

GIOVANA LOPES BULDRINI

**Determinação do plano de manutenção do componente mais crítico de uma
empresa de bens de consumo baseado em análise de confiabilidade**

Guaratinguetá - SP
2016

Giovana Lopes Buldrini

Determinação do plano de manutenção do componente mais crítico de uma empresa de bens de consumo baseado em análise de confiabilidade

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

Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva

Guaratinguetá - SP
2016

B933d	<p>Buldrini, Giovana Lopes</p> <p>Determinação do plano de manutenção do componente mais crítico de uma empresa de bens de consumo baseado em análise de confiabilidade / Giovana Lopes Buldrini – Guaratinguetá, 2016.</p> <p>45 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 43-45</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva</p> <p>1. Confiabilidade (Engenharia). 2. Manutenção produtiva total.</p> <p>3. Bens de consumo. I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 658.56</p>
-------	---

GIOVANA LOPES BULDRINI

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

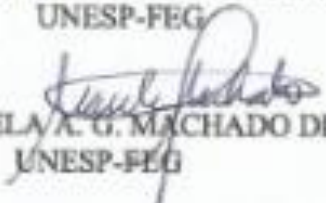
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA


Profa. Dra. ARMINDA EUGENIA MARQUES CAMPOS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


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


Prof. Dr. ANEIRSON FRANCISCO DA SILVA
UNESP-FEG


Profa. Dra. MARCELA A. G. MACHADO DE FREITAS
UNESP-FEG

DADOS CURRICULARES

GIOVANA LOPES BULDRINI

NASCIMENTO	09.11.1991 – Piracicaba / SP
FILIAÇÃO	Mauro Luiz Pecorari Buldrini Gladys Eveline Lopes Buldrini
2012/2016	Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá Universidade Estadual Paulista

Dedico este trabalho a todos que se mantiveram pacientes e amorosos nos momentos mais difíceis para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Especialmente minha família e meu noivo.

AGRADECIMENTOS

Devo agradecer, primeiramente, a Deus, por ter me dado condições de realizar esse trabalho e por ter sido sempre meu refúgio.

Em segundo lugar, agradeço à minha família, meus pais, Mauro e Gladys e irmã, Mayara, por terem sempre colocado minhas necessidades e meu estudo a frente de tudo desde o início de meu curso. Devo agradecer também pelo constante incentivo e pelos valores que me passaram, o que me tornou a pessoa correta que sou hoje.

Agradeço também ao meu noivo que me deu suporte nos momentos em que pensei que não aguentaria, me mostrando o simples da vida e me fazendo lembrar da força e do potencial que eu possuo.

Não poderia me esquecer das amigas da faculdade, em especial daquelas que estiveram tão próximas nesses anos. Patricia, Julia e Thayane, agradeço a solicitude, a paciência com os choros e o suporte com os trabalhos, as provas e a vida pessoal.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Messias, que me aceitou como orientada e me guiou no desenvolvimento do trabalho.

“O maior líder é aquele que reconhece sua pequenez,
extrai força de sua humildade e experiência da sua
fragilidade”.

Augusto Cury

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é suportar a determinação do plano de manutenção do componente identificado como o mais crítico de uma empresa produtora de bens de consumo por meio do posicionamento do mesmo ao longo da curva da banheira. Foram revisados os conceitos de manutenção, os tipos de intervenção e suas características, as funções de distribuição de probabilidade úteis para o estudo de confiabilidade e a metodologia TPM (*Total Productive Maintenance*). O método de pesquisa escolhido foi a modelagem e o procedimento utilizado foi a análise quantitativa do histórico de falhas e tempo de reparo dos componentes. A partir dessa análise, foi possível calcular a disponibilidade dos componentes e, assim, reconhecer o componente Colocador de Tabuleiro do equipamento Paletizador como o mais crítico. Com o auxílio do *software* Weibull++, a intervenção do tipo corretiva foi constatada como a mais adequada devido ao fato de esse componente encontrar-se na fase de mortalidade infantil na curva da banheira.

PALAVRAS-CHAVE: Disponibilidade. Confiabilidade. Manutenção. Weibull++.

ABSTRACT

The objective of the present work is support the determination of the maintenance plan of the component identified as the most critical of a company that produces consumer goods by positioning it along the bathtub curve. The concepts of maintenance, the types of intervention and their characteristics, the probability distribution functions useful for reliability analysis e TPM (*Total Productive Maintenance*) methodology were reviewed throughout the study. The chosen research method was the modeling and the procedure used was the quantitative analysis of the failure history and repair time of the components. From this analysis, it was possible to calculate the availability of the components and thus recognize the Placement Component of the Palletizer equipment as the most critical one. With the aid of the Weibull ++ software for life data analysis, corrective intervention was found to be the most adequate due to the fact that this component is placed in the infant mortality phase of the bathtub curve.

KEYWORDS: Availability. Reliability. Maintenance. Weibull++.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação da pesquisa.....	16
Figura 2 – Atividades necessárias para atingir o objetivo.....	17
Figura 3 – Expectativas crescentes em manutenção.....	19
Figura 4 – Diferentes indicadores de uma possível falha funcional.....	21
Figura 5 – Diferentes fases da manutenção e suas intervenções.....	22
Figura 6 – Pilares de TPM.....	24
Figura 7 – Curvas da distribuição de Weibull para diferentes valores de β	32
Figura 8 – Curva da banheira.....	33
Figura 9 – Paletizador.....	37
Figura 10 – Gráfico da função Confiabilidade do componente Colocador de Tabuleiro...	38
Figura 11 – Gráfico da taxa de falha do componente Colocador de Tabuleiro.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planilha de apoio à implantação da MCC.....	27
Tabela 2 – Indicadores de MTBF, MTTR e disponibilidade.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBM – *Condition Based Maintenance*

FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*

MBC – Manutenção Baseada em Condições

MBT – Manutenção Baseada no Tempo

MP – Manutenção Preventiva

MTBF – *Mean Time Between Failures*

MTTR – *Mean Time to Repair*

PM – *Preventive Maintenance*

TBM – *Time Based Maintenance*

TPM – *Total Productive Maintenance*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	18
2.1.1	Primeira geração	18
2.1.2	Segunda geração	18
2.1.3	Terceira geração	19
2.2	TIPOS DE MANUTENÇÃO	20
2.2.1	Corretiva não planejada	20
2.2.2	Corretiva planejada	20
2.2.3	Preditiva	21
2.2.4	Preventiva	22
2.3	MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (MPT) ou TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM)	23
2.4	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) ou RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)	25
2.5	CONFIABILIDADE, MANUTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE	28
2.6	DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE	30
2.6.1	Distribuição de Weibull	31
3	DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	34
3.1	OVERVIEW DO OBJETO DE ESTUDO	34
3.2	DESCRIÇÃO DA COLETA DOS DADOS	35
3.3	ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS E SELEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO	37
3.3.1	Contexto operacional do equipamento identificado	37
3.3.2	Estimativa dos parâmetros	38
4	CONCLUSÃO	41
4.3	VERIFICAÇÃO DO OBJETIVO	41
4.4	SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

Segundo Alaswad e Xiang (2017), o corpo gerencial de indústrias busca, constantemente, estratégias inovadoras que possibilitem que seus processos produtivos sejam mais eficazes. Segundo Mendes e Ribeiro (2014), essa necessidade de maior eficácia de operações é resultado da globalização da economia que torna o mercado altamente competitivo.

É nesse contexto de busca por aumento de eficácia que a manutenção começa a ser vista como uma função estratégica. Isso porque melhorias em confiabilidade e em disponibilidade de equipamentos podem contribuir para o desenvolvimento da produtividade das empresas e a consequência dessa maior eficiência é a maior competitividade da companhia (MENDES; RIBEIRO, 2014).

As dificuldades encontradas por estrategistas de manutenção são, segundo Sainz e Sebastián (2013), consequência da tentativa de balanceamento de técnicas de manutenção e corte de custo. Deve-se balancear as atividades de manutenção de forma que, em uma mão, estejam frequência e extensão da manutenção e, em outra mão, os custos (SELVIK, AVEN, 2011). Como efeito desse equilíbrio, os serviços não são nem excessivos ao ponto de tornarem as tarefas economicamente insustentáveis nem limitados ao ponto de oferecerem riscos a população da planta industrial. Alcançado esse balanço, perdas econômicas serão evitadas sem ocasionar riscos à segurança e impactos ambientais no sistema produtivo.

No entanto, a forma como os planos de manutenção são, habitualmente, determinados não permite que as metas de maior eficiência das atividades de manutenção sejam atingidas. Isso porque os planos não são capazes de refletir a realidade dos equipamentos devido à definição desses ser baseada na experiência da equipe envolvida e nas instruções do manual do equipamento disponibilizado pelo fornecedor. Essa experiência pode ser limitada e as informações do manual não são baseadas nos dados reais de cada tipo de aplicação, assim, os fornecedores sugerem um intervalo de substituição de componentes menor do que o real, devido ou à intenção de minimizar a responsabilidade do provedor do material ou de elevar às suas vendas (MENDES; RIBEIRO, 2014).

Nesse cenário, a coleta e a análise de dados de confiabilidade são tarefas cruciais em plantas industriais (MENDES; RIBEIRO, 2014). Isso porque esses dados são úteis para determinar o *mix* ótimo de tarefas de manutenção a serem executadas de maneira eficiente com o objetivo macro de manter a confiabilidade operacional do equipamento.

Este estudo inclui a análise dos dados de confiabilidade e terá como produto a resposta para a seguinte pergunta: Qual o plano de manutenção mais indicado para o componente mais crítico de uma empresa de bens de consumo?

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é identificar componente mais crítico de uma empresa de bens de consumo e estabelecer o plano de manutenção mais adequado para este com o auxílio de ferramentas estatísticas aprendidas durante o curso de Engenharia de Produção.

1.2 JUSTIFICATIVA

Qualquer anomalia no cotidiano que implique em parada de produção pode ter como resultado queda de produtividade. Algumas das anomalias são as quebras imprevisíveis em momentos inesperados, cuja consequência é a parada emergencial da operação que impede a manufatura em processos fabris. Dessa maneira, a consequência dessas quebras causa efeitos negativos a todos os setores da empresa, pois, com a perda de rendimento dessa, as metas estabelecidas tornam-se, progressivamente, menos atingíveis (ARSLANKAYA e ATAY, 2015).

Dessa forma, as quebras podem ser evitadas ou, ao menos, minimizadas se houver um adequado plano de manutenção que abranja ações preventivas, preditivas e corretivas. No entanto, caso a empresa possua muitos equipamentos, o gerenciamento desses planos fica desorganizado e a manutenção de algumas máquinas e equipamentos tem grande chance de ser negligenciada. Por essa razão, os dados para mensurar a performance de manutenção e gerenciar planos de manutenção se tornam mais eficientes e os efeitos de manutenção e a confiabilidade intrínsecos ao componente garantem elevado resultado ao rendimento de processos (DUARTE, CUNHA e CRAVEIRO, 2013).

