

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
OLAVO SILVA DE SOUZA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE RAM SOBRE DADOS DE MANUTENÇÃO  
CORRETIVA DO FATIADOR VERTICAL GRASSELLI NSA600XCB**

LAGES

2019

OLAVO SILVA DE SOUZA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE RAM SOBRE DADOS DE MANUTENÇÃO  
CORRETIVA DO FATIADOR VERTICAL GRASELLI NSA600XCB**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro Universitário  
UNIFACVEST, como requisito para a  
aprovação na disciplina de TCC 2 em  
Engenharia Mecânica.

Prof. Me Reny Aldo Henne

LAGES

2019

OLAVO SILVA DE SOUZA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE RAM SOBRE DADOS DE MANUTENÇÃO  
CORRETIVA DO FATIADOR VERTICAL GRASSELLI NSA600XCB**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro Universitário  
UNIFACVEST, como requisito para a  
aprovação na disciplina de TCC 2 em  
Engenharia Mecânica.

Prof. Me Reny Aldo Henne

Lages, SC \_\_\_/\_\_\_ 2019 Nota: \_\_\_\_\_

---

LAGES

2019

# APLICAÇÃO DA ANÁLISE RAM SOBRE DADOS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA DO FATIADOR VERTICAL GRASSELLI NSA600XCB

Olavo Silva de Souza<sup>1</sup>

Reny Aldo Henne<sup>2</sup>

## RESUMO

Um equipamento adquirido com um custo considerável, traz esperança de uma produção mais eficaz para diretores e executivos de uma grande ou média empresa. Falhas durante a vida útil do equipamento são comuns, porém uma reincidência de falha com elevada frequência pode acarretar em prejuízos financeiros indesejados. Devido ao elevado número de manutenções corretivas realizadas no equipamento durante um determinado período de tempo, procurou-se, por meio deste, identificar possíveis falhas recorrentes ou as probabilidades de falha do equipamento. Pode-se por meio deste trabalho identificar os maiores causadores de problemas do fatiador vertical Grasselli NSA600XCB, bem como os parâmetros de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, calculados a partir da análise RAM de manutenção. A base de dados para aplicar os métodos bibliográficos pesquisados consiste em uma planilha gerada através de um sistema de controle de manutenção, essa com as informações mais relevantes acerca dos reparos realizados no equipamento.

**Palavras-chave:** Falhas, manutenção, probabilidades, confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade, RAM, análise.

---

<sup>1</sup>Acadêmico de Engenharia Mecânica 10ª fase Disciplina de TCC 2

<sup>2</sup>Me Professor e orientador da disciplina de TCC 2

# APLICAÇÃO DA ANÁLISE RAM SOBRE DADOS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA DO FATIADOR VERTICAL GRASSELLI NSA600XCB

Olavo Silva de Souza<sup>1</sup>

Reny Aldo Henne<sup>2</sup>

## ABSTRACT

An equipment purchased at considerable cost, hopes for more effective production for directors and executives of a large or medium-sized company. Failures during the life of the equipment are common, but a recurrence of failure with high frequency can lead to unwanted financial losses. Due to the high number of corrective maintenance performed on the equipment during a certain period of time, it was attempted to identify possible recurring faults or equipment failure probabilities. It is possible to identify the major problems of the Grasselli NSA600XCB vertical slicer, as well as the reliability, availability and maintainability parameters, calculated from the maintenance RAM analysis. The database to apply the searched bibliographic methods consists of a spreadsheet generated through a maintenance control system, the one with the most relevant information about the repairs made to the equipment.

**Keywords:** Failures, maintenance, probabilities, reliability, availability, maintainability, RAM, analysis.

---

<sup>1</sup>Acadêmico de Engenharia Mecânica 10ª fase Disciplina de TCC 2

<sup>2</sup>Me Professor e orientador da disciplina de TCC 2

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico de probabilidade seguindo as condições de Weibull.....	27
Gráfico 2: Valor da manutenibilidade em horas .....	29
Gráfico 3 Gráfico do total de minutos por categoria .....	31
Gráfico 4: Linhas de comportamento dos erros.....	32
Gráfico 5: Dados em percentual do recurso de manutenção .....	33
Gráfico 6: Número de ocorrências por setor.....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Partes da Máquina de corte Grasselli.....	15
Tabela 2: Características do fatiador Grasselli.....	15
Tabela 3: Paradas de manutenção corretiva.....	18
Tabela 4: Número de incidência e tempo de manutenção .....	23
Tabela 5: Valor de manutenibilidade.....	24
Tabela 6: Porcentagem de incidência de cada categoria.....	25
Tabela 7: Total de incidência de manutenção corretiva .....	26
Tabela 8: Confiabilidade para 3 tempos distintos.....	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fatiador vertical Grasselli NSA600XCB. ....	14
Figura 2: Fatiador vertical Grasselli NSA600XCB em vista lateral. ....	14
Figura 3: Foto do painel digital do fatiador. ....	17
Figura 4: Foto da tela do programa Minitab.....	19
Figura 5: Parâmetros estimados pelo programa Minitab.....	19
Figura 6: Foto da tela do aplicativo Excel.....	26
Figura 7: Foto da parte interna do equipamento. ....	30

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RAM	Reliability Availability Maintainability
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Técnicas
MTTF	Mean Time To Failure
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair
EDT	Equipament Down Time
$A_{SYS}$	System Availability Values
LTDA	Limitada

## Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. JUSTIFICATIVA.....	2
3. O PROBLEMA A SER PESQUISADO.....	2
4. OBJETIVO GERAL.....	3
5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
6. HIPÓTESE.....	3
7. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	4
7.1. Manutenção Corretiva .....	4
7.2. Manutenção Preditiva.....	4
7.3. Análise RAM de Manutenção .....	4
7.3.1. <i>Confiabilidade</i> .....	5
7.3.2. <i>Mantenabilidade</i> .....	10
7.3.3. <i>Disponibilidade</i> .....	12
7.4. Análise de Falhas.....	12
7.5. Materiais e Métodos .....	13
7.5.1. <i>Descrição do Equipamento</i> .....	13

7.5.2. Banco de Dados.....	16
7.6 Condição de Análise A .....	18
7.6.1. Cálculo da Confiabilidade para a Condição A Utilizando Weibull.....	20
7.6.3. Taxa de Falha Instantânea.....	21
7.6.4. Índice de Manutenibilidade.....	22
7.6.4. Índice de Disponibilidade.....	22
7.7. Condição de Análise B: Análises Gerais de Dados de Manutenção .....	24
7.8. Resultados e Discussões .....	27
7.8.1. Para Condição de Análise A.....	27
7.8.2. Cálculo da Confiabilidade.....	28
7.8.3. Manutenibilidade para todos os Tipos de Problemas.....	28
7.8.4. Disponibilidade .....	30
7.9. Resultados Gerais.....	31
7.9.1. Análise B .....	31
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36

## 1. INTRODUÇÃO

Na indústria alimentícia são utilizados diversos equipamentos destinados ao fatiamento e processamento de carne. Devido à alta demanda de produção, processos de corte de carne foram automatizados, de forma que o trabalho seja minimamente proveniente de mão de obra humana.

O fatiador vertical Grasselli NSA600XCB (equipamento estudado em questão) é um equipamento produzido para a produção de fatiados de frango em larga escala, com regulagem de pressão no produto e velocidade de trabalho ajustável, podendo variar de 50 a 500mm/s.

Baseando-se no histórico de manutenção do equipamento desde sua aquisição e paradas de produção devido a falhas do mesmo, é possível fazer uma aplicação do método RAM de análise de falhas. Essa análise envolve cálculos de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, gráficos de desempenho, categoria dos problemas, e o tempo de manutenção.

Szkoda, Maciej (2014, p.423) cita os indicadores de manutenção RAM com os seguintes conceitos:

- Confiabilidade: é entendida como a capacidade do sistema executar a função exigida sob condições estabelecidas por um período especificado de tempo.
- Disponibilidade: é a capacidade do sistema estar em estado de prontidão para executar funções requeridas sob condições estabelecidas.
- Manutenibilidade: é definida como a característica de adaptação à manutenção, ajustando um item, conforme métodos especificados.

A partir dos resultados obtidos através deste trabalho, pode-se fazer uma relação de análise de dados para identificar quais os maiores índices de problemas e quais as tendências daquele equipamento falhar devido ao problema encontrado.

Alguns autores trazem definições sobre a análise RAM, caracterizando-a como uma parte de um processo de Engenharia de Sistemas. A citação seguinte pode exemplificar essa ideia.

Ao longo do projeto, como parte do processo de Engenharia de Sistemas, identifica-se os requisitos desejados ou especificados. Requisitos de confiabilidade e verificação de componentes e sistemas podem fornecer um mecanismo para o projeto com decisões que aumentam a disponibilidade do

sistema e reduzem os custos de longo prazo associados à manutenção. Decisões que aumentam a disponibilidade do sistema e reduzem os custos a longo prazo são associados à manutenção e medidas compensatórias (TRUJILLO e SCHARMER, 2012, p.02).

## **2. JUSTIFICATIVA**

As várias paradas não programadas que o fatiador apresenta exigem uma análise acerca do funcionamento do equipamento. Portanto, durante um determinado período de tempo, é possível identificar falhas de componentes ou até mesmo de projeto, bem como problemas operacionais que podem ser corrigidos a partir de uma análise minuciosa do comportamento do equipamento.

Por tratar-se de um equipamento que possui um elevado número de incidências no que diz respeito a paradas de produção, um melhor funcionamento do equipamento pode diminuir esses parâmetros, aumentando a eficiência e a produção.

Um equipamento que não possui uma confiabilidade ou disponibilidade alta, talvez seja alvo de discussões como a troca do mesmo, a substituição de componentes vitais ou até mesmo um treinamento dos técnicos e operadores.

Na produção em larga escala, dentro de uma indústria alimentícia, um equipamento parado pode significar a parada de toda a linha de produção. Um número elevado de paradas não programadas pode acarretar em prejuízos imensuráveis.

## **3. O PROBLEMA A SER PESQUISADO**

Baseando-se no histórico de paradas de manutenção do equipamento, nos tipos de problemas, na incidência da falha e principalmente nos índices de confiabilidade, disponibilidade e mantabilidade, é possível identificar possíveis problemas acerca do fatiador Grasselli NSA600XCB?

