

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CAMPUS UFJF
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

GABRIELA BONOTO SANTOS

**APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DA MODERNA GESTÃO DE ATIVOS PARA
AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS NUMA EMPRESA DE
TRANSPORTE FERROVIÁRIO**

**Juiz de Fora
2021**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CAMPUS UFJF
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GABRIELA BONOTO SANTOS

**APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DA MODERNA GESTÃO DE ATIVOS PARA
AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS NUMA EMPRESA DE
TRANSPORTE FERROVIÁRIO**

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 Engenheira Mecânica.

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)

Santos, Gabriela Bonoto.

Aplicação dos conceitos da moderna gestão de ativos para aumentar a disponibilidade de equipamentos numa empresa de transporte ferroviário / Gabriela Bonoto Santos. -- 2021.

42 p. : il.

Orientador: Luiz Henrique Dias Alves

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2021.

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pois toda honra e toda glória são em nome Dele. Agradeço aos meus pais, por todos os esforços e tudo que abdicaram de suas vidas para proporcionarem a mim, chegar nesse momento de imensa realização e gratidão. À minha irmã por todo o apoio e cumplicidade, por todos os momentos que fez com que a jornada se tornasse mais leve e por seu meu maior exemplo de foco e determinação.

Ao meu orientador, Luiz Alves, pela oportunidade em absorver tanto conhecimento de suas experiências profissionais e acadêmicas, além de todo o apoio e suporte na elaboração desse trabalho.

RESUMO

A manutenção é um dos pilares de qualquer setor que busque constantemente aumentar a confiabilidade e desempenho da produção. Afinal, nestes casos, as estratégias de gerenciamento das intervenções são diretamente responsáveis pela disponibilidade dos ativos, e conseqüentemente, definem os resultados da companhia. No setor ferroviário não é diferente, o volume de cargas transportadas por esse modal vem crescendo há anos e por isso cada vez mais torna-se indispensável não só saber os métodos de intervenção nos ativos, mas também saber decidir quais desses são vantajosos para um determinado equipamento, para que a gestão da manutenção permita melhorias do ponto de vista financeiro e operacional. Dessa forma, surge a necessidade de analisar o processo e fornecer ferramentas que permitam uma melhor performance das programações. Nesse sentido, esse trabalho tem caráter qualitativo e quantitativo, classificado como uma pesquisa descritiva com características aplicadas, também pelo método de estudo de caso. Portanto, será realizada análise dos indicadores de confiabilidade e disponibilidade e como eles impactam nos resultados financeiros da empresa, para, portanto, permitir identificar os gaps e mitigá-los.

Palavras chave: Manutenção. Confiabilidade. Disponibilidade. Weibull.

ABSTRACT

Maintenance is one of the pillars of any sector that constantly seeks to increase production reliability and performance. After all, in these cases, intervention management strategies are directly responsible for the availability of assets, and consequently, define the company's results. In the railway sector it is no different, the volume of cargo transported by this mode has been growing for years and that is why it is becoming more and more indispensable not only to know the methods of intervention in the assets, but also to know which ones are advantageous for a given equipment, so that maintenance management allows improvements from a financial and operational point of view. Thus, there is a need to analyze the process and provide tools that allow a better performance of the schedules. In this sense, this work has a qualitative and quantitative character, classified as a descriptive research with applied characteristics, also by the case study method. Therefore, an analysis of the indicators of each stage and how they are collected between these stages will be carried out, therefore, allowing to identify the gaps and mitigate them.

Keyword: Maintenance. Reliability. Availability. Weibull.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Relacionamento entre os diversos planos relativos à gestão de ativos.....	16
Figura 2: Etapas da atuação da manutenção para alcançar a excelência - Gestão de Ativos.....	18
Figura 3: Matriz de Criticidade.....	19
Figura 4: Curva Característica da Vida de Equipamentos (Curva da Banheira).....	22
Figura 5: Gráficos representativos do fator de forma.....	23
Figura 6: Ciclo de Vida do Ativo.....	25
Figura 7: Resumo dos resultados da regressão aplicada no <i>software</i>	33
Gráfico 1: Ajuste de linha dos dados.....	33
Gráfico 2 : Relação de probabilidade de falha e confiabilidade.....	34
Gráfico 3: Custo de Manutenção.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição percentual de recursos no Brasil para cada tipo de manutenção.....	15
Tabela 2: Tabela de classificação dos ativos a partir do número de ocorrências....	29
Tabela 3: Disponibilidade do equipamento.....	31
Tabela 4: Relação crescente do tempo das amostragens.....	32
Tabela 5: Cálculos base para regressão linear.....	32
Tabela 6: Resultados probabilidade de falha e confiabilidade.....	34
Tabela 7: Resultados dos custos de manutenção.....	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANTF - Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários

SAMP - Strategic Asset Management Plan

AMP- Asset Management Plan

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos

IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

PCM - Planejamento e controle da Manutenção

TMEF - Tempo Médio Entre Falhar

TMPR - Tempo Médio Para Reparo

TTF – Time to Fail (tempo para falhar)

β : Beta - Parâmetro de Forma

η : Eta - Parâmetro de Escala

λ : Lambda - Taxa de Falha

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Considerações Iniciais.....	9
1.2. Justificativa.....	10
1.3. Objetivo geral.....	11
1.3.1. Objetivos específicos.....	11
1.4. Estrutura do Trabalho.....	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1. A manutenção.....	12
2.2. Os tipos de manutenção.....	14
2.3. O planejamento estratégico na manutenção.....	15
2.4. Plano de gestão de ativos.....	16
2.5. A relação: Gestão de Manutenção e de Ativos.....	17
2.5.1.2. Matriz de Criticidade.....	19
2.5.1.3. Padrões e Procedimentos.....	20
2.5.2. PCM/Execução.....	20
2.5.3. Manutenção Proativa.....	24
2.5.5.1. Análise de Falhas.....	25
3. METODOLOGIA	27
3.1. O Contexto.....	27
3.2. A gestão aplicada aos ativos.....	27
3.3. O estudo de caso.....	29
3.3.1. O equipamento: Esmeriladora de trilhos.....	31
4. RESULTADOS	31
5. CONCLUSÃO	37

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

No mundo corporativo a estratégia é a definição de onde se deve concentrar esforços para atingir metas e permitir que a produção atual, bem como o volume projetado para os próximos anos seja atingido. E, atualmente, a competitividade gerada pelo grande número de concorrentes, bem como a evolução que o mercado exige de cada um deles, faz com que ganhe cada vez mais notoriedade o tratamento da gestão estratégica de ativos da empresa.

Para que uma companhia melhore sua performance e atinja um excelente desempenho é necessário pensar nos fatores que impactam diretamente na qualidade e quantidade do transporte e, dessa forma, os indicadores de manutenção, confiabilidade e disponibilidade, são pontos chaves que devem ser perseguidos em relação à gestão dos ativos físicos.

Segundo a norma ABNT NBR ISO 55000 (2014, p. 7):

O controle eficaz e a governança dos ativos pelas organizações são essenciais para obter valor por meio do gerenciamento de riscos e oportunidades, a fim de atingir o equilíbrio desejado entre custo, risco e desempenho. Os ambientes, regulatório e legislativo, nos quais as organizações operam são cada vez mais desafiadores, e os riscos inerentes que muitos ativos apresentam estão em constante evolução.

No Brasil, desde que as ferrovias foram concedidas à iniciativa privada, em 1996, o transporte ferroviário de carga sofreu uma profunda transformação, uma vez que as empresas associadas à Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários – ANTF buscam continuamente o aperfeiçoamento de suas atividades. Esse esforço contínuo se reflete nos números do setor, que vem ampliando significativamente o volume transportado, tendo um aumento de 95% entre 1997 e 2019, segundo a ANTF. Ademais, ao longo desses anos os investimentos no setor foram proporcionalmente significativos, as ferrovias já investiram mais de R\$ 75 bilhões (valores correntes), que representam mais de R\$ 113 bilhões se atualizados pelo IPCA de 2019. Esses recursos foram destinados, principalmente, a melhoria e recuperação da malha, a compra e reforma de material rodante, aquisição de novas

tecnologias, capacitação profissional, qualificação das operações, entre outros. Dessa forma, para atender a toda crescente demanda é preciso que os investimentos sejam consumidos de maneira estratégica, garantindo que os equipamentos cumpram sua função, com uma taxa de degradação reduzida pelo desgaste natural do uso e estejam disponíveis para atender ao programa de produção da empresa.

