

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS NA INVESTIGAÇÃO DE FALHAS
EM CORREIAS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

por

Lara Cassol Zimmermann

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenharia Mecânica.

Porto Alegre, abril de 2022

CIP - Catalogação na Publicação

Zimmermann, Lara Cassol
FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS NA INVESTIGAÇÃO
DE FALHAS EM CORREIAS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS / Lara
Cassol Zimmermann. -- 2022.
30 f.
Orientador: Juan Pablo Raggio Quintas.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2022.

1. Ferramentas da qualidade. 2. Análise de falhas.
I. Quintas, Juan Pablo Raggio, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lara Cassol Zimmermann

FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS NA INVESTIGAÇÃO DE FALHAS
EM CORREIAS DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRA MECÂNICA
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Cirilo Seppi Bresolin
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Edson Aseka

Prof. Rodrigo Rossi

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Porto Alegre, abril de 2022

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à pessoa que tem dedicado a vida aos seus filhos, minha mãe Bartira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, a minha família, pois é em vocês que tudo começou e por vocês que tudo faz sentido.

Ao meu namorado Rafa, por ter me dado suporte de todas as formas imagináveis e por sempre acreditar em mim, mesmo se eu duvidasse.

Às amigas de longa data e as recentes, pois com certeza deixaram toda essa jornada mais leve. Em especial a grande amiga e colega de faculdade Lilian Alle, sem ela todos os desafios teriam sido maiores. No final sempre dá certo.

Ao engenheiro Renan Marschner, pelo apoio e principalmente por ter confiado no meu potencial profissional.

Ao engenheiro Daniel Weber, por me ensinar tanto e por ter me acompanhado ao longo deste trabalho.

Ao engenheiro Carlos Heldwein, por ter confiado a mim este trabalho.

Sem dados você é apenas mais uma pessoa com uma opinião.

William Edwards Deming

Zimmermann, Lara Cassol. **Ferramentas da qualidade aplicadas na investigação de falhas em correias de máquinas agrícolas**. 2022. 30 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

RESUMO

A análise de falhas reduz os desperdícios e busca soluções de problemas, trazendo satisfação de clientes e competitividade para as empresas. A análise de falhas pode ser executada com diversas metodologias e procedimentos. O presente trabalho se propõe apresentar a análise de falhas de correias de máquinas agrícolas no período de garantia, utilizando as ferramentas estatísticas de controle da qualidade e avaliar os resultados da sua aplicação na redução das falhas em garantia do componente mecânico tratado. Serão utilizadas as ferramentas: Estratificação, Folha de verificação (questionário), Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa e Histograma. Também será feita uma análise de Weibull para entender qual a forma da taxa de ocorrência das falhas. A validação das melhorias implementadas será feita estatisticamente por meio de um teste de Qui-quadrado. De tal forma, concluiu-se que as ferramentas da qualidade foram utilizadas com sucesso, uma vez que as falhas no componente reduziram de forma estatisticamente significativa após as ações de melhoria implementadas e motivadas pelos resultados obtidos com a aplicação das ferramentas da qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: falha, qualidade, correia, Weibull, Qui-Quadrado.

Zimmermann, Lara Cassol. **Quality tools applied in the investigation of failures in agricultural machine belts**. 2022. 30 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

ABSTRACT

Failure analysis reduces waste, seeks solutions to problems, bringing customer satisfaction and competitiveness for companies. Failure analysis can be performed with different methodologies and procedures. The present paper proposes to present the failure analysis of agricultural machinery belts in the warranty period, using the statistical tools of quality control and to evaluate the results of its application in the reduction of failures in warranty of the treated mechanical component. The following tools will be used: Stratification, Check Sheet (questionnaire), Pareto Diagram, Ishikawa Diagram and Histogram. A Weibull analysis will also be carried out to understand the form of the failure rate. The validation of the implemented improvements will be done statistically through a chi-square test. In this way, it was concluded that the quality tools were successfully used, since the failures in the component reduced in a statistically significant way after the improvement actions implementation which was motivated by the results obtained with the application of the quality tools.

KEYWORDS: Failure, quality, belt, Weibull, Chi-Square.

NOMENCLATURA

Símbolos

F_e	Frequência esperada
F_o	Frequência observada
$F(t)$	Probabilidade acumulada de falha em função do tempo
$f(t)$	Densidade de probabilidade
$g.l.$	Graus de liberdade
H_o	Hipótese nula
H_1	Hipótese alternativa
$R(t)$	Confiabilidade em função do tempo
t	tempo

Símbolos gregos

β	Fator de forma de Weibull
Γ	Função Gamma
η	Fator de escala de Weibull
$\lambda(t)$	Taxa de falha em função do tempo
χ^2	Qui-quadrado
χ^2_{crit}	Qui-quadrado crítico

Abreviaturas e acrônimos

MTTF	Mean Time To Failure (Tempo médio até a falha)
------	---

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	1
2.1 CORREIAS E ELEMENTOS FLEXÍVEIS	1
2.2 EVOLUÇÃO DA CONCEPÇÃO DE QUALIDADE.....	2
2.3 GESTÃO DA QUALIDADE.....	3
2.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE.....	4
2.4.1 Estratificação.....	4
2.4.2 Folha de verificação.....	4
2.4.3 Diagrama de Ishikawa	4
2.4.4 Diagrama de Pareto	4
2.4.5 Histograma.....	4
2.5 CONFIABILIDADE (R(t)).....	5
2.6 TAXA DE FALHA (λ).....	5
2.7 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL.....	5
2.8 ASSOCIAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS QUALITATIVAS	6
3. ESTUDO DE CASO	7
3.1 METODOLOGIA	7
3.2 ESTRATIFICAÇÃO	7
3.3 FOLHA DE VERIFICAÇÃO	7
3.4 DIAGRAMA DE PARETO.....	8
3.5 DIAGRAMA DE ISHIKAWA	8
3.6 HISTOGRAMA.....	8
3.7 ANÁLISE DE WEIBULL.....	9
3.8 TESTE DE QUI-QUADRADO	12
4. RESULTADOS	13
5. CONCLUSÃO	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
ANEXO	16
APÊNDICE.....	17

1. INTRODUÇÃO

A análise de falhas está presente em todos os processos da cadeia produtiva, seja ela industrial, da construção civil, entre outros, uma vez que, no atual cenário econômico, a otimização de processos e a redução de desperdícios são objetivos muito almejados pelas indústrias e empresas. Para executar uma análise de falhas, diversas metodologias e procedimentos são apresentados nas bibliografias técnicas ou utilizadas dentro das empresas e indústrias. O presente trabalho se propõe apresentar a análise de falhas em garantia de correias de máquinas agrícolas, utilizando as ferramentas estatísticas de controle da qualidade.

Para Xenos (1998, p. 289): “As ferramentas da qualidade são métodos simples, mas poderosos para a interpretação de informações numéricas ou não e que têm uma aplicação bastante ampla.”

Segundo Vieira (2012, p. 5): “As sete ferramentas estatísticas para o controle da qualidade são um conjunto de técnicas gráficas que surgem no decorrer da análise de dados quando a intenção é manter a qualidade.”

Ao longo de 2020, identificou-se, na empresa em que a autora trabalha o crescimento de falhas de correias no período de garantia para uma determinada família de máquinas. Sendo assim, buscou-se entender essas falhas, seus modos e causa raiz, o que será abordado nesse trabalho. Para esta análise, foi empregado o uso das ferramentas da qualidade.

Dentro deste contexto, as correias têm como função a transmissão de potência mecânica entre polias e eixos e são componentes de desgaste dentro dos sistemas que estão inseridas, pois seu bom funcionamento e durabilidade dependem das boas condições de operação de todo o sistema. E uma vez que a correia falhe, a máquina para de funcionar até que seja feito o reparo, essa situação acarreta, dentro da rotina agrícola, parada de plantio, colheita ou transbordo, atividades que tem um período específico e curto dentro do ano para acontecerem.