#### **4. OBJETIVO GERAL**

Este trabalho visa analisar o comportamento do fatiador perante as condições de trabalho dentro de uma indústria alimentícia e calcular os parâmetros de análise RAM de falha, visando reduzir o número de manutenções corretivas do equipamento, tendo como embasamento, além dos dados de manutenção ao longo da vida útil do mesmo, estudos acerca de métodos de análises RAM e condições probabilísticas.

#### **5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar os procedimentos de manutenção realizados no fatiador vertical Grasselli.
- Indicar a disponibilidade do equipamento.
- Verificar a possibilidade de alterações acerca do equipamento, se encontrado anomalias no resultado da pesquisa.
- Estimar a confiabilidade do equipamento perante o histórico de paradas do mesmo.
- Calcular a manutenibilidade do equipamento.
- Definir parâmetros de análises.

#### **6. HIPÓTESE**

Um elevado número de paradas de um determinado equipamento pode indicar possíveis falhas, que vão desde má operação do operador, até possíveis falhas de projeto na fabricação do equipamento, tendo a manutenção como o meio termo. Se identificado alguns parâmetros, segundo a aplicação dos cálculos de análise RAM, que alertem para um funcionamento inadequado do equipamento, a cogitação de novos métodos de manutenção, bem como a possível substituição do equipamento podem ser pauta de discussões.

## **7. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **7.1. Manutenção Corretiva**

São procedimentos que visam, como o próprio nome incita, a correção de problemas não programados. Este conjunto de procedimentos é conceituado por Almeida (2014, p.16) como:

[...] conjunto de procedimentos que são executados com finalidade de atender imediatamente a produção, a máquina ou o equipamento que parou. A equipe de manutenção age imediatamente para restabelecer seu funcionamento o mais rápido possível. O fato é que nem sempre o “mais rápido possível” ocorre em tempo de se evitar os prejuízos causados por uma parada de máquina imprevista, que podem ser funcionário parado, atrasos de produção, compra de peças sem tempo de pesquisar preços adequadamente[...].

### **7.2. Manutenção Preditiva**

Conceituando a manutenção preditiva, Almeida (2014, p.23) a define no trecho a seguir.

Com a manutenção preditiva é possível indicar as reais condições de funcionamento da máquina de acordo com dados obtidos a partir dos fenômenos apresentados por ela quando alguma peça começa a se desgastar ou alguma regulagem é necessária, ou o que os mecânicos popularmente definem como “ouvir a máquina”. Este tipo de manutenção baseia-se em inspeções periódicas, em que fenômenos como temperatura, vibração, ruídos excessivos etc. são observados por meio de instrumentos específicos.

### **7.3. Análise RAM de Manutenção**

Existem várias definições do sistema RAM de manutenção, dentre elas podemos destacar a definição de Calixto e Bretas (2008, p.01).

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. Para realização da análise RAM é necessário levantamento dos modos de falha dos equipamentos, que causam perda para o sistema estudado, o histórico de falhas e o tempo necessário para reparar cada modo de falha.

Segundo Sharma e Kumar (2008), o estudo RAM (Reliability, Availability e Maintainability), que na tradução para o português significa confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, é uma ferramenta no ramo da engenharia que avalia o desempenho do equipamento em diferentes etapas do projeto, abordando questões de segurança de operação e identificando possíveis melhorias no equipamento com base no processo de produção. As principais variáveis de performance do sistema são o MTTF (Mean Time To Failure), que representa o tempo médio de falha, o EDT (Equipment Down Time) ou tempo de inatividade e  $A_{SYS}$  (System Availability Values), que são os valores de disponibilidade do sistema. A informação obtida por meio da análise auxilia a gestão na avaliação das necessidades do sistema RAM.

### **7.3.1. Confiabilidade**

Segundo McCahan (2017, p.428), confiabilidade é a vida útil esperada de algo, sendo baseado em estatística.

Segundo a ABNT com a NBR 5462/1994, confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. O termo “confiabilidade” é usado como uma medida de desempenho de confiabilidade.

Para cálculos de análise RAM a seguir, utiliza-se MTTF (*mean time to failure*) como o tempo médio até a falha. O tempo médio entre as falhas é representado por MTBF (*mean time between failures*). Por último, o tempo médio de reparo é representado por MTTR (*mean time to repair*).

Yiqi, Bao (2012) cita a importância de se analisar Weibull em situações que exigem cálculos de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade que envolvem comportamento de variáveis ao longo do tempo. Ele cita o seguinte trecho:

A distribuição de Weibull é uma das distribuições mais utilizadas para modelar dados de tempo de vida, sendo usada para modelar dados de tempo de vida com função de risco monótona ou constante, mas não é adequada para modelar situações em que a função de risco tem forma de banheira ou unimodal, as quais são comuns no estudo de análise de sobrevivência (YIGI 2012, p.11).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 5462/1994), pode-se definir as medidas de confiabilidade da seguinte forma:

Confiabilidade ( $R(t_1, t_2)$ ): Probabilidade de um item poder desempenhar uma função requerida sob dadas condições, durante um dado intervalo de tempo ( $t_1, t_2$ ).

Freire (2012) cita a confiabilidade como a probabilidade dos equipamentos funcionarem normalmente em condições de projeto, por um determinado período de tempo preestabelecido.

A função acumulada de probabilidade de falha  $F(t)$ , ou simplesmente probabilidade de falha, é uma medida de probabilidade de falha definida em um período, cuja representação pode ser medida em tempo, ciclos, distância etc. No entanto, geralmente se deseja avaliar a probabilidade de sobrevivência do sistema durante um determinado período. Sendo assim, a medida de interesse é complemento da probabilidade de falha do sistema[...] (PORCIÚNCULA, 2009, p.62 e 63).

Segundo Porciúncula (2009) e a ABNT através da NBR 5462/1994, a confiabilidade pode ser descrita matematicamente conforme a equação(1).

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{Equação(1)}$$

Derivando a função acumulada  $F(t)$ , encontra-se a equação(2) que representa a função de probabilidade de falha  $f(t)$ .

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{dR(t)}{dt} \quad \text{Equação(2)}$$

A equação(3) expressa a função de probabilidade de falha na forma integral.

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad \text{Equação(3)}$$

Seguindo a mesma linha de raciocínio, a forma integral da função de confiabilidade é escrita na equação(4).

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt \quad \text{Equação(4)}$$

Se a área da função da densidade de probabilidade for igual a 1, temos a equação(5).

$$R(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt \quad \text{Equação(5)}$$

A taxa de falha instantânea ( $\lambda(t)$ ), de acordo com a ABNT NBR 5462/1994, é o limite, se existir, da razão da probabilidade condicional de que a falha de um item ocorra em um dado intervalo de tempo ( $t, t + \Delta t$ ), visto que o item estava disponível no instante ( $t$ ), pela duração  $\Delta t$  deste intervalo, quando  $\Delta t$  tende a zero. A partir da equação(3) podemos definir a taxa de falha instantânea, equação(6), onde  $t$  é a variável de interesse,  $F(t)$  é a função de distribuição acumulada para o instante  $t$ ,  $R(t)$  a função de confiabilidade para o instante  $t$  e  $f$  é a função de densidade de probabilidade para o instante  $t$ . Todas as variáveis mencionadas anteriormente estão condicionadas a um instante 1.

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr[t < T < (t + \Delta t) | T > t]}{\Delta t} = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \frac{1}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \text{Equação(6)}$$

Outra forma mais básica de calcular a taxa de falha instantânea pode ser escrita na equação(7). Para calcular a taxa de falha, por este método, é necessário encontrar o *MTBF*. O mesmo encontra-se na equação(8).

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad \text{Equação(7)}$$

$$MTBF = \frac{\sum T}{F} \quad \text{Equação(8)}$$

Onde:

*MTBF* = Tempo médio entre falhas.

$\sum T$  = Somatório de horas de operação do equipamento.

*F* = Número de falhas ocorridas no período estudado.

A equação(9) representa matematicamente a função de falha instantânea no sistema de modelagem Weibull, sendo  $t \geq 0$ .

$$h(t) = \frac{\beta}{\delta} \left[ \frac{t - \gamma}{\delta} \right]^{(\beta-1)} \quad \text{Equação(9)}$$

Baseando-se na equação(2), e substituindo conforme a equação (9) (taxa de falha instantânea), tem-se a equação(10).

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \quad \text{Equação(10)}$$

Integrando a equação(10), obtém-se a equação(11).

$$\int_t^{R(t)} \frac{1}{R(t)} dR(t) = \int_0^1 -\lambda(t) dt \quad \text{Equação(11)}$$

Realizando substituições equivalentes, obtêm-se a equação(12), que é chamada de equação geral da confiabilidade.

$$R(t) = \exp - \left[ \int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad \text{Equação(12)}$$

Considerando a taxa de falha instantânea  $\lambda(t)$ , tem-se a equação da confiabilidade representada pela equação(13).

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{Equação(13)}$$

Onde:

$R(t)$  = confiabilidade em qualquer tempo  $t$ .

$e$  = Logaritmo neperiano ( $e=2,718$ ).

$\lambda$  = Taxa de falha ou número de falhas por período de operação.

$t$  = Tempo previsto de operação.

A equação de confiabilidade para a modelagem Weibull pode ser descrita na equação(14).

$$R(t) = e^{-\left[\left(\frac{t-\gamma}{\delta}\right)^\beta\right]} \quad \text{Equação(14)}$$

Onde:

$\beta$  = forma (parâmetro de estimativa obtido através da distribuição Weibull.

$\gamma = 0$ .

$\delta$  = escala (parâmetro de estimativa, também obtido através da distribuição Weibull.

$t$  = tempo estimado para definir o valor de confiabilidade.