Porém, algumas vezes, os planos de manutenção são determinados com base no conhecimento popular, predominantemente baseado no superficial, sem estudos aprofundados que comprovem o que é expressado e, geralmente, justificados por termos como “porque o senti”, “porque o disseram” (MARCONI; LAKATOS, (2003).

Segundo Mendes e Ribeiro (2014), um plano de manutenção definido com base em análises quantitativas é essencial para identificar o tipo de intervenção e o intervalo de tempo mais apropriados para o equipamento em estudo. Isso porque esse tipo de abordagem leva em

consideração a função e a taxa de falha de cada equipamento. Segundo Selvik e Aven (2011), foi percebido que o intervalo entre atividades de manutenção era definido com base experiência operacional e práticas estabelecidas ao invés de ser estabelecido por meio de soluções matemáticas. No entanto, como evidenciado por Duarte, Cunha e Craveiro (2013), para a aplicação de métodos quantitativos, dois requisitos devem ser atendidos: disponibilidade de histórico de dados suficientes para o estudo e a conservação desse padrão de dados no futuro. Segundo Faccio *et al.* (2014), a complexidade do ambiente fabril aliado à dificuldade de coletar dados corretos em campo levam à seleção de um plano de manutenção não baseado em um ponto de vista quantitativo.

Segundo Santos, Colosimo e Motta (2007), existe abundância de material sobre a confiabilidade de produtos na literatura que podem ser úteis para as indústrias manufatureiras, no entanto, não existem estudos sobre a confiabilidade de equipamentos industriais na mesma proporção.

Devido ao fato do trabalho em questão utilizar a abordagem quantitativa para o estudo de aumento da confiabilidade de um equipamento, este poderá ser útil às futuras pesquisas acadêmicas ou empresariais justamente por conta de não haver abundância de material teórico que aborde a confiabilidade de máquinas e também pelo fato de alguns desses poucos materiais que abordam esse tema não aplicarem métodos quantitativos para a análise dos dados de falhas desses sistemas.

1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho tem como objeto de estudo apenas o componente com menor disponibilidade para o processo produtivo em uma empresa privada de bens de consumo, localizada no estado de São Paulo durante o ano de 2016. Quanto à exequibilidade do estudo, os dados de falha dos equipamentos a serem estudados são acessíveis por conta da documentação em planilhas da análise de falha realizada pelo time de técnicos da fábrica.

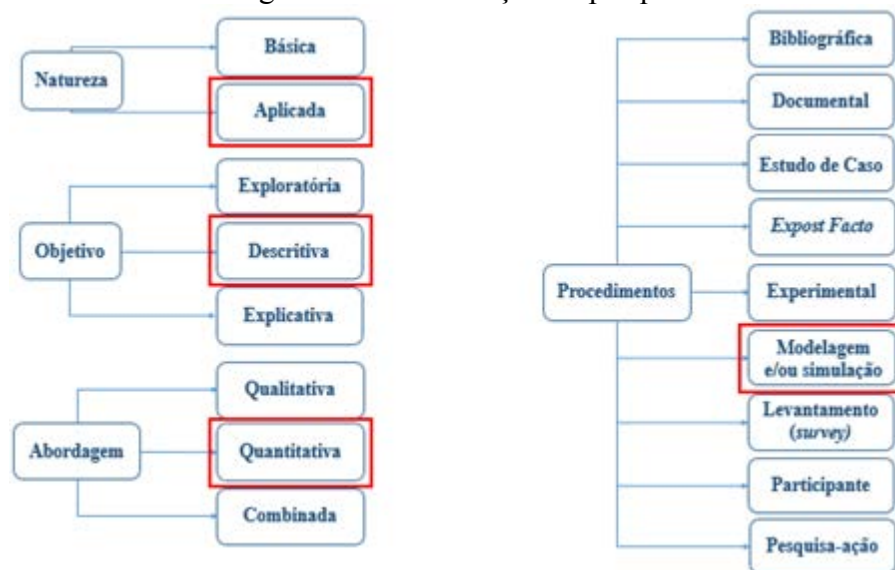
1.4 MÉTODO DE PESQUISA

A modelagem é a abordagem adequada como apoio à tomada de decisão quanto ao que se refere ao estabelecimento do plano de manutenção, visto que, segundo Miguel *et al.* (2010), esta possibilita uma compreensão do ambiente em estudo, reconhecer problemas, elaborar estratégias para tais e também estruturar uma sistemática para as tomadas de decisão.

O estudo tem abordagem quantitativa, pois é embasado em dados quantitativos e demanda do pesquisador coletas dos indícios por meio de variáveis pois, dessa forma, os resultados estarão livres da influência de subjetivismo. Essas variáveis são geradas antes da observação e coleta dos dados, ou seja, estes não sofrem interferência da pesquisa.

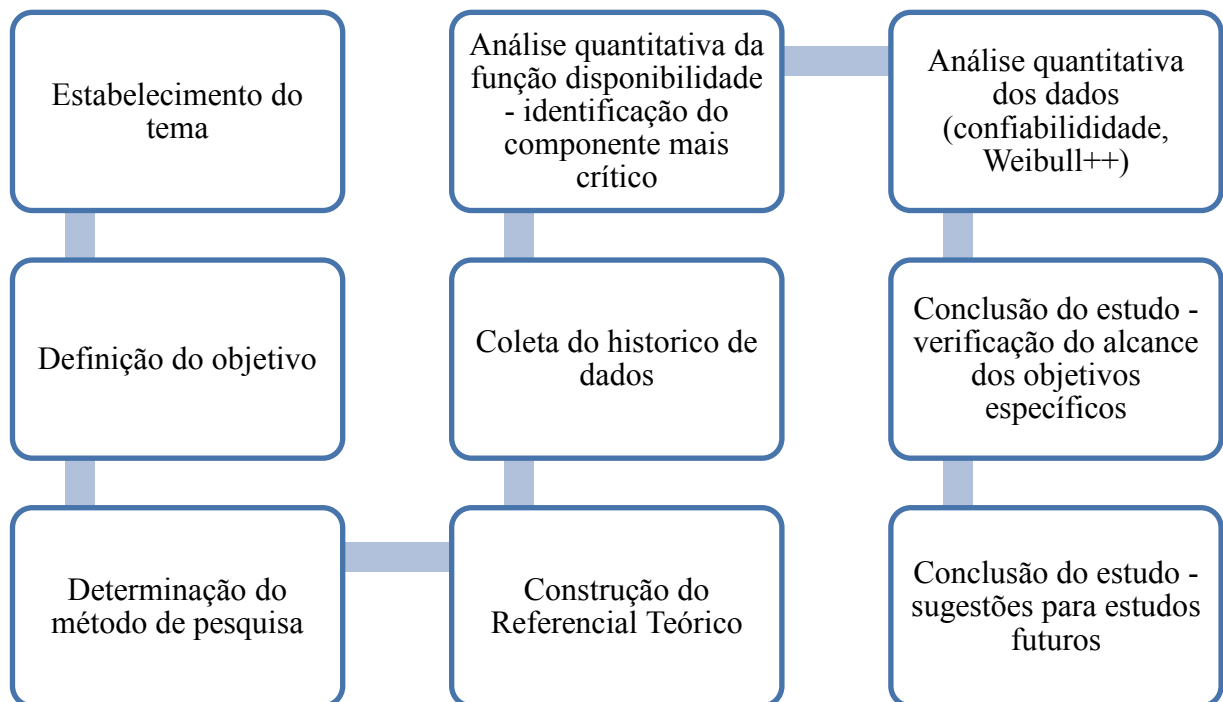
Dessa forma, a pesquisa em questão se caracteriza como uma modelagem e o embasamento do estudo foi devido aos dados de natureza quantitativa que representavam o contexto contemporâneo dos equipamentos da empresa em questão, aplicado quanto à natureza e descritiva normativa quanto aos objetivos, representados na Figura 1.

Figura 1 – Classificação da pesquisa



Fonte: (elaborado pela autora, 2016).

Figura 2 – Atividades necessárias para atingir o objetivo



Fonte: (elaborado pela autora, 2016).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse estudo é composto por quatro capítulos: o primeiro é a Introdução e nele serão apresentados o objetivo geral do projeto, os objetivos específicos, a justificativa do tema, as delimitações do que será abordado e, por fim, o método de pesquisa. No segundo, o Referencial Teórico fornecerá a base, por meio da literatura, sobre os seguintes temas: Engenharia de Manutenção, a história e os tipos de manutenções, metodologia *Total Productive Maintenance (TPM)* além de algumas funções e funções de distribuição de probabilidade importantes para estudo da Estratégia da Manutenção. O terceiro é composto pelo desenvolvimento, Coleta dos Dados, seguida pela Análise Quantitativa dos mesmos que tem como objetivo a determinação do plano de manutenção. Por fim, o último capítulo resume todas as lições aprendidas e as sugestões para um estudo futuro em Conclusões.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.3 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

Segundo Alrabghi e Tiwari (2016), a deterioração dos ativos de uma fábrica é uma consequência inerente ao processo produtivo e é tarefa do setor de manutenção garantir a melhoria da condição desses equipamentos de modo a mantê-los no seu estado funcional. Além disso, o principal objetivo desse setor é minimizar o efeito das quebras imprevistas.

Conforme Smith e Mobley (2008), a maior parte dos custos de operação de uma companhia são decorrentes de atividades de manutenção. Por esse motivo, a implantação de uma estratégia de manutenção é, segundo Alaswad e Xiang (2017), uma atividade significativa para a eficácia das operações do sistema industrial. Os planos de manutenção são, constantemente, aperfeiçoados em decorrência de mudanças nas exigências do mercado consumidor e também ao orçamento destinado ao setor de manutenção. Nesse sentido, por conta das mudanças nas formas de produção e das alterações nas demandas da área de manutenção como área suporte à manufatura, a história desse setor pode ser dividida em três diferentes fases desde seu início.

2.3.1 Primeira geração

Para Siqueira (2005), a Primeira Geração, período até a Segunda Guerra Mundial, foi marcada pela mecanização da indústria, época em que equipamentos eram simples e muitos deles eram sobredimensionados. Assim, a população pouco dependia da performance desses equipamentos que apenas passavam por manutenção quando manifestavam falhas e a correção era facilitada pelo sobredimensionamento. Não havia tarefas planejadas, as preventivas eram reduzidas às atividades de limpeza e lubrificação e a manutenção ficava mais concentrada nas atividades de conserto de falhas.