Dados esses fatos, pode se entender a importância da correia e de seu bom desempenho tanto para a satisfação dos clientes quanto para alcançar os objetivos da empresa.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo realizar a análise das falhas de correias em maquinários agrícolas observando a influência das ferramentas da qualidade na investigação e analisar os resultados da sua aplicação na redução das falhas em garantia do componente mecânico tratado. Serão utilizadas as ferramentas: Estratificação, Folha de verificação (questionário), Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa e Histograma. Também será feita uma análise de Weibull para entender qual a forma da taxa de ocorrência das falhas. A validação das melhorias implementadas será feita estatisticamente por meio de um teste de Qui-quadrado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CORREIAS E ELEMENTOS FLEXÍVEIS

Correias são elementos de transmissão mecânica de rotação e potência. No caso das máquinas agrícolas, as correias transmitem potência do motor para os eixos acionadores de outros componentes como, compressor, bomba, alternador. Elas possuem vantagens econômicas quando comparadas a engrenagens e podem fazer essa transmissão em eixos com distância maior.

Sobre as características de correias e elementos flexíveis de máquinas:

[...] eles ocupam uma posição importante no que diz respeito a absorver cargas de choque e a amortecer e isolar os efeitos de vibração. Essa é uma vantagem importante para a vida da máquina.

A maioria dos elementos flexíveis não dispõe de uma vida infinita. Ao serem utilizados, é importante estabelecer um programa de inspeção, a fim de protegê-los contra desgaste, envelhecimento e perda de elasticidade. Tais elementos devem ser trocados ao primeiro sinal de deterioração. (SHIGLEY, 2005, p. 816)

A figura 1 demonstra a aplicação de uma correia na transmissão de potência, a imagem é ilustrativa, não é da correia analisada no trabalho.

Figura 1 – Sistema de transmissão de potência mecânica por correia



Fonte: Minuto Seguros, 2022.

Disponível em: < <https://www.minutoseguros.com.br/blog/correia-do-alternador/>>.

Acesso em: 07 de abril de 2022.

2.2 EVOLUÇÃO DA CONCEPÇÃO DE QUALIDADE

Garvin (1992), dividiu a evolução em quatro eras, sendo elas:

- 1ª Era da Inspeção (antes da industrialização)
- 2ª Era do Controle de Qualidade (após industrialização)
- 3ª Era da Garantia da Qualidade (décadas de 1930 e 1940)
- 4ª Era da Gestão da Qualidade Total (décadas de 60, 70 e 80)

Ao longo do tempo, a qualidade tem evoluído e se tornado um conceito cada vez mais abrangente. Segundo Lobo (2020, p.21) até a Segunda Guerra Mundial, a noção de qualidade era baseada nas características físicas do produto, uma vez que a demanda era muito maior que a oferta. Sendo essa a Era de Controle da Qualidade.

Para Souza (2018, p. 9), a qualidade como um conceito foi concebida a partir da década de 1930 nos Estados Unidos e de 1940 no Japão, porém só a partir da década de 50 que se pode notar aumento da importância com o gerenciamento da qualidade.

A partir de então, o resumo da evolução do conceito de qualidade pode ser visto na tabela 1, adaptado de Ballesterro-Alvarez (2019, p. 79)

Tabela 1 – Evolução do conceito de qualidade e contexto histórico

Epoca	Foco	Fato gerador	Qualidade	Ênfase	Instrumentos
1950	Padrão	Produção em massa	Atendimento aos padrões estabelecidos no projeto do produto	Interna, dentro da empresa; maior importância aos interesses do fabricante e produtor	<ul style="list-style-type: none"> • Padronização • Inspeção • Controle estatístico do processo
1960	Uso	Consumidor	Atendimento à expectativa do consumidor	Externa, o cliente é mais importante; deve atender aos interesses do consumidor	<ul style="list-style-type: none"> • Pesquisa de mercado • Análise de tendências • Início do envolvimento interfuncional na empresa
1970	Custo	Crise do petróleo	Atendimento do mercado consumidor com custos de produção mais baixos	Interna, dentro da empresa; início do controle do processo	<ul style="list-style-type: none"> • Controle total de qualidade
1980	Desejo	Mudanças sociais e políticas	Antecipar necessidades do cliente	Externa, o cliente é o mais importante; integração; competição	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão do processo • Sondagens de mercado • Controle da qualidade gerencial • Novas formas de estruturas organizacionais
1990	Investidor	Globalização	Reconhecimento do valor do produto	Mista: interna, dentro da empresa; externa, a economia global	<ul style="list-style-type: none"> • Todas as anteriores • Análise global • Decisões estratégicas • Importância das pessoas • Preocupação ambiental • Quebra de paradigma
2000	<i>Stakeholders</i> (partes interessadas)	Organização que aprende	Foco no funcionário e no cliente	Mista: interna, dentro da empresa; externa, a economia global; ambiental e a responsabilidade social	<ul style="list-style-type: none"> • Todas as anteriores • Produção enxuta • 6 sigma

Fonte: Adaptado de Ballester-Alvarez (2019, p. 79)

2.3 GESTÃO DA QUALIDADE

A norma ABNT NBR ISO 9000:2015 (2015, p. 15) Sistema de gestão da qualidade – Fundamentos e Vocabulários define gestão como atividades controladas para dirigir e controlar

uma organização. E qualidade como grau em que um conjunto de características inerentes de um objeto satisfaz os requisitos. Sendo então a gestão da qualidade a gestão no que diz respeito à qualidade.

2.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Como definição para as ferramentas da qualidade e seus objetivos tem-se que:

Ferramentas de qualidade são técnicas que podem ser utilizadas com o objetivo de determinar, mensurar, analisar e propor soluções para os problemas que podem ocorrer e, conseqüentemente, interferir no desempenho ideal dos processos de trabalho que estão sendo executados. Seu surgimento e estruturação ocorreram a partir da década de 1950, baseando-se em conceitos e práticas que já existiam. Desde então, o uso e a aplicação das ferramentas têm sido de grande importância para os sistemas de gestão de qualidade. O uso dessas ferramentas estatísticas, proporcionam melhorias de produtos, serviços e processos. (SOUZA, 2018, p. 17)

Nas seções a seguir serão descritas as ferramentas da qualidade utilizadas no trabalho.

2.4.1 Estratificação

A estratificação de dados é uma ferramenta que auxilia na identificação e priorização do problema, bem como na verificação e validação dos resultados. A estratificação nada mais é do que dividir e organizar os dados coletados em categorias ou subgrupo. Para Carpinetti (2016, p. 76), o objetivo da estratificação de dados é identificar como a variação de cada um desses fatores interfere no resultado do problema ou processo investigado. De forma a obter uma categorização mais confiável, é recomendado o registro de todos os fatores que sofrem alteração durante o período de coleta de dados na máquina ou processo investigado.

2.4.2 Folha de verificação (*checklist*)

A folha de verificação é uma planilha ou questionário que o colaborador deverá preencher ao realizar a tarefa de manutenção, troca ou ajuste do componente ou máquina, assim ele saberá o que deve ser observado no estado da máquina e na falha em si. Ela também possibilita que os dados obtidos sejam relevantes e cheguem padronizados, otimizando a estratificação e posteriormente a análise dos mesmos.

2.4.3 Diagrama de Ishikawa

Também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha-de-Peixe, o Diagrama de Ishikawa, segundo Lobo (2020, p. 55) foi desenvolvido para representar a relação entre o efeito da falha e todas as possibilidades que podem contribuir para sua ocorrência. As principais causas das falhas são divididas em seis grandes grupos, chamados de 6 M's, sendo eles: máquina, mão de obra, método, manutenção (medidas), material e meio ambiente.

2.4.4 Diagrama de Pareto

Diagrama de Pareto é um gráfico de barras que utiliza em sua construção o princípio de Pareto que diz que 80% dos problemas advêm de 20% das causas. É utilizado para priorização, por exemplo, dos modos de falha a serem analisados ou das ações corretivas a serem implementadas.

Britto (2016, p. 40) diz que atualmente não se utiliza mais estritamente a proporção 80/20, mas sim o critério em que a menor parte dos problemas gere os maiores impactos.

2.4.5 Histograma

O histograma também é um gráfico de barras que demonstra os fenômenos observados e os separa pela sua frequência de ocorrência. Para Souza (2018, p. 122) serve para identificar os pontos de máximo e mínimo em cada indicador de um processo.