Taxa de falha média ( $\bar{\lambda}(t_1, t_2)$ ): É a média da taxa de falha instantânea em um dado intervalo de tempo( $t_1, t_2$ ). A taxa de falha média se relaciona com a taxa de falha instantânea e é expressa na equação(15).

$$\bar{\lambda}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt \quad \text{Equação(15)}$$

A intensidade de falha instantânea ( $z(t)$ ) é o limite da razão do número médio de falhas de um item reparado em um intervalo de tempo  $(t, t + \Delta t)$ , pela duração do intervalo  $t$ , quando esta tende a zero. A intensidade de falha instantânea pode ser expressa pela equação(16), onde  $N(t)$  é o número de falhas no intervalo  $(0, t)$  e  $E$  pode ser chamado de esperança matemática.

$$Z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} = \frac{E[N(t + \Delta t) - N(t)]}{\Delta t} \quad \text{Equação(16)}$$

Segundo a ABNT, NBR 5462/1994 a intensidade de falha média ( $\bar{Z}(t_1, t_2)$ ) é a média da intensidade de falha instantânea em um dado intervalo de tempo  $((t_1, t_2))$ . Ela se relaciona com a intensidade de falha instantânea, assim como representado na equação(17).

$$\bar{Z}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} Z(t) dt \quad \text{Equação(17)}$$

### 7.3.2. Manutenibilidade

Segundo Dummar e Beccalli (2007, p.14), a manutenibilidade pode ser descrita da seguinte forma:

Mantenabilidade é a capacidade de um determinado item de um equipamento ser mantido em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso específicas. A manutenibilidade deve ser entendida como grau de facilidade de execução de manutenção do equipamento em questão. Para as mesmas condições e recursos de trabalho, quanto menos o tempo médio de execução dos serviços de manutenção de um equipamento, maior será a manutenibilidade do mesmo.

Dentro da ABNT o conceito de manutenibilidade pode ser definido como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando manutenção executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.

O termo manutenibilidade é usado como uma medida do desempenho de manutenibilidade.

A manutenibilidade dentro da NBR 5462/1994 diz que a probabilidade de uma dada ação de manutenção efetiva, para um item sob dadas condições de uso, poder ser efetuada dentro de um intervalo de tempo determinado, quando a manutenção é feita sob condições estabelecidas e usando procedimentos e recursos prescritos.

A manutenibilidade é uma característica de projeto e instalação, que é expressa como a probabilidade de um item ser restaurado a uma condição definida, dentro de um determinado tempo, quando a manutenção é feita de acordo com os procedimentos e recursos técnicos logísticos especificados (BERQUÓ, 2014, p.02).

A taxa de reparo instantâneo ( $\mu(t)$ ) é limite da razão da probabilidade condicional de que o instante  $T$  de término de uma ação de manutenção corretiva ocorra em um dado intervalo de tempo  $(t, t + \Delta t)$ , pela duração  $t$  deste intervalo, quando  $\Delta t$  tende a zero, supondo que a ação esteja em andamento no início do intervalo de tempo. Ela pode ser calculada pela equação(18).

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr[t < T < (t + \Delta t) | T > t]}{\Delta t} \quad \text{Equação(18)}$$

Lembrando que a equação acima representa a taxa de reparo instantâneo para uma situação proativa, ou seja, antes da operação ser realizada.

Para calcular a o índice de manutenção a partir de um banco de dados, deve-se utilizar o índice  $MTTR$ , que é o Tempo Médio de Reparo. Este mede o nível de dificuldade da manutenibilidade do equipamento, ou seja, quanto maior o valor, mais difícil foi a execução do serviço. A equação(19) expressa o  $MTTR$ .

$$MTTR = \frac{\sum Tr}{F} \quad \text{Equação(19)}$$

Nota:  $\sum Tr$  é o somatório de tempo de reparo em horas para cada manutenção corretiva.

### 7.3.3. Disponibilidade

Conforme a ABNT, o conceito de disponibilidade pode ser descrito como a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado. O termo “disponibilidade” é usado como medida do desempenho da mesma.

Segundo Scharmer (2012, p.03), a disponibilidade é a capacidade do sistema executar as funções necessárias durante a vida útil do sistema.

Segundo Roberta J. et al. (2015, p.05), a disponibilidade pode ser calculada através da seguinte equação:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Equação(20)}$$

### 7.4. Análise de Falhas

Referente ao desenvolvimento de produtos, Sturion e Cristina (2015), qualificam a análise de falhas como responsável pelo aumento de produtividade, melhor utilização de recursos (funcionários, máquinas, tempo, investimentos, etc.), bem como em aspectos qualitativos e funcionais.

Analisar uma falha é interpretar as características de um sistema ou componente deteriorado para determinar por que ele não mais executa sua função com segurança. Uma análise de falhas que não serve de subsídio para o conjunto de ações corretivas tem utilidade nula. Por outro lado, se não for possível determinar as causas físicas da falha não será possível introduzir melhorias no sistema (AFFONSO, 2002, p.13).

Pode-se dizer que a análise de falhas identifica algo que acontece fora do planejado, ou seja, através de uma ação planejada de análise de falhas, é possível identificar desvios ou repetições de comportamento. Esta ação pode ser feita a partir de uma análise de comportamento do equipamento ou através de um banco de dados com informações acerca do mesmo.

Algumas formas de analisar dados de falhas são comuns, porém eficazes. Quando têm-se um banco de dados para a análise dos eventos, algumas ferramentas como Excel, Tebleu e Minitab são excelentes. O próprio Excel traz ferramentas de tabelas dinâmicas que a partir delas, é possível gerar gráficos para comparar a incidência de dados.

Pereira e Sobrinho (2010, p.24) citam os principais atributos do Excel no trecho a seguir.

Em síntese, os principais atributos do Excel são: possibilidade de o usuário definir a aparência das planilhas, no que se referem às fontes, propriedades dos caracteres e das células; recurso de recomputação inteligente de células, através da qual apenas células dependentes da célula a ser modificada são atualizadas, bem melhor do que outros programas anteriores que recomputavam tudo o tempo todo ou aguardavam um comando específico do usuário; capacidades avançadas de construção de gráficos; entre outros.

## **7.5. Materiais e Métodos**

### **7.5.1. Descrição do Equipamento**

É uma máquina de corte automático capaz de cortar uma ampla variedade de carnes desossadas, sendo cruas ou cozidas. Ela possui um múltiplo conjunto de facas com espessura de corte entre 5 e 25mm em intervalos de 0,5mm. A altura máxima da peça, quando ativado o corte longitudinal transversal, é de 70mm. A temperatura do produto não pode ser inferior a temperatura de um refrigerador e não pode ultrapassar a temperatura de 90°C.

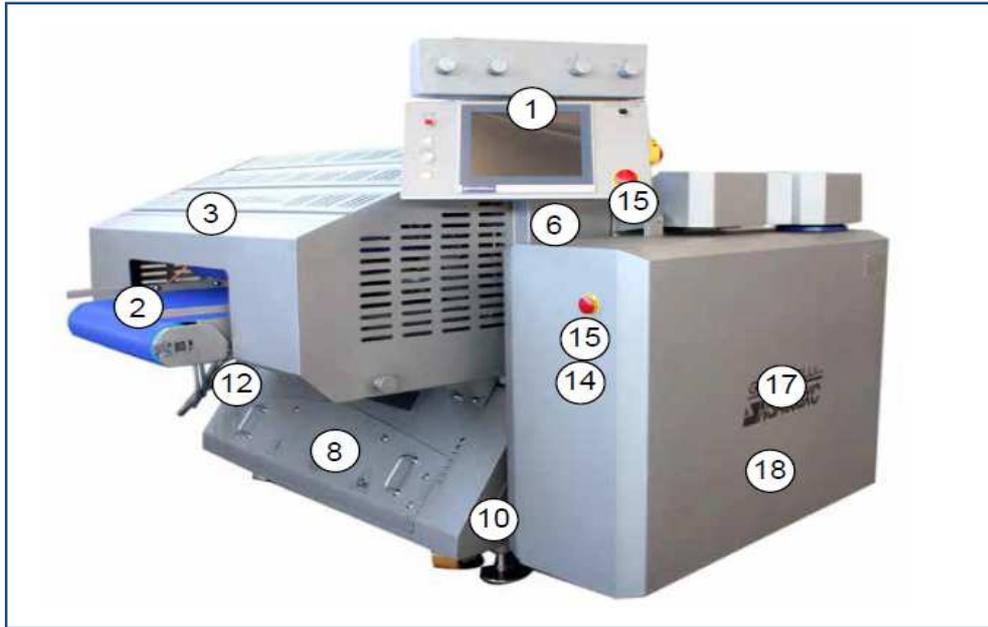


Figura 1: Fatiador vertical Grasselli NSA600XCB em vista frontal e com numeração de partes. Fonte: Fornecida Pela Fabricante Grasselli S.p.A, julho 2015.

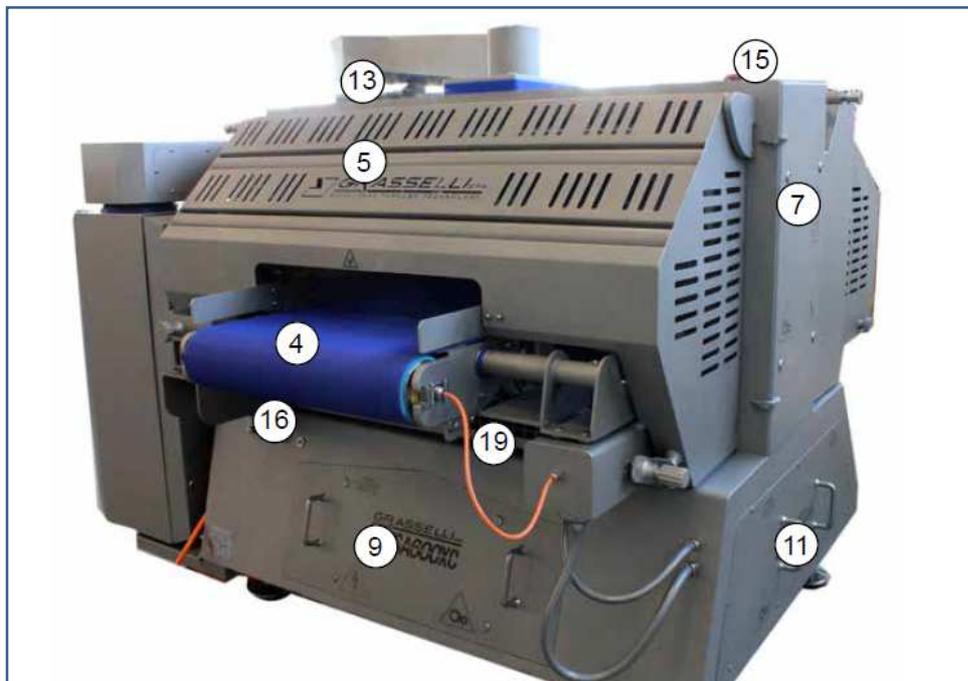


Figura 2: Fatiador vertical Grasselli NSA600XCB em vista lateral direita e com numeração de partes. Fonte: Fornecida Pela Fabricante Grasselli S.p.A, julho 2015.