Aproveitando oportunidades nesse cenário, esse trabalho propõe estudar e aplicar os conceitos da moderna gestão de ativos para aumentar a disponibilidade de equipamentos de via empregados no transporte ferroviário.

1.2. Justificativa

Em mais de 20 anos de concessão à iniciativa privada, as ferrovias ampliaram sua participação na matriz modal do Brasil, respondendo até em 2019 por cerca de 15% de “*Market share*”. Segundo a ANTF, para se ter uma ideia da importância das ferrovias na logística, mais de 95% dos minérios chegam aos portos brasileiros pelos trilhos. O modal responde pelo transporte de mais de 45% dos grãos sólidos agrícolas exportados e, no caso do açúcar, esse índice é de 49%.

Porém, nos grandes países desenvolvidos, de dimensões também continentais, como Canadá, Rússia e China, ainda há uma maior densidade da malha, correspondendo a cerca de 46%, 81% e 37%, respectivamente.

Visto isso, é notável que ainda há espaço para crescer e, portanto, em paralelo a esses avanços, os processos e equipamentos também devem ser modernizados e estarem disponíveis para atender a demanda. Nesse contexto, insere-se a manutenção, a qual precisa estar voltada para os resultados da organização. Seu objetivo não pode ser simplesmente reparar o equipamento ou instalação, mas sim manter sua função disponível para operação, reduzindo ao máximo a probabilidade de uma parada de produção não planejada (KARDEC & NASCIF, 2010).

Dada essa percepção, a justificativa desse trabalho é a importância da gestão dos ativos, uma vez que é um assunto pouco explorado. As referências utilizadas são, em suma, voltadas a conceitos mais abrangentes de linhas de produção

industrial e, por isso, esse trabalho propõe um estudo mais específico, ainda que complexo, devido às peculiaridades do mercado ferroviário.

1.3. Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é aplicar conceitos da moderna gestão de ativos para verificar a confiabilidade e disponibilidade de equipamentos críticos em uma empresa ferroviária que opera no sudeste brasileiro.

1.3.1. Objetivos específicos

Em um primeiro momento serão mapeados alguns ativos da empresa, a fim de avaliar superficial e genericamente aqueles que apresentam condições mais críticas quanto a disponibilidade. Por conseguinte, serão mapeadas todas as programações de manutenção num determinado histórico e, a partir dessas informações, serão extraídos os dados pertinentes ao nosso estudo de aplicação da gestão de ativos, para, então, verificar-se a confiabilidade/disponibilidade.

1.4. Estrutura do Trabalho

Este trabalho será apresentado em quatro capítulos.

O primeiro capítulo apresenta uma introdução sobre a manutenção, dando destaque para a maneira como ela é planejada, controlada e acompanhada, apresentando a teoria que envolve alguns aspectos como planejamento, controle e processos, e que servem de base para que a manutenção alcance os objetivos projetados com eficiência e qualidade.

No capítulo dois será realizada uma contextualização da empresa de modo geral, atuante no segmento ferroviário nacional, e que por razão de sigilo não terá o nome divulgado e seus dados textuais e numéricos serão preservados. E será aprofundado o entendimento do seu atual processo de manutenção e gestão de ativos físicos.

No capítulo três serão descritos os resultados da análise dos indicadores, de modo a tornar factível o mapeamento das estratégias de melhorias para propiciar um controle mais eficaz por parte do processo de gestão de manutenção e de ativos.

No quarto capítulo serão apresentadas as conclusões deste trabalho.

O desenvolvimento foi realizado mediante revisão bibliográfica com objetivo centrado na fundamentação teórica por pesquisas em livros, artigos e cases.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A manutenção

Há muitas definições e conceitos para o termo “manutenção” e em grande parte, são focados os aspectos de prevenção e recuperação de falhas. A crença que o aumento da produção depende de mais e melhores equipamentos, remete à época da Revolução Industrial. Segundo Tavares (1999), no fim do século XIX, com a mecanização das indústrias, surgiu a necessidade dos primeiros reparos.

Até 1914, a manutenção tinha importância secundária e era executada pelo mesmo efetivo de operação. Com o surgimento da Primeira Guerra Mundial e a implantação da produção em série, instituída por Ford, as fábricas passaram a estabelecer programas mínimos de produção e, em consequência, sentiram necessidade de criar equipes que pudessem efetuar reparos em máquinas operatrizes no menor tempo possível. Assim surgiu um órgão subordinado à operação, cujo objetivo básico era de execução da manutenção, hoje conhecida como corretiva.

Já por volta de 1950, Tavares (1999), afirma que com o desenvolvimento da indústria para atender aos esforços pós-guerra, os gerentes de manutenção observaram que, em muitos casos, o tempo gasto para diagnosticar as falhas era maior do que o despendido na execução do reparo, e selecionaram equipes de especialistas para compor o que se chamou engenharia de manutenção e recebeu os encargos de planejar e controlar a manutenção preventiva. Kardec e Nassif (2010) acreditam nessa mudança para a segunda geração, pois ao mesmo tempo em que a mão-de-obra era reduzida, o cenário econômico necessitava de aumentar

a produtividade, de modo que essa preocupação com o tempo fez com que surgisse a ideia da manutenção preventiva, em que as intervenções ocorressem em intervalos fixos.

Seguindo as descrições de Tavares (1999), a partir de 1966, com a difusão dos computadores, a engenharia de manutenção passou a desenvolver critérios de predição ou previsão de falhas, visando a otimização da atuação das equipes de execução de manutenção. Esses critérios são conhecidos como manutenção preditiva. Kardec e Nassif (2010) destacam que a automação e mecanização passou a indicar a confiabilidade e disponibilidade, que naquele momento eram pontos-chaves, principalmente porque os efeitos dos períodos de paralização foram se agravando pela tendência mundial de utilizar sistemas *just-in-time*.

Kardec e Nascif (2010) relatam que nos últimos 30 anos, a manutenção passou por grandes mudanças em consequência de fatores como o aumento, bastante grande do número e diversidade dos itens que devem ser mantidos, projetos mais complexos, novas técnicas de manutenção, novos enfoques sobre sua organização e suas responsabilidades, importância da manutenção como função estratégica para melhoria do resultado e aumento da competitividade, entre outros. Explicam ainda, que a manutenção na visão atual, existe para que não haja manutenção. Numa visão mais aprofundada, o trabalho da manutenção tem sido enobrecido e, cada vez mais, o pessoal da área precisa ser qualificado e equipado para evitar falhas e não mais corrigi-las.

Ainda, de acordo com Kardec *et al.* (2014), a manutenção, para ser estratégica, precisa estar voltada para os resultados empresariais da organização. É preciso, sobretudo, deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz, ou seja, não basta, apenas, reparar o equipamento ou a instalação tão rápida quanto possível, mas é preciso, principalmente, manter a função do equipamento disponível para a operação, reduzindo a probabilidade de uma parada de produção não planejada.

Pode-se dizer que uma manutenção estratégica deve ter reflexo nos resultados operacionais em algum ou alguns dos aspectos de aumento da disponibilidade; aumento do faturamento e do lucro; aumento da segurança pessoal e das instalações; redução da demanda de serviços, de custos, de lucros cessantes; e a preservação ambiental.

2.2 Os tipos de manutenção

Os tipos de manutenção existentes são caracterizados pela maneira como é feita a intervenção nos equipamentos. Existe uma série de denominações para classificar os tipos de manutenção. E nesse trabalho serão abordadas aquelas destacadas em comum por diversos autores: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

Pinto e Nascif (2001) descrevem os tipos de manutenção, classificando-os de acordo com a atitude tomada em relação às falhas.

Conforme Branco Filho (2008), manutenção corretiva é aquela realizada para corrigir uma falha. É considerada programada quando a falha aguarda uma data para reparo, e não programada quando é necessário a correção imediata de uma falha. Esse é o caso em que se tem maior indisponibilidade, levando a perda de faturamento, por lucro cessante. Implica também em altos custos, quando se trata dos maiores danos aos quais os equipamentos estão sujeitos, além da necessidade de se ter níveis de estoque capazes de suprir as trocas imediatas.

A manutenção preventiva seria aquela que mesmo sem ter ocorrido nenhuma falha, é realizada, não levando em consideração a carga de trabalho do equipamento, mas intervalos previamente definidos, seja por experiências com as ocorrências, seja por métodos probabilísticos. Segundo Kardec *et al.* (2014), nesse tipo deve-se destacar algumas recomendações, pois a disponibilidade dos ativos é afetada negativamente pela intervenção definida no plano. Além disso, os ativos que estejam operando podem apresentar falhas após ou antes de completar o período entre as intervenções. Outro ponto é que uma vez abertos os equipamentos, há a tendência de trocar peças que estão com meia vida, aumentando o custo da manutenção. E, por último, algumas programações podem não ser adequadas, em intervalos mais curtos que o necessário.

