

Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA
Engenharia Automotiva

**Estudo de Caso de Controle Estatístico e
Análise de Falhas em Frota de Máquinas
Agrícolas**

Autor: Felipe Corrêa de Melo
Orientador: Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

Brasília, DF
2017



Felipe Corrêa de Melo

Estudo de Caso de Controle Estatístico e Análise de Falhas em Frota de Máquinas Agrícolas

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

Brasília, DF

2017

Felipe Corrêa de Melo

Estudo de Caso de Controle Estatístico e Análise de Falhas em Frota de Máquinas Agrícolas/ Felipe Corrêa de Melo. – Brasília, DF, 2017-
65 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA , 2017.

1. Confiabilidade. 2. Manutenção. I. Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa.
II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Estudo de Caso de
Controle Estatístico e Análise de Falhas em Frota de Máquinas Agrícolas

CDU 02:141:005.6

Errata

Felipe Corrêa de Melo

Estudo de Caso de Controle Estatístico e Análise de Falhas em Frota de Máquinas Agrícolas

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 01 de junho de 2013 – Data da aprovação do trabalho:

Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa
Orientador

Titulação e Nome do Professor
Convidado 01
Convidado 1

Titulação e Nome do Professor
Convidado 02
Convidado 2

Brasília, DF
2017

**A dedicatória é opcional. Caso não deseje uma, deixar todo este arquivo em
branco.**

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

Agradecimentos

A inclusão desta seção de agradecimentos é opcional, portanto, sua inclusão fica a critério do(s) autor(es), que caso deseje(em) fazê-lo deverá(ão) utilizar este espaço, seguindo a formatação de *espaço simples e fonte padrão do texto (sem negritos, aspas ou itálico)*.

Caso não deseje utilizar os agradecimentos, deixar toda este arquivo em branco.

A epígrafe é opcional. Caso não deseje uma, deixe todo este arquivo em
branco.

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,
mas transformai-vos pela renovação da mente,
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:
o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.
(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)*

Resumo

O trabalho apresenta um estudo de caso com foco no desenvolvimento da qualidade e levantamento estatístico, utilizando-se de índices para avaliar o departamento de manutenção de frota automotiva agrícola, especificamente de colhedoras de cana-de-açúcar. O conceito de manutenção é fundamental por desdobrar-se em produtividade, sendo assim um ponto chave para a diminuição de custos de empresas e organizações e consequentemente aumentando a competitividade de mercado. O acompanhamento dos processos de manutenção corretiva, preventiva e preditiva possibilitam melhores condições para a tomada de decisão, munindo gestores de informações vitais para o controle efetivo dos processos. No caso específico das colhedoras de cana-de-açúcar o levantamento estatístico se faz relevante pelas condições adversas de operação da máquina, sempre sujeita a variação das condições ambientais extremas impactando em desgastes prematuros de partes e peças bem como maior degradação de lubrificantes. Desse modo, índices específicos de manutenção e modelos de distribuição de dados para levantamento de confiabilidade e taxa de falhas são trabalhados, identificando problemas críticos e apontamentos para solução, inserindo a concepção de engenharia de manutenção. A função Weibull em processos industriais têm características interessantes pela flexibilidade de modelagem dos dados e representa grande parte das situações de falhas

Palavras-chaves: manutenção. confiabilidade. falhas. estatística.

Abstract

This is the english abstract.

Key-words: latex. abntex. text editoration.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Influência do nível/método de manutenção no custo	30
Figura 2 – Relação entre o lucro e a disponibilidade de máquinas	30
Figura 3 – Métodos de manutenção e suas características	33
Figura 4 – Processos principais dentro de um setor de manutenção de frota agrícola	34
Figura 5 – Gráfico de controle estatístico de processo - Fonte: Figura retirada de: http://www.portalaction.com.br/control-e-estatistico-do-processo/graficos-ou-cartas-de-control-e	38
Figura 6 – Influência do beta, considerando teta e delta iguais para todas as curvas	41
Figura 7 – Influência do parâmetro de escala teta na distribuição Weibull	41
Figura 8 – Influência de Delta, parâmetro de posição, na distribuição Weibull	42
Figura 9 – Curva da banheira - Engenharia de Manutenção	43
Figura 10 – Função de risco para Weibull - Taxa de falha	43
Figura 11 – Material de Treinamento Lubrificantes, 2000	45
Figura 12 – Shimosakai (2015)	46

Lista de tabelas

Tabela 1 – Componentes principais de uma colhedora de cana-de-açúcar	45
Tabela 2 – Características de diferentes tipos de pesquisa	47

Lista de abreviaturas e siglas

Fig. Area of the i^{th} component

456 Isto é um número

123 Isto é outro número

lauro cesar este é o meu nome

Lista de símbolos

Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
ζ	Letra grega minúscula zeta
\in	Pertence

Sumário

1	INTRODUÇÃO	27
2	ASPECTOS GERAIS	29
3	REFERENCIAL TEÓRICO	31
3.1	Manutenção	31
3.1.1	Métodos de Manutenção	31
3.1.1.1	Manutenção Corretiva	31
3.1.1.2	Manutenção Preventiva	31
3.1.1.3	Manutenção Preditiva	32
3.1.2	Atributos da manutenção	33
3.2	Índices de Manutenção	34
3.2.1	MTBF – Mean Time Between Failures	35
3.2.2	Tempo médio de reparo - MTTR	35
3.2.3	Tempo médio para falha TMPF	36
3.2.4	Disponibilidade Física	36
3.2.5	Custo de Manutenção por Valor de Reposição	36
3.2.6	Índice de Retrabalho	36
3.2.7	Índice de Corretiva	36
3.2.8	Diagrama de Pareto	36
3.2.9	Controle Estatístico de Processo	37
3.2.9.1	Gráfico U - Gráfico de Controle para Defeitos por Unidade	38
3.3	Confiabilidade	39
3.4	Distribuição Weibull	40
3.5	Colhedora de cana-de-açúcar	44
3.6	Estudo de Caso - Abordagem Utilizada	46
3.6.1	Variações dos estudos de caso	47
3.6.2	Projetando estudos de caso e seus componentes	47
3.6.3	Utilizando a teoria no estudo de caso	48
3.6.4	Avaliando a generalização	49
3.6.5	Projeto de estudo de caso	49
4	METODOLOGIA	51
4.1	Métricas de análise para o estudo de caso	52
4.1.1	MTBF - Mean Time Between Failures (Do português Tempo Médio Entre Falhas - TMEF)	52