2.3.2 Segunda geração

Segundo Moubray (1997), devido às dramáticas mudanças no período da Segunda Guerra Mundial, houve aumento da demanda por produtos de todas as categorias, em contrapartida, a disponibilidade de mão de obra industrial sofria uma redução brusca. Esse cenário levou ao

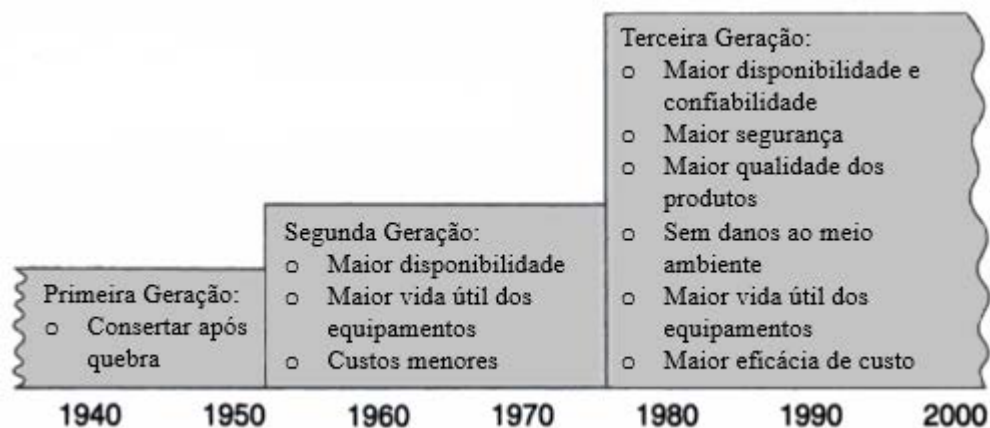
aumento de mecanização. Então, a partir de 1950, havia mais máquinas complexas e de todos os tipos. A indústria começou a depender desse processo e o foco foi o tempo ocioso. Assim, surgiu a ideia de que falhas do equipamento poderiam e deveriam ser prevenidas. Essa percepção, em 1960, estava sendo tratada por revisões dos equipamentos a intervalos fixos. Consequentemente, o custo devido a essas manutenções aumentou e, esse consumo, somado à despesa dos ativos fixos sobrecarregou as indústrias, de modo que houve interesse pela maximização da vida útil desses ativos.

2.3.3 Terceira geração

A partir de 1975, houve aumento do consumo de bens industrializados, automatização dos processos de desenvolvimento de produtos, além da elevação do custo de produção associado, por conta da concorrência a nível mundial causado pela globalização. Esse novo cenário demandou retração do dimensionamento de equipamentos para uma proporção limitada à necessidade. Por essa razão, a manutenção teve de ser adaptada, pois a vigente era incapaz de assegurar a devida disponibilidade dos equipamentos. Vale ressaltar o aumento da responsabilidade do setor de manutenção, visto que a disponibilidade traria efeitos sociais além do econômico, pois a sociedade evoluía, com relação à dependência de serviços de transporte, de bens de consumo essenciais e sua consciência da importância da conservação do meio ambiente (SIQUEIRA, 2005).

A Figura 3 representa toda a evolução dos tipos de manutenção devido às necessidades das gerações apresentadas nos tópicos anteriores.

Figura 3 – Expectativas crescentes em manutenção



Fonte: adaptado de (Moubray, 1997).

2.4 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Segundo Martorell *et al.* (2010), todas as práticas de manutenção representam as atividades executadas em equipamentos de modo a avaliar, manter ou restaurar as funções operacionais dos mesmos. No entanto, cada equipamento, mediante alguns parâmetros que serão trazidos mais à frente demandam determinada forma de manutenção, elas são apresentadas a seguir:

2.4.1 Corretiva não planejada

Segundo Zhou *et al.* (2016), a manutenção corretiva é o reparo de um equipamento após a quebra. São dois os tipos de corretiva, a planejada e a não planejada. A segunda é passiva, inesperada e indesejada e em situações após a falha ou a quebra, há pouco tempo para correção.

Em adição a isso, Alrabghi e Tiwari (2016) ressaltam que a degradação de ativos é inevitável e, quando esta leva à quebra sem advertência prévia, é a manutenção corretiva não planejada que, segundo Martorell *et al.* (2010), restaura a capacidade operacional desses equipamentos.

2.4.2 Corretiva planejada

Já a manutenção corretiva planejada é resultado da periódica, que, para Arslankaya e Atay (2015), objetiva estender a vida do equipamento ou componente, além de reduzir as paradas imprevistas tanto do equipamento, quanto da produção. Com a adoção desse método, aumenta-se a probabilidade de previsão de ocorrência de quebras como consequência da inspeção realizada periodicamente e, podem, dessa forma, ser prevenidas.

Trata-se da programação de uma atividade após a detecção de uma anomalia que pode vir a causar uma falha ou uma quebra do ativo (perda total de função). Essa anomalia pode ser identificada durante uma inspeção preditiva e, assim, por não causar uma falha imediata, a ação corretiva pode ser planejada para um momento mais oportuno, sendo assim, não ocasionando menor disponibilidade em momento crítico e também havendo maior aproveitando da vida útil do componente.

Para Zhou *et al.* (2016), a manutenção corretiva planejada, diferentemente da não planejada, é controlável e com reduzido custo econômico para falhas com consequências moderadas e sem riscos.

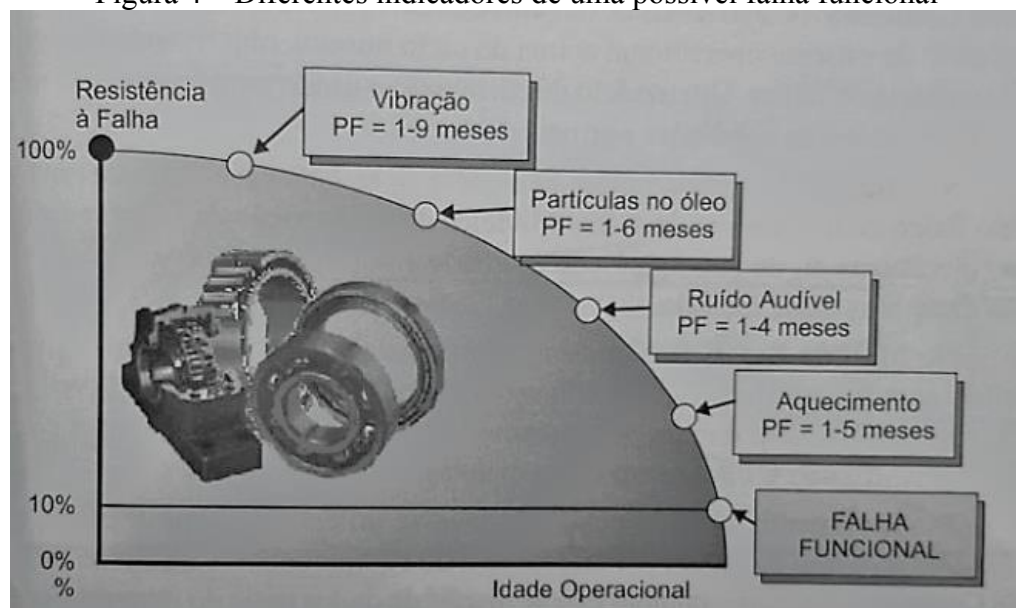
2.4.3 Preditiva

Manutenção baseada em condição (MBC) ou Condition-based maintenance (CBM) é, segundo Tian *et al.* (2014), uma estratégia de manutenção que utiliza dados fornecidos por um monitoramento contínuo de condição de operação dos equipamentos. O objetivo desse tipo de manutenção é minimizar o custo de intervenções ao sinalizar necessidade dessas apenas quando houver indicação de que a falha ou quebra está realmente se aproximando.

Segundo Siqueira (2005), inspeção preditiva é uma atividade programada com o objetivo de constatar potenciais falhas. Quando uma falha for detectada, então, um plano de ação corretiva deve ser programado ou tomado imediatamente após a inspeção. Diferentes indicadores podem ser utilizados para identificar falhas potenciais de um componente, como por exemplo, vibração, lubrificação, ruído, aquecimento.

A Figura 4 apresenta alguns dos parâmetros que podem ser analisados a fim de se detectar uma possível falha funcional com o respectivo tempo operacional até a falha.

Figura 4 – Diferentes indicadores de uma possível falha funcional



Fonte: (SIQUEIRA, 2005).

2.4.4 Preventiva

Zhou *et al.* (2016) define o propósito da estratégia de manutenção preventiva (PM) como uma alternativa de proteger os equipamentos de falhas antes da ocorrência delas. Elas podem ser baseadas no tempo ou na condição do equipamento e são chamadas de *time-based maintenance (TBM)*, ou manutenção baseada no tempo (MBT), e *condition-based maintenance (CBM)*, ou manutenção baseada na condição (MBC), respectivamente. A primeira divide as atividades em práticas rotineiras com diferentes níveis de inspeção baseados no tempo, por essa razão, pode ter como resultado a manutenção excessiva ou falha inesperada em um componente antes da próxima inspeção programada do mesmo. Já a MBC, fornece os parâmetros de monitoramento necessários para o cálculo do estado das máquinas e o tempo até a próxima intervenção.

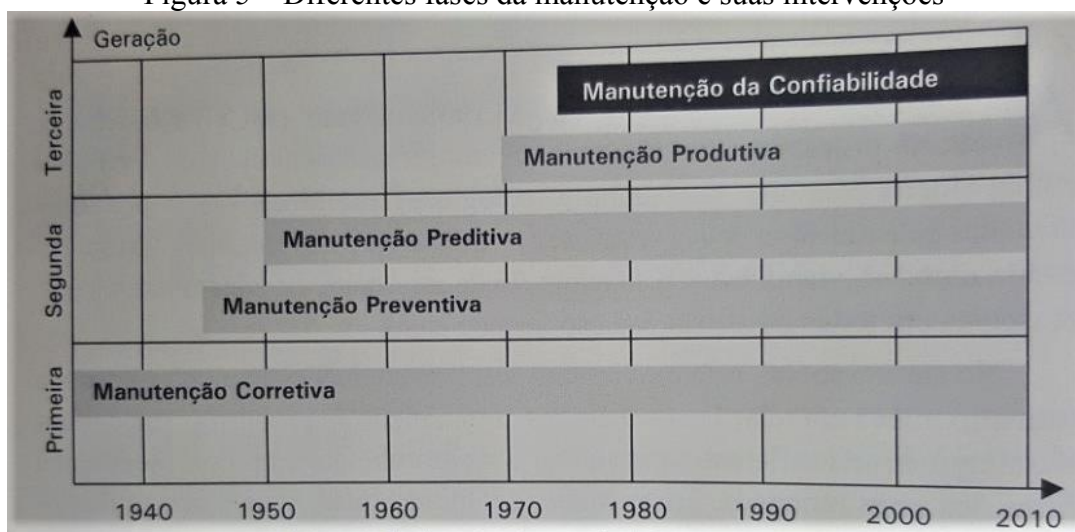
É por isso que Selvik e Aven (2011) indicam a importância dessa atividade de manutenção, a contenção de ocorrências de falhas e a redução dos efeitos caso essas aconteçam.

