UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JOSÉ CARLOS LEITE DE ALVARENGA FILHO

APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA DO SUDESTE DE MINAS GERAIS

JUIZ DE FORA
2021

JOSÉ CARLOS LEITE DE ALVARENGA FILHO

Aplicação dos conceitos da engenharia da confiabilidade em uma indústria automotiva do sudeste de Mina de Gerais

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alves

JUIZ DE FORA

2021

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Leite de Alvarenga Filho, José Carlos.
Aplicação dos conceitos da engenharia da confiabilidade em uma indústria automotiva do sudeste de Minas Gerais / José Carlos Leite de Alvarenga Filho. -- 2021.
46 f. : il.

Orientador: Luiz Henrique Dias Alves
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2021.

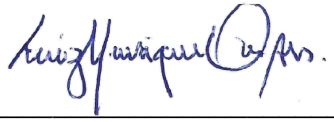
1. Confiabilidade. 2. Manutenção. 3. Falhas. 4. Weibull. I. Dias Alves, Luiz Henrique, orient. II. Título.

JOSÉ CARLOS LEITE DE ALVARENGA FILHO

Aplicação dos conceitos da engenharia da confiabilidade em uma indústria automotiva do sudeste de Minas de Gerais

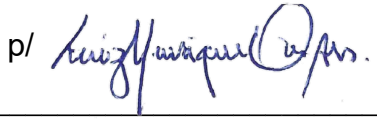
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alves - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

p/ 

Prof. Dr. Marcos Martins Borges

Universidade Federal de Juiz de Fora

p/

Vinícius de Souza Dias

Engenheiro Mecânico

RESUMO

Apresenta-se os resultados da aplicação dos conceitos da engenharia da confiabilidade em um equipamento utilizado para transporte de componentes para montagem de caminhões de uma indústria automotiva do sudeste de Minas Gerais. Com o levantamento de dados realizados sobre TTF durante o período de um ano (2020), empregou-se o software Microsoft Excel e seus suplementos para determinação dos parâmetros de forma β e da característica de vida η constantes utilizadas a construção do modelo de Weibull. A partir desses parâmetros determinou-se a distribuição cumulativa de falha F(t) e a curva de confiabilidade R(t). Os custos para determinação do ponto ótimo de manutenção foram determinados de acordo com os dados coletados pela empresa, que utilizavam informações como material gasto, mão de obra dedicada e custo de parada da produção. Os resultados mostraram que o equipamento apresenta uma taxa de falha decrescente, mostrando assim o benéfico trabalho realizado pela equipe de manutenção sobre o equipamento avaliado. Com os dados obtidos foi possível avaliar qual seria o melhor momento para a realização de uma manutenção preventiva do equipamento.

Palavras-chave: Confiabilidade, Manutenção, Falhas, Weibull.

ABSTRACT

The results of the application of the concepts of reliability engineering are presented in an equipment used to transport components for assembly of trucks of an automotive industry in the southeast of Minas Gerais. With the survey of data carried out on TTF during the period of one year (2020), the Microsoft Excel software and its supplements were used to determine the β shape parameters and the constant η life characteristic used in the construction of the Weibull model. From these parameters, the cumulative failure distribution F (t) and the reliability curve R (t) were determined. The costs for determining the optimum point of maintenance were determined according to the data collected by the company, which used information such as spent material, dedicated labor and production stoppage cost. The results showed that the equipment has a decreasing failure rate, thus showing the beneficial work performed by the maintenance team on the evaluated equipment. With the data obtained, it was possible to assess what would be the best time to carry out preventive maintenance of the equipment.

Keywords: Reliability, Maintenance, Failures, Weibull.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva da Banheira (fonte: Notas de aula L. H. D. Alves) 24
Figura 2 - Fator beta na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte: Notas de aula L. H. D. Alves) 32
Figura 3 - AGV na indústria automotiva (Fonte: http://m.automotivebusiness.com.br/detalhe.aspx?id_noticia=13602) 33
Figura 4 - Resultado da análise de Regressão Linear (Fonte: o autor) 36
Figura 5 - Gráfico com os ajustes da curva (Fonte: o autor) 37
Figura 6 - Gráfico de probabilidade de falha e confiabilidade (Fonte: o autor) 38
Figura 7 - Gráfico de custo de manutenção (Fonte: o autor) 40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados coletados SAP (Fonte: empresa automotiva) 34
Tabela 2 - Dados Refinados de acordo com Jornada (Fonte: o autor) 34
Tabela 3 - TTF em ordem crescente (Fonte: o autor) 35
Tabela 4 - Cálculo da Median Rank (Fonte: o autor) 35
Tabela 5 - Probabilidade de falha e confiabilidade (Fonte: o autor) 37
Tabela 6 - Parte do cálculo para os custos (Fonte: o autor) 39

LISTA DE SIGLAS

AGV – *Automated guided vehicle*

DT – *Downtime*

JIT - *Just in time*

KPI – *Key performance indicator*

MDT – *Mean downtime*

MUT - *Mean up time*

MTBF – *Mean time between failures*

MTTF – *Mean time to failure*

MPM – Medição da performance da manutenção

PDCA – *Plan, do, check, act*

PM – Performance da Manutenção

TQM – *Total Quality Management*

TTF – *Time to failure*

LISTA DE SÍMBOLOS

n_0 – Número de componentes submetidos a teste

n_f – Número de componentes que falharam

n_s – Número de componentes que sobreviveram

R – Confiabilidade

F – Probabilidade de falha

z – Taxa de falha

λ – Taxa de falha constante

Av – Disponibilidade média

Ta – Tempo administrativo

β – Parâmetro de forma

η – Parâmetro de escala

t0 – Parâmetro de localização

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS 11
1.2. JUSTIFICATIVA 12
1.3. ESCOPO DO TRABALHO 13
1.4. ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 14
1.5. DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 14
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO 15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16
2.1. QUALIDADE 16
2.2. INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO 16
2.3. PERFORMANCE DA MANUTENÇÃO 18
2.4. MANUTENÇÃO CORRETIVA 20
2.5. MANUTENÇÃO PREVENTIVA 21
2.6. MANUTENÇÃO PREDITIVA 22
2.7. CONFIABILIDADE E MANUTENÇÃO 22
2.8. FUNÇÃO CONFIABILIDADE 24
2.9. O CASO ESPECIAL DA TAXA DE FALHA CONSTANTE 26
2.10. PARÂMETROS DE CONFIABILIDADE 27
2.11. MTTF (Mean Time To Failure) 27
2.12. MTBF (Mean Time Between Failure) 28
2.13. DISPONIBILIDADE 28
2.14. MANTENABILIDADE 30
2.15. DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL 30
3. METODOLOGIA 32
4. RESULTADOS E ANÁLISE 34
5. CONCLUSÕES 40
6. REFERÊNCIAS 42

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Considerando a eficiência da cadeia logística de infra estrutura do transporte de cargas, é evidente que ela está diretamente ligada ao crescimento econômico do país. O modal rodoviário é muito privilegiado se comparado a outros modais, sendo a matriz brasileira de transporte diferente das matrizes constituídas em outros países, com dimensões também continentais como Canadá, Rússia e Estados Unidos.

Ainda sobre a distorção existente sobre os modais no país, temos segundo a Agência nacional de transportes terrestres (ANTT) um modal rodoviário que representa cerca de 61% da matriz de transporte brasileira, seguido do ferroviário com 21%, aquaviário com 14% e aéreo e o duto viário com 4%.

A partir de uma estratégia traçada no início dos anos de 1950, as rodovias passaram a ser protagonistas nos investimentos do Estado em infraestrutura. Essa estratégia acabou por originar a distorção na matriz, trazendo dessa forma algumas perdas na competitividade do Brasil, já que em muitos casos (tipo de produto que é transportado, distância percorrida, capacidade de carga) o modal rodoviário não seria o mais adequado.

Sobre as dificuldades enfrentadas pelo setor rodoviário, ainda podemos destacar que grande parte da malha rodoviária não é pavimentada ou ainda pode apresentar algum problema de conservação, no que diz respeito às imperfeições estruturais que pode reduzem a segurança e conforto no transporte de cargas. Essas despesas contribuem para o aumento dos custos operacionais das empresas de ramo logístico, com aumento no tempo de viagem, manutenções constantes em sua frota gasto adicional com combustível.

Temos ainda a sujeitabilidade do mercado de transporte à saúde da economia mundial, considerando o nosso país como exportador principalmente de *commodities*, transportadas essas em sua abrangência por caminhões. Dessa forma, crises mundiais têm efeito direto sobre a receita de empresas do ramo logístico, essas que por sua vez afetarão o consumo ou não de caminhões que são produzidos no mercado nacional. Mesmo que o mercado externo possa absorver parte dos veículos produzidos, temos que a moeda nacional desvalorizada frente a moeda de países compradores diminua, juntamente com todos os outros fatores citados anteriormente para uma progressiva redução na margem de lucro do setor ao longo das últimas décadas (ANFAVEA, 2018).

1.2. JUSTIFICATIVA

É possível verificar que, a partir dos fatores relacionados, existe uma grande pressão sobre os transportadores rodoviários para a melhoria de seus resultados. Esses resultados não se limitam somente à aspectos financeiros, mas também a melhores resultado em segurança e conservação do meio ambiente.

Dessa forma, os transportadores buscam alternativas para a melhoria de seus resultados, essas como maior ênfase na logística corporativa, aprimoramento da plataforma logística, investimento em sistemas de tecnologia da informação entre outros. Não menos importante, verifica-se ainda que a compra de caminhões com boas condições de financiamento e qualidade aliada com bom preço no momento da compra de novos veículos para renovação de frota se mostra muito importante para a melhoria desses resultados.

Do lado das indústrias de produção automobilísticas, a gestão de custos de produtividade pode ajudar a estabelecer a montadora em patamares de competitividade. De acordo com Paiva (1999), temos que apesar da gestão de custos recente exigir um conhecimento aprofundado no conhecimento das ciências contábeis empresariais, podemos ainda relacioná-la com as áreas mais importantes do negócio, como a produção, desenvolvimento de tecnologias e marketing.