Número	Descrição	Número	Descrição
1	Painel de operação	11	Proteção inferior L. E
2	Esteira de entrada	12	Esticador faca
3	Carcaça dianteira	13	Conexão elétrica do sistema pneumático
4	Esteira de saída	14	Proteção dos componentes
5	Parte da caixa traseira	15	Botoeira de emergência
6	Proteção superior L. D.	16	Águas pressurizada
7	Proteção superior L. E.	17	Caixa de manutenção
8	Parte inferior da carcaça E.	18	Drive na parte interna
9	Parte inferior da carcaça D.	19	Dispositivo de segurança
10	Guarda lateral inferior D.		

Tabela 1 Partes da Máquina de corte Grasselli NSA600XBC. Fonte: Fornecida pela Fabricante Grasselli S.p.A, julho, 2015 e adaptada pelo Autor, 2019.

Tabela 2: Características do equipamento.

Largura de trabalho (mm)	610
Peso (kg)	1850
Consumo máximo de energia (A)	26
Nível de proteção do sistema de energia (IP)	67
Nível de ruído ao redor da máquina (dB)	68
Alimentação de ar comprimido (bar)	6 a 10
Consumo de ar a 6 bar (litros/min)	800
Temperatura de operação (°C)	0 a 50

Tabela 2: Características do fatiador Grasselli NSA600XCB. Fonte: Catálogo fornecido pelo fabricante.

### 7.5.2. Banco de Dados

Os dados de manutenção corretiva foram fornecidos pela empresa Vosso do Brasil Alimentos Congelados LTDA, com base no seu banco de dados de manutenção. Esses compreendem o período de setembro de 2016 à maio de 2019.

São 334 registros com diversas informações a respeito de cada um deles, dentre essas informações, estão: número da ordem de serviço, data da abertura, setor, tempo de duração, data de execução, observações do técnico, observações do solicitante, custos com mão de obra, máquina parada ou não, local, categoria de problema, etc.

Uma das informações mais relevantes é a categoria do problema, ou seja, em qual parte da máquina está sendo feita a manutenção. Elas são divididas em: água pressurizada; apertos, soldas e ajustes; componentes elétricos; erro de operação; esteira; facas; hidráulico; inversor; limpeza; lubrificação; melhorias; módulos; motor; pneumático; redutores; reset; rolamento, eixo, bucha, retentor e sensores.

Outro dado que deve-se levar em conta para a realização das análises, é o tempo de operação da máquina durante todo o tempo de captura de dados (2016-2019). A figura 3 mostra o painel do fatiador NSA600XCB, contendo o número de horas trabalhadas entre o período de 30/set/2016 até 17/jun/2019 (data em que a foto foi tirada).

Baseando-se na figura 3, o equipamento operou durante 150 dias, 7 horas e 13 minutos. Se fizermos uma conversão simples para horas, temos que o equipamento operou por 3.607,21 horas.

Nota: O período de computação de horas trabalhadas pelo equipamento é de 30/09/2016 até 17/06/2019. Isso significa um período de 32,66 meses. Esta condição é de suma importância para os cálculos seguintes.

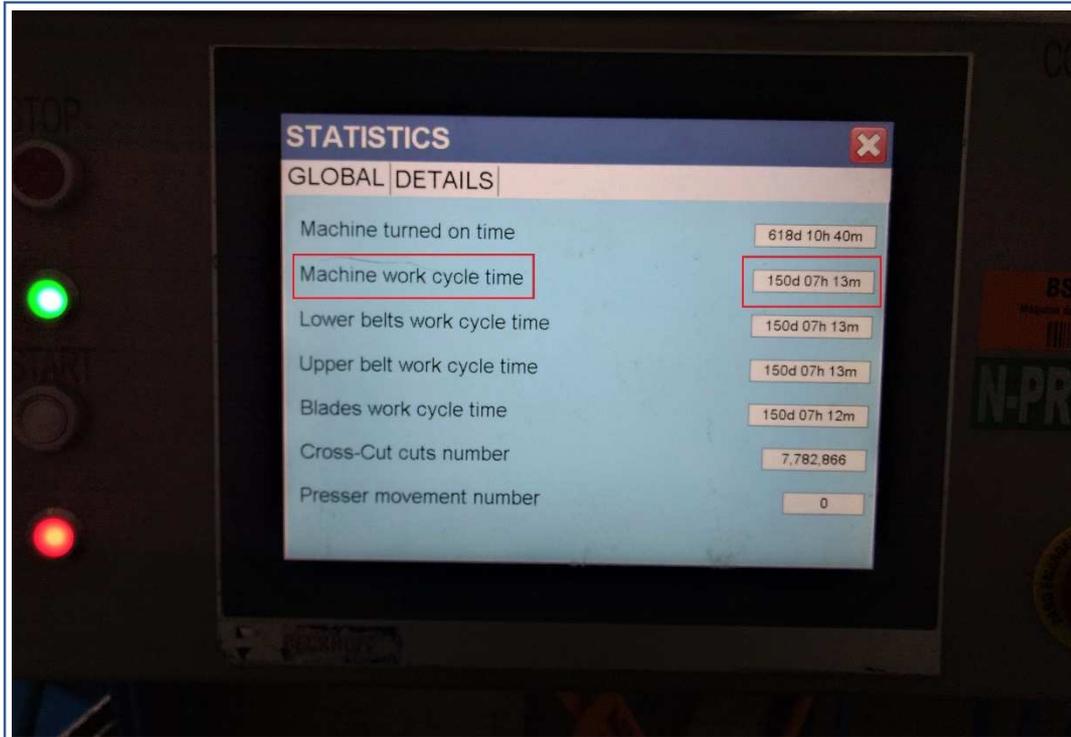


Figura 3: Foto do painel digital do fatiador Grasselli NSA600XCB com dados de tempo de operação.  
Fonte: Elaborada pelo Autor.

Para cálculos a partir do banco de dados, é preciso fazer uma relação de horas, baseado no intervalo de tempo da mesma. Sendo assim, para o intervalo de 30/09/2019 até 03/05/2019 (último dado de manutenção corretiva obtido), temos o equivalente a 31,2 meses. Então para obter o número de horas de trabalho do equipamento durante este período, tem-se a seguinte relação matemática:

Se 3.607,21 horas correspondem a 32,66 meses, obtém-se o valor de 110,44 horas trabalhadas em um mês. A partir disso, se multiplicar o número de horas trabalhadas em um mês por 31,2 meses (que é o intervalo de dados de manutenção), têm-se 3445,72 horas.

Nota: Os valores de horas trabalhadas pelo equipamento durante o período do banco de dados é um valor estimado, ou seja, pode não ser o exato valor real, uma vez que não foi possível obter, junto à empresa, o número de horas operado pelo equipamento somente no intervalo de tempo do banco de dados.

## 7.6 Condição de Análise A

Para a condição de análise A, é sujeitado uma reorganização de dados de manutenção e uma análise individual do número de paradas, sendo analisados por grupo de amostras. Estes grupos foram divididos em trimestres, entre as seguintes datas: outubro/2016 e Março/2019.

Durante o período condicionado, foram analisadas 10 amostras trimestrais, com um total de 30 meses. Sendo assim, sabendo-se que o número de horas operado pelo equipamento durante um mês é de 110,44, então em 30 meses o número de horas trabalhadas é de 3313,2. Este é o tempo de operação do equipamento durante a Condição de Análise A.

Para os cálculos de análise RAM, foram utilizados alguns *softwares* de análise de dados. O escolhido para a condição A é o Minitab versão 19.1.

AGRUPAMENTO TRIMESTRAL	2016	2017	2018	2019	TOTAL
Janeiro/Fevereiro/Março		65	19	72	155
Abril/Maio/Junho		21	10		31
Julho/Agosto/Setembro		31	27		58
Outubro/Novembro/Dezembro	34	18	22		73
TOTAL	34	135	78	72	319

Tabela 3: Paradas de manutenção corretiva para Grasselli NSA600XCB: Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Para gerar dados que serão utilizados nos tópicos seguintes, é necessário criar uma tabela de incidência de manutenções corretivas divididas em trimestres durante o tempo especificado segundo a Condição A. Deve-se indicar, após adicionar os dados de entrada, o tipo de estatística, o tipo de análise e os parâmetros de análise. A figura 4 mostra estes passos dentro do Minitab.

A partir da tabela 3 e utilizando os parâmetros representados na figura 4, temos os valores de desvio padrão, média, mediana, amplitude, dentre outros. Destaca-se, assim como na figura 5, os valores de forma e escala, que são parâmetros de estimativa utilizados para cálculos de confiabilidade.

Figura 4: Tela do Minitab Versão 19.1 mostrando os passos para encontrar os parâmetros.