Segundo Shaomin (2012), as condições para a manutenção preventiva são mínimo reparo entre ações de PM, substituição do componente no fim da vida útil deste e item reposto deve ser idêntico ao anterior.

Zheng *et al.* (2016) resume a relevância desse tipo de reparo por meio dos efeitos do mesmo: aumento de vida útil, disponibilidade e confiabilidade do equipamento ou componente.

Toda a história da manutenção e a referência de cada tipo de intervenção são resumidas pela Figura 5, com base no tempo.

Figura 5 – Diferentes fases da manutenção e suas intervenções



Fonte: (SIQUEIRA, 2005).

2.5 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (MPT) ou *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM)*

Segundo Singh *et al.* (2013), ocorrem vastas perdas e desperdícios no processo produtivo e as causas disso são diversas, como falta de disponibilidade dos componentes, máquinas inúteis, mão de obra pouco utilizada entre outras. Além dessas perdas, há outros desperdícios menos visíveis, são eles: velocidade de operação de máquinas abaixo da nominal, quebras de equipamentos e gargalos de processos.

Uma parcela alta de custos devido às perdas está relacionada à área de manutenção, por esse motivo, deve haver grande atenção investida para essas perdas. Com esse mesmo pensamento, após análises desses problemas no ambiente fabril, os japoneses desenvolveram e introduziram, em 1971, o conceito de *Total Productive Maintenance (TPM)* (Chan *et al.*, 2005).

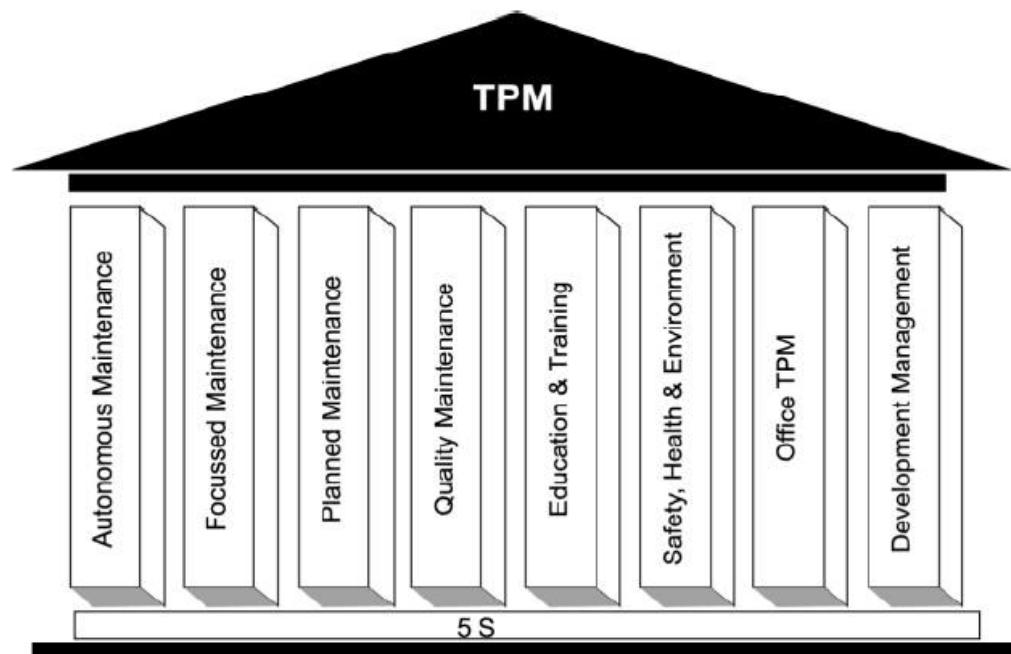
De acordo com Mwanza e Mbohwa (2015), o significado de TPM por meio das três palavras que compõem o nome: *total* indica a participação de cada trabalhador da planta que trabalha com TPM, desde a alta gerência até o operador do chão de fábrica; *productive* representa apenas a existência de atividades que agregam valor e a fabricação de produtos ou serviços que atendam as expectativas dos consumidores e *maintenance* mostra o comprometimento em se manter o sistema em funcionamento esperado.

Já para Singh *et al.* (2013), o objetivo do TPM é melhorar a produtividade e qualidade, simultaneamente à satisfação dos colaboradores. Além disso, trata-se de uma metodologia que garante resultados à área de manutenção, visto que permite a maior eficiência do equipamento, pois possibilita a redução de quebras e traz o conceito de manutenção autônoma.

Chan *et al.* (2005) definem o objetivo do TPM como o aumento da disponibilidade de equipamentos existentes, de forma que essa maior disponibilidade do sistema para a produção reduza a necessidade de mais investimentos.

Os pilares de TPM, representados na Figura 6, são: Manutenção focada em melhoria, Manutenção autônoma pelo operador, Manutenção planejada, Educação e treinamento de habilidades da operação e técnicos, Gestão, Manutenção da qualidade, TPM administrativo e Segurança, Saúde e Meio Ambiente. De forma que todos estes pilares trabalhem para atingir os objetivos de zero quebra, zero defeitos, zero ajustes que se torna possível por meio do monitoramento de indicadores de performance, produtividade, qualidade, custo, entrega e segurança (MWANZA; MBOHWA, 2015).

Figura 6: Pilares de TPM



Fonte: (Ahuja *et al.*, 2008).

Fogliatto e Ribeiro (2009), com base nas recomendações da *Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM)* ressaltam as dez etapas para a implantação do TPM:

- Campanha de lançamento realizado pela alta gerência para os internos a fim de esclarecer dúvidas e apresentar o objetivo da implantação;
- Organização que envolve atividades relacionadas a recursos humanos, espaço físico e gestão de informações que antecedem a implantação de forma a facilitar o processo;
- Diretrizes para estabelecimento de metas globais e setoriais definidas após o diagnóstico da situação atual por meio da etapa anterior;
- Uso do *software* de gestão da manutenção que gerencie os ativos, armazene a programação da manutenção, gerencie as peças de reposição, emita as ordens de serviço e registre as intervenções corretivas;
- Capacitação de todos os colaboradores de forma que todos se familiarizem com a metodologia para que entreguem seus resultados setoriais e a empresa entregue os seus globais;
- Início das atividades e estudo dos equipamentos para execução de melhorias;
- Registro e controle das intervenções e consequente gestão de estoques de reposição;
- Manutenção autônoma e resultante responsabilidade da operação sobre os equipamentos;

- Time de manutenção mais focado em atividades planejadas para trabalhar a disponibilidade, velocidade e qualidade, possível graças ao suporte da operação em tarefas mais simples e rotineiras;
- Comparação dos resultados com as metas para possível consolidação do programa pela gerência.

Ao entender, mesmo que de forma macro, todas as fases da implantação do TPM, pode-se notar a importância da constante integração entre áreas e entre todos os níveis hierárquicos, para que o programa funcione como o esperado. Por isso são tão importantes a capacitação e o esclarecimento para que todos caminhem de forma a atingir um objetivo comum, essa é a alternativa para promover a mudança cultural necessária. Assim, os resultados globais como disponibilidade, qualidade e produção tornam-se responsabilidade de todos e não de setores individuais.

2.6 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) ou *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)*

Segundo Smith e Hinchcliffe (2004), no fim da década de 1960, a aeronave 747 era fabricada na indústria de *Boeing* in Seattle. Assim como para todas as aeronaves, a venda dessas somente poderia ser autorizada mediante apresentação da aprovação do programa de manutenção preventiva. O recém produzido era três vezes maior do que o conhecido da época, o 707, seu motor e tecnologia da sua estrutura mais modernos. Essas condições eram suficientes para prever uma demanda de manutenção preventiva superior a exigida para manter a segurança do 707, quantitativamente, três vezes maior, o que inviabilizava, economicamente, o modelo. Foi nesse contexto que a *United Airlines* reavaliou a estratégia de manutenção preventiva, com o auxílio, por exemplo, da árvore de decisão para definir as atividades de manutenção necessárias para preservar funções críticas da nave. Somente a partir dessa nova estratégia para estabelecimento da manutenção adequada e economicamente viável é que a aeronave 747 pôde ser, finalmente, produzida para fins lucrativos.

Desde então, a metodologia MCC começou a ser desenhada e estruturada. Hoje, muitas companhias estabelecem sua estratégia de manutenção com o auxílio do MCC. Segundo Zhou *et al.* (2016), a aplicação da metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou *Reliability-Centered Maintenance (RCM)* se propagou entre os setores de aviação, sistemas e equipamentos militares, manufatura automobilística, potências nucleares. E essa disseminação

se deve ao fato de a ferramenta ser útil para a programação e a otimização da manutenção, embasada em análises como modo de falha dos equipamentos e decisão lógica.

A análise de confiabilidade pode ser dividida em duas categorias, dependendo do enfoque do estudo. Os mais antigos concentravam-se em análises qualitativas, como, por exemplo, a verificação de modos de falhas e causas que ocasionavam a baixa confiabilidade de produtos ou sistemas e o conceito de confiabilidade é a capacidade de um equipamento operar conforme o que foi projeto por um certo intervalo de tempo. No entanto, análises mais recentes utilizam modelos matemáticos de dados reais de falha e tempo de reparo para o estabelecimento da confiabilidade de produtos ou sistemas (BLISCHKE, MURTHY, 2011). O que a equação de confiabilidade permite calcular é a probabilidade de uma máquina ou componente operar conforme o que foi projetado por um determinado intervalo de tempo.

Segundo Carnaúba e Sellitto (2013), maior lucratividade devido ao corte de gastos, menos paradas inesperadas do sistema, menor custo com manutenção e menos acidentes são alguns dos benefícios da utilização de técnicas do MCC.

Outro benefício da aplicação do método MCC é, devido ao processo de identificação dos componentes críticos, a priorização daqueles equipamentos cujas falhas podem apresentar um efeito prejudicial para a instalação da companhia (BLOOM, 2005).

Segundo Moubray (1997), MCC é uma ferramenta auxiliar para a tomada de decisão para determinar o que precisa ser feito para assegurar que os sistemas da fábrica continuem a fazer o que os donos do negócio querem que esses façam. Algumas vezes, o MCC define a tolerância mínima em termos de risco à segurança, impacto ambiental, qualidade, controle, conforto, economia e serviço ao cliente.

Para Martorell *et al.* (2010), MCC é um método adequado para estabelecimento de um plano de manutenção eficiente para o devido tratamento de todas as causas de falhas dominantes dos equipamentos. Geralmente, o objetivo principal da sistemática é fornecer uma configuração apropriada de estratégias de manutenção e, dessa maneira, promover uma composição balanceada de atividades de intervenção. De modo que, segundo Sainz e Sebastián (2013), esse *mix* de atividades indicadas assegure que o sistema permaneça realizando as suas funções.