Branco Filho (2008) define a manutenção preditiva como sendo atividades de acompanhamento e monitoramento das condições do equipamento e de seus parâmetros operacionais. E Kardec *et al.* (2014) destaca que é o tipo que permite que as empresas obtenham melhores resultados enquanto o custo de manutenção cai, isso porque nesse caso os ativos são monitorados, tendo suas variáveis controladas, funcionando mais tempo sem intervenções e permitindo estimar com grau de certeza elevado quando é necessária a intervenção, o que permite uma

preparação prévia, com tempo de reparo e custo menores, bem como aspectos relacionados à segurança pessoal e operacional.

Segundo dados da Abraham, no Brasil somente 18% representava o percentual de horas apropriadas para manutenção preditiva. E a aplicação de recursos na manutenção até 2013 era distribuída de acordo com a tabela 1.

Aplicação dos Recursos na Manutenção (%)				
Ano	Manutenção Corretiva	Manutenção Preventiva	Manutenção Preditiva	Outros
2013	30,86	36,55	18,82	13,77
2011	27,40	37,17	18,51	16,92
2009	26,69	40,41	17,81	15,09
2007	25,61	38,78	17,09	18,51
2005	32,11	39,03	16,48	12,38
2003	29,98	35,49	17,76	16,77
2001	28,05	35,67	18,87	17,41
1999	27,85	35,84	17,17	19,14
1997	25,53	28,75	18,54	27,18
1995	32,80	35,00	18,64	13,56

Hh (serviços de manutenção) / Hh (total de trabalho)

Média das Últimas Pesquisas				2013
Manutenção Corretiva	Manutenção Preventiva	Manutenção Preditiva	Outros	
Média: 28,69% Dp: 2,81%	Média: 36,27% Dp: 3,18%	Média: 17,97% Dp: 0,84%	Média: 17,07% Dp: 4,19%	

Tabela 1: Distribuição percentual de recursos no Brasil para cada tipo de manutenção.

2.3 O planejamento estratégico na manutenção

Dentro do contexto sobre manutenção estratégica, com foco em manter a função do equipamento disponível para a operação, ou seja, aumentar sua disponibilidade, a política de gestão de ativos é essencial para tornar a organização mais competitiva, atendendo às necessidades dos clientes, garantindo que os equipamentos e instalações estejam prontos para serem operados pelo tempo necessário, sem causar interrupções no fornecimento do bem ou serviço.

Segundo Kardec *et al.* (2014), a estratégia da gestão de ativos descreve a abordagem de longo prazo para o gerenciamento de ativos, incluindo um conjunto de declarações que descreve os níveis de serviços atuais e futuros que a

organização planeja entregar, bem como as capacidades atuais e futuras que a organização necessita de produzir de modo sustentável, seus resultados.

O planejamento estratégico de gestão de ativos é um processo que analisa como a demanda e os níveis de serviços requisitados são considerados no desenvolvimento de volumes propostos pela organização para a manutenção, operação, renovação e melhorias. E é a partir dele que se deriva o Plano Estratégico de Gestão de Ativos (SAMP-*Strategic Asset Management Plan*) e o Plano de Gestão de Ativos (AMP- *Asset Management Plan*).

Os planos, política e objetivos na gestão de ativos se relacionam da seguinte maneira:



Figura 1: Relacionamento entre os diversos planos relativos à gestão de ativos.

2.4 Plano de gestão de ativos

Conforme os fundamentos em Kardec *et al.* (2014), o plano de gestão de ativos refere-se a uma informação documentada que especifica as atividades, recursos e prazos requeridos para um ativo individual, ou um grupamento de ativos, de forma que sejam atingidos os objetivos da gestão de ativos da organização. É um conceito interdisciplinar, portanto sua gestão envolve todas as áreas da empresa.

Sob esta ótica, alguns documentos são estratégicos para embasar o sistema de gestão de ativos, sendo os principais, o critério de decisão das partes relacionadas, que é um registro das aprovações das partes estratégicas e que é

empregado para fundamentar as tomadas de decisões em toda a organização; a política de gestão de ativos, que já é um parâmetro mais subjetivo de tomada de decisões; o plano estratégico de gestão de ativos (SAMP), conforme mencionado anteriormente e que se resume a como será determinado os objetivos da gestão de ativos a partir dos objetivos organizacionais; e, finalmente, o plano de gestão de ativos.

Para se medir o desempenho do ativo em questão e planejar seu gerenciamento, Souza (2009) lista parâmetros, sendo que dentre os mais usuais estão: capacidade, disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade.

Segundo a Norma ABNT NBR 5462/1994, são destacados os seguintes conceitos:

- **Capabilidade:** Capacidade de um item atender a uma demanda de serviço de determinadas características quantitativas, sob dadas condições internas.

- **Disponibilidade:** Capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados;

- **Confiabilidade:** capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições específicas, durante um dado intervalo de tempo;

- **Mantenibilidade:** Capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.

Esses conceitos servem de embasamento e guiam os planejamentos e programações das áreas responsáveis da empresa por garantir que o desempenho da produção seja atingido. Os resultados desses indicadores devem estar em conformidade com o planejamento estratégico da manutenção e são, portanto, muito importantes no plano de gestão dos ativos.

2.5 A relação: Gestão de Manutenção e de Ativos

Para muitos autores é comum que a gestão de manutenção venha atrelada ao termo *health care*, análogo ao significado que tem no âmbito médico, ou seja, cuidados com a saúde. E no presente contexto é voltado à prevenção, diagnóstico e tratamento, porém dos ativos físicos da companhia.

O papel da manutenção na gestão de ativos compreende o gerenciamento de atividades, particularidades operacionais e execução de fato das intervenções. Isso porque somente a gestão de ativos físicos não é suficiente, é necessário estar embasada em um sistema estruturado e alinhado com o planejamento estratégico.

Diante disso, é crucial que esse sistema, do processo de gestão de manutenção, esteja estruturado da base até níveis elevados de refinamento. Passando pelas etapas desde planejamentos básicos e padrões, com definição de prioridades, permeando por controles e execução até chegar em etapas que envolvem a engenharia de manutenção, cuja função é entregar um trabalho de análises mais técnicas e detalhadas, aprimorando as inspeções e os colaboradores, a fim de coordenar todo o sistema para se obter melhorias contínuas.

Ante ao exposto, percebe-se que as aplicações técnicas de manutenção implicam diretamente na potencialização de utilização dos ativos, isto é, atinge-se a excelência na manutenção à medida que se explora recursos proativos.

Na literatura de Kardec *et al.* (2014) há uma representação esquemática que demonstra exatamente esses estágios de construção da excelência na manutenção:

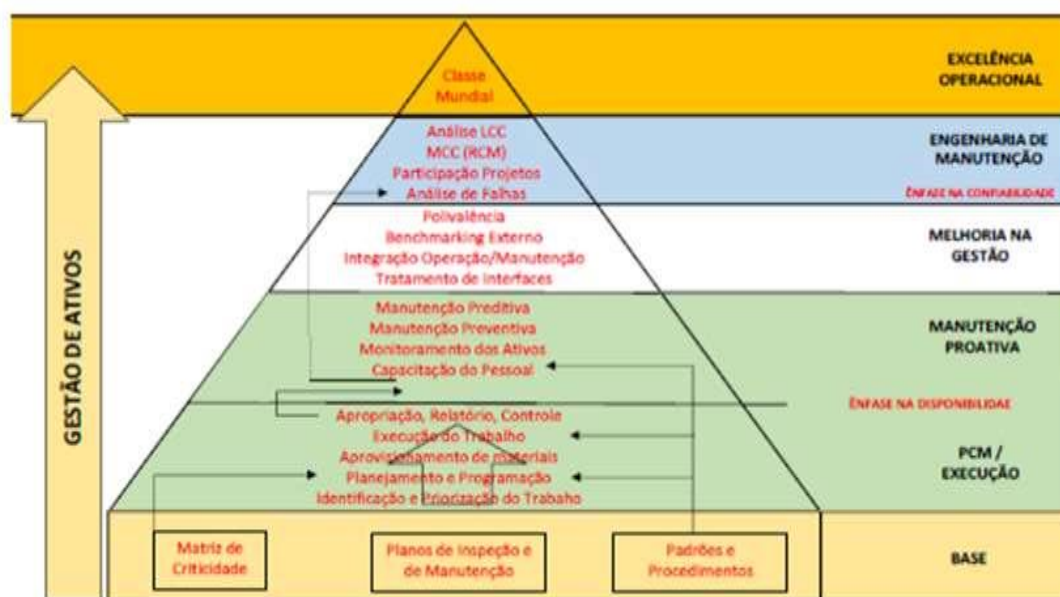


Figura 2: Etapas da atuação da manutenção para alcançar a excelência – Gestão de Ativos.