Considerando ainda o conjunto de instrumentos e técnicas que constituem a gestão de custos, para o estudo de caso, se destacam as justificativas do investimento e utilização do ativo como um grande player na composição do valor do produto. A tendência moderna das montadoras na adaptação de seu modelo de produção para um sistema enxuto, com premissas baseadas no JIT (Just in time – produção sem gorduras) orienta a gestão para um custo-alvo que demanda mudanças em seu ambiente produtivo, na busca contínua na eliminação de desperdícios. Nesse sentido, melhorias que encurtam o tempo de produção, seja no desenvolvimento de tecnologia de ponta para a redução de tempos de processamento, aperfeiçoamento da mão de obra e redução nos tempos de paradas combinados a redução de custos de suporte podem ser determinantes para uma melhoria no desempenho da gestão de custos.

No aspecto da melhoria da gestão de custos, não se pode minimizar ainda o impacto de práticas de aperfeiçoamento contínuo na estratégia de produção das montadoras para competitividade. Tornar algo que já é bom melhor ainda mostra como a organização está orientada para a qualidade de seus processos e também a qualidade percebida pelos clientes, sejam eles internos ou externos. Porém, além de ser necessário que a mentalidade gerencial

promova tais práticas, é preciso também todo o processo como um todo tenha uma gestão de resultados através de indicadores eficientes e honestos sobre o desempenho de todo o processo.

Sobre os indicadores de desempenho, temos que eles ajudam principalmente na medição em termos de uso eficiente dos recursos. Eles não somente servem para a verificação de possíveis problemas, planejamento, controle, mas principalmente diagnosticar e mensurar o atingimento de parâmetros especificados pelo cliente. A partir de tal constatação, temos que os indicadores de desempenho são fundamentais para a consolidação e manutenção do TQM (Total quality Management).

A partir das informações apresentadas, o trabalho a ser apresentado será constituído de uma análise crítica dos indicadores de confiabilidade, probabilidade de falha e custos pela gerência de manutenção produtiva de uma montadora de caminhões situada na cidade de Juiz de Fora – MG, já que o tema já se mostrou relevante considerando a competição intensa no mercado de venda de caminhões, que foi intensificada a partir de principalmente pela abertura de mercado (maior opção de escolhas por parte dos compradores) e crises econômicas cíclicas que afetam principalmente países em desenvolvimento, como o Brasil.

1.3. ESCOPO DO TRABALHO

O presente trabalho terá como ambientação uma fábrica de montagem de caminhões em Juiz de Fora- MG. O estudo se aplica exclusivamente ao produto caminhão, considerando ainda os processos de Montagem Bruta e Pintura. Serão analisados dados referentes ao ano produtivo de 2020, que se iniciou em 01 de Janeiro de 2020 e será finalizado em 31 de Dezembro de 2020. Tais dados poderão ser suficientes para a verificação do desempenho da gerência de manutenção. Os dados analisados estarão presentes em controles de planilha Excel e sistema SAP armazenados diariamente, no diretório de pastas da organização e sistemas de gestão.

Esses dados serão analisados com a utilização da ferramenta Excel principalmente, e servirão de base para uma análise de um equipamento em específico na distribuição de Weibull, traçando a curva de confiabilidade, probabilidade acumulada de falhas e por último uma análise sobre os custos de manutenção.

1.4. ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho é formular uma análise de todos os indicadores de desempenho acompanhados pela gerência de manutenção produtiva e na gestão deles. Após a apresentação de conceitos e demonstrações sobre o cálculo da obtenção dos principais indicadores, será possível calcularmos a confiabilidade de um equipamento, que será escolhido com base na amostra de dados retiradas do sistema da empresa.

O trabalho focará principalmente no cálculo da confiabilidade e probabilidade de falha um equipamento escolhido, que auxiliará no cálculo de indicadores de custos do equipamento, de forma a munir a equipe responsável pela gestão de manutenção desse equipamento sobre o comportamento dele ao longo do tempo.

Como objetivo complementar, será estudado o impacto da gestão de indicadores na melhoria da área e do negócio como um todo do sistema produtivo da montagem de caminhões.

1.5. DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

De acordo com a definição de Miguel (2010), o presente trabalho terá como características as seguintes: abordagem quantitativa e qualitativa, como natureza aplicada utilizando um método de estudo de caso e objetivo descritivo.

Como natureza aplicada, temos a utilização de conceitos já existentes e desenvolvidos para solução de um problema atual.

Já o objetivo descritivo temos principalmente a verificação do comportamento das principais variáveis relacionadas ao processo de gestão em foco nesta dissertação.

Abordagem qualitativa e quantitativa, já que serão analisados criticamente os atuais indicadores acompanhados pela equipe de manutenção enquanto também será desenvolvida a parte matemática de cálculo dos principais indicadores.

Dessa forma, o estudo de caso estará definido com o desenvolvimento do indicador de confiabilidade, com base nos indicadores calculados anteriormente.

O desenvolvimento se dará seguindo os itens abaixo:

Revisão do estado da arte em engenharia da confiabilidade;

Coleta de dados de um dado período;

Tratativa dos dados coletados, com utilização do software Excel para aplicação da distribuição de Weibull e determinação de indicadores de confiabilidade, probabilidade de falha e custos;

Análise de dados para determinação do ponto ótimo.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em 5 capítulos como segue.

O primeiro, intitulado de Introdução, consta a justificativa da elaboração do trabalho, o seu escopo juntamente com os objetivos e a metodologia utilizada para o alcance desses objetivos.

No segundo capítulo é apresentado um contexto histórico referente à contextualização do assunto do trabalho ao conteúdo bibliográfico, considerando assuntos como Manutenção e análise de indicadores.

O terceiro capítulo apresentará a parte de metodologia empregada.

O quarto capítulo apresentará os resultados e discussões e o quinto capítulo apresentará a conclusão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. QUALIDADE

O mundo dos negócios se mostrou transformado atualmente, exigindo que organizações verificassem algumas perspectivas fundamentais para a permanência e competitividade no setor que atua, sendo eles: a financeira, a do aprendizado, a dos processos internos, a do crescimento e a do cliente. (KAPLAN & NORTON, 2000; MEYER, 2000).

Considerando ainda que mudanças substanciais são necessárias para a manutenção das empresas, pode-se destacar como importante: visão estratégica alinhada; bem definida e elaborada pela alta gestão; divulgação dessa estratégia junto a todas as áreas; aproveitamento das oportunidades de aprendizado; parceria de empresa com fornecedoras sempre buscando objetivos comuns; participação de todas as pessoas envolvidas no processo como agentes de mudança; planejamento bem feito sobre a elaboração de mudanças a serem realizada; líderes conscientes capazes de entender e promover mudanças e principalmente, de indicadores de desempenho, que servirão para o acompanhamento da performance e ocasional reconhecimento de recompensa para melhorar a satisfação de todos os colaboradores (KAPLAN & NORTON, 2000).

Tendo em vista as premissas da qualidade total, as questões levantadas anteriormente estão relacionadas à melhoria do desempenho do processo. Com funcionários reconhecidos, participantes da mudança e com voz ativa dentro da organização, se sentem motivados a otimizar cada vez mais o processo no qual estão inseridos. (Equipe Grifo, 1994).

A gestão da qualidade, dentro dos conceitos de Taguchi, pode ser definido em duas áreas: controle de qualidade fora da linha e na linha. O controle de qualidade fora da linha está diretamente relacionado aos aspectos do desenvolvimento do produto e do processo. Já o controle de qualidade na linha se relaciona aos controles realizados para monitoramento dos níveis que estão sendo atingidos de qualidade técnica, levando em conta a variabilidade do processo. (SUDHAKAR, 1995).

2.2. INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

Pensando no conceito, pode se dizer que a manutenção assegurará a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos, industriais, de forma a atender um processo de

produção com preservação do meio ambiente, segurança, confiabilidade e custos adequados, exercendo um papel estratégico, sendo o diferencial das empresas líderes em seus segmentos (KARDEC E NASCIF, 2009).

Ainda sobre o conceito de manutenção, Almeida (2015), a manutenção é o conjunto de cuidados e procedimentos técnicos necessários ao bom funcionamento e também ao reparo de máquinas, equipamentos, peças, moldes e ferramentas. A palavra, derivada do latim *manus tenere*, que significa “manter o que se tem”, também é definida de diferentes maneiras por muitos órgãos certificadores e normalizadores, porém enfatizando a preocupação com o bom funcionamento das máquinas e dos equipamentos, principalmente no sistema produtivo.

Sob outra perspectiva, *International Electrotechnical Commission* (2006), a manutenção é definida como a combinação de todas as informações técnicas e ações administrativas, incluindo supervisão, destinadas a reter um item ou restaurá-lo para um estado em que pode executar uma função necessária

Ainda de acordo com Kardec e Nascif (2010) a evolução da manutenção pode ser dividida em quatro gerações. A primeira geração pode ser caracterizada pelo período que abrangente antes da Segunda Guerra Mundial, com a pouca mecanização da indústria, equipamentos simples e normalmente superdimensionados. Como a produtividade não era prioritária, não era necessária uma manutenção sistematizada. As atividades basicamente se resumiam à manutenção corretiva não planejada, nas quais as competências buscadas eram a habilidade em realizar o reparo necessário.

Já a segunda geração, ocorrida entre os anos 50 e 70 do século passado, foi caracterizado por um aumento da mecanização, devido à diminuição sensível da mão de obra devido à guerra e também aumento da demanda por todo tipo de produto. Aqui começa a se evidenciar a maior necessidade da disponibilidade de máquinas para uma produtividade melhor, resultando no conceito de que ações para evitar falhas de equipamentos seriam necessárias: manutenção preventiva. Fora isso, ainda temos o aumento do custo de manutenção quando comparado com outros custos operacionais, melhorando os sistemas de planejamento e controle de manutenção, que hoje, são parte da manutenção moderna.

A terceira geração se iniciou a partir da década de 70. A paralisação da produção, que sempre diminuiu a capacidade da produção, aumentou os custos e afetou a qualidade dos produtos, sendo essa uma preocupação generalizada. Com a tendência mundial de utilização do just in time, no qual estoques reduzidos para a produção em andamento significava que pequenas pausas na produção poderiam paralisar a fábrica, os efeitos dos períodos de paralisação foram se agravando.

Dessa forma, o crescimento da automação e da mecanização ficou mais evidente, passando a indicar que disponibilidade e confiabilidade se tornaram fundamentais em setores tão distintos quanto saúde e telecomunicações, por exemplo.