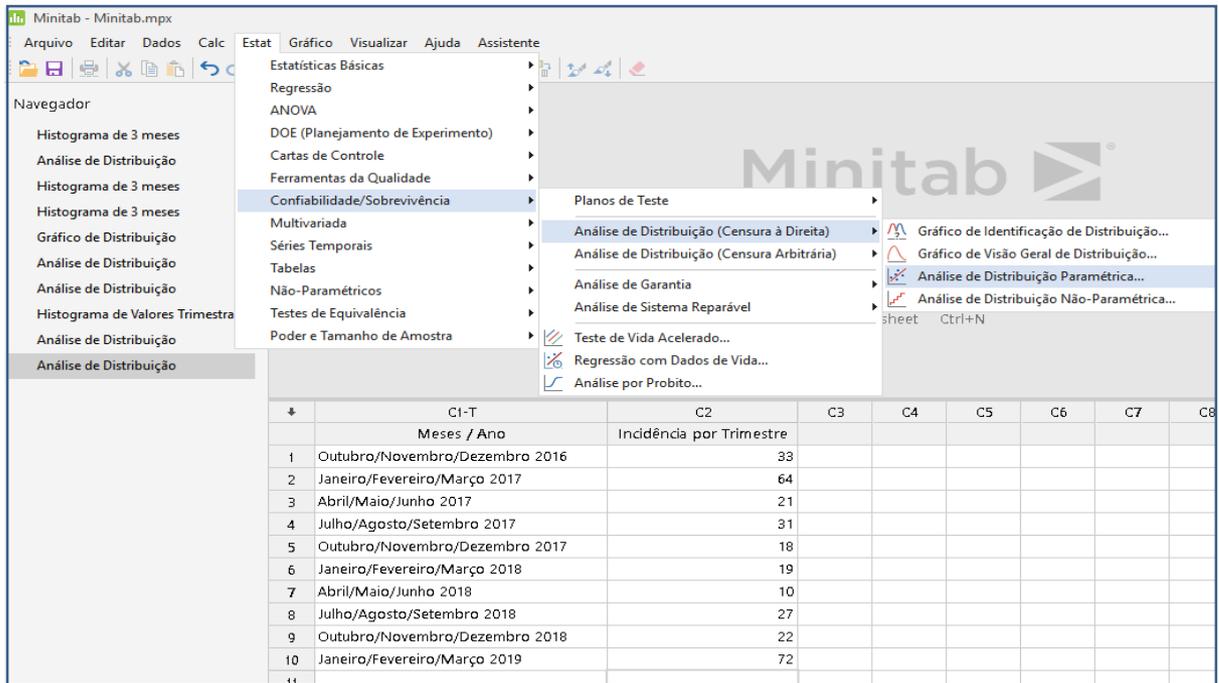


Figura 4: Foto da tela do programa Minitab versão 19.1 para a geração de dados a partir de Weibull. Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Figura 5: Parâmetros de forma e escala para cálculos seguintes.

### Análise de Distribuição: Incidência por Trimestre

Variável: Incidência por Trimestre

**Censura**

Informações de Censura Contagem

Valor não-censurados 10

Método de Estimação: Mínimos Quadrados (tempo de falha(X) no posto(Y))

Distribuição: Weibull

**Características da Distribuição**

	Estimativa
Média (TMPF)	31,0415
Desvio Padrão	16,2818
Mediana	29,1392
Primeiro Quartil(Q1)	18,7410
Terceiro Quartil (Q3)	41,2634
Amplitude Interquartilica (DIQ)	22,5224

### Estimativas dos Parâmetros

Parâmetro	Estimativa
Forma	1,99241
Escala	35,0241

Log-verossimilhança = -42,467

### Teste de Qualidade de Ajuste

Anderson-Darling	Coefficiente (ajustado) de Correlação
2,009	0,947

### Tabela de Percentis

Percentual	Percentil
1	3,48058
2	4,94133
3	6,07208
4	7,03344
5	7,88751
6	8,66611
7	9,38810
8	10,0658
9	10,7076

Figura 5: Parâmetros estimados pelo programa Minitab a partir de uma distribuição Weibull. Os valores referem-se a 10 amostras trimestrais. Fonte: Elaborada pelo Autor (2019).

O parâmetro de forma da distribuição determina a forma da função da distribuição. A forma é estimada a partir dos dados ou especificada com a base no conhecimento histórico do processo. A forma de uma dada distribuição pode afetar o quanto os dados estão simétricos ou assimétricos.

Quanto ao parâmetro de escala da distribuição, ela determina a escala da função de distribuição. O parâmetro pode afetar a forma como os dados se dispersam. Em geral, um valor maior na escala pode fazer com que a distribuição apareça esticada horizontalmente. Um valor menor na escala pode fazer com que a distribuição apareça comprimida horizontalmente.

### 7.6.1. Cálculo da Confiabilidade para a Condição A Utilizando Weibull

Utilizando a equação da confiabilidade para Weibull, escrita na equação(14), e utilizando os valores dos parâmetros de estimativa apresentados na figura 5, pode-se escrever a equação da confiabilidade para Weibull na equação(21).

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-0}{35,024}\right)^{1,992}} \quad \text{Equação(21)}$$

O valor de  $t$  é o tempo em que queremos calcular o nível de confiabilidade do equipamento.

Para  $R(24)$ , temos como resultado 0.62438 ou 62,438%. Isso significa que nas próximas 24h de utilização intermitente do equipamento, a probabilidade de que ele não apresente falhas é de 62,438%. Os resultados serão discutidos no tópico seguinte, com tabelas de simulações de tempo.

Baseado na equação(9), a taxa de falha pode ser reescrita na equação(22).

$$h(t) = \frac{1,992}{35,024} \left[ \frac{t-0}{35,024} \right]^{(1,992-1)} \quad \text{Equação(22)}$$

Assumindo  $h(24)$ , temos como resultado 0,039. Isso significa dizer que nas próximas 24ha quantidade de risco é de 0,039 falhas.

### 7.6.2. Cálculo da Confiabilidade utilizando a Forma Padrão

Para calcular a confiabilidade por este método, primeiro é necessário calcular o *MTBF* e a Taxa de Falha. Baseado nos tópicos anteriores, pode-se calcular o *MTBF* reescrevendo a equação(8). Então temos a equação(23).

$$MTBF = \frac{3313,2}{319} \quad \text{Equação(23)}$$

Utilizando 3.313,2 horas de operação durante o período já especificado, com uma incidência de 319 falhas, tem-se como resultado  $MTBF = 10,386$  horas.

### 7.6.3. Taxa de Falha Instantânea

Com o *MTBF* já calculado, pode-se, então, ser calculado, reescrevendo a equação(7), a Taxa de Falha do equipamento para esse período. Na equação(24) temos a função já reescrita.

$$\lambda = \frac{1}{10,386} \quad \text{Equação(24)}$$

Temos a Taxa de Falha com o valor de 0.0962. A partir destas informações podemos calcular a confiabilidade do equipamento. A equação da confiabilidade está escrita na equação(13). Reescrevendo a mesma com a substituição pelos valores já calculados, temos a equação(25).

$$R(t) = e^{-0,0962t} \quad \text{Equação(25)}$$

Considerando  $t=30$ , ou seja, a confiabilidade do equipamento para os próximos 30 dias é de 0,0558. Isso significa que o equipamento possui 5,58% de chance do mesmo

funcionar perfeitamente durante 30 dias. A discussão sobre o resultado está no próximo tópico.

#### **7.6.4. Índice de Manutenibilidade**

Baseado na equação(19), a partir da substituição dos valores obtidos através do banco de dados, a função do índice de manutenibilidade é escrito pela equação(26).

$$MTTR = \frac{667,63}{319} \quad \text{Equação(26)}$$

O índice de manutenibilidade é de 2,092 horas.

#### **7.6.4. Índice de Disponibilidade**

Segundo a equação(20) presente nos capítulos anteriores, pode-se reescrever a equação(27).

$$D = \frac{10,386}{10,386 + 2,092} \quad \text{Equação(27)}$$

O índice de disponibilidade para o equipamento em estudo, sujeito às condições de análise A, é 0,8323. Sendo assim, a disponibilidade do equipamento é de 83,23%.

### 7.6.5. Cálculo de Manutenibilidade por categorias de falha ainda para a condição A

O cálculo consiste em dividir o número de horas utilizado para o reparo de uma categoria de problema pelo número de incidência, assim como feito no tópico anterior.

Para a melhor compreensão, primeiro deve-se analisar a tabela 4.

Categorias	2016	2017				2018				2019	total	Minutos de manutenção
	4ª tri	1ª tri	2ª tri	3ª tri	4ª tri	1ª tri	2ª tri	3ª tri	4ª tri	1ª tri		
água pressurizada		1			4		2	1	3	4	15	866
apertos;soldas;ajustes	2	1			1				1	2	7	480
componentes elétricos		1	3	2	1	2		5	3	4	21	3120
erro de operação		1				1				1	3	210
esteira	4	11	4	6	2	1	1	5	1	7	42	2550
facas	3	3	1	2	6	4	1	2	7	10	39	6057
hidráulico	10	5	4	3		4		2		2	30	2620
inversor		2	1	1	3	1	1			6	15	3743
limpeza	3	1					1		1		6	275
lubrificação	4	8	4	8			1	1	1	5	32	2625
melhorias	2	4	1	1	1	1		3	1	4	18	1830
módulos				1						4	5	1650
motor	2	4		4		1				8	19	4400
pneumático	1	1	2	3						2	9	552
reduzores										4	4	2145
reset	1	3				1	1	1	2	1	10	555
rolamento;eixo;bucha;retentor		4						2		3	9	3540
sensores	1	15		1		3	2	3	4	6	35	2840
											319	40058

Tabela 4: Número de incidência e tempo de manutenção corretiva para cada tipo de categoria de problema. Fonte: Fornecida pela empresa Vosso e adaptada pelo Autor, 2019.

A partir dos dados obtidos na tabela 4, pode-se calcular a manutenibilidade do fatiador Grasselli NSA600XCB. Basta dividir os valores em minutos por 60 e em seguida dividir o resultado pelo número de incidência. Os valores estão na tabela 5.

Categoria de problemas	Mantenabilidade (horas)
água pressurizada	0,962
apertos;soldas;ajustes	1,143
componentes elétricos	2,476
erro de operação	1,167
esteira	1,012
facas	2,588
hidráulico	1,456
inversor	4,159
limpeza	0,764
lubrificação	1,367
melhorias	1,694
módulos	5,500
motor	3,860
pneumático	1,022
redutores	8,938
reset	0,925
rolamento;eixo;bucha;retentor	6,556
sensores	1,352

Tabela 5: Valor de manutenibilidade para cada categoria de problema a partir de 10 amostras trimestrais. Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

### 7.7. Condição de Análise B: Análises Gerais de Dados de Manutenção

Neste tópico a análise é baseada em todo o histórico de manutenções corretivas do equipamento desde a sua aquisição.

A tabela 6 mostra uma tabela dinâmica criada a partir das categorias de manutenção com o índice de incidência de cada uma delas, sendo separadas por ano.

Tabela 6: Percentual de incidência de manutenção corretiva para cada categoria e dividida anualmente. Também contém percentual acumulativo por ano e por categoria.