Além de balancear as atividades que devem ser realizadas, a metodologia MCC identifica as manutenções preventivas desnecessárias que demandam diversos recursos como mão de obra qualificada, componentes novos para substituição e parada dos equipamentos. E o efeito de todo esse emprego irrelevante no sentido técnico é percebido na disponibilidade dos equipamentos e nos custos (BLOOM, 2005).

Resumidamente, Peters (2015) define MCC como um processo detalhado que utiliza as ferramentas essenciais para determinar os requisitos de qualquer ativo físico. Portanto, o método que a seguinte pergunta seja respondida: O que deve ser feito para garantir que todos os ativos físicos do processo continuem a fazer o que seus usuários desejam que eles façam no seu estado de operação atual?

Dentro da metodologia MCC, destaca-se a utilização da ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), que, segundo Siqueira (2005), documenta, analisa e prioriza o efeito potencial de cada falha de forma que auxilie no direcionamento das devidas formas de prevenção ou correção.

No entanto, de acordo com Flogliatto e Ribeiro (2009), MCC vai muito além da aplicação de FMEA. O autor traz a planilha de apoio à implantação do MCC que engloba todos os critérios relacionados aos equipamentos que devem ser avaliados durante o estudo para o estabelecimento da estratégia de manutenção. A seguir, a planilha representada na Tabela 1:

Tabela 1: Planilha de apoio à implantação da MCC

Núm.	Campo da planilha	Pessoas com melhores condições para contribuir no preenchimento
1	Sistema	Engenheiros
2	Subsistema	Engenheiros
3	Conjunto	Engenheiros, operadores e técnicos de manutenção
4	Componente	Engenheiros, operadores e técnicos de manutenção
5	Função	Engenheiros
6	Padrão de desempenho	Operadores, supervisores e gerentes de produção
7	Modo de falha	Operadores e técnicos de manutenção
8	Efeito: o que é observado	Operadores e técnicos de manutenção
9	Tempo médio de parada	Supervisor de produção
10	Danos pessoais/ materiais/ ambientais	Operadores, engenheiros e especialistas
11	Causa da falha	Operadores e técnicos de manutenção
12	O que pode ser feito para evitar a falha	Operadores e técnicos de manutenção

13	Classificação da consequência da falha Escondida (potencialmente crítica) Segurança (crítica) Ambiental (crítica) Operacional (crítica) Outra (não crítica)	Operadores, engenheiros e especialistas
14	Probabilidade de ocorrência	Operadores e técnicos de manutenção
15	Severidade	Operadores, engenheiros e especialistas
16	Probabilidade de detecção	Operadores e técnicos de manutenção
17	Risco	Engenheiros
18	Tarefa indicada: Preditiva - recuperação baseada na condição Preditiva - substituição baseada na condição Preventiva - recuperação programada Preventiva - substituição programada Reativa - rodar até a falha Reativa - procura de falha Redesenho	Técnicos de manutenção
19	Detalhe da tarefa	Técnicos de manutenção
20	Responsável pela tarefa	Operadores e técnicos de manutenção
21	Intervalo entre tarefas	Engenheiros e técnicos de manutenção
22	Probabilidade de ocorrência	Engenheiros, operadores e técnicos de manutenção
23	Severidade	Engenheiros, operadores e técnicos de manutenção
24	Probabilidade de detecção	Engenheiros, operadores e técnicos de manutenção
25	Risco	Engenheiros, operadores e técnicos de manutenção

Fonte: adaptado de (Fogliatto e Ribeiro, 2009)

2.7 CONFIABILIDADE, MANUTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE

Segundo a NBR 5462 (1994), norma técnica brasileira que define os termos relacionados à confiabilidade e manutenibilidade, confiabilidade é a capacidade que um item apresenta de

desempenhar uma atividade demandada sob determinadas condições, por certo intervalo de tempo.

De maneira simplificada, a confiabilidade é a probabilidade de um equipamento ou componente operar além do tempo esperado de falha, sob condições pré-determinadas. Dessa forma, a confiabilidade é calculada por meio do tempo de operação do ativo que é representado pela variável Tempo Médio Entre Falhas (TMEF ou, em inglês, MTBF- *Mean Time Between Failures*) que é o resultado da divisão do tempo total em que o equipamento esteve disponível para operação pela quantidade de intervenções realizadas durante esse período (Carnaúba e Sellitto, 2013).

Assim, quanto maior o intervalo de tempo entre uma falha e outra, maior a confiabilidade desse ativo. Segundo Smith e Mobley (2008), a equação (1) para o cálculo do MTBF:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de operação do equipamento ou componente}}{\text{Quantidade de quebras ou falhas no intervalo de operação}} \quad (1)$$

Podemos também calcular a probabilidade de o equipamento apresentar falha ou mesmo quebra em um intervalo de tempo menor ou igual a “t”, segundo Siqueira (2005):

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(u)du, \text{ para } t > 0 \quad (2)$$

A equação (2) é complemento da função confiabilidade, visto que esta representa a probabilidade de um equipamento falhar ou quebrar após um intervalo de tempo “t”. Assim, Fogliatto e Ribeiro (2009), representa da seguinte maneira a equação:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(u)du, \text{ para } t > 0 \quad (3)$$

Para Martorell *et al.* (2010), manutenibilidade representa a capacidade de um equipamento de ser mantido sob determinadas condições durante certo período de tempo, o que não depende apenas das características físicas do mesmo, impondo um número de homens-hora para desempenhar uma tarefa de manutenção, mas também recursos materiais disponíveis para a execução da atividade. Já segundo a Norma Técnica NBR 5462 (1994), manutenibilidade é a possibilidade de um componente de um equipamento ser preservado ou restituído a condições que o permitam executar suas funções solicitadas, sob condições predeterminadas de uso,

quando a manutenção é realizada sob as condições estabelecidas e com auxílio de procedimentos e meios prescritos.

A manutenibilidade está associada ao indicador MTTR (*mean time to repair*), que, segundo Arno *et al.* (2015), é o tempo médio necessário para o reparo de uma falha, ou seja, o tempo despendido desde a parada funcional do equipamento até seu retorno ao funcionamento. Este abrange todo o tempo despendido pela espera de material ferramentário ou de sobressalentes, além da espera da mão de obra para a execução da manutenção. Sua equação está indicada logo abaixo:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de reparo de todas as intervenções do componente}}{\text{Quantidade total de manutenções corretivas no componente}} \quad (4)$$

Outro indicador importante que retrata a área de manutenção de uma indústria é a disponibilidade que, segundo Arno *et al.* (2015), é a fração de tempo que um componente ou equipamento reparáveis trabalha com o desempenho esperado para sua função. Ou seja, a disponibilidade é definida pelo percentual de tempo em que o equipamento encontra-se disponível para a operação, o que pode ser mostrado, matematicamente, a seguir:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (5)$$

Pode-se notar que a disponibilidade envolve os indicadores MTTR e MTBF, o que permite a priorização da manutenção de equipamentos mais críticos mediante essa avaliação de dois indicadores em um.

2.8 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

Para o cálculo dos indicadores MTTR, MTBF e disponibilidade para determinação do equipamento mais crítico e para a construção das curvas taxa de falhas e de confiabilidade, para classificação do período de vida do ativo, era necessário, segundo Barabadi (2013), identificar a distribuição de probabilidade mais adequada para o conjunto de dados coletados.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), devido à definição mais utilizada de confiabilidade de uma unidade ser a probabilidade de sobrevivência do mesmo até determinado tempo, para esse cálculo, é relevante conhecer a distribuição de probabilidade que mais se ajusta a esses dados de tempo. Dessa forma, as principais funções de probabilidade úteis em análises

de confiabilidade são: exponencial, Gama, Lognormal e Weibull. No entanto, algumas peculiaridades da Distribuição de Weibull a tornam a melhor alternativa para o estudo e as justificativas vem a seguir.

2.8.1 Distribuição de Weibull

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a distribuição de Weibull é representativa em processos de modelagem de confiabilidade de equipamentos devido a sua abrangente representação de amostras de tempos até falha com comportamento divergentes. Isso porque, dependendo do valor de β , parâmetro de forma, a distribuição de Weibull torna-se semelhante à outras distribuições, como mostra o exemplo da Figura 7.

De acordo com Carnáuba e Sellitto (2013), mediante os valores dos parâmetros da distribuição de Weibull, as expressões originais podem assumir o aspecto das expressões de outras distribuições.

Os parâmetros da equação de Weibull são representados pelos símbolos β , η e γ . β é o parâmetro de forma que determina a inclinação da curva de Weibull, η é o parâmetro de escala e ele representa o intervalo de tempo durante o qual ocorrem 63,2% das falhas dos itens testados. Por fim, γ é o parâmetro de posição, que, geralmente, não é utilizado e pode ser considerado zero em estudos de confiabilidade, pois esse parâmetro caracteriza a vida inicial do item, o que torna a equação de Distribuição de Weibull biparamétrica.

Nesse caso, considerando o parâmetro de posição como nulo, a equação de confiabilidade, segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), é indicada a seguir:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}, \text{ para } t > 0 \quad (6)$$

A equação de densidade de probabilidade da função Weibull, biparamétrica, expressa em (7):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} (t)^{\beta-1} e^{-\frac{t^\beta}{\eta}} \quad (7)$$

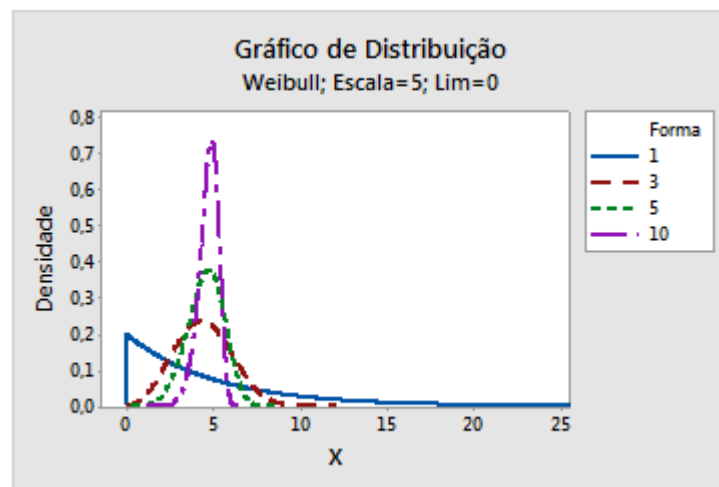
Ainda segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a função de risco, o que é comumente chamada de taxa de falha instantânea é descrita na próxima equação:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (8)$$

O tempo médio entre uma falha e outra de cada equipamento ou componente (MTBF) pode ser determinado por meio da equação (9):

$$MTBF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Figura 7 – Curvas da distribuição de Weibull para diferentes valores de β