Como se observa na figura 2, as políticas e estratégias da organização, apresentadas na gestão de ativos com alto nível de confiabilidade, aborda desde áreas de técnicas e intervenção, até o estudo com ênfase na confiabilidade.

2.5.1 Base

2.5.1.1 Planos de inspeção e manutenção

Definem a política de manutenção para cada tipo de ativo a partir da matriz de criticidade, e que servirá de base tanto para o PCM programar quanto para a operação liberar e a execução realizar os serviços.

2.5.1.2 Matriz de Criticidade

A matriz de criticidade, que define a priorização dos ativos e, conforme dito anteriormente, serve de guia para ações de planejamento e programação pelo PCM, classificação de sobressalentes pela área de suprimentos, definição das políticas de manutenção dos ativos pela execução, análises e estudos pela engenharia de manutenção, dentre outros. É responsável por delinear as ações da organização, e, por isso deve ser alinhada por diversos segmentos. É uma ferramenta visual para identificação e comparação dos modos de falha de todos os componentes. Nesta matriz, os modos de falha próximos ao canto superior direito são considerados os mais críticos, sendo necessária sua priorização nas ações de manutenção (KIM *et al.*, 2009).

5(A)				ALTO RISCO
4(B)		MODO DE FALHA 1		
3(C)				
2(D)			MODO DE FALHA 2	
1(E)	BAIXO RISCO			
	I	II	III	IV
	GRAVIDADE			

Figura 3: Matriz de Criticidade.

2.5.1.3 Padrões e Procedimentos

E por último, padrões e procedimentos, que configuram a gestão do conhecimento, a propriedade intelectual da empresa, ou seja, o conhecimento técnico de seus empregados. Os próprios executantes que mapeiam a melhor maneira de se executar um trabalho, incentivando ainda o comprometimento dos colaboradores. Os procedimentos contêm informações sobre os ativos, processos, controles e ainda são aplicados no tratamento das interfaces departamentais. Portanto, além de padronizar, orientar para melhor execução, pode moldar-se ainda como capacitação de novos integrantes.

2.5.2 PCM/Execução

No início do processo, destaca-se o PCM/Execução, aos quais cabem a definição das atividades necessárias e o momento ideal para execução. Monchy (1987) também cita os problemas a serem resolvidos pelo planejamento da manutenção: dependência da produção (paradas de fabricação); segurança (prazos das restrições); acompanhamento dos trabalhos subcontratados, geralmente numerosos na manutenção; suprimento das peças de reposição; meios de manutenção especiais a tornar disponíveis; triagem das urgências de intervenções corretivas.

Ainda sob responsabilidade de monitoramento do PCM, Viana (2006) destaca os indicadores operacionais, sendo os principais: TMEF (Tempo Médio Entre Falhar), que é a quantidade média de tempo que um dispositivo ou produto funciona antes de falhar; TMPR (Tempo Médio para Reparo) é calculado utilizando a média de tempo que se leva para executar um reparo após a ocorrência da falha; Disponibilidade operacional é a relação entre as horas trabalhadas pelo ativo e as horas totais no período; Custo de manutenção por faturamento é a relação entre os gastos totais com manutenção e o faturamento da companhia.

$$TMEF = \frac{TEF}{N}$$

Em que:

TEF = tempo entre falhas

N = número de ciclos

$$TMPR = \frac{TPR}{N}$$

Em que:

TPR = tempo para reparo

N = número de ciclos

Em resumo, de acordo com a NBR 5462 (1994), esses indicadores são a base da definição de manutenibilidade e disponibilidade. Isso porque, o primeiro concentra-se em diminuir o tempo da duração de falhas em um sistema e reestabelecer o funcionamento no menor tempo possível, e o segundo tenta reduzir a frequência ou severidade de falhas em sistemas.

Dessa forma, ainda segundo a NBR-5462 (1994), a disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. E de acordo com Lafraia (2001), a disponibilidade é, na prática, expressa em percentual de tempo em que sistema se encontra operante, para componentes que operam continuamente e é representada matematicamente por:

$$D = \frac{TMEF}{TMEF+TMPR}$$

Além disso, outro indicador a ser acompanhado é a taxa de falha, diretamente ligada à confiabilidade. A confiabilidade é definida pela NBR 5462 como a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições específicas, durante um intervalo de tempo. Ou seja, uma projeção probabilística que aponta a chance de o ativo funcionar no intervalo de tempo determinado. E, dito isso, sua representação matemática para taxa de falha constante pode ser escrita pela relação:

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

Em que:

$R(t)$ = Confiabilidade

λ = Taxa de falha

t = tempo para projeção

Considerando:

$$\lambda(t) = \frac{1}{TMEF}$$

A curva característica da vida útil de um equipamento, também conhecida como curva da banheira, relaciona a taxa de falhas em função do tempo.



Figura 4: Curva Característica da Vida de Equipamentos (Curva da Banheira).

A equação, $R(t)$, acima serve para calcular a confiabilidade de itens reparáveis. Segundo Alves (2020), para calcular a confiabilidade de itens irreparáveis (como capacitores, componentes eletrônicos etc.) deve-se calcular através da análise Weibull:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left(- \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right)$$

Em que:

$\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta-1}$ representa a taxa de falha (λ);

$\exp \left(- \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^\beta \right)$ corresponde à confiabilidade $R(t)$;

t_0 o intervalo de tempo no qual o componente não apresenta falha ou que a partir dele apresentará;

η é um parâmetro de escala, intervalo de tempo em que ocorrem 63,2% das falhas;

β é o parâmetro de forma, indicando a forma da curva e as características da falha, podendo ser elas prematuras, constantes e crescentes, de acordo com os gráficos representativos extraídos de Alves, 2020.



Figura 5: Gráficos representativos do fator de forma.

2.5.3 Manutenção Proativa

Dando prosseguimento às etapas de atingimento da excelência, a seguinte é a manutenção proativa, cuja abordagem envolve os modelos de preventiva e preditiva. E essa deve estar alinhada com uma cultura da operação em também assumir a responsabilidade pela saúde do ativo, mitigando os desgastes naturais e eliminando aqueles por mau uso, a fim de constituir um trabalho conjunto que preze pela disponibilidade e, conseqüente, maior produção.

2.5.4 Melhorias na Gestão

Como melhoria na gestão destaca-se quatro estratégias: a primeira é o benchmarking, processo de incorporação de melhores desempenhos a partir da assimilação de métodos próprios ou externos, baseando-se em indicadores e prática. A segunda é a integração operação/manutenção, responsáveis diretas pela produção. A terceira é tornar os colaboradores polivalentes. E a quarta, que o relacionamento com as interfaces seja alinhado e com clara comunicação.

2.5.5 Engenharia de Manutenção

No estágio mais elevado, próximo a excelência operacional revela-se a engenharia de manutenção. A base de seu trabalho está na análise de parâmetros que servem como indicadores do desempenho do ativo, aqueles já mencionados segundo a Norma ABNT NBR 5462/1994. Os principais deles são a disponibilidade e confiabilidade.

Uma vez que a engenharia de manutenção consegue garantir a confiabilidade, é possível sentir os reflexos na disponibilidade. Isso porque ambas estão diretamente ligadas ao MTEF.

A confiabilidade é baseada em três principais pilares: análise de falhas, participação em novos projetos e análise do LCC dos ativos.

2.5.5.1 Análise de Falhas

Segundo Kardec *et al.* (2014, p.187), é um procedimento sistematizado que, através do estudo (análise) de problemas, busca o bloqueio das causas de falhas. No caso da manutenção, especificamente, busca-se melhorar a confiabilidade dos ativos, pois ativos mais confiáveis oferecem maior disponibilidade. As principais e mais comentadas metodologias de análise de falhas são:

- Análise de Causa Consequência (*Cause-Consequence Analysis*);
- Lista de Verificação (*Checklist*);
- Árvore de eventos (*Event Tree Analysis*);
- Análise do Modo e Efeito da Falha (*Failure Modes & Effects Analysis – FMEA*);
- Análise do Modo, Efeito e Criticidade da Falha (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis – FMECA*).