4.1.2	MTTR - Mean Time to Repair (Do Português Tempo médio de Reparo - TMR)	52
4.1.3	Disponibilidade Física de Máquinas	53
4.1.4	Custo de Manutenção Por Máquina	53
4.1.5	Custo de Manutenção Corretiva Por Máquina	53
4.1.6	Índice de Retrabalho	54
4.1.7	Índice de Preventiva	54
4.1.8	Índice de Corretiva	54
4.1.9	Diagrama de Pareto	54
4.1.10	Controle Estatístico de Processo - Gráfico U	54
4.1.11	Quantificando a Confiabilidade	55
4.1.12	Taxa de falha - Função de Risco	55
4.2	Tratamento de dados	56
5	CONCLUSÃO PARCIAL	57
	REFERÊNCIAS	59
	ANEXOS	61
	ANEXO A – PRIMEIRO ANEXO	63
	ANEXO B – SEGUNDO ANEXO	65

1 Introdução

De acordo com levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento - [Conab \(2013\)](#), a estimativa de produção de cana-de-açúcar na safra 2016/2017 é de 657,18 milhões de toneladas, valor pouco menor se comparado a safra anterior. [Rezende \(2003\)](#), mostra que o custo com máquinas agrícolas é superior a 20% do custo das culturas, podendo variar de acordo com o que é produzido. Os estudos de [Cruz \(2010\)](#) demonstram um custo de manutenção responsável por 21,11% do custo total operacional de corte mecanizado.

2 Aspectos Gerais

O custo de manutenção é uma variável de grande importância na qualidade do processo de funcionamento de uma indústria, e conseqüentemente é um dos responsáveis pelo sucesso de uma empresa. [Mirshawka e Olmedo \(1993\)](#) mostram que a função da manutenção gera custos mas a indisponibilidade do equipamento é em muitos casos um problema invisível aos responsáveis pelos departamentos de manutenção e causa um custo concentrado na perda de produção, falta de qualidade do produto final penalidades comerciais e por fim, na imagem da empresa no mercado. O custo, a disponibilidade de máquinas e a qualidade do processo de manutenção são elementos que resultam em produtividade.

A manutenção é função estratégica por influir sobre os resultados da organização e diante disso alguns conceitos são fundamentais para a compreensão e desenvolvimento da manutenção automotiva, neste caso especificamente a manutenção de máquinas agrícolas. Segundo [Kardec e Nascif \(2001\)](#), a manutenção é essencial na gestão da qualidade e na padronização de processos como por exemplo a ISO 9000.

A diminuição dos custos no setor sucroalcooleiro auxiliam nos preços finais e na melhoria da produção de açúcar e etanol, aumentando a competitividade brasileira em uma importante comódite no âmbito internacional e favorecendo o fortalecimento do mercado interno no ramo de açúcar.

O desafio se dá em relação a aplicação das políticas básicas de manutenção. Como estudado por [Murty e Naikan \(1995\)](#), um gráfico de lucro em função da disponibilidade de máquinas (Figura 1) é de suma importância para compreender que a busca por falha zero torna os processos de manutenção cada vez mais caros, podendo por vezes não serem viáveis em função do alto custo gerado. Aplicar manutenções cada vez mais controladas a partir de um certo ponto podem aumentar o custo de maneira substancial, sem necessariamente aumentar a produtividade ou atuando de maneira pouco significativa na produção e disponibilidade de máquinas.

Um gráfico de custo em função do nível de manutenção de [Mirshawka e Olmedo \(1993\)](#), fornece o entendimento a respeito do custo de manutenção preventiva.

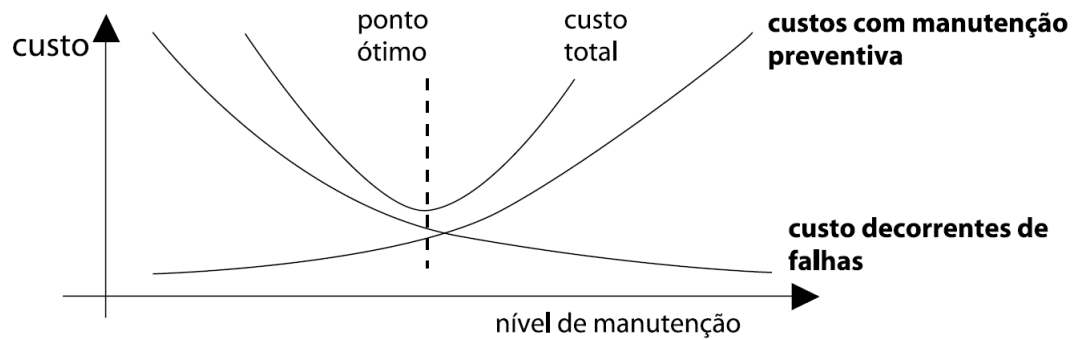


Figura 1 – Influência do nível/método de manutenção no custo

É mostrado que fazendo relação com o gráfico de [Murty e Naikan \(1995\)](#) a manutenção preventiva reduz os custos até determinando ponto ótimo, e após este, causa elevação dos custos totais, mesmo que minorando o custo decorrente das falhas.