Também foi desenvolvido o conceito de que falhas mais frequentes afetam diretamente a capacidade de manter padrões de qualidades estabelecidos, além de provocarem sérias consequências na segurança e no meia ambiente. Assim, exigências ligadas às condições de segurança e meio ambiente se consolidaram, sendo que as plantas que não atendessem aos padrões estabelecidos não poderiam funcionar.

Nessa geração, podemos destacar: o reforço do conceito e a utilização da manutenção preditiva; o avanço da informática, permitindo a utilização de computadores pessoais que permitiriam o planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção; o aumento da aplicação pela Engenharia de Manutenção do conceito de confiabilidade; desenvolvimento da Manutenção Centrada na Confiabilidade (iniciada na década de 90 no Brasil); a falta de resultados melhores, já que projetos buscavam uma maior confiabilidade mas faltava a interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação.

Finalmente, na quarta geração, a disponibilidade continua sendo uma das medidas de performance mais importantes da manutenção, sendo a confiabilidade um fator de busca constante também. Agora, também surge a prática de análise de falhas, uma metodologia consagrada como uma prática capaz de melhorar a performance dos equipamentos e por consequência, da empresa.

Buscando intervir cada vez menos na planta, estão sendo utilizadas cada vez mais a manutenção preditiva e o monitoramento de condição do equipamento de processo. Assim, existe uma tendência de redução nas manutenções preventivas e programadas, a fim de se impactar cada vez menos a produção. Pode se observar que a manutenção corretiva não programada se torna um indicador de ineficácia da produção.

Outro fator a se destacar dessa última geração é o aprimoramento da contratação ou da terceirização buscando contratos de longo prazo, ou uma relação de parceria, com indicadores que medem os resultados que interessam ao negócio – disponibilidade e confiabilidade.

2.3. PERFORMANCE DA MANUTENÇÃO

A eficiência e eficácia do sistema de manutenção desempenham um papel central no sucesso e capacidade de sobrevivência da organização. Portanto, o desempenho do sistema precisa ser medido usando uma técnica de medição de desempenho (PM - Performance da

Manutenção). De acordo com Biticti *et al*. (1997), gerenciamento de desempenho é definido como o processo pelo qual uma empresa gerencia seu desempenho. Deveria estar "alinhado às suas características corporativas e funcionais, estratégias e objetivos". Neely et al. (1995) definiu PM como o processo de quantificação da eficiência e eficácia da ação.

Nas últimas duas décadas, a performance da manutenção recebeu grande atenção dos pesquisadores e praticantes. Os principais problemas relacionados a esse campo dizem respeito ao que medir e como medi-lo (NEELY, 1999) de maneira praticamente viável e econômica. Implementação imprópria e gerenciamento do desenvolvimento de sistemas de medição com o objetivo de utilizar novas medidas para refletir novas prioridades muitas vezes levam a resultados ineficazes. Isso é devido ao fracasso da organização em descartar medidas que refletem prioridades antigas, indicadores inconsistentes não correlacionados e técnicas de medição inadequadas (MEYER E GUPTA, 1994).

A medição fornece o status da variável, compara os dados com os dados padrão ou de destino e aponta quais ações devem ser tomadas e onde elas devem ser tomadas como medidas corretivas e preventivas. Isso é extremamente difícil sem dados adequados para desenvolver modelos para apoiar o processo de tomada de decisão (WEALLEANS, 2000). As características das medidas de desempenho incluem relevância, interpretabilidade, pontualidade, confiabilidade e validade (AL-TURKI e DUFFUAA, 2003). Um sistema operacional de Performance da Manutenção funciona como um sistema de alerta precoce.

Várias estruturas foram desenvolvidas para medir o desempenho ao longo dos anos. Até 1980, a PM foi baseada principalmente em medidas financeiras. O *balance scorecard*, com suas quatro perspectivas, concentra-se em aspectos financeiros, clientes, processos e inovação e aprendizado (KAPLAN E NORTON, 1997). A ferramenta olha para ambos aspectos tangíveis (financeiros) e intangíveis do processo de negócios. Subsequentemente, vários pesquisadores desenvolveram estruturas considerando medidas de aspectos não financeiros e ativos intangíveis para obter vantagens competitivas (KAPLAN E NORTON, 2001). Observa-se que as empresas que utilizam um sistema integrado e equilibrado de PDM desempenham melhor do que aqueles que não medem seu desempenho (KENNERLY e NEELY, 2003; LINGLE e SCHIEMMAN, 1996). Os problemas e desafios associados ao MPM (Medição da Performance da Manutenção) diz respeito à relevância, interpretabilidade, pontualidade, confiabilidade, validade, custo e eficácia de tempo e facilidade de implementação, atualização e manutenção para uso pelas partes interessadas em vários níveis (PARIDA E KUMAR, 2006).

Considerando os aspectos abordados, fica claro a importância da gestão da manutenção para a melhoria da produção, além de uma redução nos custos, permitindo às empresas atualmente se manterem sadias e competitivas em seus mercados.

A NP EN 13306:2007 incluem nessa gestão as atividades que determinam a estratégia, as responsabilidades, os objetivos referentes à manutenção, por meio do controle, planejamento, supervisão e otimização de métodos na empresa.

Já a NP 4483:2009, mostra como os objetivos de manutenção devem ser mensuráveis e consistentes se comparados com a política da manutenção. Para atingir os objetivos de forma eficaz, a norma sugere o desenvolvimento de um sistema de gestão próprio que deve ter recursos técnicos e seguir uma lógica de melhoria contínua com base no ciclo de PDCA (*plan do check act)*. A partir daí, seria possível a geração de informações inerentes à manutenção para monitoramento do desempenho, cumprimento de metas e parâmetros.

2.4. MANUTENÇÃO CORRETIVA

Considerando a colocação de Kardec&Nascif (2001), podemos definir a manutenção corretiva como a atividade de atuar em um equipamento no qual seu desempenho está diferente do esperado ou ainda que está propriamente defeituoso. Nem sempre a atuação tem caráter emergencial, podendo simplesmente garantir um desempenho que era esperado sobre o equipamento, que por algum motivo não estava em sua melhor capacidade. Outra característica, de acordo com Slack, Chambers e Johnston (2002), esse tipo de manutenção permitirá o funcionamento de instalações ou equipamentos até que haja a quebra. Dessa forma, a atividade só será realizada mediante a fratura desse equipamento ou instalação.

Ainda sobre a manutenção corretiva, ela poderá ser dividida em dois grupos: corretiva planejada e não planejada.

A manutenção corretiva planejada, segundo Kardec&Nascif (2001), envolve o ajuste do desempenho ou correção da falha por uma decisão da área competente. Considerando as características de qualquer outra atividade planejada, ela também mostra os benefícios trazidos do planejamento, como custos mais baixos, atividade mais rápida, segura e, normalmente, com mais qualidade. Além disso, mostra-se fundamental um maior conhecimento e de qualidade sobre o equipamento ou instalação para uma boa execução da atividade planejada.

A manutenção corretiva não planejada, segundo Kardec&Nascif (2001), traz características essas contrárias à definição anterior. Ela envolve a atuação no equipamento ou instalação após a ocorrência da quebra ou falha, sem qualquer tipo de planejamento prévio,

normalmente de caráter emergencial. Quando essas quebras ou falhas ocorrem de forma rotineira, é comum dizer que o comando é dos equipamentos, e não da equipe de gestão da manutenção. Naturalmente, empresas que sofrem com esse mal experimentarão uma maior dificuldade na competição no nicho em que estão inseridas, com produtos cada vez mais caros. O equipamento que sofre com constantes quebras, e consequentemente mais intervenções corretivas, terá menor vida útil e rapidamente deixará de desempenhar da forma que foi projetado em sua concepção.

2.5. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Os autores Kardec e Nascif (2009) definem esse tipo de manutenção como um plano estratégico elaborado, onde periodicamente verifica-se os equipamentos para a identificação de possíveis quedas de desempenho ou falhas.

Para Moubray (1997), essa verificação segue um plano de manutenção que é previamente desenvolvido, baseando em intervalos tempo (periodicidade). Diz ainda que os esforços exercidos por esta máquina ou equipamento ao longo de sua jornada são responsáveis por uma redução gradativa da resistência à falha, até um ponto que o desempenho é prejudicado e ocorre a falha de fato.

Para Mirshawka (1991), ela seria uma ação predeterminada de acordo com intervalos fixos, considerando a Teoria da Probabilidade e expectativa de vida de componentes. O objetivo principal é utilizar a estatística, datas dos reparos e recondicionamentos de máquinas como ferramenta para o planejamento, focando na redução ou até mesmo evitar falhas por desempenho.

Como Kardec&Nascif (2001) discorreram, esse tipo de manutenção é a que mais convém a adoção, considerando os seguintes pontos:

- Possível falha implica no perigo a saúde do ambiente ou colaborares;
- Custo de falha ser demasiadamente alto comparado aos custos de produção;
- Maior facilidade na reposição.

De acordo com Almeida (2000), a manutenção descrita ainda apresenta alguns problemas comuns. Esses comumente se relacionam a uma utilização precária das estatísticas a disposição para o planejamento da atividade, como estipulação de prazos sem a avaliação de variáveis específicas que afetam máquinas, levando a paradas constantes com troca de

componentes desnecessários ou paradas com periodicidade muito alta, causando falhas inesperadas. Esses problemas, se não tratados da forma correta, poderão causar um aumento considerável no custo do produto.

2.6. MANUTENÇÃO PREDITIVA

De acordo com Kardec&Nascif (2001), a manutenção preditiva foca em proporcionar o maior tempo de funcionamento do sistema possível, já que através da observação de parâmetros é capaz de prevenir falhas. Sendo esses parâmetros cada vez mais estudados e entendidos, essa manutenção torna-se mais confiável. Logo, quando o equipamento está perto de atingir o limite de grau de desgaste do parâmetro que foi estabelecido anteriormente, o time responsável é sinalizado para atuar devidamente.

Ainda sobre ela, é possível caracterizá-la como o grupo de atividades que acompanha equipamentos ou máquinas, mensurando o desempenho e, quando necessário, definir o momento de intervenção para atuação. O foco é, dentro do tempo ideal, executar os ajustes necessários, de forma a não permitir possíveis falhas ou quebras (OTANI; MACHADO, 2008).