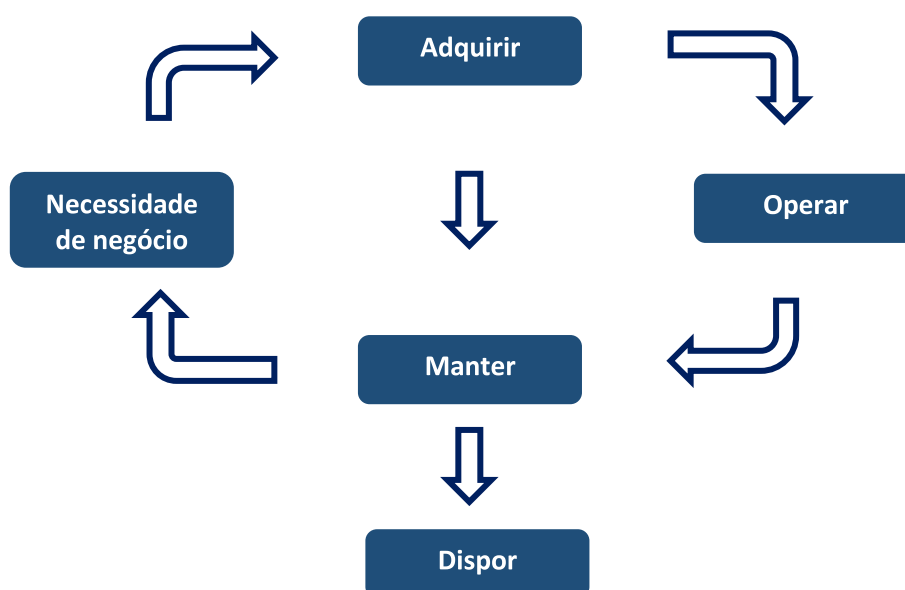


Figura 6: Ciclo de Vida do Ativo

Assis (2012) descreve o custo do ciclo de vida como sendo uma técnica de análise que interliga decisões de engenharia e gestão, permitindo o engenheiro ter uma visão global sobre custos associados aos ativos e aplicar conhecimento sobre o

desempenho e custos do passado para inferir sobre o futuro, apoiando suas decisões.

E Kardec *et al.* (2014) alerta que, na maioria das vezes, a opção de compra de um ativo é levada em consideração apenas o seu preço de aquisição – CAPEX – podendo significar custos operacionais – OPEX – muito elevados que, em pouco tempo, suplantam a economia feita.

A NBR ISO 55000 define as questões típicas, entre outras, que são abordadas pelos objetivos e incluem, para ativos, o seguinte: a confiabilidade (tempo médio / distância entre falhas); a condição dos ativos, desempenho ou nível de saúde; o custo do ciclo de vida e sua expectativa; e o desempenho energético dos ativos.

NBR ISO 55000 ainda considera que o custo do ciclo de vida, que pode incluir investimento, financiamentos e custos operacionais, deve ser considerado no processo de tomada de decisão. Dessa forma, na análise, o somatório dos custos do ciclo de vida pode ser dado pela fórmula abaixo:

$$LCC = C_{aq} + C_{in} + C_{en} + C_{op} + C_{mt} + C_{dt} + C_{ma} + C_{de}$$

Em que:

LCC → custo do ciclo de vida ou *life cycle cost*

C_{aq} → custo de aquisição

C_{in} → custos de montagem/instalação e comissionamento, incluindo treinamento

C_{en} → custos com energia

C_{op} → custos de operação – pessoal

C_{mt} → custo de manutenção e reparos, que inclui também os custos de monitoramento, como pessoal, material, contratação, entre outros

C_{dt} → custos de perda de produção – indisponibilidade

C_{ma} → custos ambientais, como gastos com contaminações, vazamentos etc.

C_{de} → custo de descarte, disposição

3. METODOLOGIA

3.1. O Contexto

O presente trabalho será baseado na em uma empresa “X” que opera no setor de transporte ferroviário e monitoria e controla a malha de uma das mais importantes regiões do país. Concentra grande parte das cargas exportadas, com uma produção muito diversificada, variando de produtos siderúrgicos, minério, contêiner, agrícolas, dentro outros, além de circular por rotas que demandam muito esforço de trabalho, por conta de seus aclives e declives, cruzamentos, passagens de nível recorrentes, dentre outro, que exigem frequente aplicação de frenagem e, conseqüentemente, um nível de confiabilidade muito alto. Nesse contexto, não só os ativos de material rodante precisam de atenção, mas também os ativos da via permanente. Os trilhos precisam na mesma proporção trabalharem com níveis altos de confiabilidade, e, portanto, os equipamentos de via são os responsáveis por essa garantia e devem então estar disponíveis para a empresa manter as programações de manutenção determinadas pelo PCM.

A empresa “X” vem crescendo nos últimos anos, principalmente, com participação no mercado de carga geral. Em vista disso, os investimentos têm sido ampliados e o manutenção dos ativos são um direcionamento estratégico para atingir as metas de demanda da empresa. Isso porque, os ativos tornam-se sobrecarregados e conseqüentemente mais sujeitos a falhas.

Por conseguinte, a disponibilidade desses ativos se torna cada vez mais um desafio para a companhia, e o presente trabalho tem como foco mapear a gestão das rotinas e processos de manutenção, a fim de encontrar em que estágio encontra-se hoje, bem como em que ponto da curva da banheira seus ativos estão trabalhando.

3.2. A gestão aplicada aos ativos

A empresa “X” tem hoje uma estruturação definida de alguns parâmetros essenciais para o controle e monitoramento dos ativos. As revisões são periódicas e

necessitam impreterivelmente que haja parada de produção pelo ativo ao longo desse período. Os critérios que definem essa interrupção são diversos, mas os principais são o tempo de serviço e quilometragem rodada. Esses critérios são chamados de “gatilhos” e determinam os limites de necessidade das intervenções.

O PCM planeja e programa essas manutenções de acordo com essas atividades e periodicidades necessárias de reparo, que são elaboradas nas “Visitas”. A “Visita” é um projeto de manutenção utilizado para agrupar as exigências de manutenção e solicitações de serviços que devem ser realizadas numa mesma parada de manutenção de um ativo. Os escopos das revisões têm como base a manutenção preventiva, e possuem indicadores associados ao ativo cujos limites caracterizam a necessidade das intervenções cíclicas. Chama-se, portanto, a primeira programação de “Visita” de “Primeiro gatilho”, e caso não seja realizada a parada nesse momento inicia-se o período chamado de “Backlog”, e após um período programado estoura o segundo gatilho, em que denomina-se como “Backlog posterior” e nesse momento o ativo é rigorosamente direcionado à “visita” para a realização da manutenção, sendo, desse modo, indisponibilizado para a produção da empresa.

Essas informações se relacionam a partir de diversas bases:

Primeiramente, um mapeamento dos equipamentos de via que a empresa possui identificados por códigos, datados dia a dia a quilometragem percorrida e suas respectivas ordens de serviço detalhadas com os sintomas e as possíveis causas. Além disso, destaca se a ocorrência já foi fechada.

Outro controle da área é o plano de manutenção em que relaciona-se os códigos de cada equipamento com o tipo de manutenção definida a ele, a visita, se ela já foi realizada ou não e o tempo gasto.

Seguindo a metodologia explicativa da gestão utilizada, tem-se uma base de acompanhamento do “Backlog” e “Backlog postergado” (tolerância) para cada equipamento de via, ou seja, se cada ativo está perto ou já ultrapassou o primeiro gatilho para a primeira “Visita”, segregados por horímetro e quilometragem. Ademais, essa mesma base informa a data em que o ativo foi desviado para reparos (chamado de “Implementado”), se a manutenção já foi iniciada ou não e se já foi concluída ou não, em suas respectivas datas.

E por último, o monitoramento de disponibilidade dos ativos, em que alguns dados são mapeados. São eles: dias indisponíveis no ano; tempo indisponível no

dia; e todas essas informações relacionadas com aquelas presentes nas bases anteriores, ou seja, relacionadas pelos códigos de cada ativo, o tipo de manutenção e se já foi fechado ou somente implementado.