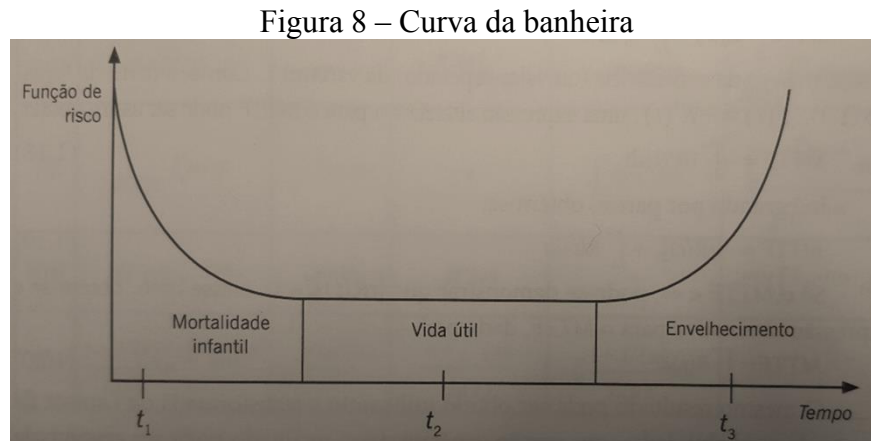
Fonte: (MINITAB, 2016)

Na Figura 7, o parâmetro de forma (η) é mantido constante e as alterações são somente dos valores de β . Pode-se notar que quando β assume valor 1, a distribuição se assemelha a distribuição exponencial, para $\beta=2$, a curva assume a identidade da curva de distribuição de Rayleigh e, por fim, segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), quando o parâmetro de for 3,26, a aparência da curva é com a distribuição normal.

Além disso, as curvas de distribuição do gráfico da Figura 7 nos permitem fazer mais uma análise: valores de β inferiores a 1 indicam um decrescimento da taxa de falha, ou seja, uma redução de falhas no decorrer do tempo, período que pode ser identificado por mortalidade infantil devido à semelhança de morte infantil com pouco tempo de vida. Esse período apresenta essa taxa de falha característica devido a erros de projeto, de fabricação, mão de obra operacional com pouco habilidade ou instalação inadequada (CARNAÚBA; SELLITTO, 2013).

Já a vida adulta é a fase em que a taxa de falha é constante e resultado de causas aleatórias e externas e, por esse motivo, de difícil controle e o parâmetro de forma igual a 1. Quando β assume valores superiores a 1, o comportamento da taxa de falhas aponta um envelhecimento

dos equipamentos e aproximação do fim da vida por conta do desgaste, fadiga, corrosão, manutenção insuficiente ou outras causas, o que reflete o crescimento da taxa com o passar do tempo. Esses períodos são vistos em uma só curva, conhecida como Curva da Banheira, apresentada na Figura 8:



Fonte: (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009)

Caso a taxa de falhas do componente esteja localizada na fase de mortalidade infantil, a estratégia de manutenção mais eficiente é a corretiva, para casos no período de maturidade, a manutenção preditiva é a mais indicada e, por fim, as intervenções preventivas são as sugeridas em casos em que o fim da vida útil está próximo.

3 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

3.1 OVERVIEW DO OBJETO DE ESTUDO

O instrumento de pesquisa escolhido foi o histórico de dados quantitativos de falha fornecidos pela equipe de confiabilidade interna da empresa.

Na estrutura hierárquica da fábrica, há diretor, gerentes de cada uma das áreas (Qualidade, Segurança e Meio Ambiente, Manutenção, Processos da Manufatura, Envase da Manufatura, Finanças, Projetos, Tecnologia e Inovação), coordenadores, planejadores, analistas, técnicos e operadores de máquinas. Cada um dos planejadores da manutenção é responsável por uma subárea do processo produtivo e, até 2015, devido ao elevado orçamento disponível às atividades relacionadas à manutenção e também à elevada disponibilidade de mão de obra para a realização dessas tarefas, não havia grande necessidade de priorização das ordens de serviço.

Nesse cenário, alguns planejadores não precisavam priorizar as atividades. Mesmo os que gerenciavam a manutenção de subáreas com maiores índices de quebras e atividades preventivas e preditivas, não priorizavam as tarefas de forma padronizada. Alguns programavam as execuções dos equipamentos mais críticos a partir da experiência própria, outros, por meio de uma matriz de criticidade. No entanto, mesmo estes que utilizavam a matriz, ainda assim, permitiam a vulnerabilidade da priorização dos equipamentos ao julgamento subjetivo, pois os critérios estabelecidos não seguiam um mesmo padrão e esses critérios eram julgados apenas com base na experiência dos técnicos das áreas.

No entanto, a partir de julho de 2015, houve mudanças na área, o *budget* de manutenção havia sido cortado pela metade, tanto ao que se refere aos investimentos de peças e serviços terceiros quanto à mão de obra técnica interna. Além disso, a grande maioria das atividades preditivas e preventivas geradas pelo sistema gerenciador das ordens de serviço foram impedidas de serem realizadas. Dessa forma, a mão de obra interna foi alocada nas atividades corretivas e, apenas em novembro do mesmo ano, foi liberado, pelo gerente, o retorno da execução das atividades preventivas e preditivas pelo time técnico.

O período seguinte foi marcado por uma elevada taxa de quebras como consequência da escassez de manutenção preditiva e preventiva nos meses agosto, setembro e outubro. O efeito disso foi a insatisfação dos planejadores com a elevada ocupação do time técnico em atividades corretivas e também o descontentamento da área da manufatura com a baixa

disponibilidade do sistema. Com as muitas atividades corretivas e a baixa disponibilidade do sistema, ficou evidente a necessidade de realização de tarefas voltadas à prevenção de novas quebras. Além disso, em meio a tantas demandas de investimento, é notável a importância da priorização do capital, ou seja, as atividades associadas aos componentes e equipamentos mais críticos à produção teriam de ser realizadas antes das outras.

Por essa razão, foi percebida a oportunidade da determinação do plano de manutenção de forma padronizada e era importante que esse plano refletisse a tratativa adequada à situação real do sistema. Então, a alternativa estudo de confiabilidade com base na abordagem quantitativa é mais rápida e garante a análise dos dados de forma que a vida dos mesmos seja retratada. Apesar disso, deve-se pensar na implantação da metodologia MCC padronizada para um futuro próximo, pois esta leva acrescenta requisitos de segurança, qualidade, efeito da falha, probabilidade de detecção entre outros em consideração na avaliação para determinação da estratégia de manutenção. No entanto, esse estudo demanda tempo, cuidado e integração entre áreas, recursos.

Dessa forma, o equipamento mais crítico foi identificado por meio do indicador disponibilidade e este é possível de ser calculado com base nos dados de falha e tempo de reparo. Esse indicador disponibilidade é relevante, pois retrata a influência da parada de equipamentos sob as diversas visões. Afinal, a parada afeta indicadores da área de manufatura, pois a máquina não está acessível para a produção, indicadores de manutenção e também de finanças.

3.2 DESCRIÇÃO DA COLETA DOS DADOS

O histórico de dados em posse da área de confiabilidade é extenso, pois há dados desde o ano de 2010 e também há dados de falha de todos os equipamentos de todos os processos da fábrica. Foi necessário então, focar em alguns. Quanto à escolha do período, foram selecionados apenas os dados de falhas referentes ao ano de 2016, ou seja, desde o início do ano até a data vigente da realização da análise (final do mês de agosto). Vale ressaltar que foi escolhido esse período porque, como apresentado no item anterior, a área havia passado por modificação e os dados anteriores à essa data não representariam a situação real dos equipamentos do sistema. Assim, não era vantajoso estudar os dados de anos anteriores.

A dificuldade encontrada durante a tratativa dos dados foi a falta de padronização das análises para reporte no que tange equipamentos e componentes. No entanto, apesar de não padronizada, a documentação das análises de falhas a nível de componente existe, por esse

motivo, foi possível arranjar os dados, estratificando-os por equipamentos, componentes, área, tipo de intervenção (substituição ou ajuste) e por tipo de manutenção (elétrica ou mecânica).

Foi realizada uma análise da disponibilidade dos componentes para se identificar qual é o mais crítico. Os dados de manutenções de ajuste foram reunidos. Vale ressaltar que podemos entender que os componentes que sofreram falha e foram ajustados são parte de um sistema reparável, pois não é necessário realizar a substituição do componente para que o funcionamento do equipamento seja reestabelecido.

Apesar de a Distribuição de Weibull ser versátil para a modelagem de dados de falha (intervalo entre falhas e tempo de reparo), torna-se essencial realizar um teste de aderência para verificação do ajuste dos dados de MTBF e MTTR a distribuição Weibull. Assim, os resultados dos testes de aderência desses indicadores evidenciaram a possibilidade de trabalhar com a Distribuição Weibull (além da Gama).

A Tabela 2 indica os valores obtidos pelos cálculos de MTBF, MTTR e Disponibilidade a nível de componentes e classificados pelo tipo de manutenção realizada, elétrica ou mecânica.

Tabela 2 – Indicadores de MTBF, MTTR e disponibilidade

Processo ou Envase?	Equipamento	Componente	MTTF [min]	MTTR [min]	Disponibilidade	Tipo de manutenção
Envase	Paletizador 1	Colocador de Tabuleiro	13442,2	66,31	0,9951	ELÉTRICA
Envase	Enfardadeira 3	Solda e corte	29990,0	100,00	0,9967	ELÉTRICA
Envase	Paletizador 1	Mesa Transportadora de Pallet	75871,2	217,25	0,9971	ELÉTRICA
Envase	Paletizador 2	Girador A	41655,0	75,00	0,9982	MECÂNICA
Envase	Envolvedora 2	Sensores	43060,0	74,00	0,9983	ELÉTRICA
Envase	Ensacadeira 1	Solda e corte	62120,0	100,00	0,9984	MECÂNICA
Processo	Correia Transportadora 743	Em alarme	64061,0	95,00	0,9985	ELÉTRICA
Envase	Armadora	Correia tração de caixas	66575,0	96,67	0,9986	MECÂNICA
Envase	Paletizador 3	Mesa Transportadora de Pallet	53927,5	72,50	0,9987	MECÂNICA
Envase	Paletizador 4	Roletes Transportadores de Fardo	137420,0	115,00	0,9992	ELÉTRICA
Envase	Paletizador 5	Grelha	46212,5	25,00	0,9995	MECÂNICA
Envase	Zuchini 1	Talisa/ Tunel	86053,3	43,33	0,9995	MECÂNICA
Envase	Paletizador 3	Girador B	95902,5	37,50	0,9996	MECÂNICA

Fonte: (elaborado pela autora, 2016).

Com os cálculos de disponibilidade, foi possível identificar quais os componentes e os respectivos equipamentos mais críticos ao processo produtivo. O histórico de intervenções elétricas aponta o componente Colocador de Tabuleiro do equipamento Paletizador como

menos disponível para operar. Nesse sentido, vale explicar de forma concisa o funcionamento desse equipamento.