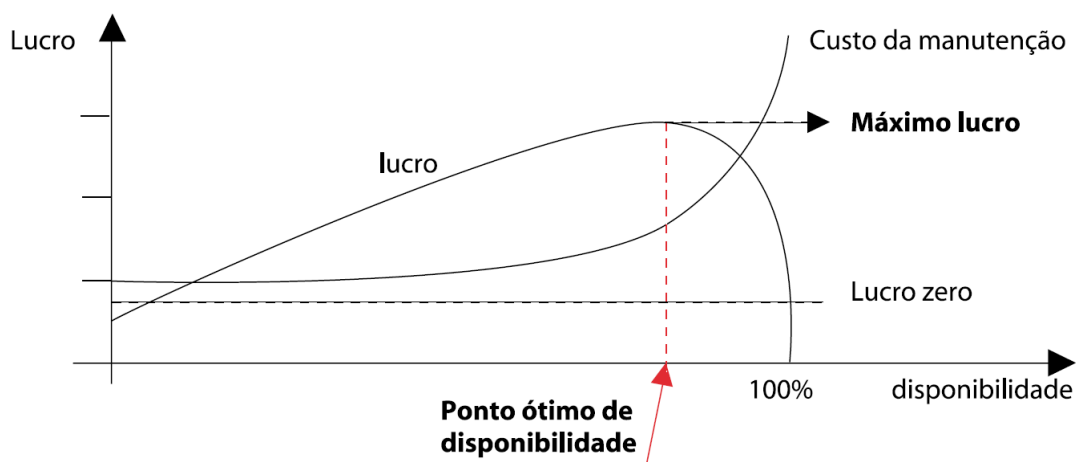


Figura 2 – Relação entre o lucro e a disponibilidade de máquinas

É possível inferir da figura 2 que não é desejável disponibilidade de maquinário total, por isso encarece muito a manutenção e requer aplicação de alta tecnologia e controle. Definir o ponto ótimo e ideal das políticas de manutenção é grande desafio da gestão de manutenção, como afirma [Xenos \(1998\)](#). Para tanto é preciso entender os conceitos de manutenção, que por muitas vezes não são bem compreendidos pelos próprios trabalhadores dos departamentos de manutenção.

3 Referencial Teórico

3.1 Manutenção

3.1.1 Métodos de Manutenção

Segundo [Xenos \(1998\)](#) os métodos de manutenção são classificados como: Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva e Manutenção Preditiva. De acordo com [\(Viana, 2006\)](#) os tipos de Manutenção são também os mesmos, mas com o acréscimo de um termo: Manutenção Autônoma (TPM).

3.1.1.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência da falha. Em princípio a manutenção corretiva é mais barata do que a prevenção das falhas nos equipamentos, mas não leva em conta a perda de produtividade e a queda na qualidade do produto final, em função do alto custo gerado pela indisponibilidade do equipamento. Demonstrado por [Xenos \(1998\)](#), a manutenção corretiva causa grandes perdas por interrupção e isso deve ser levado em conta na estratégia de manutenção. O autor em questão também cita a análise a ser feita a respeito da manutenção corretiva.

Deve ser analisado se existem formas de evitar a ocorrência da falha e se são viáveis tecnicamente e economicamente. A escolha pela manutenção corretiva ainda submete a presença de recursos previamente disponíveis como peças de reposição e mão-de-obra com condições de agir rapidamente. Por mais que a manutenção corretiva tenha sido o método de trabalho, ou o principal método de manutenção isso não deve influir em naturalidade com as falhas ocorrendo nos eventos de produção.

A definição apresentada pela ABNT (Norma ano) descreve a manutenção corretiva como: “a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida”.

3.1.1.2 Manutenção Preventiva

É um termo abrangente que faz ligação com as ações de prevenção a acontecimentos específicos.

A descrição realizada por [Viana \(2002\)](#) é a manutenção realizada em máquinas em condições operacionais ou estado zero de defeito. São serviços efetuados em intervalos previamente estabelecidos utilizando critérios particulares, seja pelo fabricante ou por experiência operacional em relação aos períodos de falha.

De acordo com [Xenos \(1998\)](#), deve ser atividade principal de manutenção em qualquer empresa sendo o coração das atividades de manutenção. Estão relacionadas tarefas sistematizadas, tais como as trocas de peças, reformas e inspeções visuais e análise de metrologia. Possuem caráter obrigatório e comparadas as manutenções corretivas são mais onerosas a organização embora a frequência de falhas diminua, fazendo com que automaticamente a disponibilidade dos equipamentos aumente, minimizando as interrupções inesperadas na produção. As regras preventivas são definidas através de análises técnicas, o que auxilia no ganho de rapidez do serviço de manutenção dando previsibilidade do melhoramento de métodos e os indicativos para o setor de gestão de manutenção.

O excesso de manutenção preventiva causa efeitos colaterais controversos dentro dos departamentos de manutenção. O aumento do tempo de máquinas paradas e a perda da utilização do equipamento mecânico ou do elemento por toda sua vida útil são situações indesejadas no contexto da gestão de manutenção produtiva. Algumas intervenções podem ser desnecessárias causando alterações negativas no sistema produtivo.

3.1.1.3 Manutenção Preditiva

O termo manutenção preditiva caracteriza-se no uso de análises e acompanhamentos dos sistemas mecânicos da máquina e de seus elementos, utilizando-se geralmente de tecnologia para impedir que falhas aconteçam. De modo direto a manutenção preditiva permite a utilização do equipamento de modo mais eficiente, levando a condições de uso próximas a vida útil.

[Xenos \(1998\)](#), conceitua que a manutenção preditiva otimiza a utilização das peças, aproveitando sua vida útil e estendendo os intervalos de manutenção. O acompanhamento técnico do componente permite trocas próximas ao limite da vida de uso, podendo ser monitoradas algumas condições como por exemplo: variação de vibração, lubrificação e desgaste da estrutura dos elementos mecânicos. Ainda na opinião de [Xenos \(1998\)](#) a tecnologia atual auxiliou o desenvolvimento de muitas técnicas de manutenção preditiva, sofisticadas, porém de alto custo.

A implementação da manutenção preditiva utiliza conceitos e técnicas avançadas o que demanda grupos diferenciados dentro dos departamentos de manutenção. Dessa forma o grupo necessita de treinamento específico em áreas do conhecimento da engenharia, para que sua aplicação seja efetiva e os resultados contribuam para a melhoria da produtividade.

As afirmações de [Viana \(2002\)](#), atribuem ainda as análises de termografia e em indústrias mais modernas os ensaios por ultrassom, embora esse tenha começado já no início do século XX. Embora a manutenção preditiva pareça a solução dos departamentos de manutenção existem desvantagens como a necessidade de grande conhecimento teórico, registro permanente de teste e experiência do inspetor do teste.

O acompanhamento, monitoramento das condições obedecem a metodologias e processos sistemáticos, definidos dentro de um plano de manutenção [Kardec e Nascif \(2013\)](#). Desse modo o planejamento de um processo de manutenção preditiva caracteriza sua qualidade e eficiência.