Se aliada com uma equipe bem treinada com profundo conhecimento nas informações referentes às condições do equipamento, esse tipo de manutenção poderá oferecer os melhores resultados, já que conta com menores intervenções aproveitamento máximo de componentes, reduzindo custos e a possibilidade de quebras (KARDEC&NASCIF, 2001).

2.7. CONFIABILIDADE E MANUTENÇÃO

De acordo com Thorlay (2019):

> A Engenharia de Confiabilidade é a disciplina que procura entender como um produto (máquina, componente, peça) pode falhar após um determinado tempo de uso e quais são as medidas necessárias para evitar que essas falhas ocorram precocemente. (...) A confiabilidade é também um fator que agrega valor ao produto. Sob o ponto de vista do usuário, a confiabilidade será mantida pelo uso correto do equipamento e por sua correta manutenção.

Sobre os objetivos da engenharia da confiabilidade temos ainda, em ordem de importância: prevenção ou redução da probabilidade ou frequência de falhas e as suas

consequências, através da aplicação de conhecimentos de engenharia e técnicas especializadas; utilização de técnicas de análise de falhas e suas causas para a identificação e correção dessas falhas, que podem ocorrer apesar dos esforços em preveni-las; aplicar métodos para estimar a confiabilidade esperada de novos projetos e analisar os dados obtidos de confiabilidade (THORLAY, 2019).

Considerando a descrição do cargo de Engenheiro de Confiabilidade, temos que ele terá a responsabilidade de gerenciar e garantir a implementação, desenvolvimento contínuo de todo o sistema de confiabilidade, nas áreas de gerenciamento do trabalho, de materiais e confiabilidade. Além disso, esse cargo tem como características conhecimento das técnicas e liderança, de forma a liderar a equipe de engenheiros e técnicos de manutenção, identificando e implementando estratégias para melhorar a confiabilidade em geral de partes do sistema produtivo (máquinas, componentes e peças) (THORLAY, 2019).

Sobre os tipos de falha, pode-se diferenciar três casos diferentes de falhas gestão da confiabilidade:

- PREMATURAS: Essas ocorrem comumente em equipamentos novos, recém colocados em operação. Elas podem ocorrer por até um certo tempo, até que a frequência abaixe gradualmente, tornando-as falhas aleatórias. Nesta fase, é importante definir as condições ambientais e os melhores parâmetros para funcionamento do equipamento, através da manutenção de precisão. Essa estratégia facilitará a compreensão dos requisitos de confiabilidade do processo.
- ALEATÓRIAS: Após o período inicial de introdução do equipamento no sistema produtivo e as falhas prematuras acabam, as falhas aleatórias passam a dominar numa frequência baixa, por um longo período de tempo. Nessa fase, compreendendo-se a vida útil do equipamento, se faz fundamental a manutenção preditiva para o cumprimento da melhor performance. Não quer dizer que essas falhas são eliminadas, mas elas estão ações planejadas corretivas que minimizam o tempo de parada.
- DESGASTE: As falhas por desgaste são decorrentes de vários fatores, entre eles o próprio funcionamento do equipamento. Como exemplo, quando a parte se encontra em contato direto com o produto processado, permitindo que com o avanço da idade do equipamento em operação o componente se desgasta e falhe. Apesar de ser prevista, pode se apresentar em minutos ou anos, dependendo das características dos materiais utilizados, do processo, do produto e até mesmo as ações preventivas ou preditivas executadas. Naturalmente, as estratégias de manutenção de prevenção e preditiva estão diretamente relacionadas à falha por desgaste,

considerando que ela poderá determinar quando o equipamento apresentará maior probabilidade de falhar (THORLAY, 2019).

Todas essas falhas poderão ser observadas na “Curva da Banheira” (Fig. 1), mostrando a taxa de falhas ao longo do tempo de um equipamento, durante toda a sua utilização:

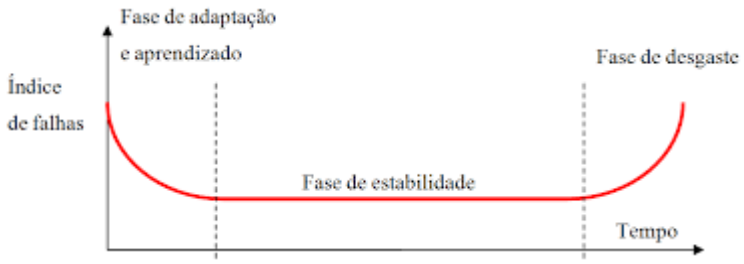


Figura 1 - Curva da Banheira (fonte: Notas de aula L. H. D. Alves)

2.8. FUNÇÃO CONFIABILIDADE

Nesta parte, detalharemos como obter alguns parâmetros de confiabilidade que são úteis para utilização. A derivação é baseada nas equações fundamentais da teoria das probabilidades.

Seja:

n_0 – Número de componentes submetidos ao teste.
n_f – Número de componentes que falharam.
n_S – Número de componentes que sobreviveram

Ao submeter um número fixo de componentes a testes para checar quando estes falham, depois de um tempo t, n_S componentes que sobreviveram ao teste e n_f componentes que falharam.

Logo:

$$n_f(t) + n_S(t) = n_0$$

n_0 é constante, já que conforme o andamento do teste, n_S diminui e n_f aumenta, porque mais e mais componentes apresentam falhas. Assim, a confiabilidade medida nesses testes é uma função de tempo de duração do teste t.

Dessa forma, a Confiabilidade ou Probabilidade será $R(t)$:

$R(t) = \frac{n_S(t)}{n_f(t)+n_S(t)} = \frac{n_S(t)}{n_0}$

$R(t) + F(t) = 1$, onde $F(t)$ significa a probabilidade acumulada de falha.
$F(t) = 1 - R(t)$

Da mesma forma, a probabilidade de falha ou Não Confiabilidade será:

$F(t) = 1 - \frac{n_S(t)}{n_0} = 1 - F(t)$

Derivando em relação a t, vem:

$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{d(1-\frac{n_f(t)}{n_0})}{dt}$

$\frac{dR(t)}{dt} = -\frac{1}{n_0}.\frac{dn_f(t)}{dt}$

O termo $\frac{1}{n_0}.\frac{dn_f(t)}{dt}$ quando dt tende a zero é igual a $f(t)$, portanto:

$\frac{dR(t)}{dt} = -f(t)$

$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt$

Rearranjando, temos:

$\frac{dn_f(t)}{dt} = -n_0.\frac{dR(t)}{dt}$

Que é taxa na qual os componentes falham no teste.

Mas, como $n_f = n_0 - n_f$

$\frac{dn_f(t)}{dt} = \frac{d[n_0-n_S(t)]}{dt} = -\frac{dn_S(t)}{dt}; \frac{dn_0(t)}{dt} = 0$

O termo $\frac{dn_f(t)}{dt}$ pode ser também interpretado como a quantidade de componentes falhando no intervalo dt entre os tempos t e $(t + dt)$, que é equivalente à taxa na qual a população ainda em teste no tempo t está falhando.

Da equação, temos:

$\frac{dn_f}{dt} = -n_0.\frac{dR(t)}{dt} = -\frac{dn_S}{dt}$

Dividindo ambos os lados da equação por $n_S(t)$, vem:

$$\frac{1}{n_S(t)}.\frac{dn_f(t)}{dt} = \frac{n_0}{n_S(t)}.\frac{dR(t)}{dt}$$

Então, a taxa de falha ou de risco será:

$$z(t) = \frac{1}{n_S(t)}.\frac{dn_f(t)}{dt}$$

Ou:

$$z(t) = -\frac{n_0}{n_S(t)}.\frac{dR(t)}{dt} = \frac{1}{R(t)}.\frac{dR(t)}{dt}$$

$$z(t) = -\frac{1}{R(t)}.\frac{dR(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

$z(t)$ é a taxa instantânea de risco ou probabilidade condicional de falha, uma vez que está condicionada aos itens que sobreviveram até o tempo t. Essa função é válida para qualquer tipo de distribuição de falhas no tempo.

Integrando a equação, vamos obter a função geral de Confiabilidade:

$$z(t).dt = -\frac{dR(t)}{R(t)}$$

$$\int_0^t z(t).dt = -\int_1^R \frac{dR(t)}{R} = -lnR(t)$$

$$lnR(t) = \int_0^t z(t).dt$$

Resolvendo a integral para R e sabendo-se que em $t = 0$, $R(t) = 1$,

$$R(t) = e^{-\int_0^t z(t).dt}$$

Essa equação é a chamada “Equação Fundamental da Confiabilidade”

$$R(t) = e^{-\int_0^t z(t).dt}$$

2.9. O CASO ESPECIAL DA TAXA DE FALHA CONSTANTE

Em situações especiais, na fase de Vida Útil, a taxa de risco ou taxa de falha pode ser admitida como constante, portanto adotamos $z(f) = \lambda$.

A função densidade exponencial é dada por:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

Onde: λ é a taxa de falha constante.

Esse fato faz com que os cálculos de confiabilidade sejam relativamente simples, porque só é necessário um parâmetro (λ). Outras distribuições possuem mais de um parâmetro, como a distribuição Normal, Log Normal, Weibull etc.

Para se obter a probabilidade acumulada de falhas F(t), nós temos que integrar à função 4.14:

$$F(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda t}$$

Mas,

$$R(t) + F(t) = 1$$

$$R(t) = -\left(1 - e^{-\lambda t}\right) + 1$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Equação válida para falhas aleatórias com taxas de falhas constantes. Porém, só será válida considerando apenas enquanto o tempo t não exceder o tempo de vida útil.

2.10. PARÂMETROS DE CONFIABILIDADE

Para que se possa medir a Confiabilidade de um componente, sistema ou instalação, utilizamos alguns indicadores (KPIs). Os mais conhecidos deles são, o MTTF (*Mean Time To Failure*) e o MTBF (*Mean Time Between Failure*). Importante salientar que estes indicadores são definidos dentro da faixa de vida útil, onde se assume que a taxa de falhas é constante na Curva da Banheira. Fora dessa faixa, esses conceitos não são válidos e não podem ser usados (THORLAY, 2019).

2.11. MTTF (Mean Time To Failure)

Considerando taxa de falhas constante, define-se o MTTF como o inverso dela. Esse indicador se faz uso componentes que não podem ser reparados, como relés, válvulas hidráulicas ou pneumáticas e resistores.