2.5 CONFIABILIDADE (R(t))

A confiabilidade de um item, segundo Fogliatto e Ribeiro (2011, p.2) corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas. (apud LEEMIS, 1995). Ou seja, a confiabilidade também pode ser vista como a probabilidade de um item não falhar sob condições esperadas e desejadas para sua aplicação e uso. Sendo uma probabilidade, ela pode ter valores de 0 a 1 ou de 0 a 100% e é expressa pela equação 1:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

2.6 TAXA DE FALHA (λ)

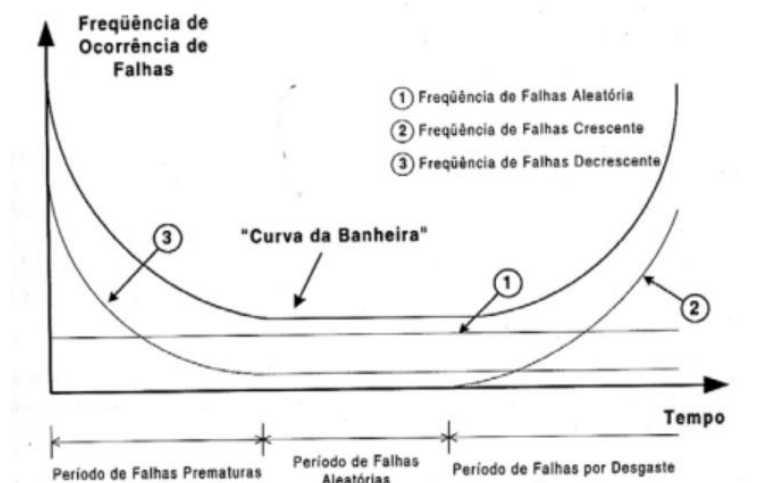
Kardec e Nascif (2009, p. 110) definem taxa de falha (λ) como número de falhas por unidade de tempo, como pode ser visto na equação 2:

$$\lambda = \frac{\text{número de falhas}}{\text{horas de operação}} \quad (2)$$

As falhas ao longo do tempo podem ocorrer de forma crescente, decrescente ou constante. Para Xenos (1998, p. 70), falhas com uma frequência constante são causadas por eventos aleatórios, resultado da aplicação de esforços que excedem a resistência do componente. Já ocorrências de falhas crescentes, geralmente indicam fadiga do material, e uma ocorrência decrescente é quando a confiabilidade do item aumenta com o tempo, por exemplo, quando recebe melhorias.

A partir do comportamento da taxa de ocorrência é formulado a um modelo de falhas chamado de Curva da Banheira, demonstrado na figura 2:

Figura 2 - Curva da banheira



Fonte: Xenos (1998, p.71)

2.7 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A distribuição de Weibull é uma modelagem matemática de confiabilidade que permite analisar o tempo de uso de um componente até sua falha. Para Fogliatto e Ribeiro (2011, p. 29), é uma das mais importantes modelagens de confiabilidade devido a sua flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até falha com componentes distintos.

Ainda segundo Fogliatto e Ribeiro (2011, p. 29), as equações necessárias para a análise de Weibull são as apresentadas a seguir, em que a equação 3 demonstra a probabilidade acumulada de falha em função do tempo de operação; já a densidade de probabilidade, ou seja, a o percentual de falhas que ocorrem por unidade de tempo é dada pela equação 4; a equação 5 representa a confiabilidade; na equação 6 está demonstrada a taxa de falhas em função do

tempo; e, por fim, na equação 7 apresenta o Tempo Médio Até Falhar, do inglês *Mean Time To Failure* (MTTF):

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} t^{(\beta-1)} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (4)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (5)$$

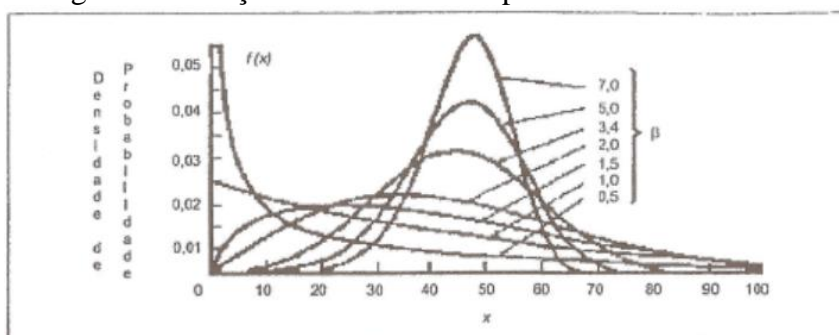
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (6)$$

$$MTTF = \eta \Gamma(1 + \beta^{-1}) \quad (7)$$

Uma vez que, t é o tempo de ocorrência de falha, β o parâmetro de forma, η é a vida característica ou também parâmetro de escala e representa o número de horas em que 63,2% das correias falharam. Já Γ é a função Gama, uma integral definida e tabelada.

Para classificar o comportamento da taxa de ocorrência de falhas de uma amostra, utiliza-se o parâmetro de forma β . Sempre que $\beta < 1$, a curva de ocorrência de falhas fica decrescente, indicando um período de falhas prematuras, também chamado de mortalidade infantil. Para valores de $\beta = 1$, a taxa de falha está constante, classificando-se como um período de falhas aleatórias. Já para $\beta > 1$, verifica-se uma taxa de falhas crescente, ou seja, falhas por desgaste do equipamento. A representação gráfica da distribuição está demonstrada na figura 3:

Figura 3 – Função da densidade de probabilidade de Weibull



Fonte: Lafraia (2001, p. 37)

2.8 ASSOCIAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS QUALITATIVAS

A medida de associação de variáveis qualitativas que será utilizada é chamada de Teste de Qui-quadrado (χ^2) e objetiva demonstrar a dependência entre duas variáveis. Segundo Barbeta, Reis e Bornia (2010, p. 288) o teste verifica se existe associação entre variáveis qualitativas (categóricas), com base em uma amostra de observações disposta em uma tabela.

Para isso, são definidas duas hipóteses, a nula e a alternativa, sendo elas:

H_0 : As variáveis classificadas são independentes (não existe associação entre elas);

H_1 : As variáveis classificadas não são independentes (existe associação entre elas).

Este teste será realizado para verificar se as ações de melhoria implementadas a partir da investigação apresentada no trabalho foram efetivas, ou seja, se as ações implementadas modificaram a frequência de falhas de tal forma, que a diferença entre a frequência de falhas, antes e depois das alterações foi estatisticamente significativa.

Para Fonseca e Martins (2012, p. 226), a estatística do teste é um tipo de distância entre as frequências observadas e as frequências esperadas por H_0 . O que é dado pela equação 8, onde χ^2 é o valor a ser calculado que será comparado com χ^2_{crit} , valor encontrado em tabelas de distribuição χ^2 , k é o número de categorias (modos de falha), F_o a frequência observada e F_e a frequência esperada:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(Fo_i - Fe_i)^2}{Fe_i} \quad (8)$$

Para localizar o χ_{crit}^2 nas tabelas da distribuição Qui-quadrado, (ANEXO I) é necessário encontrar a quantidade de graus de liberdade, o que é dado pela equação 9 e definir o grau de significância desejado para o teste:

$$g.l = k - 1 \quad (9)$$

Ao comparar χ^2 com χ_{crit}^2 , de acordo com Fonseca e Martins (2012, p. 226), tem-se que:

- Se $\chi^2 < \chi_{crit}^2$ não se pode rejeitar H_o , ou seja, as frequências observadas e esperadas não são discrepantes.
- Se $\chi^2 \geq \chi_{crit}^2$ rejeita-se H_o , concluindo, que há discrepância entre as frequências observadas e esperadas.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 METODOLOGIA

O presente trabalho foi elaborado com base nos métodos de aplicação das ferramentas da qualidade, apresentados nos livros, artigos e monografias relacionados na fundamentação teórica, sendo aplicados aos dados coletados das falhas em correias em máquinas agrícolas. Após isso, analisou-se estatisticamente a efetividade das ações de melhoria propostas.

3.2 ESTRATIFICAÇÃO

Estratificar os dados significa entender e selecionar as possíveis causas de variação no processo, nesse caso no comportamento do componente. Sendo assim, todos os dados disponíveis foram analisados e os que foram julgados como de maior importância, ou seja, que trariam as possíveis causas de falhas identificadas foram:

- Desgaste do ferramental na confecção da correia, controlado por lote de fabricação no fornecedor da correia.
- Horas de uso até a falha
- Estação do ano da data da falha
- Atividade para qual a máquina era usada no momento da falha
- Período de fabricação da máquina
- Classificação de possível Causa, Efeito e Solução para o problema

A partir da estratificação os dados analisados serão apresentados em histogramas, gráficos de dispersão, diagramas de Pareto e cartas de controle. A estratificação foi realizada utilizando o banco de dados da empresa, fazendo um levantamento de quais eram os dados das falhas de maior relevância.