Pode ser estabelecido de maneira geral os métodos de manutenção e suas características através da figura 3 a seguir:

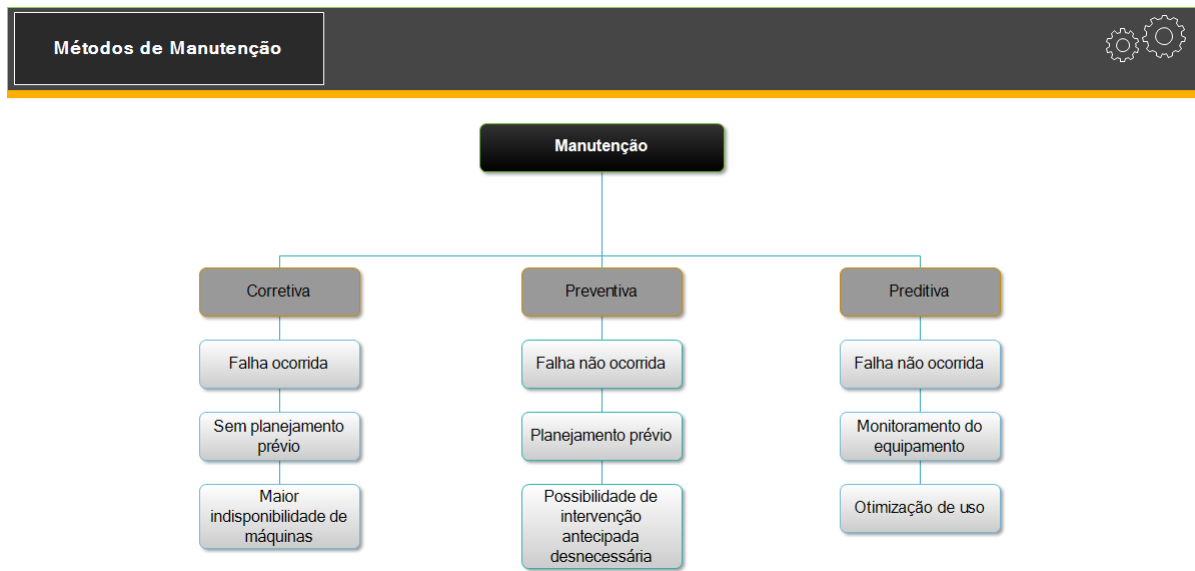


Figura 3 – Métodos de manutenção e suas características

3.1.2 Atributos da manutenção

Sintetizando os conceitos, [Kardec e Nascif \(2013\)](#), corrobora o fato de que a manutenção nas aplicações de engenharia tem algumas principais prerrogativas:

- Aumentar a confiabilidade;
- Aumentar a disponibilidade;
- Melhorar a manutenibilidade;
- Aumentar a segurança;
- Eliminar problemas crônicos;
- Solucionar problemas tecnológicos;
- Melhorar a capacitação do pessoal;
- Participar de novos projetos;
- Dar suporte a execução.

Nesses atributos, o contexto global de engenharia de manutenção visa aplicar técnicas modernas e conhecimentos a fim de garantir resultados satisfatórios. As organizações possuem comportamentos particulares na modelagem dos seus processos de manutenção que podem ser exemplificados de maneira aproximada pelos métodos apresentados Figura 4:

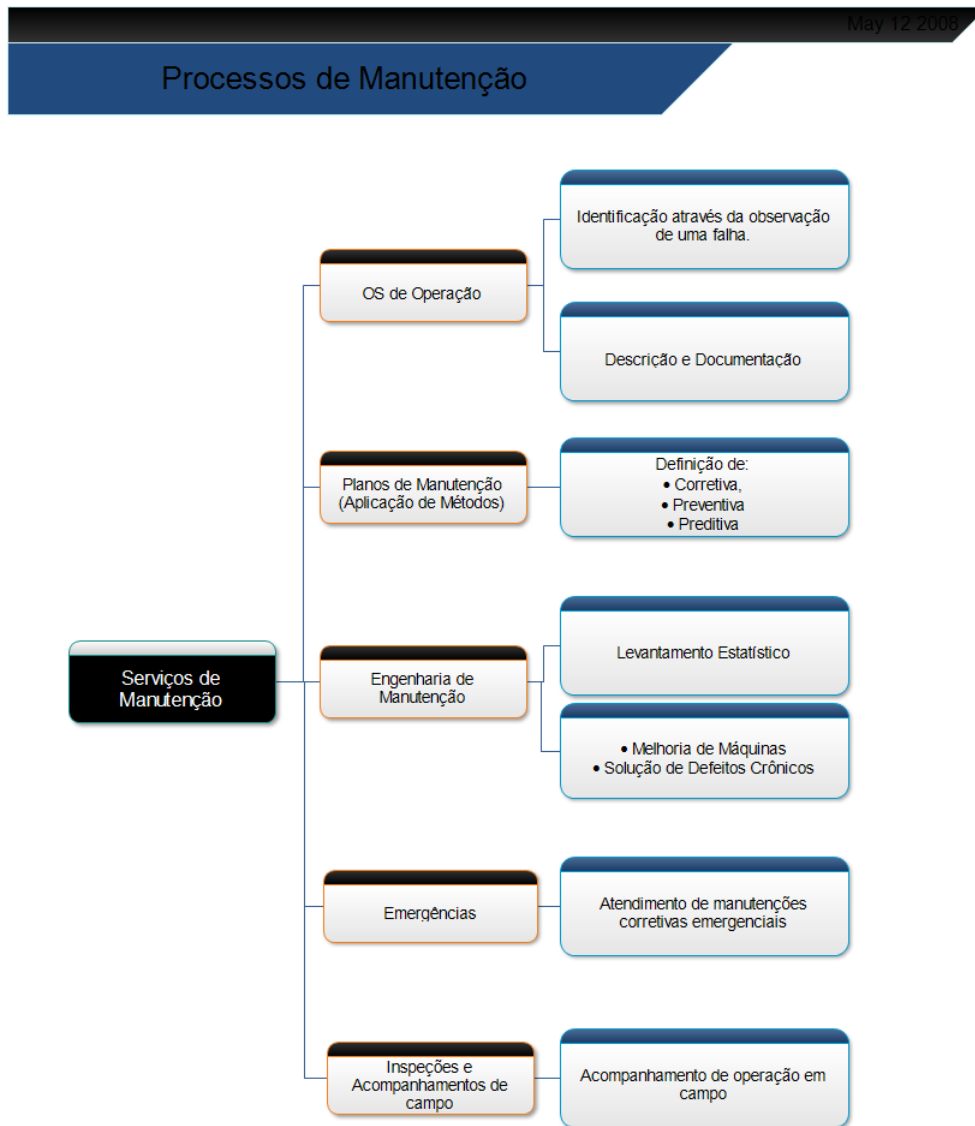


Figura 4 – Processos principais dentro de um setor de manutenção de frota agrícola

3.2 Índices de Manutenção

O desenvolvimento do departamento de manutenção tem relação direta com análises estatísticas e o levantamento de índices que traduzem em números a situação ope-

racional e a qualidade do processo de manutenção. É uma análise direta e dinâmica que acompanha a evolução, e permite previsões de alcance de metas e controle.