A função exponencial tem também a sua média, assim como as outras distribuições de probabilidade. Esse valor é obtido pelo chamado "primeiro momento" $t.f(t)$ da função $f(t)$, integrando em toda a faixa de validade da função. Portanto:

$$MTTF = \int_0^\infty tf(t)dt = \int_0^\infty t\lambda e^{-\lambda t}dt = \frac{1}{\lambda}$$

Válido apenas porque estamos supondo a taxa de falhas como constante.

Assim, o MTTF é definido como sendo o número de falhas ocorridas num determinado tempo (podendo ser também comprimento, ciclo etc.). Portanto, a unidade de MTTF é horas, quilômetros, metros, ciclos etc. (THORLAY, 2019).

2.12. MTBF (Mean Time Between Failure)

Como definido pela MIL-STD-721C – *Definitions for terms for reliability and Maintainability* (1981):

> Uma medida básica de confiabilidade para itens reparáveis é o número médio de vida de unidades durante as quais todas as partes do item operam dentro de seus respectivos limites, durante um intervalo particular de medição sob condições específicas.

Apesar de podermos utilizar as mesmas fórmulas de MTTF para o MTBF, define-se que este último é utilizado em sistemas reparáveis. Ao ocorrer a falha, existe uma ação de manutenção corretiva. Considerando a atuação no sistema, não se pode garantir que a taxa de falha permanecerá a mesma após a intervenção, já que pode ter havido troca apenas dos componentes defeituosos, enquanto os outros seguirão o caminho do desgaste normal. Logo, ao calcular-se o MTBF, supõe-se que o equipamento ou sistema volte a operar tão bem quanto operava quando era novo (THORLAY, 2019).

A fim de determinamos a fórmula fundamental do MTBF, definimos:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{tempo de ensaio}}{\text{número de itens que falharam}} = \frac{\text{T}_\text{e}}{\text{r}}$$

2.13. DISPONIBILIDADE

O termo Disponibilidade foi definido por Thorlay, 2019:

> A disponibilidade é o tempo determinado no qual a operação tem o equipamento pronto e em condições de operar, ou seja, quando o equipamento está operacional. Cabe ao operador usar ou não o equipamento. O equipamento ou máquina está ativo (operando) ou em espera, mas sob o ponto de vista de manutenção, está disponível. O item estará indisponível quando está parado para manutenção planejada ou não planejada, ou mesmo quando estiver bloqueado por segurança.

Assim definido, podemos deduzir a seguinte fórmula:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{estado operativo}}{\text{estado operativo+estado não operativo}}$$

Máquinas e equipamentos podem estar em estado operativo ou não operativo, sendo que a rapidez de atuação do time de manutenção e a disposição de peças de reposição influenciarão diretamente no tempo de cada estado. Lembrando que quando as máquinas estão passando por atividades não planejadas, não estão operando de qualquer forma, logo a disponibilidade não é somente afetada pelas atividades emergenciais de reparo, mas também as executadas por ação do planejamento (THORLAY, 2019).

Além dos termos já definidos anteriormente, temos ainda os seguintes indicadores:
MUT: *Mean Up Time* (Tempo Médio Operacional)
MDT: *Mean Down Time* (Tempo Médio de Parada)

Assim, temos outras formas de calcularmos a disponibilidade média:

$$\text{Av} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF+MDT}} . 100$$

$$\text{Av} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF+(MTTR+Ta)}} . 100$$

Onde Ta é o tempo administrativo, podendo ser significativo muitas vezes.

$$\text{Ta} = \text{MDT} - \text{MTTR}$$

A preocupação dos profissionais de manutenção não se resume apenas ao tempo médio de reparo, mas sim todo o tempo que se inicia na detecção da falha, momento em que a função do equipamento foi perdida até a volta do mesmo, sendo feito o reparo e testes. Assim, nos referimos ao tempo total de parada DT (*Down Time*). Já o MTD (Mean Down Time) se refere a média dos DT's num determinado período.

$$\text{MDT} = \frac{\text{tempo total de parada}}{\text{quantidade de paradas}}$$

A Disponibilidade influencia diretamente nos resultados da empresa, sendo esse um indicador muito importante e um dos principais de manutenção (THORLAY, 2019).

2.14. MANTENABILIDADE

A norma brasileira NBR-5462 define Mantenabilidade como:

> A facilidade de um item ser mantido ou recolocado no estado no qual pode executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.

A partir da definição, entende-se como a probabilidade de se executar a manutenção dentro de um determinado tempo desde que os serviços de manutenção sejam executados com os procedimentos aplicáveis e que foram prescritos, podendo a ação ter natureza corretiva ou preventiva, planejada ou não (THORLAY, 2019).

O MTTR é o parâmetro que mede a mantenabilidade, sendo ele composto pelo tempo médio que se leva para executar uma manutenção (corretiva ou preventiva, já que se supõe que as de natureza preditiva são feitas com o equipamento em operação).

$$\text{MDT} = \frac{\text{Tempo total de parada}}{\text{quantidade de paradas}}$$

$$\text{MTTR} = \frac{(\text{Tempo total de parada} - \text{tempo administrativo})}{\text{quantidade de paradas}}$$

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tempo total de reparo}}{\text{quantidade de paradas}}$$

O autor Thorlay (2019) ainda destaca que a previsibilidade do Tempo para Reparar depende de fatores fundamentais como: Procedimentos claros; Pessoal de manutenção bem treinado, peças de reposição disponíveis e ferramental correto.

2.15. DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A distribuição de Weibull, publicada em 1951, descreve a distribuição do tempo de vida em vários padrões de falhas. Essa distribuição apresenta uma grande vantagem, pois através

dela conseguimos análises razoavelmente precisas e previsões de falhas com poucos dados disponíveis. A distribuição de Weibull utiliza três parâmetros:

• β: Parâmetro de forma;
• η: Parâmetro de escala;
• t0: Parâmetro de localização.

Entretanto, a distribuição de Weibull de 2 parâmetros é a mais utilizada para dados de falha no tempo, ela é representada pela Equação:

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

Sendo que, β e η devem ser maiores que zero. Desta forma, considerando os conceitos básicos descritos anteriormente a confiabilidade pode ser calculada através da Equação:

$$R(t) = e^{(\frac{-t}{\eta})^{\beta}}$$

E a taxa de falha:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} . \left(\frac{t}{\eta}\right)^{(\beta-1)}$$

Através do conhecimento de seu parâmetro β, podemos determinar a localização do equipamento na curva da banheira. A Figura abaixo representa os diferentes valores para β.

• β<1: Mortalidade infantil.
• β=1 Maturidade.
• β>1 Envelhecimento.

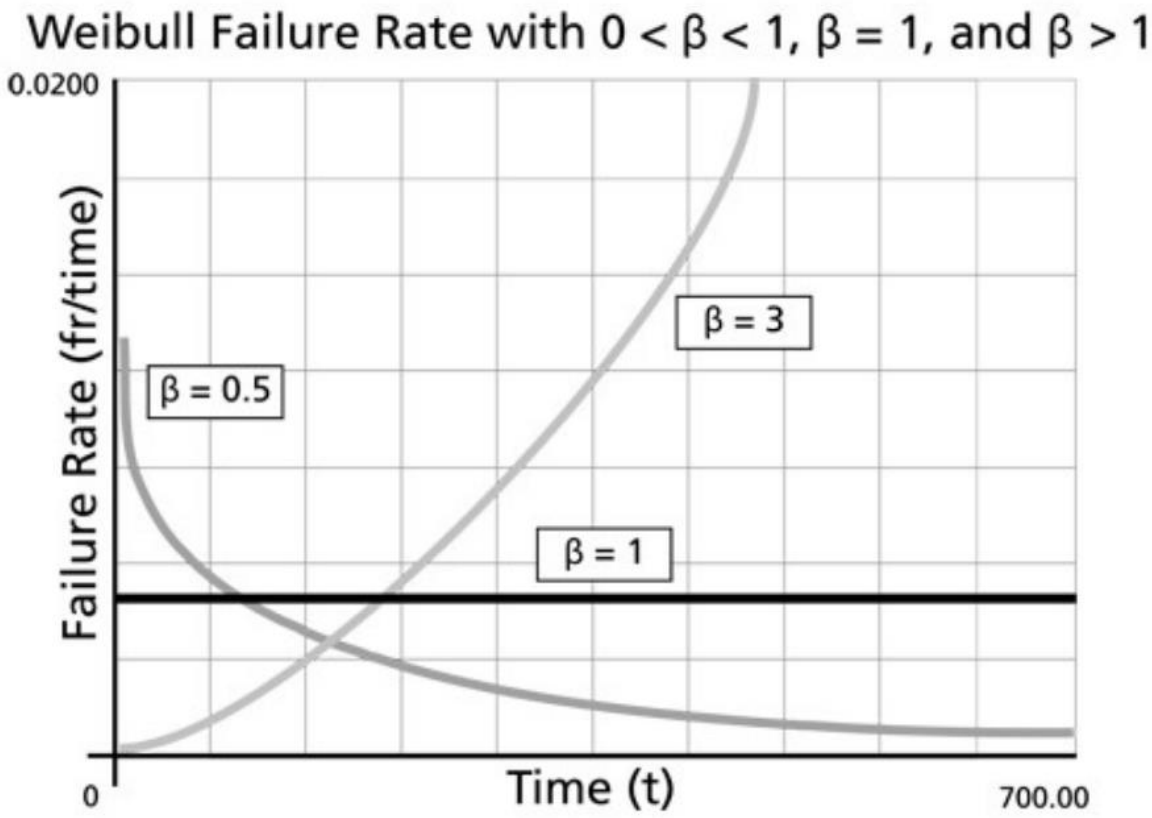


Figura 2 - Fator beta na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte: Notas de aula L. H. D. Alves)

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi escolhido um AGV (Automated Guided Vehicle). Os AGV's são veículos autoguiados com a função de carregar e transportar materiais pelo interior da fábrica, depósitos e áreas de carregamento. Guiados por demarcações no chão da fábrica e uma avançada tecnologia laser, AGVs são precisos e seguros, podendo se mover por espaços apertados e manobrar com habilidade superior às mãos humanas. Eles são usados normalmente para tarefas pesadas, repetitivas ou que demandam precisão e entrega na hora certa, podendo transportar materiais e produtos, levantar, carregar e descarregar, armazenar, entregar, sem a necessidade de condutores.

