro, 2009.
- KARDEC, Alan, **Gestão estratégica e confiabilidade**/ Alan Kardec, João Lafraia. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, 2002.
- LAFRAIA, João Ricardo Barusso, **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, 2001.
- MOUBRAY, J. **Reliability-Centred Maintenance**. 2. ed. Nova York: Industrial Press, 1997. 426p.
- NBR-5462. **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994. 37p.
- ROSS, S.M. **Introduction to probability models**. 9. ed. San Diego: Academic Press, 2006. 800p.
- SCAPIN, Carlos Alberto, **Análise Sistemática de Falha**, Editora Indg, 2007.