3.3 FOLHA DE VERIFICAÇÃO

Uma folha de verificação (APÊNDICE A) no estilo *checklist* foi criada para tornar a coleta de dados mais objetiva e auxiliar na estratificação e análise dos dados que chegavam de campo. Também como guia para o colaborador de manutenção, assim ele sabe quais aspectos que podem ser observados no estado da máquina ou do componente falhado são relevantes para o entendimento do problema pela fábrica.

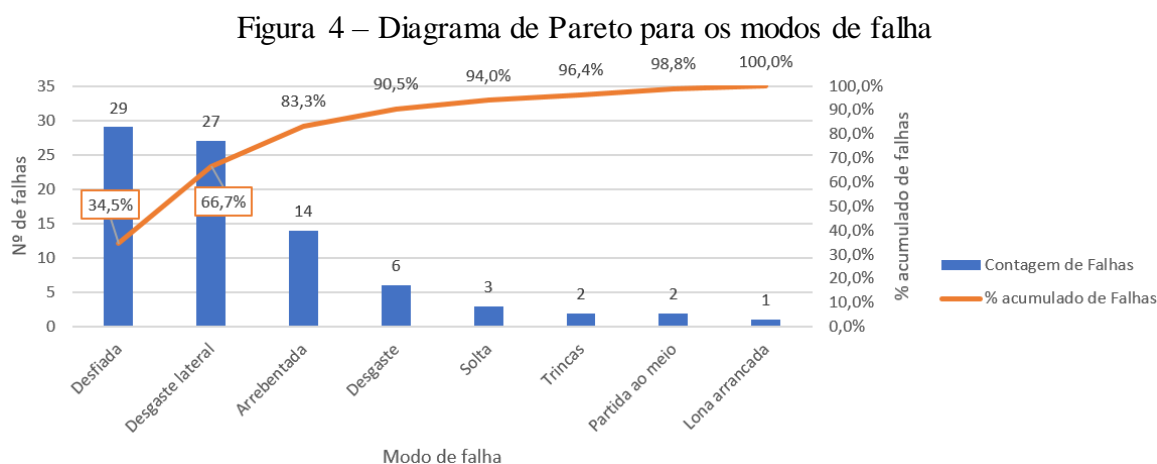
Os aspectos perguntados na folha de verificação foram:

- Aplicação da máquina
- Atividade realizada no momento da falha
- Aparência do item falhado
- Condição anormal de funcionamento

- Alinhamento das polias
- Rastreabilidade do item (lote e data de fabricação)
- Reincidência da falha
- Alteração na estrutura original da máquina

3.4 DIAGRAMA DE PARETO

O diagrama de Pareto construído nessa investigação está na figura 4, e demonstra os modos de falhas que impactam em aproximadamente 80% dos problemas, sendo eles: desfiada, desgaste lateral e arrebitada.



Fonte: Elaborado pela autora.

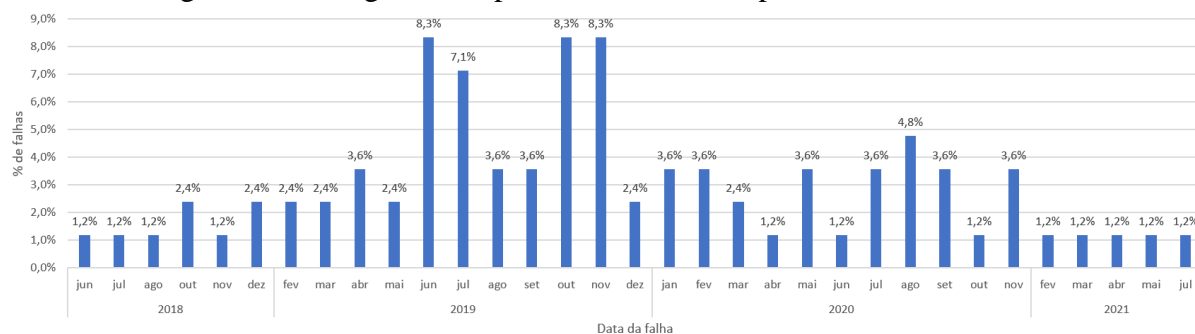
3.5 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O Diagrama de Ishikawa para as falhas de correias está no APÊNDICE B e auxilia a relacionar os principais efeitos notados a partir de uma falha com a sua possível causa. Ele serve de guia na escolha e priorização da ação corretiva a ser implementada e foi construído por um time multifuncional.

3.6 HISTOGRAMA

No histograma da figura 5 pode-se ver o percentual das falhas nos meses em que elas ocorreram. É importante salientar que a planilha eletrônica utilizada para a elaboração dos gráficos não mostra os meses em que não ocorreram falhas. Nesta análise, os anos que tiveram destaque em ocorrência de falhas foram 2019 e 2020, onde é possível ver os picos de ocorrência. Para o ano de 2019, os picos de falhas estão nos meses de junho e julho e outubro e novembro. Já para o ano de 2020, o pico está nos meses julho, agosto e setembro, porém já com um número significativamente menor.

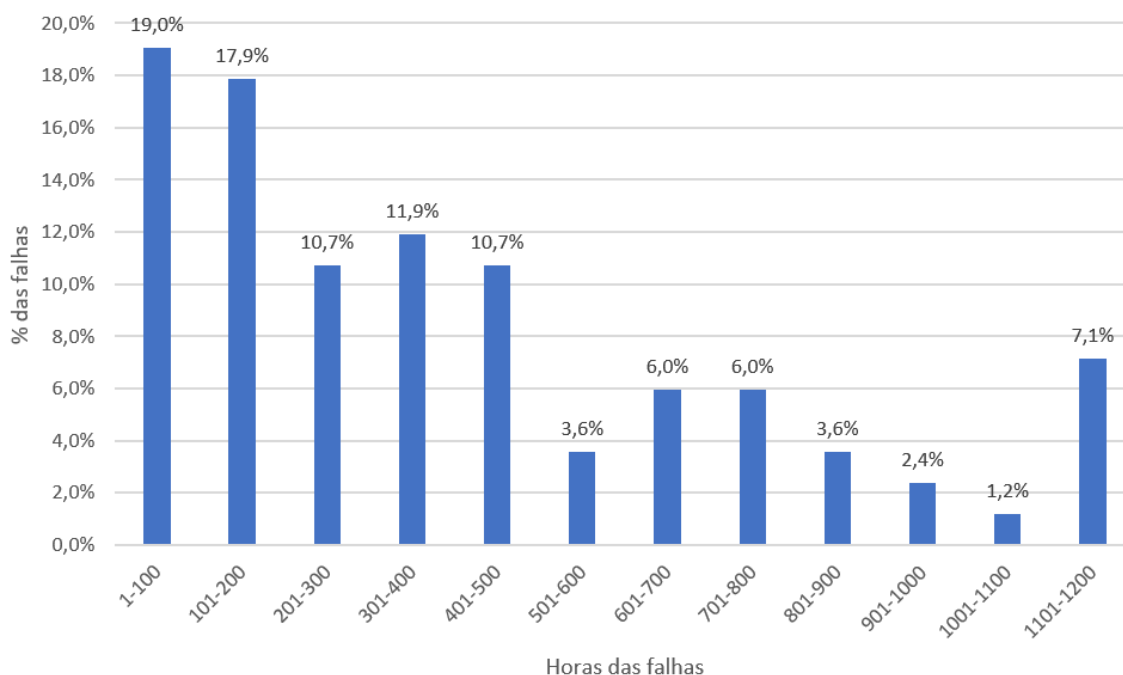
Figura 5 – Histograma do percentual de falhas por mês de ocorrência



Fonte: Elaborado pela autora.

O histograma da figura 6, mostra o percentual de falhas pela hora de uso em que a falha acontece. Nele se observa a maior ocorrência de falhas nas primeira 500 horas de uso.

Figura 6 – Histograma do percentual de falhas pela hora de falha



Fonte: Elaborado pela autora.