Segundo [Viana \(2002\)](#), tais índices têm por função retratar aspectos importantes na planta industrial. São valores e condições variáveis que se aplicam de acordo ou não através de análises particulares para cada empresa. O Planejamento e Controle de Manutenção – PCM – avalia o monitoramento do processo e o que possui valor agregado no intuito de obter dados conclusivos, e não apenas dados desnecessários, gerando volume de informação sem utilidade.

No PCM a análise dos dados são feitas através de métricas que indicam o desempenho da manutenção. Como descrito por [Viana \(2002\)](#), existem seis métricas principais utilizados por grande parte dos países ocidentais:

- MTBF – Mean time between failures, Também conhecido pelo termo em português: Tempo médio entre falhas – TMEF;
- MTTR – Mean time to repair, ou TMR – Tempo médio de reparo;
- TMPF – Tempo médio para falha;
- Disponibilidade física da máquina;
- Custo de manutenção por faturamento;
- Custo de manutenção por valor de reposição;
- Diagrama de pareto;
- Gráfico de CEP.

3.2.1 MTBF – Mean Time Between Failures

Em português, o termo MTBF é conhecido como Tempo médio entre falhas.

É um de suma importância porque faz relação com a disponibilidade das máquinas em operação. É um sinal positivo para o departamento de manutenção, visto que o aumento do índice reflete em melhoria da manutenção, indicando que as corretivas estão diminuindo.

3.2.2 Tempo médio de reparo - MTTR

O tempo médio de reparo é a divisão entre o somatório das horas de indisponibilidade (HIM) devido a manutenção pelo número de intervenções corretivas no período.

Índice capaz de demonstrar o impacto da falha e o tempo gasto para a correção, sendo desejado baixos índices de MTTR.

3.2.3 Tempo médio para falha TMPF

O tempo médio para falha tem foco nos componentes não reparáveis. É o levantamento que caracteriza de maneira correlata o tempo de vida do componente.

3.2.4 Disponibilidade Física

Fator que varia de acordo com a organização, a empresa, ou até mesmo os departamentos internos. Representa em termos percentuais a entrega de um equipamento para o processo de operação em relação as horas totais de um determinado período. É de grande importância para a estratégia de funcionamento dos departamentos de manutenção e para atender necessidades do processo produtivo.

3.2.5 Custo de Manutenção por Valor de Reposição

Consiste na conexão entre o custo total de manutenção do equipamento e o valor de compra. É um indicador que pode justificar e deixar claro o alto custo de manutenção, sendo esse indicador ideal próximo a valores de 5-10%, dependendo do retorno financeiro da atividade realizada pela organização, empresa.

3.2.6 Índice de Retrabalho

A análise desse indicador tem como propósito verificar a qualidade dos serviços realizados pela manutenção. A quantidade de retorno gera custo adicional, sendo ainda uma intervenção não definitiva, causando transtornos futuros, necessitando de realizar novamente uma ação de manutenção na mesma máquina pelo mesmo motivo.

3.2.7 Índice de Corretiva

A análise desse indicador tem como propósito fornecer o método de manutenção predominante e quantificar a utilização desse método.

3.2.8 Diagrama de Pareto

Um indicativo existente dentro dos departamentos de manutenção que organizam informações em forma de gráfico e são conclusivos a respeito das principais ocorrências é o diagrama de Pareto. Segundo [Montgomery \(2009\)](#), essa ferramenta é um gráfico de ocorrências por categoria (ordenando as pelo número de ocorrência).

[Ballestero-Alvarez \(2012\)](#), aponta que a definição se dá como sendo um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências. A organização é feita da maior para a menor, o que permite indicar os principais problemas, priorizando estes.

É também conhecido como diagrama 80-20, em função do Economista e Sociólogo Vilfredo Pareto mostrar que 80% das consequências decorrem de 20% das causas, o que leva a análise de que grande parte dos problemas se concentram em poucas e concentradas causas.

3.2.9 Controle Estatístico de Processo

De acordo com o texto de [Montemor, Ortega e C.S \(2001\)](#), o Controle Estatístico de Processo – CEP não é recente, sendo trabalhado desde meados do ano 1920, originado dos trabalhos de Shewart, nos laboratórios Bell.

Esse conjunto de ferramentas são utilizadas para manter o processo dentro de um controle, analisando desvios e visando atacar problemas. Algumas ferramentas se destacam, sendo elas:

- Histograma;
- Gráfico de pareto;
- Diagrama de causa e efeito;
- Diagrama de concentração de defeito;
- Gráfico de controle;
- Diagrama de dispersão;
- Folha de verificação.

A consideração de [Montgomery \(2009\)](#) relaciona o controle estatístico de processo como influente direto na qualidade de um processo. A melhoria da qualidade significa a resolução de defeitos e eliminar sistematicamente os resíduos que causam perda e retrabalho de um modo geral.