Figura 3 - AGV na indústria automotiva (Fonte: http://m.automotivebusiness.com.br/detalhe.aspx?id_noticia=13602)

O AGV estudado no caso possui um guiamento ótico, que segue um cabo sob o piso. Esses cabos emitem radiação em uma determinada frequência, identificada pelo AGV através de uma antena. Com a ajuda de um dispositivo chamado PLL, a frequência é processada, gerando uma tensão de referência utilizada pelo algoritmo de controle do robô para decidir o que será feito. Além disso, o seu processo de carga de baterias funciona com carregador a bordo, no qual a carga da bateria ocorre em períodos sem produção.

Com a utilização desses equipamentos, o abastecimento de componentes para montagem de toda a linha de produção é feito de forma automatizada, ágil e segura. Porém, quando ocorrem falhas, observamos os impactos na parada desse abastecimento, podendo vir a comprometer a produção de automóveis estipulados no dia. Ou seja, o bom funcionamento dos AGV's se torna indispensável para a fluidez de componentes pela linha produtiva, sem impactar na produção. A manutenção inesperada deles, além de gerar custos para a troca de peças por exemplo, ainda afetará o resultado da planta no geral.

Assim, buscando sempre uma melhor performance dos ativos da oficina, iremos, neste estudo, determinar a confiabilidade e a função cumulativa de taxa de falha utilizando, para isto, uma amostra de dados do equipamento coletada no período de 01 de Janeiro de 2020 a 31 de Dezembro de 2020.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

A empresa utiliza o sistema SAP, através de computadores e notebooks. Através dele os funcionários apontam a hora de início e fim para cada parada de um equipamento. Dessa forma, foi possível coletar os dados referentes às paradas registradas no inventário (AGV) escolhido. Parte dos dados coletados estão representado pela Tabela (1).

Ordem	Data-base do in	Data-base do	Status usu	Início da ava	ATUALIZAR Fim da avaria	Tipo de ord	Criado por	Texto breve	Equipamen
4871041	18/02/2020	18/02/2020	ASSI EXE	18/02/2020	18/02/2020	PM10	PM7103-6	AGV do estacionamento fora da tag	554310002829
4885220	12/03/2020	12/03/2020	ASSI EXE	12/03/2020	12/03/2020	PM10	PM7103-4	Agv 61 não consegue ultrapssar a chapa	554310002829
4885752	13/03/2020	13/03/2020	ASSI EXE	13/03/2020	13/03/2020	PM10	PM7103-5	bateria descarregada	554310002829
4922933	23/06/2020	23/06/2020	ASSI EXE	23/06/2020	23/06/2020	PM10	PM7103-5	agv parou fora de posição	554310002829
4924544	26/06/2020	26/06/2020	ASSI EXE	26/06/2020	26/06/2020	PM10	PM7103-5	agv fora de posiçao	554310002829
4942064	24/07/2020	24/07/2020	ASSI EXE	24/07/2020	24/07/2020	PM10	PM7103-2	P1 170 - Movimentação do AGV 61	554310002829
4943562	28/07/2020	28/07/2020	ASSI EXE	28/07/2020	28/07/2020	PM10	PM7113-1	Falha nos modulos PII.	554310002829
4943568	28/07/2020	28/07/2020	ASSI EXE	28/07/2020	28/07/2020	PM10	PM7113-1	Falha nos modulos PII.	554310002829
4956493	12/08/2020	12/08/2020	ASSI EXE	12/08/2020	12/08/2020	PM10	PM7113-1	AGV sem bateria na entrada da P01	554310002829
4956177	13/08/2020	13/08/2020	ASSI EXE	13/08/2020	13/08/2020	PM10	PM7113-1	Acabou a bateria do agv P01	554310002829
4959021	19/08/2020	19/08/2020	ASSI EXE	19/08/2020	19/08/2020	PM10	RBASTOS	AGV 61 ACABOU A BATERIA	554310002829
4958920	20/08/2020	20/08/2020	ASSI EXE	20/08/2020	20/08/2020	PM10	PM7113-1	Bateria carga baixa	554310002829
4967601	03/09/2020	03/09/2020	ASSI EXE	03/09/2020	03/09/2020	PM10	PM7103-2	agv perdeu a frequencia	554310002829
5019811	20/11/2020	20/11/2020	ASSI EXE	20/11/2020	20/11/2020	PM10	PM7113-1	Falha no scaner AGV 61	554310002829
5026626	26/11/2020	26/11/2020	ASSI EXE	26/11/2020	26/11/2020	PM10	PM7113-1	Falha no potenciometro do agv	554310002829

Tabela 1 - Dados coletados SAP (Fonte: empresa automotiva)

Para levantar o tempo para falha (TTF) foi necessário refinar os dados na Tabela (1), pois ela não apresenta o tempo em que o equipamento ficou ativo. Sendo assim, foi feito um refino das informação, com a ajuda de uma base de dados com o tempo de jornada de cada dia do ano (516 minutos por dia de trabalho, seguindo fielmente a escala de trabalho) de referência até chegarmos nos dados representados na Tabela (2).

Equipamento	Data	Hora início	Hora do fi	Tempo	Indisponibilidade	Indisponibilidade (min)	TTF	TTF em h
554310002829	18/02/2020	13:00:00	13:10:00	00:10:00	0,17	10,2	16392	273
554310002829	12/03/2020	15:50:00	16:05:00	00:15:00	0,25	15	8512	142
554310002829	13/03/2020	12:15:00	12:45:00	00:30:00	0,50	30	518	9
554310002829	23/06/2020	14:53:00	14:57:00	00:04:00	0,07	4,2	17748	296
554310002829	26/06/2020	13:20:00	13:36:00	00:16:00	0,27	16,2	1064	18
554310002829	24/07/2020	14:38:00	14:47:00	00:09:00	0,15	9	9576	160
554310002829	28/07/2020	09:18:00	09:27:00	00:09:00	0,15	9	512	9
554310002829	28/07/2020	09:38:00	09:41:00	00:03:00	0,05	3		0
554310002829	12/08/2020	14:25:00	14:42:00	00:17:00	0,28	16,8	5772	96
554310002829	13/08/2020	14:15:00	14:33:00	00:18:00	0,30	18	518	9
554310002829	19/08/2020	13:52:00	14:10:00	00:18:00	0,30	18	1596	27
554310002829	20/08/2020	09:15:00	09:20:00	00:05:00	0,08	4,8	518	9
554310002829	03/09/2020	13:15:00	13:25:00	00:10:00	0,17	10,2	5200	87
554310002829	20/11/2020	14:55:00	15:06:00	00:11:00	0,18	10,8	29306	488
554310002829	26/11/2020	23:10:00	23:40:00	00:30:00	0,50	30	2660	44

Tabela 2 - Dados Refinados de acordo com Jornada (Fonte: o autor)

Para a obtenção dos valores de fator de forma (β) e fator de escala (η) foi utilizado o conceito de probabilidade Median Rank com a utilização do software Microsoft Excel. Para isso, foi ordenado os valores em ordem decrescente, como mostra a Tabela (3).

Rank	TTF
1	9
2	9
3	9
4	9
5	18
6	27
7	44
8	87
9	96
10	142
11	160
12	273
13	296
14	488

Tabela 3 - TTF em ordem crescente (Fonte: o autor)

Com os valores em ordem crescente, foi possível fazer os cálculos necessários para a análise utilizando o *Microsoft Excel*, como se mostra a seguir:

Rank	TTF	Median Rank	1/(1-MR)	LN(LN(1/(1-MR)))	LN(TTF)
1	9	0,048611111	1,051094891	-2,999090431	2,143980063
2	9	0,118055556	1,133858268	-2,074444344	2,15563068
3	9	0,1875	1,230769231	-1,571952527	2,15563068
4	9	0,256944444	1,345794393	-1,214075448	2,15563068
5	18	0,326388889	1,484536082	-0,928610507	2,875446108
6	27	0,395833333	1,655172414	-0,685367162	3,280911216
7	44	0,465277778	1,87012987	-0,468392324	3,79173684
8	87	0,534722222	2,149253731	-0,267721706	4,462069342
9	96	0,604166667	2,526315789	-0,076058454	4,566429358
10	142	0,673611111	3,063829787	0,113030157	4,954887649
11	160	0,743055556	3,891891892	0,306672154	5,072670685
12	273	0,8125	5,333333333	0,515201894	5,610204128
13	296	0,881944444	8,470588235	0,75921576	5,68968355
14	488	0,951388889	20,57142857	1,106548431	6,19120299

Tabela 4 - Cálculo da Median Rank (Fonte: o autor)

Utilizando a ferramenta Análise de Dados, foi possível a obtenção da Regressão Linear entre a coluna 5 e 6 da Tabela (4). Com isso, teremos os valores dos parâmetros para (β) e (η).

Através dos resultados da regressão linear foi possível obter os valores de alfa e beta, como mostra na Figura (4).

RESUMO DOS RESULTADOS								
Estatística de regressão								
R múltiplo	0,933801947							
R-Quadrado	0,871986077							
R-quadrado ajustado	0,86131825							
Erro padrão	0,426394404							
Observações	14							
ANOVA								
	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*			
Regressão	1	14,86129247	14,86129247	81,73980342	1,05231E-06			
Resíduo	12	2,18174625	0,181812188					
Total	13	17,04303872						
	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	-3,388845597	0,335633495	-10,09686353	3,22676E-07	-4,120128162	-2,657563032	-4,120128162	-2,657563032
LN(TTF)	0,725124509	0,080203956	9,04100677	1,05231E-06	0,550375101	0,899873918	0,550375101	0,899873918
Beta	0,725124509							
Alfa	107,068325							

Figura 4 - Resultado da análise de Regressão Linear (Fonte: o autor)

O parâmetro β informa se a taxa de falha no equipamento escolhido é crescente, constante ou decrescente. Baseando-se na curva da banheira, se β for menor do que 1 o ativo está na fase de mortalidade infantil. Se β for igual a 1 temos um indicativo de falha constante. Para os valores de β maiores do que 1 temos a situação de uma taxa de falhas crescente.

Observando o resultado dos dados é possível verificar que β deu aproximadamente 0,725, ou seja, o AGV em questão apresenta uma taxa de falha decrescente (mortalidade infantil), indicando que o produto falha logo no seu período de "nascimento".