3.7 ANÁLISE DE WEIBULL

A análise de Weibull, segundo Lafraia (2001, p. 49), permite determinar a fase das falhas do componente. Para esse problema as análises de Weibull foram feitas para os três principais modos de falha encontrados: desfiada, desgaste lateral e arreventada.

De posse das horas de uso até a falha, utiliza-se uma análise de regressão linear para encontrar os parâmetros β e η pelas seguintes equações (LAFRAIA, 2001; ALBERNETHY, 1983):

$$Y = AX + B \quad (10)$$

$$Y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) \quad (11)$$

$$X = \ln(t) \quad (12)$$

$$A = \beta \quad (13)$$

$$B = -\beta \ln(\eta) \quad (14)$$

Sendo a equação 10 a equação da reta e as equações 11 e 12 referentes aos eixos X e Y, plotados na reta de Weibull. Nas equações 13 e 14 os coeficientes A e B da reta de Weibull. Com A e B determinados, encontra-se β e η , sendo η apresentado na equação 15:

$$\eta = e^{\left(-\frac{B}{A}\right)} \quad (15)$$

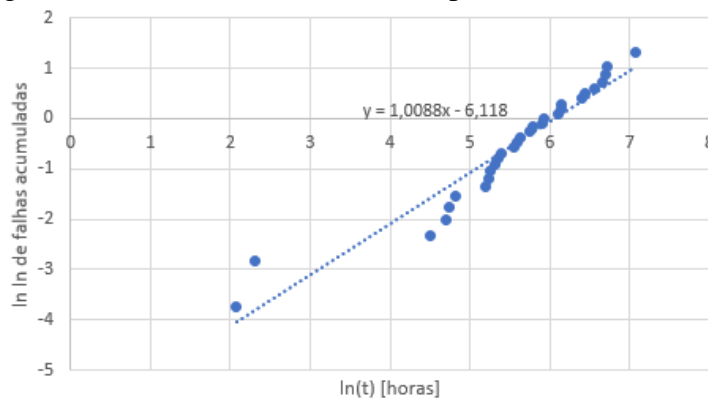
Então ordenou-se a série de dados de horas de uso até a falha em ordem crescente e a probabilidade acumulada de falha foi estimado com a fórmula de Bernard, também conhecida como número de ordem médio, mostrada na equação 16:

$$F(t) = \frac{i-0,3}{N+0,4} \quad (16)$$

Onde i é a ordem dos dados de tempo entre falhas e N é o número de dados.

As tabelas para cada um dos modos de falhas estão no APÊNDICE C e a partir delas se obtêm os gráficos de Weibull linear para cada modo de falha. Na figura 7, está apresentado o gráfico de Weibull linear para o modo de falha desfiada, já na figura 8 encontra-se o gráfico de Weibull linear para correias com desgaste lateral e, por fim, na figura 9 o gráfico de Weibull linear para correias arrebitadas.

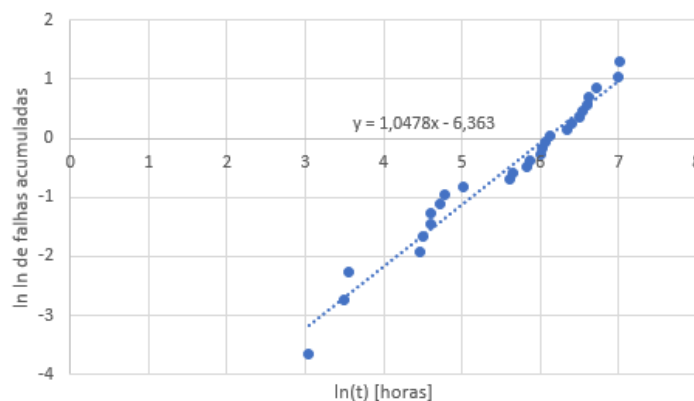
Figura 7 - Gráfico de Weibull linear para correias desfiadas



Fonte: Elaborado pela autora.

Na planilha eletrônica utilizada existe a ferramenta que indica a equação da linha de tendência criada a partir dos pontos do gráfico, sendo assim, para o modo de falha desfiada tem-se $\beta=1,0088$ e calculando η com a equação 11, $\eta=430,2287$.

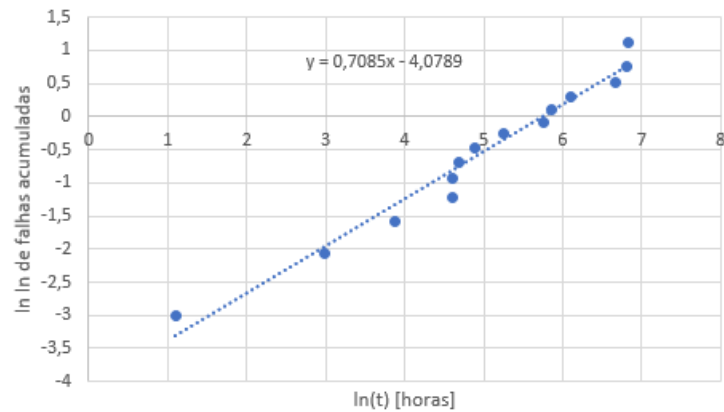
Figura 8 - Gráfico de Weibull linear para correias com desgaste lateral



Fonte: Elaborado pela autora.

Com o mesmo procedimento, para correias com desgaste lateral, $\beta=1,0478$ e $\eta=433,9169$.

Figura 9 - Gráfico de Weibull linear para correias arrebitadas

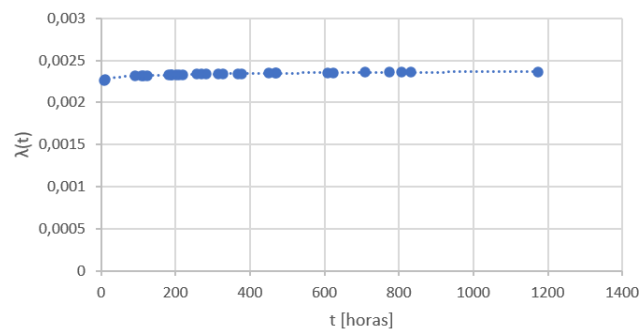


Fonte: Elaborado pela autora.

E para o modo de falha arrebitada, $\beta=0,7085$ e $\eta=316,5562$.

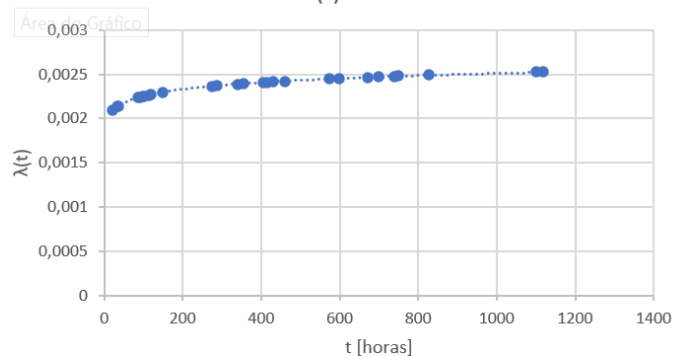
Com β e η , os dois parâmetros de Weibull, é possível então chegar ao gráfico de Weibull plotado a partir da equação 6 que traz a taxa de falha (λ) versus o tempo de falha. Também pode-se plotar o gráfico de confiabilidade $R(t)$ versus tempo de falha. Nas figuras 10, 11 e 12, respectivamente tem-se os gráficos de taxa de em função do tempo para os modos de falha desfiada, desgaste lateral e arrebitada.

Figura 10 – (a) Gráfico de Weibull para taxa de falha (λ) versus o tempo de falha para correias desfiadas
 $\lambda(t) \times t$



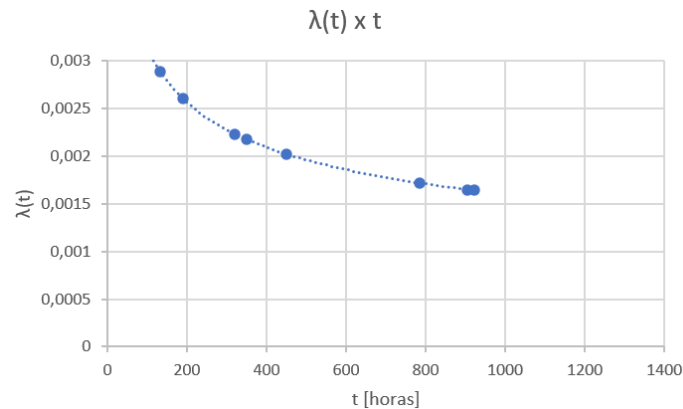
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 11 – (a) Gráfico de Weibull para taxa de falha (λ) versus o tempo de falha para correias com desgaste lateral
 $\lambda(t) \times t$



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 12 – Gráfico de Weibull para taxa de falha (λ) versus o tempo de falha para correias arreventadas



Fonte: Elaborado pela autora.