O gráfico de controle é foco da pesquisa e possui uma linha central, referente a um valor médio do parâmetro de qualidade. São definidos limites superiores e inferiores de controle, escolhidos de modo que exista uma faixa ótima de qualidade, quando os valores em análise se encontrarem dentro dessa faixa definida pelo limite superior de controle - LSC e pelo limite inferior de controle - LIC, Figura 5

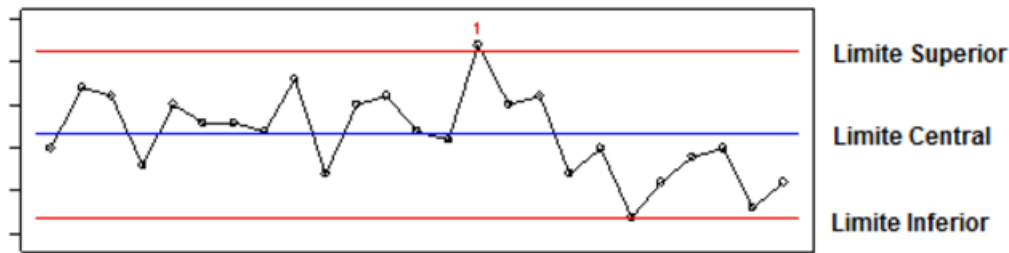


Figura 5 – Gráfico de controle estatístico de processo - Fonte: Figura retirada de: <http://www.portaaction.com.br/control-e-estatistico-do-processo/graficos-ou-cartas-de-control-e>

A forma, o modelo do gráfico de controle é dada por:

$$LSC = u_w + k\sigma_w \quad (3.1)$$

$$LC = u_w \quad (3.2)$$

$$LIC = u_w - k\sigma_w \quad (3.3)$$

Onde u é a média de uma distribuição W , e σ o desvio padrão, sendo k uma espécie de distância entre os limites de controle, criando uma faixa, um intervalo comumente escolhido como $k = 3$, sendo esse valor decisivo para o rigor do controle.

Montgomery (2009), menciona que a teoria geral desse gráfico de controle foi primeiramente realizada, estudada e conceituada por Dr. Walter A. Shewhart, portanto são frequentemente denominados como gráficos de controle de Shewhart.

3.2.9.1 Gráfico U - Gráfico de Controle para Defeitos por Unidade

A situação de defeitos por unidade é comumente descrita pela distribuição de Poisson Se cada amostra possuir n unidades e houver uma quantidade de defeitos denominada C para essa mesma amostra, então

$$U = \frac{C}{n} \quad (3.4)$$

Essa é a média de defeitos por unidade, podendo ser construído um gráfico U para tal. Sendo U uma variável aleatória de Poisson com parâmetro λ , tem-se então a média e a variância da distribuição. De posse da média λ e a variância de λ/n , aplica-se nas equações 3.1, 3.2 e 3.3.

3.3 Confiabilidade

Por definição tem-se que a confiabilidade de um elemento está vinculada à probabilidade de exercer adequadamente a finalidade especificada, por um período de tempo e sob condições específicas. Essa definição é o conceito por trás da norma brasileira NBR 5462 – 1994, item 2.2.6.4. Através desta, infere-se que o objeto de interesse pode variar, sendo um item, um sistema ou uma composição de diversos elementos. No caso de um computador por exemplo, pode ser avaliado tanto o conjunto (computador de fato) quanto os itens internos, individualizados. (FOGLIATTO; DUARTE, 2009)

A confiabilidade é uma probabilidade é portanto deve apresentar valores entre 0 e 1 probabilidade. Quando se trata de dois componentes em um sistema (modelo binário), com probabilidades distintas A e B, a confiabilidade do sistema composto por esses dois componentes pode ser obtida através de aplicações de probabilidade básica, considerando o sistema em série ou paralelo, na mesma analogia da análise de resistência para sistemas elétricos. (SELLITTO, 2005)

Nas proposições de Moubray (1996) a história da confiabilidade é relatada passando pelas aplicações da primeira até a segunda guerra mundial e as avaliações de confiabilidade dos itens eletrônicos feitas pelo exército americano, além dos aviões, motores e o desenvolvimento de engenheiros alemães também a respeito dos voos.

Os modelos de distribuições estatísticas tem comportamentos distintos e possuem tendência para descrever algumas situações adequadamente em relação a $h(t)$ – função de risco ou taxa de falha – :

- O modelo exponencial com $h(t)$ constante explica o comportamento de componentes eletrônicos;
- O modelo de Rayleigh com $h(t)$ linear crescente explica o comportamento de componentes mecânicos;
- O modelo de Weibull de $h(t)$ exponencial explica o comportamento de sistemas de falha, nascidos da competição entre diversos modos de falha.

Para o último caso o tempo de falha de um item é uma variável aleatória T, em que T segue uma distribuição de Weibull para os modos de falha atuando em série, ou seja, uma competição pela falha ocorrendo em sequência (se o primeiro falha, a falha do sistema ocorre) da mesma forma que nos equipamentos industriais. (LEWIS, 1996)

3.4 Distribuição Weibull

O estudo de tempos de falha realizado por W. Weibull conduziu a proposta do modelo conhecido como distribuição Weibull que é uma das mais comumente utilizadas nos modelos de confiabilidade e nos levantamentos de tempo de falha e tempo de reparação, fazendo importante correlação com testes acelerados. A variação de formas por ela apresentada é uma grande vantagem, podendo se comportar de maneira semelhante a vários outros modelos de distribuição, dependendo dos parâmetros da Weibull, fornecendo grande flexibilidade para descrever sistemas com falhas crescentes em função do tempo, decrescentes ou constantes. Dentro dos ambientes industriais e produtivos, tal modelo é utilizado para descrever de maneira conveniente a vida de manuais, componentes eletrônicos e elementos mecânicos, além de outros.

A função densidade e probabilidade é dada por

$$f(x) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{x - \delta}{\theta} \right)^{\beta-1} e^{\left(-\frac{x-\delta}{\theta} \right)^\beta} \quad (3.5)$$

Onde:

- β é o parâmetro de forma
- θ é o parâmetro de escala
- δ é o parâmetro de posição

Como é possível perceber, existem 3 parâmetros para essa distribuição, que também pode ser utilizada com apenas 2 parâmetros quando consideramos o parâmetro de posição como sendo zero.