Categorias de falhas	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
	2016	2017	2018	2019	Total Geral
água pressurizada	0,00%	1,50%	1,80%	1,20%	4,49%
apertos;soldas;ajustes	0,60%	0,60%	0,30%	1,20%	2,69%
componentes elétricos	0,00%	2,10%	2,99%	1,80%	6,89%
erro de operação	0,00%	0,30%	0,30%	0,60%	1,20%
esteira	1,20%	6,89%	2,40%	2,10%	12,57%

Continua tabela anterior					
facas	1,20%	3,59%	4,19%	4,19%	13,17%
hidráulico	2,99%	3,59%	2,10%	0,60%	9,28%
inversor	0,00%	2,10%	0,60%	1,80%	4,49%
limpeza	0,90%	0,30%	0,60%	0,00%	1,80%
limpeza	0,00%	0,00%	0,00%	0,30%	0,30%
lubrificação	1,20%	5,99%	0,90%	1,50%	9,58%
melhorias	0,60%	2,10%	1,50%	1,80%	5,99%
módulos	0,00%	0,30%	0,00%	1,50%	1,80%
motor	0,60%	2,40%	0,30%	2,40%	5,69%
pneumático	0,30%	1,80%	0,00%	0,60%	2,69%
reductores	0,00%	0,00%	0,00%	1,20%	1,20%
reset	0,30%	0,90%	1,20%	0,30%	2,69%
rolamento;eixo;bucha;retentor	0,00%	1,20%	0,60%	0,90%	2,69%
sensores	0,30%	4,79%	3,59%	2,10%	10,78%
<b>Total Geral</b>	<b>10,18%</b>	<b>40,42%</b>	<b>23,35%</b>	<b>26,05%</b>	<b>100,00%</b>

Tabela 6: Porcentagem de incidência de cada categoria de manutenção entre 2016 e 2019. Fonte: Gerada pelo Autor, 2019.

Para a melhor compreensão, é necessário entender a tabela a seguir que mostra o número de incidência por categoria.

Tabela 7: Número de incidência dividido em categorias de manutenção corretiva para o período entre 2016 e 2019.

<b>Categoria do Problema</b>	<b>Soma de minutos</b>
limpeza	210
erro de operação	210
pneumático	420
reset	420
água pressurizada	601
apertos;soldas;ajustes	660
esteira	1680
módulos	1890
melhorias	2100
lubrificação	2130
reductores	2145

Continua tabela anterior	
sensores	2235
hidráulico	2450
componentes elétricos	3040
rolamento;eixo;bucha;retentor	3510
inversor	3648
motor	4260
facas	5902
<b>Total Geral</b>	<b>37511</b>

Tabela 7: Total de incidência de manutenção corretiva. Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

O banco de dados, com vários dados ocultos devido a não importância dos mesmos, pode ser visualizado na figura 5. A partir de 334 dados, foram realizadas as análises.

Nº Ordem	Data de execução	ANO	Local	Recurso	classificação	Máq. parada	{3}Duração real	(duração real)minutos	os custos do trabalho
10782	01/10/2016	2016	LINHA 04	Mecânico	lubrificação	Não	8 horas	480,00	276,48
11198	30/09/2016	2016	LINHA 04	Mecânico	facas	Não	50 minutos	50	28,8
11267	01/10/2016	2016	LINHA 04	Mecânico	apertos;soldas;ajustes	Não	5 minutos	5	2,88
11268	01/10/2016	2016	LINHA 04	Civil	facas	Não	15 minutos	15	8,64
13204	29/10/2016	2016	PARADA	Elétrico	reset	Não	20 minutos	20	11,52
13215	28/10/2016	2016	LINHA 02	Mecânico	esteira	Não	50 minutos	50	28,8
13630	24/12/2016	2016	CORTE	Mecânico	apertos;soldas;ajustes	Não	4 horas	240,00	138,24
13657	30/03/2017	2017	LINHA 04	Mecânico	esteira	Não	30 minutos	30	17,28
13754	04/11/2016	2016	LINHA 04	Mecânico	esteira	Não	1 hora	60,00	34,56
14072	08/11/2016	2016	LINHA 04	Mecânico	esteira	Não	25 minutos	25	14,4
14081	08/11/2016	2016	LINHA 04	Elétrico	limpeza	Sim	25 minutos	25	14,4
14085	08/11/2016	2016	LINHA 04	Mecânico	facas	Não	4 horas	240,00	138,24
14373	05/12/2016	2016	LINHA 04	Elétrico	melhorias	Não	10 minutos	10	5,76
15120	07/12/2016	2016	LINHA 02	Mecânico	limpeza	Sim	15 minutos	15	8,64
15123	07/12/2016	2016	LINHA 03	Mecânico	limpeza	Sim	15 minutos	15	8,64
15415	13/12/2016	2016	LINHA 02	Mecânico	facas	Não	15 minutos	15	8,64
15485	13/12/2016	2016	LINHA 02	Mecânico	hidráulico	Sim	1 hora 20 minutos	80,00	46,08
15597	15/12/2016	2016	LINHA 02	Mecânico	pneumático	Não	10 minutos	10	5,76
15725	16/12/2016	2016	PREPARO 02	Mecânico	hidráulico	Não	1 hora 10 minutos	70,00	40,32
15745	18/12/2016	2016	LINHA 04	Mecânico	hidráulico	Não	1 hora 20 minutos	200,00	115,2
15891	20/12/2016	2016	LINHA 02	Mecânico	hidráulico	Não	30 minutos	30	17,28
16137	22/12/2016	2016	LINHA 02	Elétrico	esteira	Não	30 minutos	30	17,28

Figura 6: Foto da tela do aplicativo Excel, no qual estão armazenados os dados de manutenção fornecidos pela empresa Vossko. Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

## 7.8. Resultados e Discussões

### 7.8.1. Para Condição de Análise A

A partir da Condição de análise A, pode-se destacar o seguinte:

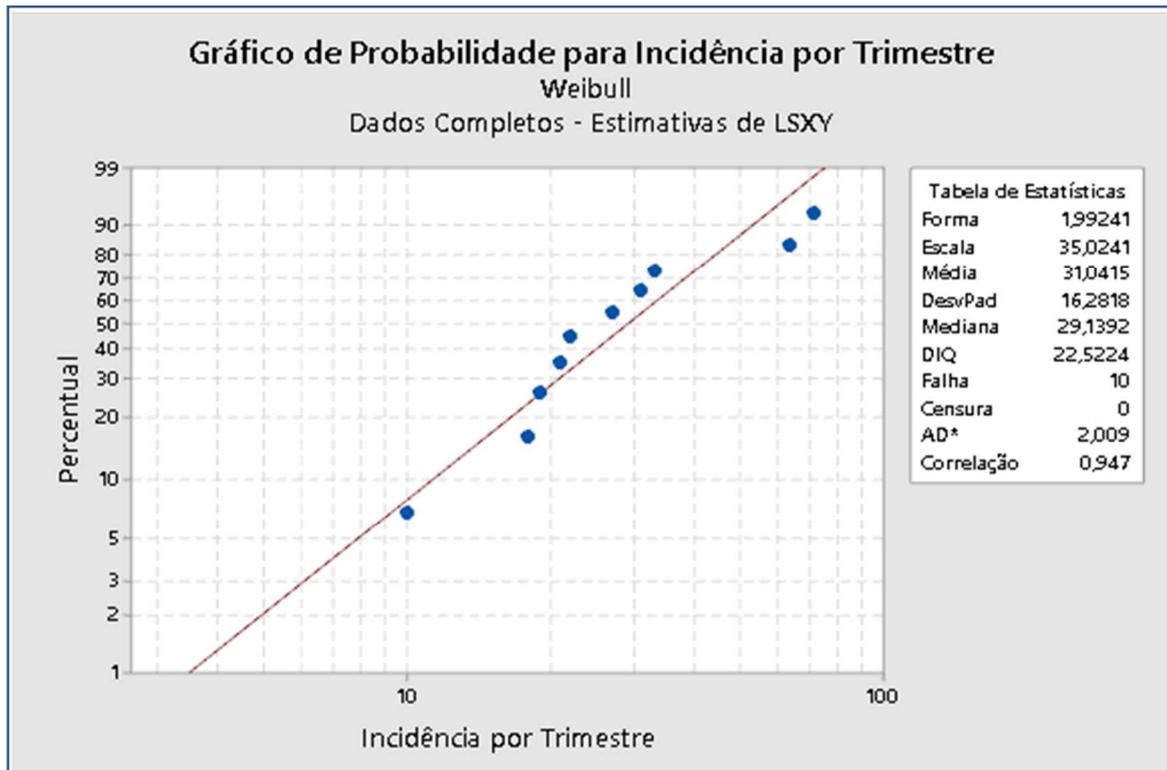


Gráfico 1: Gráfico de probabilidade seguindo as condições de Weibull, no qual foram elaboradas a partir do programa Minitab. Os dados são divididos por trimestres entre out/2016 e mar/2019. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Analisando o gráfico da figura 7, pode-se entender que a linha vermelha é a reta de tendência dos dados. Os pontos azuis são o deslocamento entre a linha de tendência e os dados reais. Quanto maior a distância do ponto em relação a linha de tendência, maior será o desvio da incidência.

Nota-se que nas duas primeiras amostras (outubro/novembro/dezembro/2016 e janeiro/fevereiro/março/2017) o equipamento apresentou baixa incidência de manutenções corretivas. Já nos próximos 3 meses, o valor foi tolerável, se comparado à linha de tendência.

As amostras de Abril/2017 a Junho/2018 foram os maiores índices de ocorrência de falha, onde o número de manutenções corretivas foi significativamente elevado. Já nos meses seguintes, o número de incidências não foi alto.

### 7.8.2. Cálculo da Confiabilidade

O resultado encontrado foi de 62,438% de confiabilidade para 24h de trabalho executado.

Segundo essa lógica, pode-se estipular algumas situações para a confiabilidade, assim como mostra a tabela a seguir.

Tempo	Confiabilidade
24h	62,438%
48h	15,358%
72h	1,496%

Tabela 8: Confiabilidade para 3 tempos distintos, segundo Weibull. Fonte: Elaborada pelo Autor

Baseado na Tabela 8, pode-se afirmar que em 3 dias de operação a probabilidade do equipamento falhar é de 98,504%. Em 100 testes com duração de 3 dias, o equipamento falharia em pelo menos 98 das vezes.