3.8 TESTE DE QUI-QUADRADO

Cabe ressaltar que os dados de falhas foram coletados por dois anos para a realização da análise, e hoje se tem apenas dados de um ano após a implementação das falhas, portanto a frequência esperada (F_e) foi dividida por dois. Por exemplo, para o modo de falha “solta”, em 2 anos antes das ações de melhorias encontrou-se 3 falhas, então a frequência esperada será 1,5 de modo que os valores fiquem equivalentes em período de observação

O teste de qui-quadrado acontece pela comparação das frequências observadas com as esperadas. Sendo as frequências observadas (F_o), as frequências de ocorrência de falhas após a realização das melhorias, e as frequências esperadas (F_e) a quantidade de falhas esperada seguindo a mesma proporção da quantidade de falha analisadas no período anterior às ações de melhoria estarem implementadas. Na tabela 2 abaixo encontra-se a metodologia do teste Qui-quadrado:

Tabela 2 – Teste de Qui-quadrado

	Freq. c/ ações	Freq. s/ ações	χ^2
Modos de falha	Freq. observada (F_o)	Freq. esperada (F_e)	$(F_o - F_e)^2 / F_e$
Desfiada	6	14,5	4,98
Desgaste lateral	5	13,5	5,35
Arreventada	3	7	2,29
Desgaste	1	3	1,33
Solta	2	1,5	0,17
Trincas	0	1	1,00
Partida ao meio	2	1	1,00
Lona arrancada	0	0,5	0,50
		χ^2	16,62

Fonte: Elaborado pela autora.

Como são apresentadas 8 categorias (modos de falha) e sendo os graus de liberdade dados pela equação 9, tem-se que g.l.= 7, adotando um grau de certeza 95%, é possível localizar na tabela de distribuição Qui-quadrado, $\chi^2_{crit} = 14,067$, sendo assim a hipótese H_0 é rejeitada, pois $\chi^2 \geq \chi^2_{crit}$.

4. RESULTADOS

Com o diagrama de Pareto definiram-se em quais modos de falha se concentrariam as análises, ou seja, quais os modos de falha que concentram aproximadamente 80% das falhas, sendo assim os principais modos de falha a serem trabalhados são correia desfiada, correia com desgaste lateral e correia arreventada.

O diagrama de Ishikawa auxilia a identificar onde focar as ações de melhoria, relacionando as possíveis causas com os efeitos encontrados. Para os três modos de falha principais vistos a partir do diagrama de Pareto, observa-se que a correia desfiada tende a estar relacionada com o desalinhamento das polias, uma causa proveniente do Método. Já o desgaste lateral das correias pode estar relacionado com o desalinhamento da própria correia, o que pode ser causado tanto pelo Método de instalação, quanto pela ação de agentes externos à máquina, ou seja, uma causa originada do Meio Ambiente. Por fim, para correias arreventadas a causa pode ser a tensão excessiva aplicada na instalação, por falta de controle ou treinamento, o que pode estar relacionado com a Mão de obra ou também o Método.

Os picos de falha em meses de inverno descartam a hipótese de ressecamento das correias devido ao calor excessivo nos meses de verão dentro do alojamento do motor. Porém, esses picos em momentos específicos podem indicar não conformidades no processo de fabricação ou no material do fornecedor (em alguns lotes).

Visualmente, o histograma de horas das falhas é similar com a distribuição de Weibull, justificando a escolha em utilizá-la para a análise de confiabilidade, pois de acordo com Fogliatto e Ribeiro (2011, p. 34), uma das formas mais comuns de verificação de ajuste de dados a distribuições hipotetizadas é a forma gráfica, através da análise da similaridade da distribuição conhecida ao histograma de frequência encontrado, como pode ser visto na figura 3 para β entre 0,5 e 1,5. Outro ponto importante na análise do histograma de horas de falha é a alta incidência das falhas em baixas horas, o que na maioria das vezes indica erros de instalação ou de fabricação do componente.

Ao analisar os gráficos de taxa de falha (λ) versus o tempo (t) das figuras 10 e 11, vê-se a taxa de falha praticamente constante ao longo do tempo, indicando para os modos de falha desfiada e desgaste lateral que o componente está em uma fase de falhas aleatórias. Segundo Xenos (1998, p.70) uma frequência de falhas constante pode ser resultado da aplicação de esforços que excedem a resistência intrínseca do equipamento e a probabilidade de ocorrência dessas falhas não tende a variar à medida que o equipamento envelhece.

O mesmo resultado pode ser obtido verificando os valores de β apresentados nos gráficos de Weibull linear das figuras 7 e 8 em que β está com valores muito próximos de 1, o que mostra a falha do componente ainda na sua vida útil, o período com menor taxas de falhas do gráfico da banheira.

De acordo com o diagrama de decisões do fator de forma Weibull (ANEXO II) as possíveis causas para essas falhas podem ser o equipamento com taxa de falhas constante (aleatória), erro na coleta de dados ou operação fora das condições de projeto.

Já para o gráfico da taxa de falha (λ) versus o tempo (t) da figura 12, observa-se que a taxa de falha é decrescente ao longo do tempo apenas para o modo de falha “arreventada”, mostrando que o componente, neste modo de falha, está na fase de mortalidade infantil. Para Fogliatto e Ribeiro (2011, p. 29), o primeiro estágio da curva da banheira é uma região com taxa de falhas alta, porém decrescente, e nesse estágio a taxa de falhas são majoritariamente decorrentes de causas especiais.

O mesmo pode ser visto a partir do β encontrado nos gráficos de Weibull linear da figura 9, para o modo de falha arreventada, pois neles $\beta < 1$, o que indica um período de falhas prematuras.

De modo a analisar o valor de $\beta < 1$, utiliza-se o diagrama de decisões do fator de forma Weibull (ANEXO II). Nele está indicado que as causas prováveis para as falhas podem ser: serviço malfeito, material ruim, equipamento mal operado, ou equipamento novo em fase de ajuste, o que direciona a investigação de quais podem ser as origens das causas especiais.

Como resultado dessa investigação, as ações de melhoria implementadas foram: redução das tolerâncias de fabricação do item, altura, comprimento e largura e revisão do habitáculo do motor para verificação e eliminação de possíveis interferências entre componentes com a correia quando a máquina estivesse em funcionamento.

A partir do Teste do Qui-quadrado, nota-se que há discrepância entre as frequências de falhas, observadas após as melhorias e esperadas caso as melhorias não tivessem sido feitas, ou seja, existe uma diferença estatisticamente significativa entre as frequências de ocorrência de falha para os modos de falha analisados, que é causada pelas ações de melhoria implementadas no componente e em seu processo, tais ações, derivaram das investigações feitas com as ferramentas da qualidade. Sendo assim, com a aplicação das ferramentas da qualidade foi possível reduzir as falhas no componente.

5. CONCLUSÃO

A significativa quantidade de falhas em correias em garantias de uma fábrica de máquinas agrícolas motivaram a investigação e análise aprofundadas de tais falhas e suas possíveis causas. Por terem sido encontrados diversos modos de falha para os componentes foram escolhidas as ferramentas da qualidade como método de análise para a escolha de ações de melhoria que fossem efetivas.

A partir da análise dos dados de falhas foi possível identificar quais os modos de falha mais frequentes, com o Diagrama de Pareto; suas possíveis causas, com o Diagrama de Ishikawa; obter informações de interesse e direcionar a atenção do funcionário de manutenção para situações anormais, com a folha de verificação; com os histogramas se descartou a hipótese de que o aumento da temperatura ambiente em meses de calor gerava mais falhas em correias, pois não foram observados picos de falhas em meses de verão, verificou-se que a maioria das falhas ocorriam até 500 horas de uso, não caracterizando falha por desgaste do item, o que também foi confirmado com os diagramas de Weibull, onde se viu $\beta \approx 1$, para os dois modos de falha com maior ocorrência, comprovando que os itens estão na fase de falhas aleatórias.