O parâmetro Beta é o que garante a flexibilidade da distribuição e quando alterado pode modelar de diferentes modos os dados. Para os casos de Beta = 1, temos uma identidade de distribuição exponencial, diferentemente do valor de Beta = 2 que identifica uma distribuição de Rayleigh. Para valores entre 3 e 4, se aproxima da distribuição normal e sendo aproximada de uma lognormal para Beta = 8 como podemos ver no gráfico da figura 6 a seguir

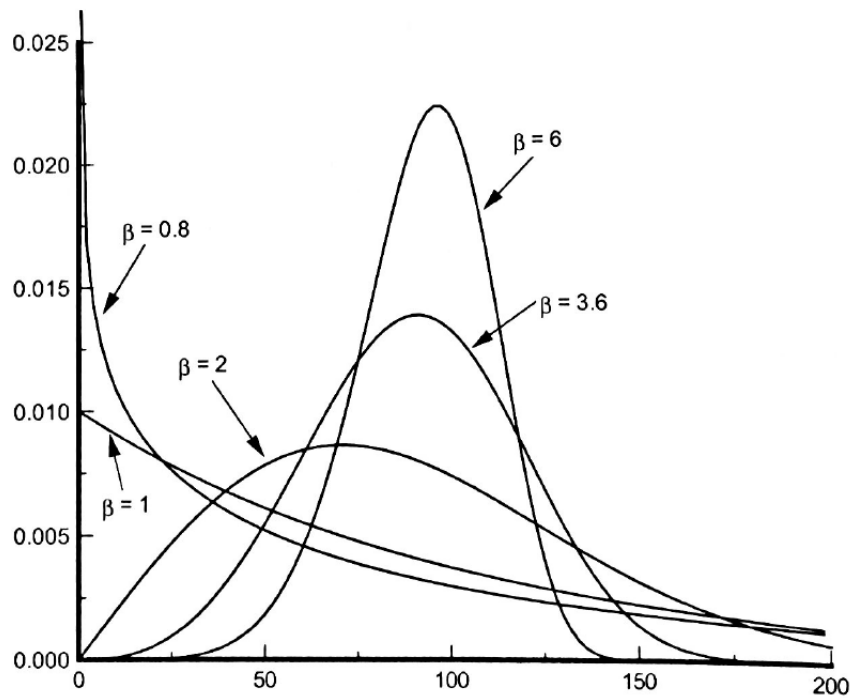


Figura 6 – Influência do beta, considerando teta e delta iguais para todas as curvas

O parâmetro de escala determina é responsável por determinar o alcance da função, sendo de maneira simplista responsável por concentrar os dados em torno de uma região causando um achatamento da curva ou a distribuição espaçada dessa mesma curva. Também conhecido como vida característica, 63.2% de todos os valores estão abaixo da vida característica, independente do valor de Beta. Para os casos em que o parâmetro de escala é diferente de zero, a vida característica é dada por teta + delta.

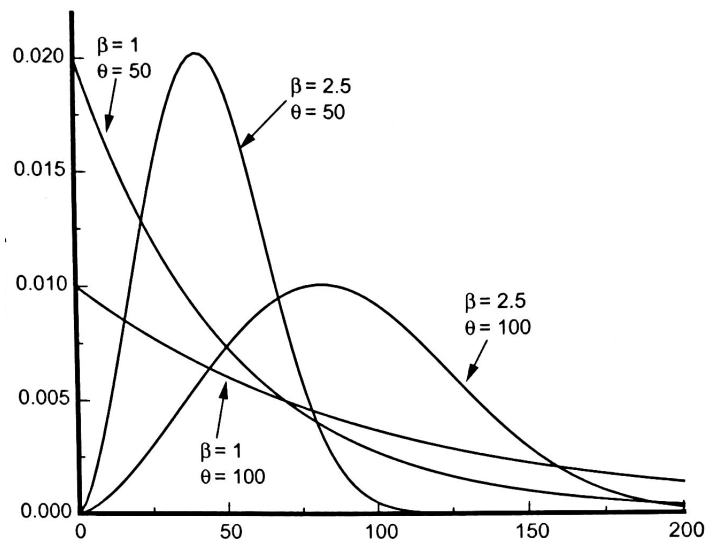


Figura 7 – Influência do parâmetro de escala teta na distribuição Weibull

O parâmetro de posição define uma zona de ausência de falha. Quando o valor

de delta é maior que x, a probabilidade de falha é zero. Para o caso de delta > 0 as falhas não ocorrem e isso em alguns casos podem ser úteis para definir um período de funcionamento do sistema onde obrigatoriamente não ocorrerão falhas. O caso de Delta < 0 é para as situações onde o item ou a condição do analisado falha antes do teste começar ou antes da operação começar, o que é estranho de se considerar, mas, por outro lado, pode ser justificado por problemas de transporte ou fornecimento de elementos, peças, itens problemáticos. Sendo assim as distribuições de dois parâmetros são geralmente as mais utilizadas, considerando o valor zero para o Delta, parâmetro de posição e assim considera-se que a possibilidade de falha começa no início do teste.

A figura 8 abaixo exemplifica a influência do parâmetro δ

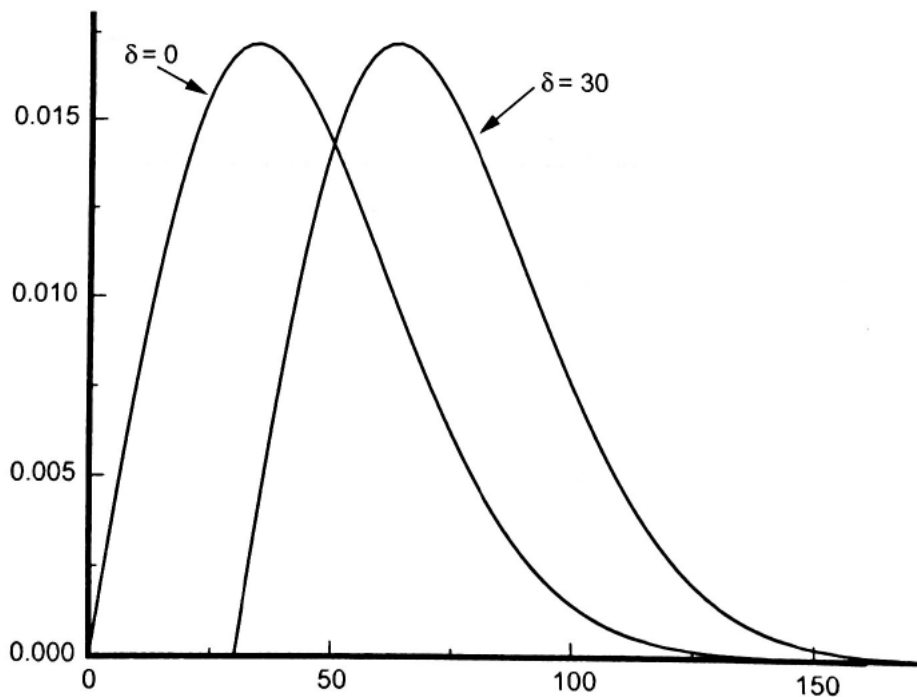


Figura 8 – Influência de Delta, parâmetro de posição, na distribuição Weibull

A função de risco, função de azar ou também conhecida como taxa de falha é definida por

$$h(x) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{x - \delta}{\theta} \right)^{(\beta-1)} \quad (3.6)$$

O valor de $h(x)$ é diretamente influenciado por Beta, quando $\beta < 1$, a função é decrescente, e conceituado como período de mortalidade infantil. A taxa se torna constante para $\beta = 1$ e período de desgaste ou envelhecimento para $\beta > 1$.