3.3. O estudo de caso

Os monitoramentos atualmente realizados pela empresa foram analisados através das bases disponíveis. Inicialmente, todos os equipamentos objetos de estudos foram catalogados e em sequência mapeadas quantitativamente cada ocorrência e programação de manutenção relacionados àquele ativo. E, para obter resultados mais direcionados e com maior precisão, foi considerado no estudo um dos equipamentos mais demandados pela companhia, através de uma análise do histórico ao longo dos dois últimos anos.

A partir desse levantamento foram encontrados os principais grupos abaixo, classificados em ordem decrescente pela referência da coluna “Número de ocorrências”. O critério de escolha levou em consideração ainda a quantidade de equipamentos/pares dentro de cada grupo, isto é, foi dada prioridade, a fim de facilitar o estudo, àquele equipamento que tivesse menos números de série ligados ao grupo, e no caso era a Esmerilhadora.

Grupo	Equipamento/Pares	Núm. de série	Número de ocorrências
RODOFERROVIÁRIO	BSRD-0534	3923986	537
ESMERILHADORA	BS90790534	3631616	522
RODOFERROVIÁRIO	BSRD-6934	3924276	495
SOC - REG	BSR-18_S-1334	3631724	493
RODOFERROVIÁRIO	BSRD-6734	3924268	492
RODOFERROVIÁRIO	BSRD-0934	3924036	486
SOC - REG	BSS-2334	3812648	474
RODOFERROVIÁRIO	BSRD-3534	3924140	469
DESGUARNECEDORA	BS90790334	3631612	463
RODOFERROVIÁRIO	BSRD-1034	3924040	453
RODOFERROVIÁRIO	BSRD-3034	3924120	451
CAMINHÃO DE LINHA	BSC-2234	3811840	446
SOC - REG	BSS-2534	3812652	440
RODOFERROVIÁRIO	BSRD-6434	3924256	429
ESCAVADEIRA	BSE-1434	981019	426
TIEGANG	BSTIE CRANE 234	3631644	387
RODOFERROVIÁRIO	BSRD-4634	3924184	382
CAMINHÃO DE LINHA	BSC-1034	3905892	378
RODOFERROVIÁRIO	BSRD-1434	3924056	374
RODOFERROVIÁRIO	BSRD-5434	3924216	359

Tabela 2: Tabela de classificação dos ativos a partir do número de ocorrências.

A partir da escolha do ativo foram mapeadas as paradas programadas de manutenção dele com um nível de detalhe maior, explorando todas as bases disponíveis mencionadas no tópico acima.

A base distingue as ocorrências pelo tipo de manutenção, variando entre corretivas, que são as correções quando acontecem falhas; corretivas planejadas, que são quando é preparada, mas a escolha gerencial é por operar até a falha; manutenção diária, nesse caso uma particularidade do equipamento escolhido, baseada em pelo seu regime de trabalho, o qual se restringe ao trabalho noturno diário, explorando portanto esse período ao longo do dia disponível para essas intervenções, e tornando sua disponibilidade maior; e por último manutenção preventiva, que programada a parada antecipando qualquer falha que possa surgir.

Em sequência a essa análise foi contabilizado, levando em consideração o início da visita até o fim, o tempo gasto em cada reparo para que fosse calculado o TMPR, separando o tempo para cada tipo de manutenção mencionada. Ademais, para o cálculo do TMEF também foi levando em consideração a data de início de uma intervenção, porém comparado com a data final da manutenção antecedente, diferenciando também os tempos entre cada tipo de manutenção.

Para o cálculo da análise de Weibull, Alves (2020) considera a função de distribuição acumulada, $F(x)$, a partir de classificação mediana:

$$\text{MedianRank} = F(x) = \frac{p - 0,3}{n + 0,4}$$

Em que, “p” representa a posição da amostra no ranking organizado em ordem crescente. E “n” é a quantidade de dados considerados na amostra.

Em seguida, os valores encontrados foram aplicados em bases de logaritmo neperiano, para serem executados na ferramenta de regressão linear disponibilizada pelo *software* Excel, no qual foram geradas análises e cálculo dos parâmetros necessários.

Feito isso, chegou-se ao objeto do estudo de identificar o atual estágio de confiabilidade e disponibilidade do ativo, para que a partir dos resultados gerados

serem propostas, em um segundo momento, estratégias a fim de mitigar os problemas e aumentar, por consequência, a confiabilidade dos equipamentos de via.

Outra análise possível e relevante para o estudo do caso foi a relação entre o custo de manutenção e a confiabilidade, a fim de encontrar um ponto ótimo. Para isso, foi preciso estimar um valor para o custo de manutenção corretiva e preventiva, além de considerar o tempo de reparo da manutenção preventiva sendo exatamente o mesmo tempo gasto quando ocorre a manutenção corretiva. Com isso, relacionando os custos por unidade de tempo, chegou-se ao custo total de manutenção:

$$C_{tm}(t) = \frac{C_{mp} * R(t) + C_{mc} * F(t)}{\int_0^t R(t) dt}$$

Em que, C_{mp} =Custo de manutenção preventiva e C_{mc} =Custo de manutenção corretiva

3.3.1. O equipamento: Esmerilhadora de trilhos

A esmerilhadora é um equipamento que circula toda a malha ferroviária polindo os trilhos, a fim de evitar trincas superficiais, retirando os defeitos e recuperando o contato com as rodas dos trens. O equipamento colabora ainda com a prevenção de possíveis fraturas, proporcionando maior segurança e reduzindo a necessidade de substituição dos trilhos.

4. RESULTADOS

Com o histórico de dados identificados, foi possível levantar o TMEF e o Tmpr, o que permitiu o cálculo da disponibilidade do equipamento, conforme mostrado na tabela 3.

Equipamento	Período apurado	TMEF (h)	Tmpr (h)	Disponibilidade (%)
Esmerilhadora	354 dias	330	74,76	81,53

Tabela 3: Disponibilidade do equipamento.

Para a análise de Weibull foram consideradas as ocorrências do último ano (2020) e em seguida filtradas as manutenções corretivas. Posteriormente, ranqueadas as 10 (dez) últimas amostragens sequenciais e classificadas do menor TTF (*Time to Fail*) ao maior, conforme tabela 4.

Amostragem	TTF(h)
1	113:39:30
2	128:30:37
3	138:44:53
4	158:59:00
5	256:04:13
6	305:49:51
7	311:00:00
8	628:19:00
9	662:16:39
10	833:30:27

Tabela 4: Relação crescente do tempo das amostragens

Com esses dados organizados, foram determinados os fatores de forma β e o parâmetro de escala ou vida característica η .

Para isso, o primeiro passo, portanto, foi aplicar a metodologia de regressão linear no software Excel à função da análise de Weibull. Iniciou-se pelo cálculo de MedianRank, o qual permitiu chegar à sequência dos cálculos da tabela 5.

Amostragem	TTF(h)	MedianRank	$1/(1-\text{MedianRank})$	$\text{LN}(\text{LN}(1/(1-\text{MedianRank}))))$	$\text{LN}(\text{TTF})$
1	114	0,06730769	1,072164948	-2,663843085	4,73619845
2	129	0,16346154	1,195402299	-1,72326315	4,8598124
3	139	0,25961538	1,350649351	-1,202023115	4,93447393
4	159	0,35576923	1,552238806	-0,821666515	5,0689042
5	256	0,45192308	1,824561404	-0,508595394	5,54517744
6	306	0,54807692	2,212765957	-0,230365445	5,7235851
7	311	0,64423077	2,810810811	0,032924962	5,73979291
8	628	0,74038462	3,851851852	0,299032932	6,44254017
9	662	0,83653846	6,117647059	0,593977217	6,49526556
10	834	0,93269231	14,85714286	0,992688929	6,726233402

Tabela 5: Cálculos base para regressão linear

Feito isso, os resultados foram então aplicados à ferramenta de análise de dados do software Excel denominada “Regressão”, usando como parâmetros dos intervalos x e y as informações presentes na sexta e quinta coluna, respectivamente, da tabela 5. Como resumo dos resultados gerados observa-se a figura 7 e o gráfico 1.

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-8,5177544	1,095514272	-7,77511952	5,35855E-05	-11,04401484	-5,99149396	-11,0440148	-5,99149396
LN(TTF)	1,420714293	0,193214247	7,353051404	7,97047E-05	0,975161439	1,866267146	0,975161439	1,866267146
Beta	1,420714293							
Alfa	401,5783936							

Figura 7: Resumo dos resultados da regressão aplicada no *software*.