Com esses resultados as ações de melhoria implementadas foram a redução das tolerâncias de fabricação do item, altura, comprimento e largura e a revisão do habitáculo do motor para verificação e eliminação de possíveis interferências entre componentes com a correia quando a máquina estivesse em funcionamento.

Por fim, tendo passado um ano das melhorias implementadas, os dados de frequência de falha foram analisados novamente e com o uso de um teste de associação entre variáveis qualitativas, o teste de qui-quadrado, verificou-se que houve redução estatisticamente significativa das falhas antes e depois das ações de melhoria.

As ferramentas da qualidade cumpriram sua função, de “guia” na investigação de falhas em garantia, tendo sido aplicadas com sucesso, uma vez que as ações que derivaram do uso das ferramentas trouxeram proporcionalmente redução de aproximadamente 50% na ocorrência de falhas para o item, o que foi estatisticamente comprovado.

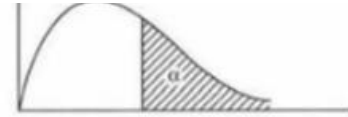
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulário – ABNT NBR ISO 9000:2015**, 2015.
- ALBERNETHY, Robert B. **Weibull Analysis Handbook**. Ohio: Aero Propulsion Laboratory, 1983.
- BALLESTERO-ALVAREZ, Maria E. **Gestão da qualidade, produção e operações**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- BARBETTA, Pedro A.; REIS, Marcelo M.; BORNIA, Antonio C. **Estatística para cursos de engenharia e informática**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- BRITTO, Eduardo. **Qualidade Total**. São Paulo: Cengage, 2016.
- CARPINETTI, Luiz C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- FOGLIATTO, Flávio S.; RIBEIRO, José L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.
- FONSECA, Jairo S.; MARTINS, Gilberto A. **Curso de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- GARVIN, David. A. **Gerenciando a Qualidade: Visão Estratégica e Competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009.
- LAFRAIA, João R. B. **Manual de confiabilidade, mantabilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2001.
- LOBO, Renato N. **Gestão da qualidade**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020.
- SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de engenharia mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- SOUZA, Stefania M. O. **Gestão da qualidade e produtividade**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.
- VIANA, Sonia. **Estatística para a qualidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade**. Belo Horizonte: Editora DG, 1998.

ANEXO

ANEXO I – Tabela da distribuição Qui-Quadrado

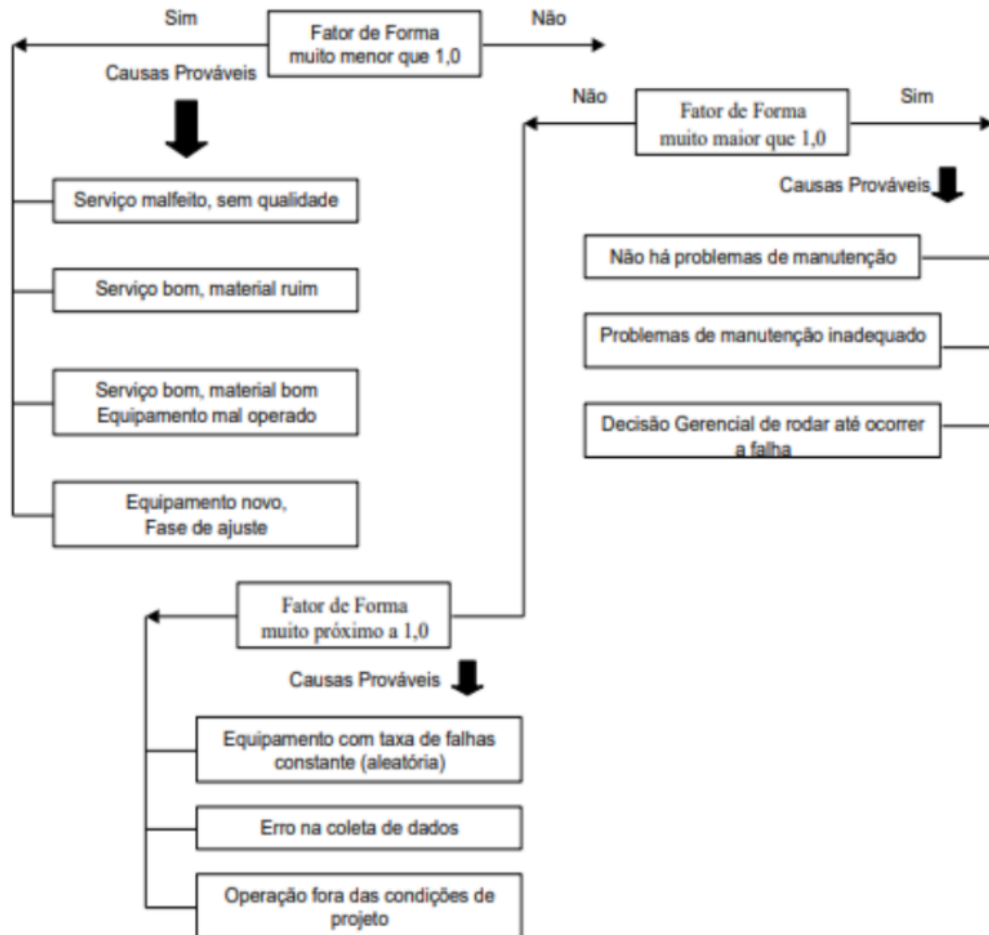
Tabela 2. Distribuição de χ^2



$\alpha \backslash \varphi$	0,995	0,990	0,975	0,950	0,900	0,750	0,500	0,250	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
1	0,0000	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	0,102	0,455	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88
2	0,0100	0,0001	0,0506	0,103	0,211	0,575	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	0,584	1,021	2,37	4,11	6,25	7,81	9,25	11,3	12,8
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,06	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	11,1	13,3	14,9
5	0,412	0,554	0,831	1,15	1,61	2,67	4,35	6,63	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7
6	0,676	0,872	1,24	1,64	2,20	3,45	5,35	7,84	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5
7	0,989	1,24	1,69	2,17	2,83	4,25	6,35	9,04	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3
8	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	5,07	7,34	10,2	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0
9	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	5,90	8,34	11,4	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6

Fonte: Fonseca e Martins (2012, p. 314)

ANEXO II – Diagrama de decisões de Weibull referente ao fator de forma (β)



Fonte: Kardec e Nascif (2009, p. 170)