A característica de vida, ou parâmetro α é uma medida de escala ou propagação com relação à distribuição dos dados. Ele representa o número de horas em que há 63,2% do chance do equipamento falhar. Fazendo a análise de confiabilidade para nosso exemplo em que α=107,068, significa dizermos que somente 36,8% dos AGV's sobrevivem após um período de 107,068 horas.

O cálculo da regressão linear também nos mostra a confiabilidade existente para os dados. Quando maior o valor para F melhor será a adequação da reta. Para isso, é possível verificar que o valor para F de significação representa um valor bem baixo. Sendo assim, temos um cálculo de probabilidade dos dados devidamente preciso. A Figura (5) apresenta o ajuste da curva pela regressão linear.

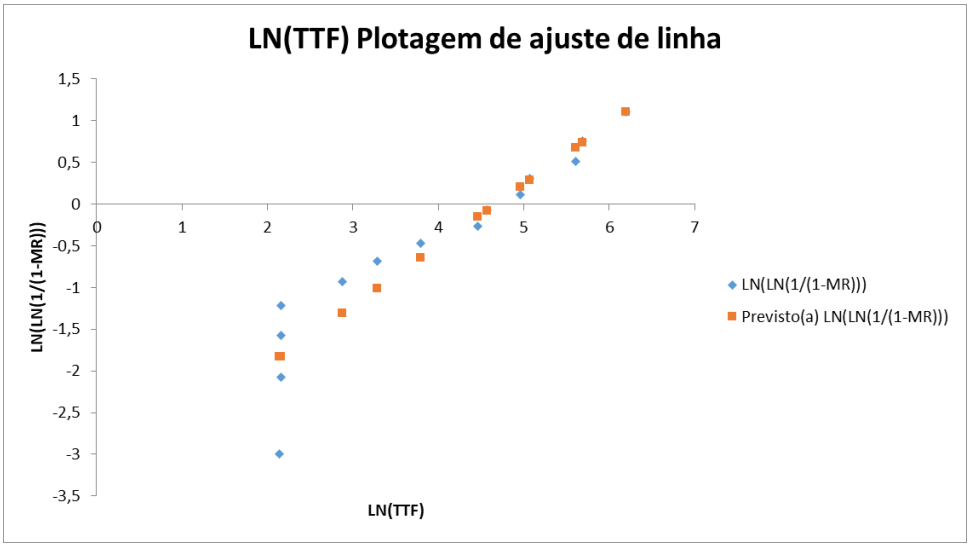


Figura 5 - Gráfico com os ajustes da curva (Fonte: o autor)

Com os valores de β e α avaliamos a confiabilidade e a probabilidade de falha do AGV durante um intervalo de tempo previamente determinado. A Tabela (5) apresenta os cálculos realizados, utilizando o método de distribuição de Weibull.

Parâmetros Weibull	
Beta	0,725124509
Alfa	107,068325

Cust Prev	R$ 300,00
Cust Cor	R$ 1.500,00

TTF	F(t)	R(t)
35	0,35886	0,64114
70	0,52040	0,47960
105	0,62692	0,37308
140	0,70319	0,29681
175	0,76021	0,23979
210	0,80404	0,19596
245	0,83839	0,16161
280	0,86573	0,13427
315	0,88774	0,11226
350	0,90563	0,09437
385	0,92030	0,07970
420	0,93240	0,06760
455	0,94245	0,05755
490	0,95085	0,04915

Tabela 5 - Probabilidade de falha e confiabilidade (Fonte: o autor)

Através da Figura (6) é possível observar que no decorrer do tempo ocorre queda na confiabilidade e um aumento na taxa de falha. Esse comportamento da curva é comum para todos os equipamentos, porém no caso analisado tivemos uma queda da confiabilidade com poucas horas de operação. Esse fato ocorre devido ao valor de β ser menor do que 1, indicando assim uma taxa de falha decrescente, dessa forma, após um curto período de tempo, a ocorrência

de falhas cresce até que se estabiliza rapidamente, com um comportamento diferente em comparação de casos com o β maior que 1. Além disso, como já foi mostrado, o valor encontrado para α representa o momento em que o equipamento tiver uma probabilidade de falha de 63,2%. Sendo α um valor baixo temos que a confiabilidade irá decair em um curto período.

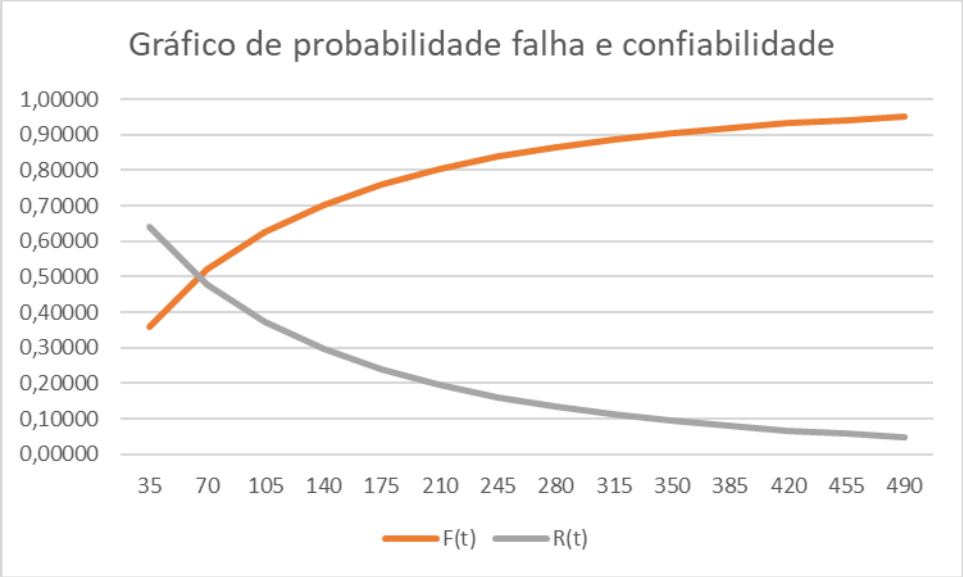


Figura 6 - Gráfico de probabilidade de falha e confiabilidade (Fonte: o autor)

Após avaliar a probabilidade de falha do equipamento, vê-se necessário verificarmos o custo gerado pelo equipamento. Através dos dados estipulados com base em pesquisas, foi considerado o custo de manutenção preventiva como R$300,00. Por ser um equipamento robusto porém com funcionamento relativamente simples, com uma tecnologia já dominada e utilizada a algum tempo pela empresa, o custo de uma manutenção corretiva apresentou-se ser não tão mais elevado quando comparada ao custo de preventiva, sendo em média R$1500,00. É importante ressaltar que agrupado a esse custo já estão os valores de homem/hora trabalhando na manutenção.

Com as funções e curvas obtidas, é possível associar os custos de manutenção preventiva e corretiva para obter o custo total de manutenção. Para isto, o primeiro passo é equalizar os custos, calculando-os por unidade de tempo.

O custo de manutenção preventiva por unidade de tempo é o equivalente ao custo de manutenção preventiva multiplicado pela função confiabilidade R(t) e dividido pela integral da função R(t). Já o custo de manutenção corretiva é calculado de forma similar, bastando substituir a função confiabilidade R(t) pela função F(t) pertinente à probabilidade de falha.

Para avaliarmos o custo das manutenções, calculamos a confiabilidade e a taxa de falha através do método de distribuição de Weibull. O intervalo escolhido foi baseado na Figura (5), onde em 490 horas teremos 100% de probabilidade de falha do equipamento. Sendo assim, a avaliação de custo foi calculada com intervalo de valores de 10 horas. A Tabela (6) mostra uma parte dos cálculos realizados para analisarmos os custos.

TTF	F(t)	R(t)	Trapézio	Integral de R(t)	Custo preventiva	Custo corretiva	Custo total
0	0	1					
10	0,164071502	0,835928	9,179642				
20	0,256395166	0,743605	7,897667	17,07730915	13,06303284	22,52068785	35,58372069
30	0,328003748	0,671996	7,078005	24,15531458	8,34594287	20,36842124	28,71436411
40	0,38719388	0,612806	6,424012	30,57932644	6,011964861	18,99292389	25,00488875
50	0,437697547	0,562302	5,875543	36,45486931	4,62738556	18,00983883	22,63722439
60	0,481641851	0,518358	5,403303	41,85817231	3,715103552	17,25977836	20,97488191
70	0,520398404	0,479602	4,989799	46,84797104	3,071221138	16,66235672	19,73357786
80	0,554922267	0,445078	4,623397	51,47136769	2,594128071	16,17177546	18,76590354
90	0,585914355	0,414086	4,295817	55,76718458	2,227576927	15,75965397	17,9872309
100	0,613909115	0,386091	4,000883	59,76806723	1,937945644	15,40728544	17,34523109
110	0,63932609	0,360674	3,733824	63,50189121	1,703920483	15,10174132	16,8056618
120	0,66250222	0,337498	3,490858	66,99274966	1,511347637	14,83374448	16,34509212
130	0,683713133	0,316287	3,268923	70,26167289	1,35046685	14,59643156	15,94689841
140	0,703187731	0,296812	3,065496	73,32716857	1,214334094	14,38459464	15,59892873
150	0,721118534	0,278881	2,878469	76,20563725	1,097877308	14,19419664	15,29207395
160	0,73766921	0,262331	2,706061	78,91169853	0,997307605	14,02205041	15,01935801
170	0,752980187	0,24702	2,546753	81,45845155	0,909739166	13,8655997	14,77533886
180	0,767172925	0,232827	2,399234	83,85768599	0,832936442	13,72276582	14,55570226
190	0,780353211	0,219647	2,262369	86,12005531	0,765141597	13,59183773	14,35697932
200	0,792613763	0,207386	2,135165	88,25522044	0,704954004	13,47139171	14,17634571
210	0,804036289	0,195964	2,01675	90,27197018	0,651244382	13,36023165	14,01147603
220	0,814693151	0,185307	1,906353	92,17832298	0,603092496	13,25734388	13,86043637

Tabela 6 - Parte do cálculo para os custos (Fonte: o autor)

Com os cálculos da Tabela (6) traçou-se o gráfico com os dados de cada custo representado pela Figura (7). Como esperado, os custos das manutenções concentraram-se nas primeiras horas de atividade do AGV.