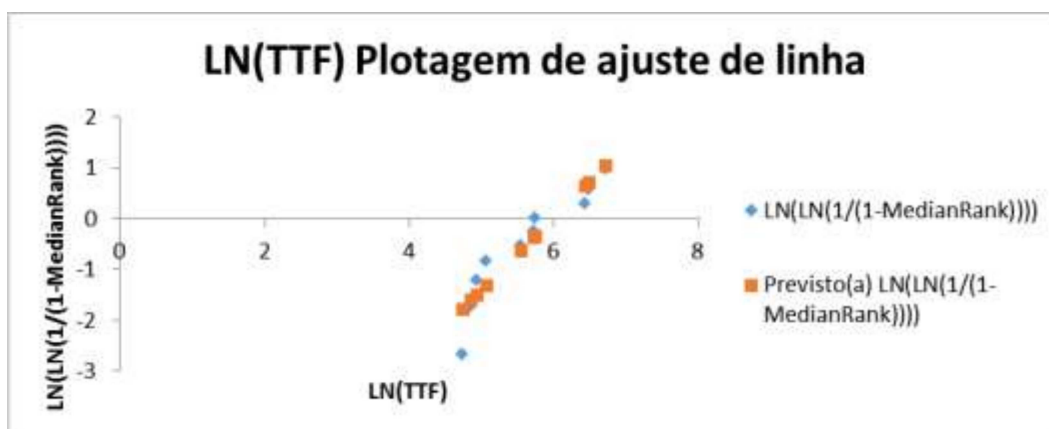


Gráfico 1: Ajuste de linha dos dados.

Os valores de Beta e Alfa (α - denominado anteriormente por η) foram definidos da seguinte maneira: Beta como o valor de “LN(TTF)” e Alfa como “Alfa=EXP(-Interseção/LN(TTF))”.

Desse modo, analisando a representação desses parâmetros constata-se que como $\beta > 1$, o equipamento está trabalhando sob uma condição de taxa de falha crescente. Este cenário é típico de produtos que falham por desgaste como é o caso ($\beta=1,42$), indicando que a esmerilhadora falha por desgaste após um determinado tempo.

Em concordância com Alves (2020), a característica de vida, ou parâmetro α é uma medida de escala ou propagação com relação à distribuição dos dados. Ele

representa o número na escala do eixo X em que 63,2% dos casos o equipamento falhou após aquele período. E na análise de confiabilidade do presente estudo de caso em que $\alpha=401,58$, significa dizer que somente 36,8% das ocorrências foram após esse período 401,58 horas.

Em posse das análises de regressão sobre a amostragem de tempo até a falha, e, conseqüente, levantamento dos parâmetros $\beta=1,42$ e $\alpha=401,58$, foi possível calcular a probabilidade de falha e confiabilidade do ativo, a partir, respectivamente, das funções “ $F(t) = \text{WEIBULL}$ ” e “ $R(t) = 1-F(t)$ ”, recursos também presentes no software utilizado. Foi necessário ainda considerar uma escala de tempo para atender a amostra do TTF considerada no estudo. Dessa maneira, chegou-se aos resultados da tabela 6, também representados no comportamento do gráfico 2.

TTF	F(t)	R(t)
100	0,129549	0,870451
200	0,310262	0,689738
300	0,483560	0,516440
400	0,630062	0,369938
500	0,744715	0,255285
600	0,829509	0,170491
700	0,889441	0,110559
800	0,930209	0,069791
900	0,957027	0,042973
1000	0,974148	0,025852

Tabela 6: Resultados da função probabilidade de falha e confiabilidade.

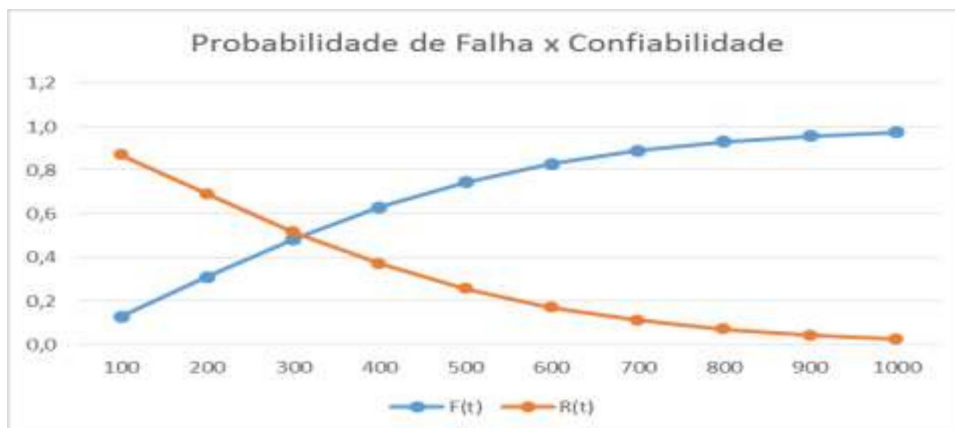


Gráfico 2: Relação probabilidade de falha e confiabilidade.

Para obter os resultados do custo da manutenção foi, igualmente, recorrido ao software Excel, porém necessário uma amostragem em um período mais amplo para observar o comportamento das curvas, relacionando tempo e custo e chegando-se à tabela 7.

TTF	F(t)	R(t)	Regra do Trapezio	Integral de R(t)	Custo preventiva	Custo corretiva	Custo Total
0	0,000000	1,000000	19,860002				
20	0,014000	0,986000	19,489590	39,349593	R\$ 1,68	R\$ 0,13	R\$ 1,81
40	0,037041	0,962959	18,980158	58,329751	R\$ 1,11	R\$ 0,23	R\$ 1,33
60	0,064943	0,935057	18,389455	76,719206	R\$ 0,82	R\$ 0,30	R\$ 1,12
80	0,096112	0,903888	17,743391	94,462598	R\$ 0,64	R\$ 0,36	R\$ 1,00
100	0,129549	0,870451	17,059159	111,521757	R\$ 0,52	R\$ 0,41	R\$ 0,94
120	0,164535	0,835465	16,349564	127,871320	R\$ 0,44	R\$ 0,46	R\$ 0,90
140	0,200509	0,799491	15,624682	143,496002	R\$ 0,37	R\$ 0,50	R\$ 0,87
160	0,237023	0,762977	14,892683	158,388686	R\$ 0,32	R\$ 0,53	R\$ 0,86
180	0,273709	0,726291	14,160294	172,548980	R\$ 0,28	R\$ 0,56	R\$ 0,85
200	0,310262	0,689738	13,433091	185,982071	R\$ 0,25	R\$ 0,59	R\$ 0,84
220	0,346429	0,653571	12,715706	198,697777	R\$ 0,22	R\$ 0,62	R\$ 0,84
240	0,382000	0,618000	12,011973	210,709750	R\$ 0,20	R\$ 0,64	R\$ 0,84
260	0,416802	0,583198	11,325039	222,034789	R\$ 0,18	R\$ 0,67	R\$ 0,84
280	0,450694	0,549306	10,657460	232,692249	R\$ 0,16	R\$ 0,69	R\$ 0,85
300	0,483560	0,516440	10,011276	242,703525	R\$ 0,14	R\$ 0,71	R\$ 0,85
320	0,515312	0,484688	9,388071	252,091596	R\$ 0,13	R\$ 0,73	R\$ 0,86
340	0,545881	0,454119	8,789037	260,880634	R\$ 0,12	R\$ 0,74	R\$ 0,86
360	0,575216	0,424784	8,215017	269,095650	R\$ 0,11	R\$ 0,76	R\$ 0,87
380	0,603283	0,396717	7,666550	276,762200	R\$ 0,10	R\$ 0,78	R\$ 0,87
400	0,630062	0,369938	7,143914	283,906114	R\$ 0,09	R\$ 0,79	R\$ 0,88
420	0,655546	0,344454	6,647156	290,553270	R\$ 0,08	R\$ 0,80	R\$ 0,88
440	0,679738	0,320262	6,176129	296,729398	R\$ 0,07	R\$ 0,81	R\$ 0,89
460	0,702649	0,297351	5,730516	302,459914	R\$ 0,07	R\$ 0,83	R\$ 0,89
480	0,724299	0,275701	5,309860	307,769774	R\$ 0,06	R\$ 0,84	R\$ 0,90
500	0,744715	0,255285	4,913583	312,683357	R\$ 0,05	R\$ 0,85	R\$ 0,90
520	0,763927	0,236073	4,541014	317,224371	R\$ 0,05	R\$ 0,86	R\$ 0,91
540	0,781972	0,218028	4,191397	321,415767	R\$ 0,05	R\$ 0,87	R\$ 0,91
560	0,798889	0,201111	3,863918	325,279686	R\$ 0,04	R\$ 0,87	R\$ 0,92
580	0,814720	0,185280	3,557716	328,837401	R\$ 0,04	R\$ 0,88	R\$ 0,92
600	0,829509	0,170491	3,271894	332,109295	R\$ 0,03	R\$ 0,89	R\$ 0,92
620	0,843302	0,156698	3,005533	335,114828	R\$ 0,03	R\$ 0,90	R\$ 0,93
640	0,856145	0,143855	2,757705	337,872533	R\$ 0,03	R\$ 0,90	R\$ 0,93
660	0,868085	0,131915	2,527474	340,400007	R\$ 0,03	R\$ 0,91	R\$ 0,93
680	0,879168	0,120832	2,313912	342,713919	R\$ 0,02	R\$ 0,91	R\$ 0,94
700	0,889441	0,110559	2,116100	344,830019	R\$ 0,02	R\$ 0,92	R\$ 0,94
720	0,898949	0,101051	1,933138	346,763157	R\$ 0,02	R\$ 0,92	R\$ 0,94
740	0,907737	0,092263	1,764143	348,527299	R\$ 0,02	R\$ 0,93	R\$ 0,94
760	0,915849	0,084151	1,608260	350,135559	R\$ 0,02	R\$ 0,93	R\$ 0,95
780	0,923325	0,076675	1,464660	351,600220	R\$ 0,01	R\$ 0,93	R\$ 0,95
800	0,930209	0,069791	1,332547	352,932766	R\$ 0,01	R\$ 0,94	R\$ 0,95
820	0,936537	0,063463	1,211154	354,143920	R\$ 0,01	R\$ 0,94	R\$ 0,95
840	0,942348	0,057652	1,099747	355,243667	R\$ 0,01	R\$ 0,94	R\$ 0,95
860	0,947677	0,052323	0,997630	356,241298	R\$ 0,01	R\$ 0,95	R\$ 0,96
880	0,952560	0,047440	0,904138	357,145436	R\$ 0,01	R\$ 0,95	R\$ 0,96
900	0,957027	0,042973	0,818642	357,964078	R\$ 0,01	R\$ 0,95	R\$ 0,96
920	0,961109	0,038891	0,740546	358,704624	R\$ 0,01	R\$ 0,95	R\$ 0,96
940	0,964836	0,035164	0,669290	359,373913	R\$ 0,01	R\$ 0,95	R\$ 0,96
960	0,968235	0,031765	0,604345	359,978259	R\$ 0,01	R\$ 0,96	R\$ 0,96
980	0,971331	0,028669	0,545218	360,523477	R\$ 0,01	R\$ 0,96	R\$ 0,96
1000	0,974148	0,025852	-12,926205	347,597272	R\$ 0,00	R\$ 1,00	R\$ 1,00