Para comparar com esse resultado, a confiabilidade pelo cálculo padrão obteve o valor de 5,176% durante 1 mês. Significa dizer que se analisarmos somente os dados do banco de dados e aplicarmos as equações matemáticas padrões para o cálculo de confiabilidade, a cada 100 testes com a máquina operando durante 1 mês, a probabilidade do equipamento falhar é de pelo menos 94 das 100. Ou melhor dizendo, 94,824% de probabilidade de falhar.

### 7.8.3. Manutenibilidade para todos os Tipos de Problemas

O índice de manutenibilidade do equipamento ficou em 1,852 horas, ou seja, para cada ordem de serviço de manutenção corretiva no equipamento, o técnico levou em média quase duas horas de trabalho.

A manutenibilidade para cada categoria de falha pode visualizado através do gráfico 2.

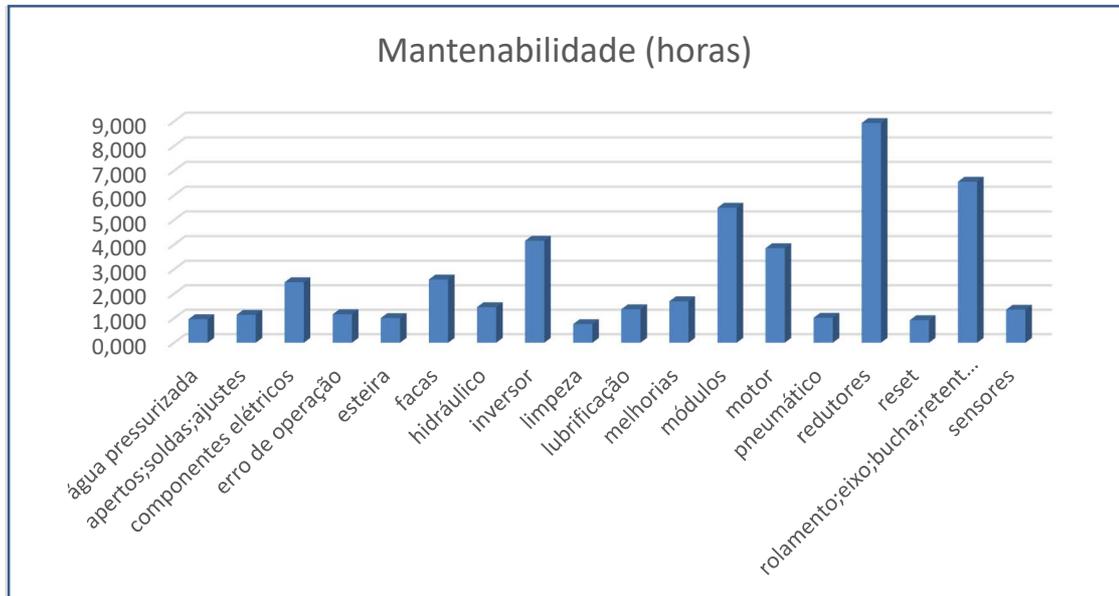


Gráfico 2: Valor da manutenibilidade em horas para cada categoria de erro presente no banco de dados.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Através do gráfico 2, pode-se dizer que o maior nível de complexidade fica por conta dos redutores, o que é plausível, já que o número de incidências com os mesmos é baixo e o tempo de reparo é alto.

Uma manutenção em um redutor da Grasselli NSA600XCB é realmente trabalhosa e normalmente é feita a sua substituição. Na figura 7, pode-se notar que é necessário remover vários componentes antes de ter acesso livre ao redutor. Isso explica o seu tempo prolongado de manutenção.

Outro fator que deve-se levar em conta quanto aos redutores, é o fato de que só houve problema com o mesmo, no último trimestre de análise. Isto indica que é um componente confiável, tendo poucas incidências de falhas. Também indica que pode ter existido incidências devido a vida útil do redutor estar cada vez mais próxima do fim.

Analisando o gráfico 2, é notório que o índice de manutenibilidade de erros envolvendo esteiras é bom, sendo então, inversamente proporcional à incidência de ocorrência do mesmo. Isto justifica o fato de que uma troca de esteira ocorre com

bastante frequência, mas acontece de forma rápida, já uma troca de redutor ocorre raramente, mas com um elevado tempo de parada.



Figura 7: Foto da parte interna do equipamento Grasselli NSA600XCB, onde encontra-se um redutor no centro da imagem, com uma entrada e duas saídas de rotações. Fonte: Autor, 2019.

#### **7.8.4. Disponibilidade**

A disponibilidade do equipamento ficou em 84,53%, ou seja, a probabilidade do equipamento não estar pronto para utilização no período estabelecido nos cálculos presentes nos tópicos anteriores é de apenas 15,47%.

A cada 100 vezes que o equipamento for solicitado para utilização, pelo menos 84 vezes ele vai estar pronto para uso.

## 7.9. Resultados Gerais

### 7.9.1. Análise B

Sem a utilização de Weibull, pode-se gerar dados que representam valores sobre o total do banco de dados.

O gráfico 3 mostra o total de minutos gastos em manutenção corretiva com cada tipo de problema (categorias).

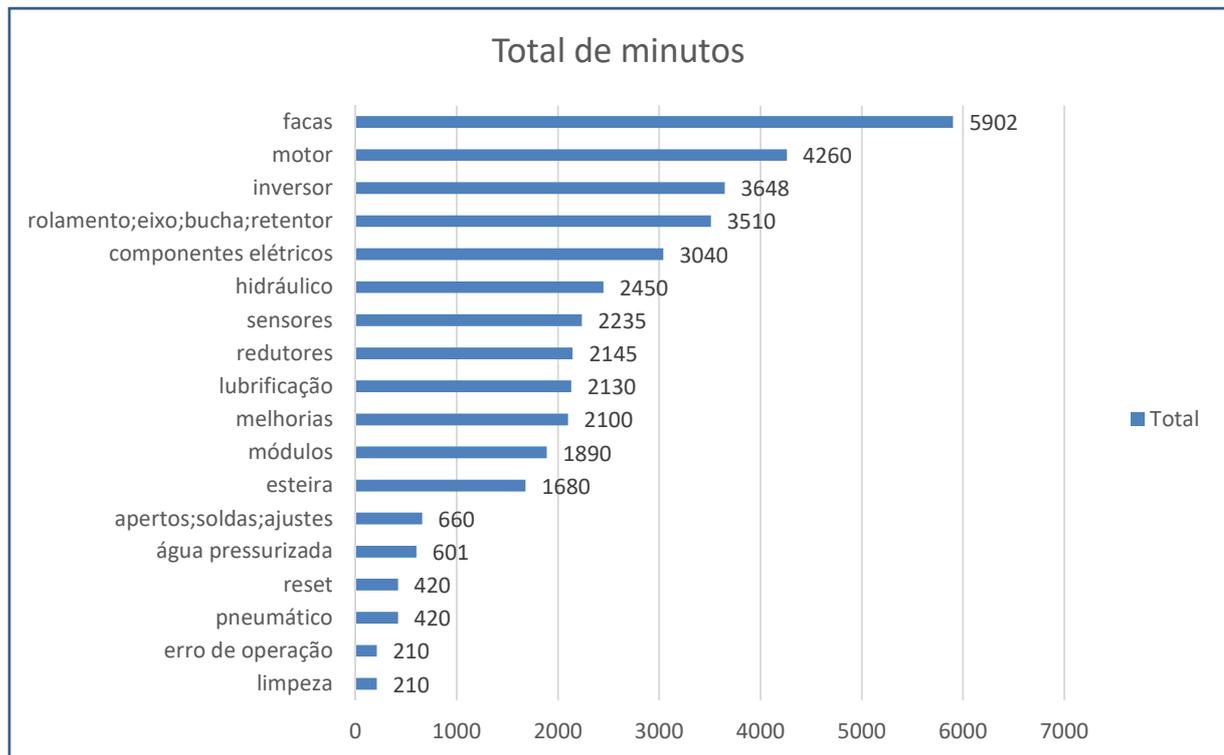


Gráfico 3 Gráfico de barras do total de minutos para cada categoria de manutenção corretiva. Dados entre 2016 e 2019 (sem restrições). Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Analisando o gráfico 3, pode-se notar que o maior número de problemas foram identificados na categoria facas com 5902 minutos. Logo em seguida aparecem motor e Inversor de frequência.

Baseado nas condições utilizadas nos cálculos anteriores e na tabela 4, o gráfico de comportamento das três categorias de erro que mais ocorre no fatiador Grasselli NSA600XCB pode ser representado a seguir.

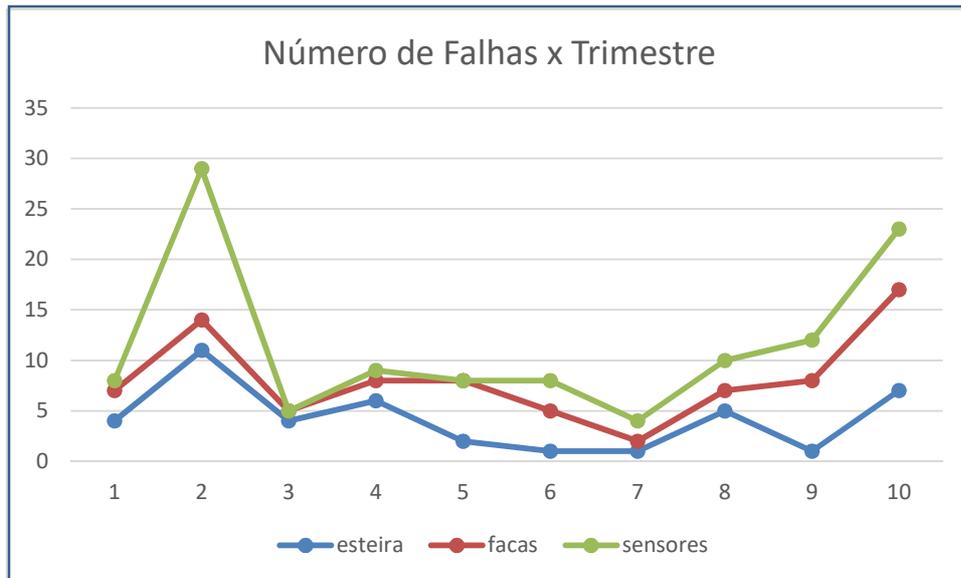


Gráfico 4: Linhas de comportamento dos erros envolvendo esteiras, facas e sensores referentes a dez amostras trimestrais de incidência de manutenção entre out/2016 e mar/2019. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Pode-se dizer que existe uma semelhança entre os três tipos de problemas no que diz respeito à incidência. Isso significa dizer que variáveis acerca do equipamento podem ter influenciado nesse comportamento. Variáveis como a diminuição da utilização do equipamento ou uma mudança nos parâmetros de manutenção são prováveis fatores influenciadores.