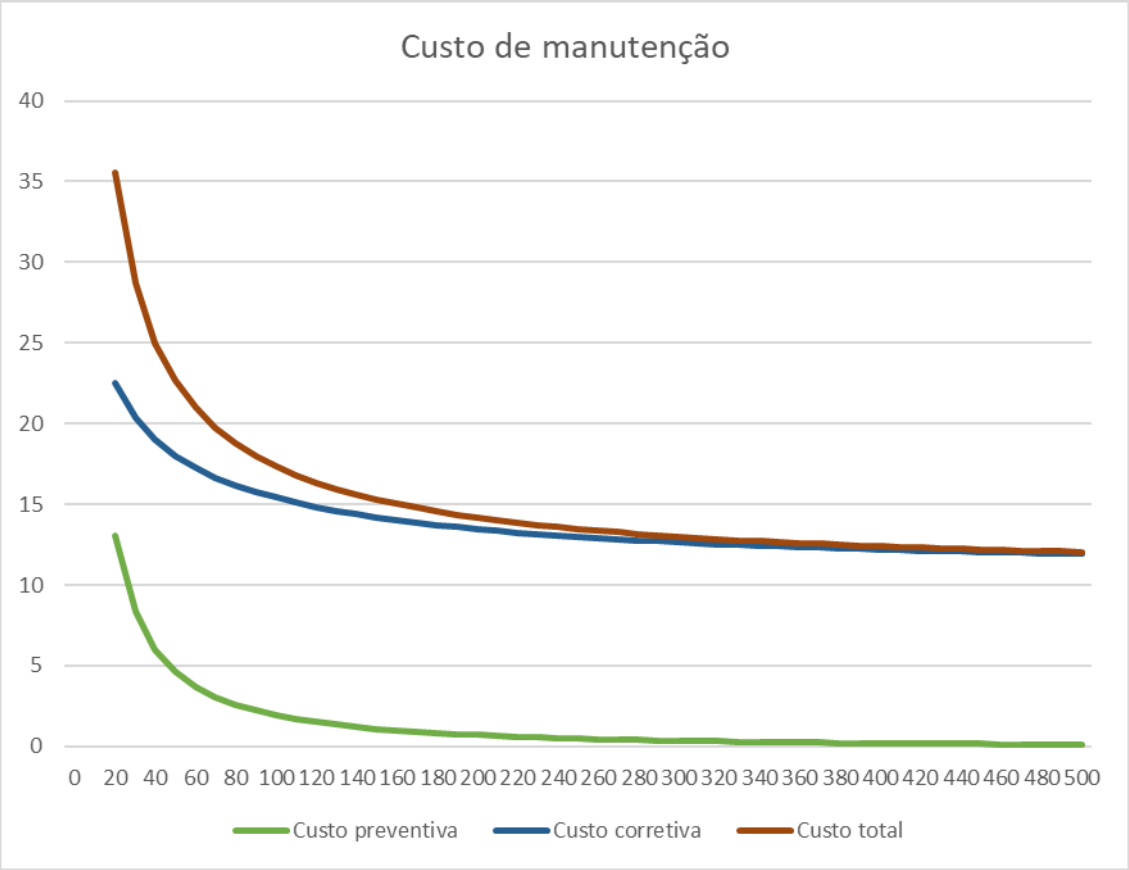


Figura 7 - Gráfico de custo de manutenção (Fonte: o autor)

5. CONCLUSÕES

O objetivo geral deste trabalho foi alcançado com satisfação, uma vez que foi possível avaliar o equipamento proposto. O conhecimento do estado atual do AGV poderá ajudar a empresa a implementar soluções para melhorar a disponibilidade e a confiabilidade do equipamento.

Pelos cálculos obtidos, a manutenção preventiva do AGV deveria ocorrer no intervalo de 500 horas. Porém, por ser um equipamento com taxa de falha decrescente, vê-se necessário a realização de uma verificação constante sobre seu estado. Dessa forma, mesmo que após um tempo observado aquele equipamento tenda a estabilizar a sua ocorrência de falhas, se faz necessária a conferência mais periódica de seus componentes.

A escolha pelo uso do software Microsoft Excel, amplamente empregado por essa e outras empresas, viabiliza a utilização da distribuição Weibull sem a necessidade da aquisição de um programa com custo elevado, o que facilita o monitoramento da confiabilidade de equipamentos e probabilidade de falhas. Dessa forma, qualquer empresa com coleta de dados fidedignas da

realidade, com capacidade analítica e a ferramenta utilizada nesse trabalho será capaz de verificar periodicamente os indicadores citados.

Fica evidente após o término da análise que o AGV, apesar de ter apresentado um número significativo de falhas ao longo do ano de 2020, com indicador de MTTR relativamente alto também quando comparado a outros inventários (13,68 minutos), mostrou que está na fase de mortalidade infantil, com taxa decrescente de falhas ao longo do tempo. Essa informação serve para orientar a gestão da manutenção que o trabalho que tem sido feito sobre o equipamento se mostrou eficaz e poderá ser replicado para os outros AGV's utilizados na planta.

Como desafios para trabalhos futuros, fica sugestão de organizar um gerenciador que facilite o cálculo do TTF de acordo com a jornada de trabalho de todos os equipamentos, para que os indicadores sejam mais facilmente calculados e de forma periódica como reporte de indicadores importantes da Manutenção. Outra sugestão seria a definição concreta dos custos envolvidos com a manutenção corretiva e preditiva do tipo de equipamento envolvido nesse trabalho, coletados em uma amostra de tempo de forma a facilitar uma análise mais acertiva.

6. REFERÊNCIAS

AL-TURKI, U. and DUFFUAA, S. (2003), **“Performance measures for academic departments”**, International Journal of Educational Management, Vol. 17 No. 7, pp. 330-8.

ALVES, L. H. (2020). **Notas de Aula: Gestão da Manutenção**. Universidade Federal de Juiz de Fora.

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000. Disponível em: <http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf> Acesso em 03 nov. 2020.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **"Manutenção mecânica industrial-conceitos básicos e tecnologia aplicada."** Editora Érica (2015).

ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2018. São Paulo, 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5462: **Confiabilidade e mantenabilidade**. ABNT, 1994.

BERTÓ, Dalvio José; BEULKE, Rolando. **Gestão de custos**. Saraiva Educação SA, 2017.

BITICTI, U.S., Carrie, A.S. and McDevitt, L. (1997), **“Integrated performance measurement systems: a development guide”**, International Journal of Operation & Production Management, Vol. 17 No. 5, pp. 522-34.

Bititci, Umit S. **"Modelling of performance measurement systems in manufacturing enterprises."** International journal of production economics 42.2 (1995): 137-147.

CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto, et al. "**Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**." *Rio de Janeiro: Elzevir* (2010).

GRIFO, Equipe. **Iniciando os conceitos da qualidade total**. São Paulo: Pioneira, 1994.

Handbook, Military. "**MIL-STD-721C definitions for terms for reliability and maintainability**." Department of Military, USA (1981).

International Electrotechnical Commission (2006), **“International electrotechnical vocabulary”,** IEV 191-07-01, disponível em: http://std.iec.ch/iev/iev.nsf (acessado em 23 de outubro).

Kaplan, Robert S., and David P. Norton. "**Transforming the balanced scorecard from performance measurement to strategic management: Part I.**" *Accounting horizons* 15, no. 1 (2001): 87-104.

KAPLAN, Robert S.; NORTON, David P. **Organização orientada para a estratégia: como as empresas que adotam o balanced scorecard prosperam no novo ambiente de negócios**. Gulf Professional Publishing, 2000.

KAPLAN, Robert S.; NORTON, David P. **A Estratégia em Ação: Balance Scorecard.** Tradução Luiz Euclides Trindade Franzão Filho. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

KARDEC, Alan; NACIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica.** 2ªedição. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica.** 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

KENNERLY, M. e NEELY, A. (2003), **"Measuring performance in a changing business environment"**, International Journal of Operation & Production Management, Vol. 23 No. 2, pp. 213-29.

Lingle, John H., and William A. Schiemann. "**From balanced scorecard to strategic gauges: is measurement worth it?**." *Management review* 85, no. 3 (1996): 56.

MARTINS, Roberto Antonio; COSTA NETO, Pedro Luiz de Oliveira. **Indicadores de desempenho para a gestão pela qualidade total: uma proposta de sistematização**. **Gest. Prod.**, São Carlos , v. 5, n. 3, p. 298-311, Dec. 1998 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X1998000300010&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 06 Oct. 2020.

MOUBRAY,John.**Reliability-Centered Maintenance.** Great Britain, 1997.
MIRSHAWKA, V. **Manutenção Preditiva: caminho para zero defeitos.** 1. ed. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.

MEYER, Christopher. Como os indicadores adequados contribuem para a excelência das equipes. **Harvard Business Review, Medindo o desempenho empresarial. Rio de Janeiro: Campus**, 2000.

MEYER, M.W. e GUPTA, V. (1994), **"The performance paradox"**, in Straw, B.M. and Cummings, L.L. (Eds), Research in Organizational Behavior, Vol. 16, JAI Press, Greenwich, CT, pp. 309-69.

NP 4483.**Sistemas de gestão da manutenção, Requisitos**. 2009.

NP EN 13306.**Terminologia da Manutenção**. 2007.

NEELY, A.D. (1999), **"The performance measurement revolution: why now and where next"**, International Journal of Operation & Production Management, Vol. 19 No. 2, pp. 205-28.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2008.

Paiva, E. V., da Fonseca, F., Corgozinho, P. R., & Ferreira, R. M. (1999). **Gestão de Custos**. In *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*.

PARIDA, A. and Kumar, U. **Maintenance Performance Measurement (MPM): Issues and Challenges.**JournalofQuality in MaintenanceEngineering, 2006. Vol. 12 No. 3, p. 239-251.
SLACK, N; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SUDHAKAR, P.R *An introduction to quality improvement through Taguchi method*. **Industrial Engineering**, Norcross, v.27, n.1, p. 53-58, 1995.

THORLAY, Willian. **A Engenharia de Confiabilidade na Moderna Gestão de Ativos: Uma Abordagem Prática**. São Paulo, 2019, pág 25-115.

WEALLEANS, D. (2000), **Organizational Measurement Manual,** Ashgate Publishing, Abingdon.

ANEXO E – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 17 de MARÇO de 2021.

JOSÉ CARLOS LEITE DE ALVARENGA F.	201249016
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
José Carlos L. de Alvarenga Filho	118.564.536-50
ASSINATURA	CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.

Digitalizado com CamScanner