Tabela 7: Resultados dos custos de manutenção.

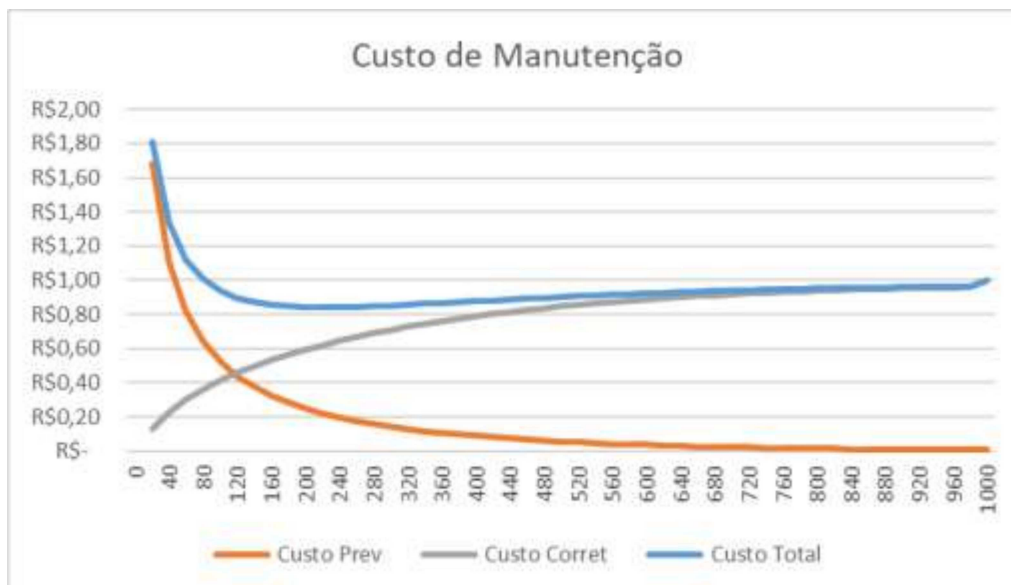


Gráfico 3: Relação probabilidade de falha e confiabilidade.

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi realizar uma análise dos resultados após aplicação de metodologias de verificação de práticas de gestão de ativos em uma empresa de transporte ferroviário.

O estudo de caso permitiu concluir, através das informações registradas em cada intervenção e a relação entre elas, a disponibilidade do equipamento, bem como a fase de taxa de falha, sua confiabilidade e o custo ótimo de manutenção.

Em um primeiro momento, pelos valores do gráfico e na curva de regressão, verificou-se que os dados estão consistentes, dentro do que se espera. Além disso, o valor encontrado para beta indica que embora esteja na fase de taxa de falha crescente da curva da banheira, o valor de 1,42 é um valor relativamente baixo, demonstrando que o equipamento apesar de apresentar falhas vem sendo bem gerenciado. Outro ponto a concluir-se é sobre o ponto ótimo para o custo de manutenção, o qual seria próximo de R\$0,90 para um tempo de funcionamento próximo a 120h, considerando um valor das manutenções dividido por uma constante para manter informações da empresa sob sigilo.

Portanto, pode-se afirmar que esse trabalho atingiu os objetivos propostos, demonstrando que o emprego dos conceitos da manutenção centrada na

confiabilidade propiciou uma visão ampla do desempenho deste equipamento e mostrou ser uma ferramenta, de fato, eficaz para os processos de gestão de manutenção com base na quarta geração da moderna gestão de ativos.

REFERÊNCIAS

ABRAMAM – *Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos*, RJ. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/>

ASSIS, R.; JULIÃO, J. *Gestão da Manutenção ou Gestão de Activos (custos ao longo do Ciclo de Vida)* – Faculdade de Engenharia da Universidade Católica Portuguesa, Lisboa, 2012.

BRANCO FILHO, G. *A Organização - o Planejamento e o Controle da Manutenção*. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

KARDEC, A. & NASCIF, J. (2010). *Manutenção Função Estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/41624423/livro-manutencao-funcao-estrategica-kardec-e-nascif>

KARDEC, A.; NASCIF, J.; LAFRAIA, J. R.; ESMERALDO, J. *Gestão de Ativos*. 1ª Ed. – Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2014.

KIM, J. H.; JEONG, H. Y. & PARK, J. S. *Development of the FMECA Process and Analysis Methodology for Railroad Systems*. International Journal of Automotive Technology. Montreal, v. 10, n. 6, p. 753-759, 2009.

LAFRAIA, J. R. B. *Manual de Confiabilidade Mantenabilidade e Disponibilidade*. 2001. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/63737300/manual-de-confiabilidade-mantenabilidade-e-disponibilidade-lafraia-compressed>

MONCHY, F. *A Função Manutenção*. São Paulo: Durban, 1987. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/11006172/livro-a-funcao-manutencao-francois-monchy>

PINTO, A. K. & NASCIF, J. *Manutenção Função Estratégica*. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

TAVARES, L. *Excelência na Manutenção*. Casa da Qualidade Editora, 1996. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/63218123/manutencao-moderna-prof-lourival-tavares-1999>

SOUZA, V. C. *Organização e Gerência da Manutenção – Planejamento, Programação e Controle da Manutenção*. 3ª ed., revisada. São Paulo: All Print, 2009.

<https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>

ISO55000. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/67685910/iso-55000-sigari-copia-para-treinamento>

NBR5462 Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/44813945/nbr-5462-1994>

NOTAS DE AULA DE LUIZ HENRIQUE DIAS ALVES, 2020.

ANEXO A – 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 Mecânica 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 autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 16 de Março de 2021.

Gabriela Bonoto Santos

Gabriela Bonoto Santos

Discente Matrícula: 201471071 – CPF: 12423265611

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.