Ainda analisando o gráfico, pode-se dizer que há uma tendência de aumentar a incidência até o segundo trimestre de 2019, mas a partir desse período, a tendência é que diminua gradativamente.

No gráfico 5 é mostrado o percentual do recurso de manutenção do equipamento.

Nota-se que 73,05% das manutenções corretivas realizadas no fatiador Grasselli NSA600XCB foram de responsabilidade da equipe de manutenção mecânica, enquanto apenas 26,95% correspondem a equipe de manutenção elétrica. Isso pode significar que o equipamento é mais eficiente na parte elétrica, mesmo ocorrendo várias manutenções relacionadas a sensores e alarmes do equipamento.

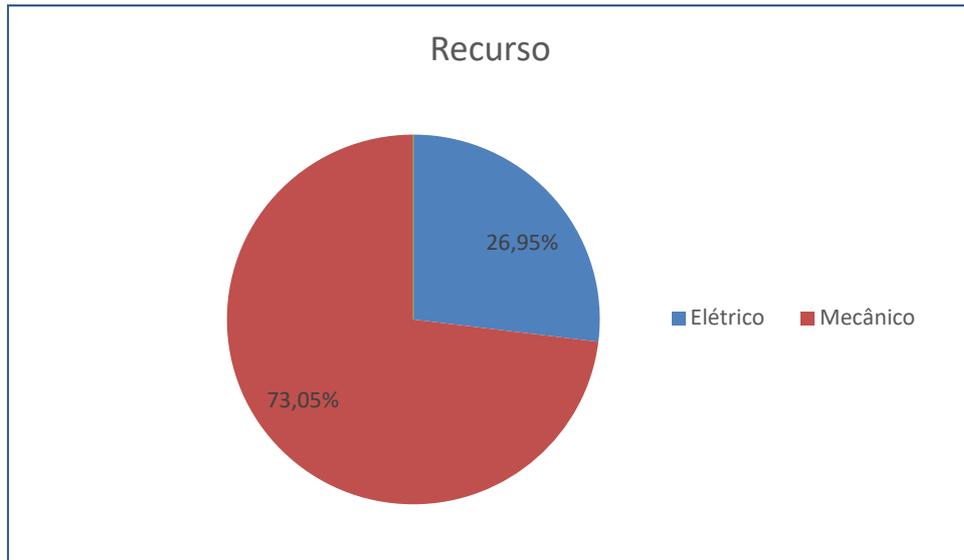


Gráfico 5: Dados em percentual do recurso de manutenção executada. Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Segundo o gráfico 6, a Linha 2 de produção possui o maior número de aberturas de ordens de serviço para manutenções corretivas, sendo acompanhada com proximidade pela Linha 04.



Gráfico 6: Número de ocorrências por setor cadastrado no banco de dados da empresa Vosso. Dados correspondem entre out/2016 e mar/2019. Fonte: elaborado pelo Autor, 2019.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao elevado número de paradas do equipamento, os índices de confiabilidade apresentaram um desempenho um pouco abaixo do esperado. Porém, o equipamento é referência na área de processamento de carnes, sendo escolhido por diversas empresas. Isso significa que há muitos pontos positivos em relação a produção.

Analisando mais profundamente os dados de manutenção e o acompanhamento da máquina dentro da empresa, notou-se que ela é de extrema complexidade e realiza o trabalho com maestria. No entanto, muitos problemas relacionados a acúmulo de produto junto às facas e o alto número de paradas relacionadas e sensores implicam diretamente neste baixo índice de confiabilidade.

Outra situação que pode ter ligação direta com o elevado número de manutenção do equipamento, é a questão do número de movimentos que a máquina executa. As vibrações geradas pelos rápidos movimentos verticais, podem influenciar no resultado do estudo.

A variação mostrada pelo gráfico de continuidade de Weibull pode ter relação com o tipo de produção que é realizado acerca do equipamento. Por não ter uma utilização contínua, ou seja, somente quando necessário, os desvios (variação do número de incidências) do equipamento de certa forma, podem ser justificados.

Por tratar-se de um cálculo que utiliza padrões, curvas e tendências de linha conforme as falhas ao longo do tempo, a confiabilidade para Weibull sempre resultará em um valor menor que outros parâmetros de análise, justificando assim, os valores encontrados. Também é importante salientar que trata-se de cálculo exponencial, ou seja, se dobrarmos o valor do tempo, a confiabilidade não apresentará o mesmo comportamento, resultando então em valores mais baixos.

A disponibilidade utiliza o total de horas trabalhadas pelo equipamento como base do cálculo, sendo assim, não é considerado os parâmetros de Weibull para tal. Como a unidade de medida é horas e o tempo de estudo para a confiabilidade é de um dia, o valor da disponibilidade em 83,23% é plausível se comparado a uma confiabilidade de 5,58% em um período de 30 dias de trabalho.

Notou-se que o tipo de falha mais frequente, também é o que apresenta o menor número de tempo de reparo. Sendo assim, trocas de esteira, ajustes de facas, afiação de facas, problemas com o esticador pneumático da esteira e outros

problemas com aspectos parecidos possuem uma manutenibilidade eficiente, mesmo com altos índices de incidência.

Categorias de falha como motores, redutores e inversores de frequência, apareceram menos que os demais, porém ainda é alto o valor de incidência. Isto implica em um valor elevado com gasto de manutenção, uma vez que estes componentes possuem elevado preço.

O equipamento mostra-se eficiente nas funções que executa, porém o número de paradas excessivas resultam em gastos com manutenções que poderiam ser evitadas, caso fosse reduzido o número de incidências com paradas indesejadas.

Uma aplicação de um método de manutenção aplicada no sistema RAM de manutenção é uma boa alternativa para melhorar o desempenho da Grasselli NSA600XCB.

Fica evidente a necessidade de uma revisão geral de manutenção para o fatiador Grasselli NSA600XCB. A implementação de alguns parâmetros de manutenção com base na confiabilidade do mesmo pode resultar na diminuição do número de paradas do equipamento.

Outro método que teria uma alta probabilidade de funcionamento, seria um levantamento de todos os itens de reparo do equipamento. Isto possibilitaria identificar quanto o equipamento está gastando em manutenção, bem como os itens a serem reparados. Sendo assim, seria possível calcular reincidência de troca de peças, podendo ser tomadas decisões para trocar de fornecedor ou as dimensões do componente.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Regulamentadoras. NBR 5462, Confiabilidade e Manutenibilidade, novembro, 1994. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/eavargas2512/nbr-5462-2>> Acesso em mai. 2019.

Affonso, Luiz Otávio Amaral. Equipamentos Mecânicos: Análise de Falhas e Soluções de Problemas- Rio de Janeiro: Petrobras, 2002.

Almeida, Paulo Samuel de. Manutenção Mecânica Industrial: Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada. Ed. Érica, São Paulo, 2014.

Alvarenga, Tobias e Sant'Anna, Annibal. Metodologia de Análise de RAM por Simulação Baseada em Eventos Discretos Aplicada a Indústria *Offshore*. Porto Alegre, RS, novembro, 2015.

Berquó, Jolan Eduardo. Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade: O Trinômio da Operacionalidade. Out, 2014. Disponível em: <[http://www.dcabr.org.br/download/artigos/msc\\_49.pdf](http://www.dcabr.org.br/download/artigos/msc_49.pdf)> Acesso em jun. 2019.

Calixto, E. & Bretas, R. Análise RAM+L: Um Estudo Integrado de várias Unidades de Produção de uma Refinaria. UFRJ/Petrobras, 2008. Disponível em <<http://www.abraman.org.br/arquivos/121/121.pdf>>. Acesso em: Abril, 2019.

Dummar, Breno e Beccalli, Gustavo. Nova Metodologia de Análise de Falha em Empresa de Refrigerante – Proposta e Estudo de Caso. UFES. Vitória, ES, 2007.

Ebeling, A. Charles E., 2010. Uma Introdução à Confiabilidade e Sustentabilidade Engenharia, Long Grove Illinois, EUA: Waveland Press.

McCahan, Susan. Ribeiro, João. Projetos de Engenharia: uma introdução. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ, 2017.

Mobley, R. Keith. Root Cause Failure Analysis: Plant engineering Maintenance Series. Butterworth-Heinemann, USA, 1999.

Pereira, Daniel e Sobrinho, Elias. Utilização do Aplicativo Excel no Ensaio de Estatística. UNIFAP, Macapá, 2010.

Porciúncula, S. Gilson. Metodologia para Análise de Confiabilidade no Projeto de Sistemas Automáticos. UFSC, Florianópolis, 2009.

RK Sharma, S. Kumar Modelagem de desempenho em sistemas de engenharia crítica usando análise de RAM - Confiança Eng. Syst. Saf. , 93 ( 2008 ) , pp. 891- 897.

Scharmer, Carol J.B. e Trujillo David J. Reliability, Availability, and Maintainability Considerations in the Design and Evaluation of Physical Security Systems. 2012.

Sturion, L. M. Cristina dos Reis e D. Alfieri Palma. Análise de Falhas: Uma Abordagem Exploratória, Londrina, v.16, n.1, p.17-22, mar. 2015. Disponível em <<http://revista.pgskroton.com.br/index.php/juridicas/article/download/1171/1127>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

Szkoda, Maciej. Assessment of Reliability, Availability and Maintainability of Rail Gauge Change Systems. 2014, 16(3): 422-432. Disponível em: <<http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-1832f20a-104d-48a0-aa0d-dd5f8b62df0f>> Acesso em jun/2019.

Yiqi, Bao. Estimação e Diagnóstico na Distribuição Weibull-Binominal-Negativa em Análise de Sobrevivência. USP-São Carlos. Junho, 2012.