3.3 ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS E SELEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO

3.3.1 Contexto operacional do equipamento identificado

O Paletizador é uma máquina que tem a função de agrupar caixas em *pallets* para tornar o transporte e estocagem dessas mais seguro, eficiente e padronizado. Na empresa em estudo, os produtos finalizados são acumulados em caixas de tamanho e formato padronizados pela encaixotadeira e, por meio de esteiras, são conduzidos até os paletizadores que reúnem as caixas de forma automatizada. Esse equipamento trabalha na modalidade automática, mas esta é capaz de trabalhar manualmente caso haja necessidade. Esses dois paletizadores operam 24 horas por dia, sete dias por semana e as atividades de manutenção executadas no mesmo são: manutenção corretiva e inspeção (check list de itens) que é um tipo de manutenção planejada com equipamentos parados com periodicidade de dois meses e duração de 45 minutos. Essas intervenções com linha parada são agendadas conforme o planejamento de produção e são programadas para momentos mais adequados mediante a demanda de disponibilidade de equipamentos, porém essa liberdade de programação deve sempre respeitar a data prazo das atividades. O equipamento é muito relevante para o processo produtivo devido ao fato de paletizar 2 linhas de envase, ou seja, uma parada deste causa o gargalo em duas linhas. A Figura 9 representa o paletizador.

Figura 9: Paletizador



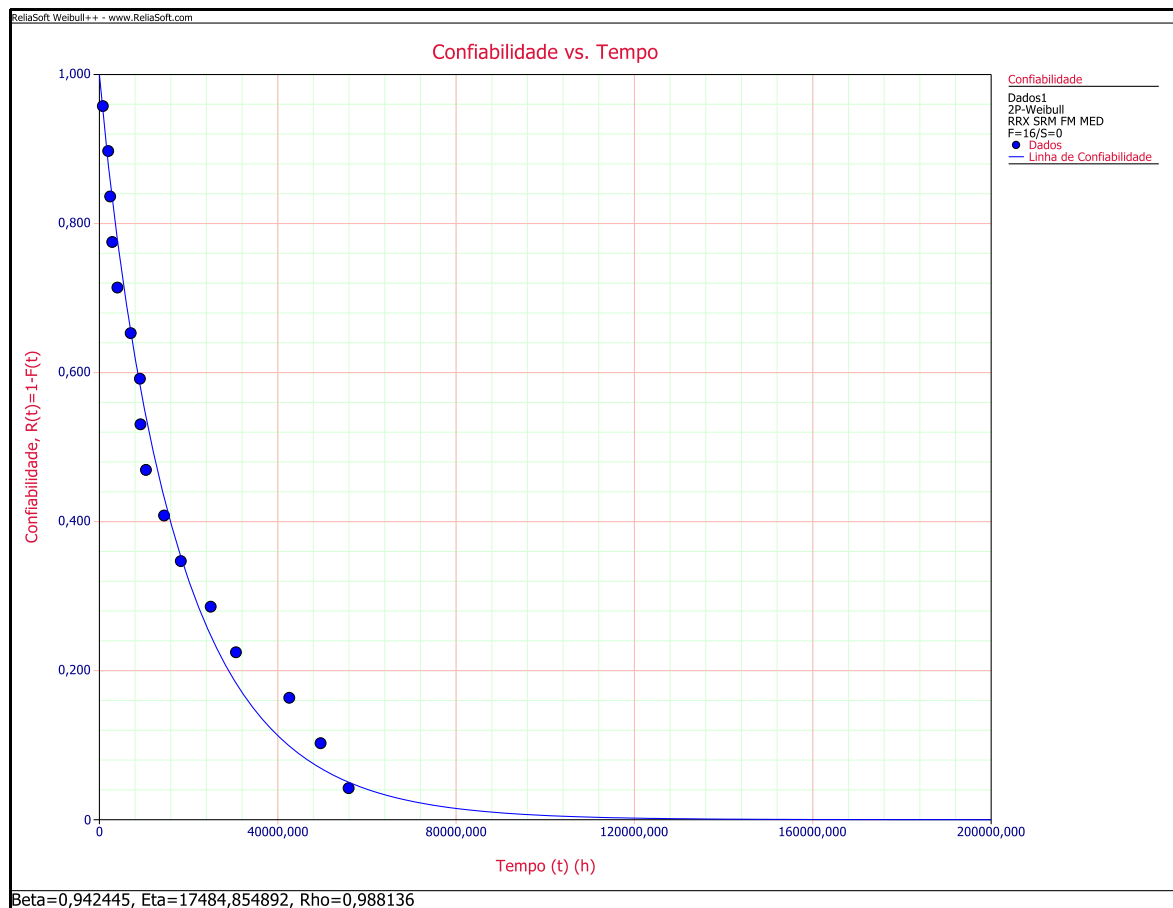
Fonte: (elaborado pela autora, 2016).

Após a identificação dos dois componentes, os dados de amostragem de tempo até falha dos mesmos serão utilizados para obtenção dos parâmetros beta e alfa da Distribuição de Weibull com o auxílio do *software* Weibull ++ da ReliaSoft®.

3.3.2 Estimativa dos parâmetros

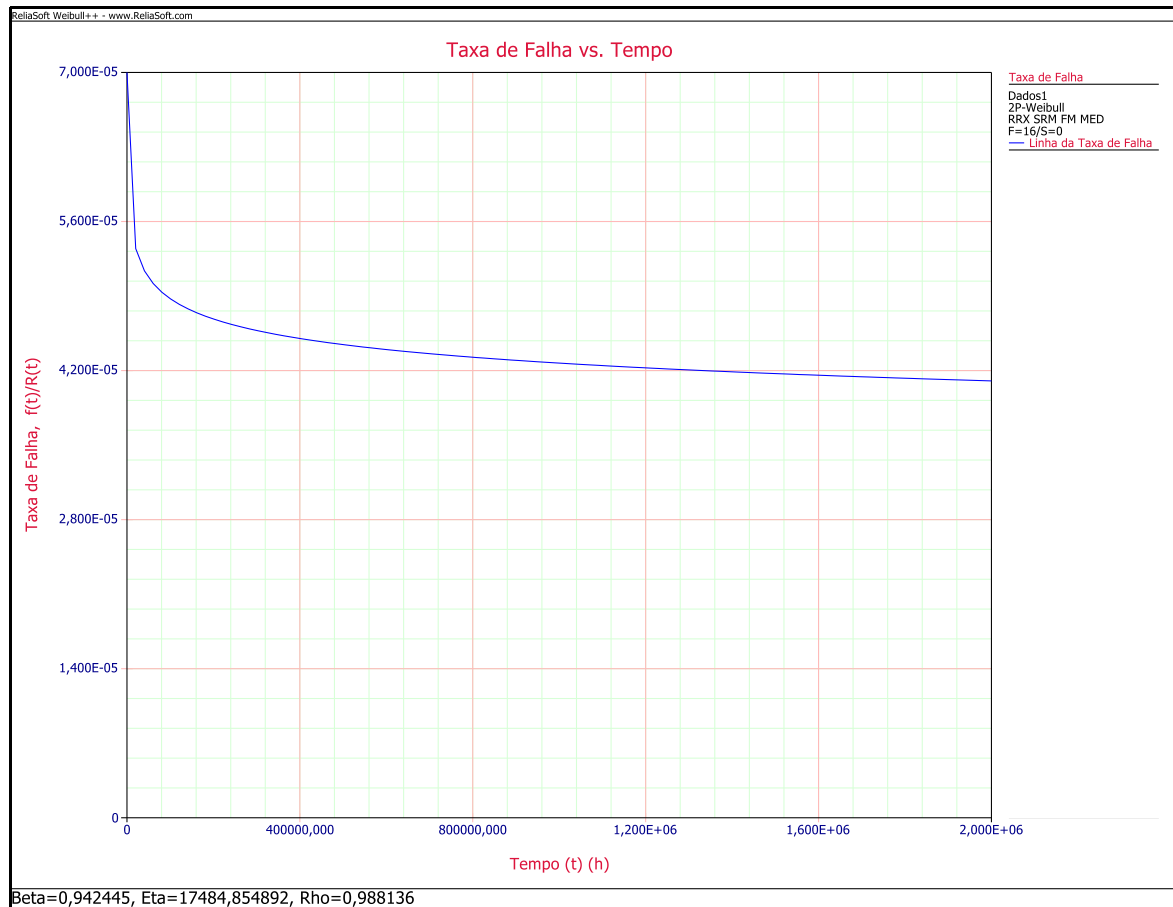
A análise dos dados do componente Colocador de Tabuleiro foi realizada por meio da distribuição de probabilidade de Weibull com 2 parâmetros. Em seguida, o gráfico da função confiabilidade e a taxa de falhas do mesmo componente são mostrados nas Figuras 10 e 11, respectivamente.

Figura 10: Gráfico da função Confiabilidade do componente Colocador de Tabuleiro



Fonte: (elaborado pela autora, 2016).

Figura 11: Gráfico da taxa de falha do componente Colocador de Tabuleiro



Fonte: (elaborado pela autora, 2016).

Por meio da análise do gráfico da Figura 11, pode-se notar os valores dos parâmetros de Weibull indicados pelo *software*, $\beta = 0,942$ e $\eta = 17\,484,854$ para o componente Colocador de tabuleiro. Por meio do posicionamento na curva da banheira, é possível concluir que a atual fase da vida do componente é o período de mortalidade infantil, em que a taxa de falha é decrescente. No entanto, essa já está bem próxima do valor 1, período em que as falhas são constantes com relação ao tempo. O resultado do estudo condiz com a realidade, pois foi, em 03 de julho, o time técnico realizou uma substituição desse componente. Por esse motivo, as intervenções realizadas após essa substituição foram do tipo ajuste de um componente novo.

Como já explicado anteriormente, o componente que se encontra nesse período apresenta o elevado índice de falhas devido a defeitos preliminares, mas essa taxa, como pode-se notar pela Figura 11, é decrescente e logo após esse período, vem uma etapa de maior estabilidade nas falhas. Por esse motivo, podemos nos basear em Sellitto (2005) que aponta como a melhor estratégia a manutenção corretiva para esse período. No entanto, é válido que o analista de confiabilidade fique atento a essa próxima fase pela qual o componente passará, por

isso, é importante que as ordens de serviços preditivas acompanhem essa futura realidade do componente para que esse componente possa ser controlado de modo que suas falhas sejam previstas.