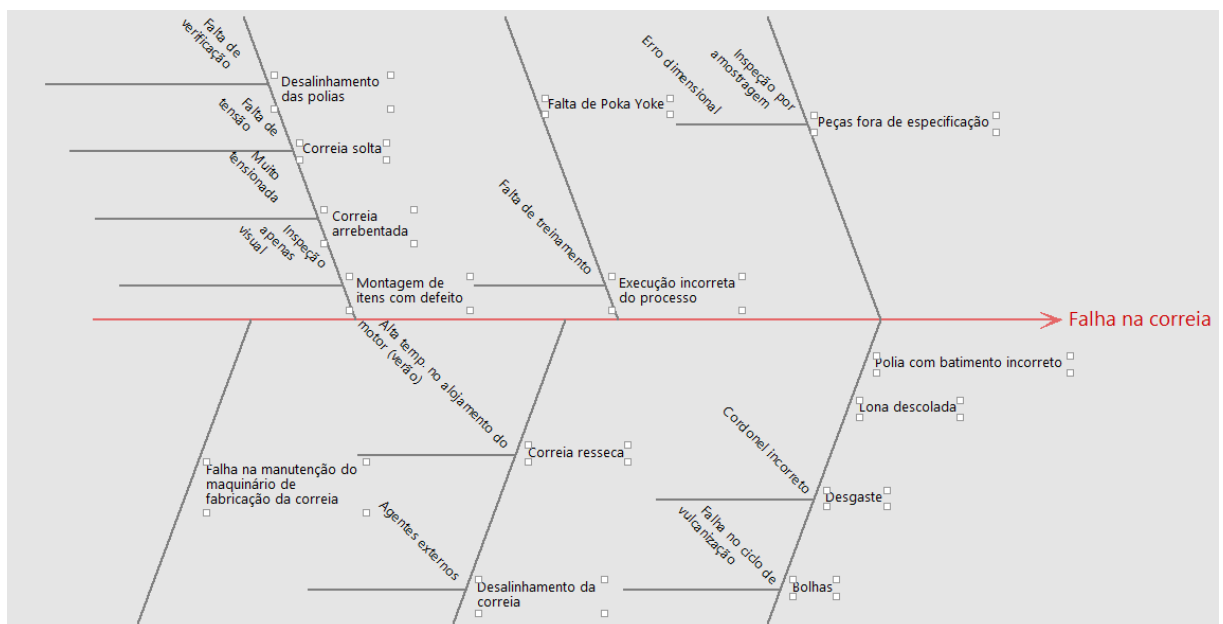
APÊNDICE

APÊNDICE A – Folha de verificação (*checklist*) para a coleta de dados

Concessionário	Data	Máquina	
Nome: _____		Modelo: _____	
Concessão: _____		Número de Série: _____	
		Horas: _____	
Questões			Comentário
1. Qual aplicação da máquina?			
1.1 Resposta: _____			
2. Qual a atividade a máquina estava desempenhando quando ocorreu a falha?			
2.1 Resposta: _____			
3. Qual falha ocorreu?			
<input type="checkbox"/> 3.1 – Correia rompeu <input type="checkbox"/> 3.2 – Correia solta A tensão da correia estava certa? 3.2.1 <input type="checkbox"/> – Sim 3.2.2 <input type="checkbox"/> – Não <input type="checkbox"/> 3.3 – Correia partiu ao meio <input type="checkbox"/> 3.4 – Correia se desgastou <input type="checkbox"/> 3.5 – Correia desgastou lateralmente <input type="checkbox"/> 3.6 – Correia desfiou <input type="checkbox"/> 3.7 – Correia patinando <input type="checkbox"/> 3.8 – Correia ressecada <input type="checkbox"/> 3.9 - Outros: _____ 3.10 - Anexe fotos/vídeos da correia danificada			
4. Foi notado algo de anormal que possa ter contribuído para que a falha ocorresse?			
<input type="checkbox"/> 5.1 - Não <input type="checkbox"/> 5.2 – Sim 5.3 - O quê? _____ 5.4 - Registre com fotos/vídeos			
5. O alinhamento das polias estava correto?			

<input type="checkbox"/> 6.1 – Sim <input type="checkbox"/> 6.2 – Não 6.3 - Se não, o que foi identificado? _____ _____	
6. Rastreabilidade	
<p>a) A rastreabilidade da correia está legível?</p> <input type="checkbox"/> 7.1 - Sim <input type="checkbox"/> 7.2 – Não <p>b) Se sim, anexe uma foto da área onde a rastreabilidade está registrada na correia:</p>	
7. Informações gerais	
<p>a) É a primeira vez que ocorre esta falha nesta máquina?</p> <input type="checkbox"/> 8.1 - Sim <input type="checkbox"/> 8.2 – Não 8.3 - Se não, quantas vezes já aconteceu, incluindo esta falha? Resposta: _____ <p>b) Houve alterações na estrutura física da máquina (adaptações/proteções)?</p> <input type="checkbox"/> 8.4 - Não <input type="checkbox"/> 8.5 – Sim 8.6 - Se sim, quais? _____ 8.7 - Registre com fotos/vídeos	

APÊNDICE B – Diagrama de Ishikawa para falhas em correias



APÊNDICE C – Tabelas Gráficos de Weibull

- Correias desfiadas

Horas de uso	i	F(t)	1/(1-F(t))	X	Y
8	1	0,023810	1,024390244	2,079441542	-3,725645038
10	2	0,057823	1,061371841	2,302585093	-2,820733108
90	3	0,091837	1,101123596	4,49980967	-2,33996397
109	4	0,125850	1,143968872	4,691347882	-2,006163702
114	5	0,159864	1,190283401	4,736198448	-1,747600408
123	6	0,193878	1,240506329	4,812184355	-1,534703301
182	7	0,227891	1,295154185	5,204006687	-1,352357777
189	8	0,261905	1,35483871	5,241747015	-1,191772815
190	9	0,295918	1,420289855	5,247024072	-1,047365219
202	10	0,329932	1,492385787	5,308267697	-0,915351077
210	11	0,363946	1,572192513	5,347107531	-0,793031274
219	12	0,397959	1,661016949	5,38907173	-0,67839644
257	13	0,431973	1,760479042	5,549076085	-0,569892997
270	14	0,465986	1,872611465	5,598421959	-0,466276245
281	15	0,500000	2	5,638354669	-0,366512921
315	16	0,534014	2,145985401	5,752572639	-0,269712704
327	17	0,568027	2,31496063	5,789960171	-0,175076648
367	18	0,602041	2,512820513	5,905361848	-0,081854696
378	19	0,636054	2,747663551	5,934894196	0,010693552
451	20	0,670068	3,030927835	6,11146734	0,103340387
467	21	0,704082	3,379310345	6,146329258	0,196940551
470	22	0,738095	3,818181818	6,152732695	0,292501201
609	23	0,772109	4,388059701	6,411818268	0,391289878
623	24	0,806122	5,157894737	6,434546519	0,495018446
710	25	0,840136	6,255319149	6,56526497	0,606189711
773	26	0,874150	7,945945946	6,650279049	0,728833701
806	27	0,908163	10,88888889	6,692083743	0,870348527
833	28	0,942177	17,29411765	6,725033642	1,047447556
1173	29	0,976190	42	7,067319849	1,318462321

-Correias com desgaste lateral

Horas de uso	i	F(t)	1/(1-F(t))	X	Y
21	1	0,025547	1,026217228	3,044522438	-3,654306139
33	2	0,062044	1,06614786	3,496507561	-2,74805969
35	3	0,098540	1,109311741	3,555348061	-2,265869729
87	4	0,135036	1,156118143	4,465908119	-1,93055292
91	5	0,171533	1,207048458	4,510859507	-1,670366483
99	6	0,208029	1,262672811	4,59511985	-1,45572696
100	7	0,244526	1,323671498	4,605170186	-1,271504911

113	8	0,281022	1,390862944	4,727387819	-1,108891809
120	9	0,317518	1,465240642	4,787491743	-0,962283652
150	10	0,354015	1,548022599	5,010635294	-0,827871573
275	11	0,390511	1,640718563	5,616771098	-0,702926252
287	12	0,427007	1,74522293	5,659482216	-0,58540137
340	13	0,463504	1,863945578	5,828945618	-0,473697612
354	14	0,500000	2	5,869296913	-0,366512921
404	15	0,536496	2,157480315	6,001414878	-0,26274101
414	16	0,572993	2,341880342	6,025865974	-0,161397004
430	17	0,609489	2,560747664	6,063785209	-0,06155708
461	18	0,645985	2,824742268	6,133398043	0,037697561
572	19	0,682482	3,149425287	6,349138991	0,137341614
599	20	0,718978	3,558441558	6,395261598	0,238483439
670	21	0,755474	4,089552239	6,507277712	0,342479505
699	22	0,791971	4,807017544	6,549650742	0,45112456
740	23	0,828467	5,829787234	6,606650186	0,567005845
750	24	0,864964	7,405405405	6,620073207	0,694251667
828	25	0,901460	10,14814815	6,719013154	0,840398935
1100	26	0,937956	16,11764706	7,003065459	1,022420266
1117	27	0,974453	39,14285714	7,018401799	1,299433325

-Correias arrebetadas

Horas de uso	i	F(t)	1/(1-F(t))	X	Y
3	1	0,048611	1,051094891	1,098612289	-2,999090431
20	2	0,118056	1,133858268	2,995732274	-2,074444344
48	3	0,187500	1,230769231	3,871201011	-1,571952527
100	4	0,256944	1,345794393	4,605170186	-1,214075448
101	5	0,326389	1,484536082	4,615120517	-0,928610507
108	6	0,395833	1,655172414	4,682131227	-0,685367162
133	7	0,465278	1,87012987	4,890349128	-0,468392324
190	8	0,534722	2,149253731	5,247024072	-0,267721706
320	9	0,604167	2,526315789	5,768320996	-0,076058454
350	10	0,673611	3,063829787	5,857933154	0,113030157
450	11	0,743056	3,891891892	6,109247583	0,306672154
784	12	0,812500	5,333333333	6,66440902	0,515201894
905	13	0,881944	8,470588235	6,807934944	0,75921576
922	14	0,951389	20,57142857	6,826545224	1,106548431