4 CONCLUSÃO

4.3 VERIFICAÇÃO DO OBJETIVO

Ao retornar ao objetivo do trabalho, podemos verificar que o equipamento mais crítico é o Paletizador e que o plano de manutenção mais adequado para a atual fase de vida do componente Colocador de Tabuleiro é a manutenção corretiva. Desse modo, a estratégia de manutenção sugerida garante algumas melhorias ao processo produtivo. Esse plano pode evitar próximas quebras ou falhas e, conseqüentemente, causar um aumento do tempo médio entre falhas, assim, esse componente apresentará maior confiabilidade ao processo e também resultará em maior disponibilidade do equipamento para que este possa produzir com menos paradas. Isso leva a uma capacidade de produção de maiores lotes e, conseqüentemente, menor custo unitário de produção.

Além disso, apesar do estudo ser preliminar por tratar apenas os dados de um componente dos muitos equipamentos existentes, ele é relevante pois serve de subsídio para replicação para outros paletizadores semelhantes, responsáveis pelo processo em outras linhas. Vale ressaltar que o mesmo estudo pode ser realizado com todos os outros componentes.

Por fim, esse tipo de estudo de dados garante gestão pelos administradores da manutenção das áreas e desperta a atenção para a importância da coleta padronizada de dados, além da tratativa adequada e padronizada dos mesmos, o que se mostrou ser um ponto de fraqueza da companhia em estudo.

4.4 SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO

Assim como citado no item anterior, a primeira sugestão é a padronização na coleta de dados e também durante a tratativa dos mesmos, de forma que estes sejam expostos para toda a companhia e possam servir de auxílio para tomadas de decisões gerenciais.

Outras sugestões para trabalhos futuros são, em um primeiro momento, realizar a mesma análise para os outros componentes desse equipamento, a seguir, replicar esse estudo do equipamento completo para os outros similares. Então, seguir o estudo por meio da identificação dos próximos equipamentos e componentes mais críticos em relação a disponibilidade como realizado aqui, mas também iniciar análises com relação aos custos. Dessa forma, os equipamentos mais críticos e prioritários de melhorias em manutenção serão

os mais críticos para os indicadores de manutenção, de manufatura e também de finanças, o que permite a tratativa global de perdas e resultados globais mais satisfatórios.

Além disso, sugere-se que os dados de quebra armazenados pelos técnicos de manutenção em planilhas sejam avaliados pelos planejadores e supervisores de manutenção da área do equipamento avaliado logo após a inserção dos mesmos, porque, caso eles não estejam dentro dos padrões, eles podem ser alterados enquanto o caso ainda está recente.

Por fim, quanto ao tempo de reparo, pode ser realizado um estudo de *Methods-Time Measurement* para que o técnico eletricista mais experiente e conhecedor de paletizadores seja identificado, de forma que esse possa ser escalado para educar e treinar os outros técnicos. Dessa maneira, o alto MTTR e também o conhecimento preso em uma pessoa serão tratados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHUJA, I. P. S.; KHAMBA, J. S., Total productive maintenance: literature review and directions, **International Journal of Quality & Reliability Management**, Patiala, v. 25, p. 709-756, 2008.

ALASWAD, SUZAN; XIANG, YISHA, A Review on Condition-Based Maintenance Optimization Models for Stochastically Deteriorating System, **Reliability Engineering and System Safety**, v. 157, p. 54-63, 2017.

ALRABGHI, ABDULLAH; TIWARI, ASHUTOSH, A novel approach for modelling complex maintenance systems using discrete event simulation, **Reliability Engineering and System Safety**, v. 154, p.160-170, 2016.

ARNO, R.; DOWLING, N.; FAIRFAX, S.; SCHUERGER, R.; WEBER, J., What is RCM and how could it be applied to the critical loads?, **IEEE (Industry Application Society Annual Meeting)**, v. 51, p. 2045-2053, 2015.

ARSLANKAYA, SEHER; ATAY, HATICE, Maintenance management and lean manufacturing practices in a firm which produces dairy products, **Procedia Social and Behavioral Sciences**, Sakarya, v. 207, p. 214-224, 2015.

BARABADI, ABBAS, Reliability model selection and validation using Weibull probability plot: a case study, **Electric Power Systems Research**, Tromso, v. 101, p. 96-101, 2013.

BLISCHKE, WALLACE R.; MURTHY, D. N. PRABHAKAR. **Reliability: modeling, prediction, and optimization**, Danvers: John Wiley & Sons, 2011. 822 p.

BLOOM, NEIL B., **Reliability Centered Maintenance: implementation made simple**, Nova York: McGraw-Hill Companies Inc., 2006. 291 p.

CARNAÚBA, EDERSON RODRIGUES; SELLITTO, MIGUEL AFONSO, Análise da confiabilidade e evolução de uma máquina de envase de leite UHT ao longo da curva da banheira, Novo Hamburgo, **Revista Liberato**, v. 14, p. 171-185, 2013.

CHAN, F. T. S.; LAU, H. C. W.; IP, R. W. L.; CHAN, H. K.; KONG, S.; Implementation of Total Productive Maintenance: a case study, **Int. J. Production Economics**, v. 95, p. 71-94, 2005.

DUARTE, JOSÉ; CUNHA, PEDRO; CRAVEIRO, JOÃO, Maintenance database, **Procedia CIRP**, Setúbal, v. 7, p. 551-556, 2013.

FACCIO, M.; PERSONA, A.; SGARBOSSA, F.; ZANIN, G., Industrial maintenance policy development: a quantitative framework, **Int. J. Production Economics**, Vicenza, v. 147, p. 85-93, 2014.

FLORIAN, MIHAI; SORENSER, JOHN, Planning of operation & maintenance using risk and reliability based methods, **Energy Procedia**, Aalborg, v. 80, p. 357-364, 2015.

FOGLIATTO, FLÁVIO SANSON; RIBEIRO, JOSÉ LUIS DUARTE, **Confiabilidade e manutenção industrial**, Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 265 p.

FORE, STANLEY; MUDAVANHU, THABANI, Application of RCM for a chipping and sawing mill, **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 9, p. 204-226, 2011.

JIANG, XIUHONG; DUAN, FUHAI; TIAN, HENG; WEI, XUEDONG, Optimization of reliability centered predictive maintenance scheme for inertial navigation system, **Reliability Engineering and System Safety**, v. 140, p. 208-2017, 2015.

LAFRAIA, JOÃO RICARDO BARUSSO, **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MARCONI, MARINA A.; LAKATOS, EVA M., **Fundamentos de metodologia científica**, 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003. 311 p.

MARTORELL, S.; VILLAMIZAR, M.; CARLOS, S.; SÁNCHEZ, A., Maintenance modeling and optimization integrating human and material resources, **Reliability Engineering and System Safety**, Valência, v. 95, p. 1293-1299, 2010.

MENDES, ANGÉLICA A.; RIBEIRO, JOSÉ L.D., Establishment of a maintenance plan based on quantitative analysis in the context of RCM in a JIT production scenario, **Reliability Engineering and System Safety**, Porto Alegre, v. 127, p. 21-29, 2014.

MIGUEL, A. C. M. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2010. 226 p.

MINITAB, Distribuição Weibull. Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/probability-distributions-and-random-data/distributions/weibull-distribution/>>. Acesso em 19/09/2016.

MOUBRAY, JOHN, **Reliability-Centered Maintenance**, 2. ed. Nova York: Industrial Press Inc., 1997. 426 p.

MWANZA, BUPE G.; MBOHWA, CHARLES; Design of a Total Productive Maintenance model for effective implementation: case study of a chemical manufacturing company, **Procedia Manufacturing**, Joanesburgo, v. 4, p. 461-470, 2015.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos modos de falha e efeitos: prevenindo e prevenindo problemas antes que ocorram**. 2. ed. São Paulo: Instituto IMAM, 2002. 270 p.

PETERS, RALPH W., **Reliable maintenance planning, estimating and scheduling**. Oxford: Elsevier, 2015, p. 145-155. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=VCCOAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=%E2%80%9CReliable+Maintenance+Planning,+Estimating+and+Scheduling%E2%80%9D,+Elsevier,+2015,+p.+145-155.&ots=jN9sZfPM3K&sig=L3np7J6eYCs5851RIcZ97oFO9Qc#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 15 jul. 2016

SAINZ, J.; SEBASTIÁN, M., Methodology for the maintenance centered on the reliability on facilities of low accessibility, **Procedia Engineering**, Madri, v. 63, p. 852-860, 2013.

SANTOS, W. B.; COLOSIMO, E. A.; MOTTA, S. B., Optimal maintenance time for repairable systems in more than one type of failure”, **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 14, p. 193-202, 2007.

SELVIK, J. T.; AVEN, T., A framework for reliability and risk centered maintenance”, **Reliability Engineering and System Safety**, Stavanger, v. 96, p. 324-331, 2011.

SHAOMIN, WU, Assessing maintenance contracts when preventive maintenance is outsourced, **Reliability Engineering & System Safety**, Bedfordshire, v. 98, p. 66 -72, 2012.

SINGH, RANTESHWAR; GOHIL, ASHISH M.; SHAH, DHAVAL B.; DESAI, SANJAY, Total Productive Maintenance (TPM) implementation in a machine shop: a case study, **Procedia Engineering**, Ahmedabad, v. 51, p. 592-599, 2013.

SIQUEIRA, IONY P., **Manutenção Centrada na Confiabilidade: manual de implementação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005. 382 p.

SMITH, ANTHONY M.; HINCHCLIFFE, GLENN R., **RCM: gateway to world class maintenance**. 1. ed. Oxford: Elsevier, 2004. 337 p.

SMITH, RICKY; MOBLEY, KEITH R., **Rules of thumb for maintenance and reliability engineers**. Oxford: Elsevier, 2008, p. 283-284. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=XMSf8VGuLJcC&printsec=frontcover&dq=SMITH,+RICKY;+MOBLEY,+KEITH+R.,+Rules+of+thumb+for+maintenance+and+reliability+engineers&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjBg_qTxK7QAhWFiJAKHbiYD24Q6AEIGzAA#v=onepage&q=SMITH%2C%20RICKY%3B%20MOBLEY%2C%20KEITH%20R.%2C%20Rules%20of%20thumb%20for%20maintenance%20and%20reliability%20engineers&f=false>. Acesso em: 08 ago. 2016

TIAN, ZHIGANG; WU, BAIRONG; CHEN MINGYUAN. Condition-based maintenance optimization considering improving prediction accuracy”, **Journal of the Operational Research Society**, v. 65, p. 1412-1422, 2014.

ZHENG, ZHIBIN; ZHOU, WENHUI; ZHENG, YANFANG; WU, YONGZHONG, Optimal maintenance policy for a system with preventive repair and two types of failures, **Computers & Industrial Engineering**, Guangzhou, v. 98, p. 102-112, 2016.

ZHOU, DENGJI; ZHANG, HUIHENG; LI, YI-GUANG; WENG, SHILIE; A dynamic Reliability-Centered Maintenance analysis method for natural gas compressor station based on diagnostic and prognostic technology. **Journal of Engineering for Gas Turbines and Power**, v. 138, 2016.