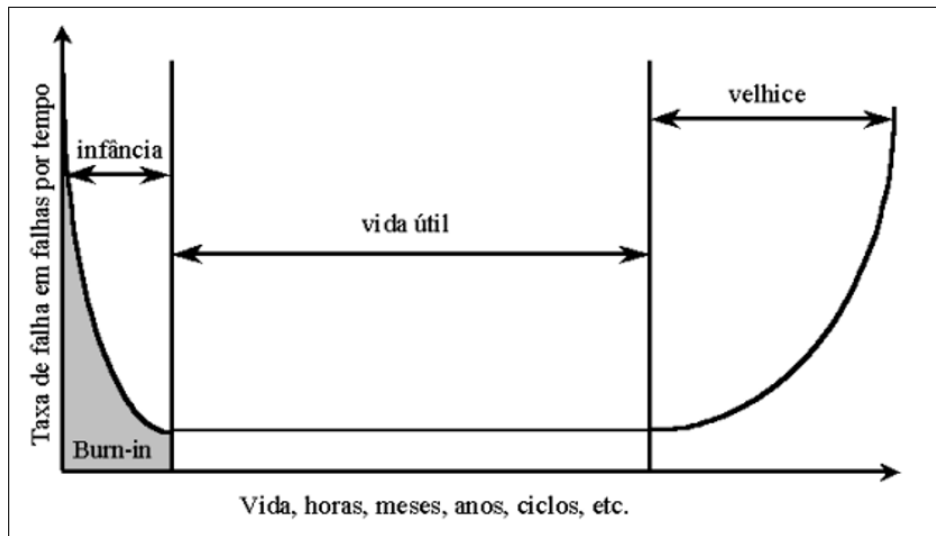


Figura 9 – Curva da banheira - Engenharia de Manutenção

Quando se trata do valor de $B > 1$ onde a função de risco é crescente, quanto maior o valor de Beta mais agressiva é o crescimento da curva. Para o caso de $B < 1$ a lógica se mantém, quanto menor o valor de Beta, mais abrupta será o decréscimo da curva.

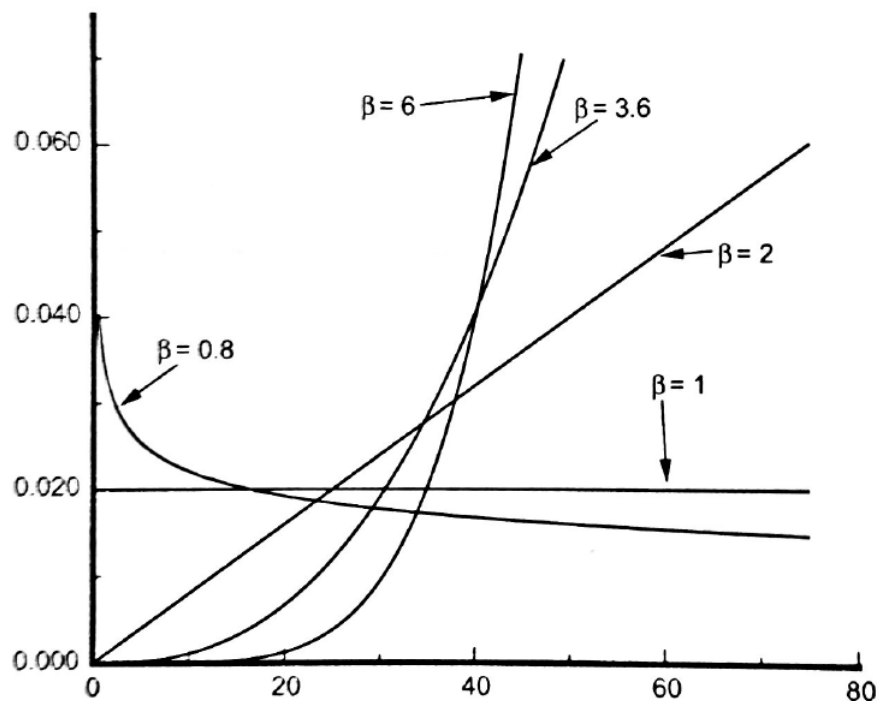


Figura 10 – Função de risco para Weibull - Taxa de falha

Outra valorosa consideração a ser feita é a confiabilidade da distribuição Weibull, representada pela equação:

$$R(x) = e^{-\left(\frac{x-\delta}{\theta}\right)^\beta} \quad (3.7)$$

E a distribuição cumulativa:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\delta}{\theta}\right)^\beta} \quad (3.8)$$

A média de uma distribuição Weibull é utilizada para o cálculo por exemplo de MTTF e , e o seu cálculo é feito da seguinte forma:

$$U = \theta\gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (3.9)$$

A variância

3.5 Colhedora de cana-de-açúcar

Definida a colheita em 3 principais sistemas por [Ripoli e Paranhos \(1897\)](#): sistema manual, sistema semi-mecanizado e sistema mecanizado, a colhedora de cana-de-açúcar consiste no sistema mecanizado, também conhecido como colheita mecanizado. É um tipo de colhedora autopropelida, responsável por todo o sistema de corte, colheita e alimentação de outro equipamento responsável pelo processo de transporte para usina, chamado de transbordo.

No estudo de [Shimosakai \(2015\)](#), o procedimento de corte da cana-de-açúcar é realizado inicialmente pelo cortador de pontas, estrutura responsável por reduzir as folhas presentes na cana e outras impurezas vegetais que pela sua estrutura molecular orgânica pobre em açúcar contribuem muito pouco para a produção. Tem para a maioria dos casos, adequação a diferentes variedades de cana, sendo ajustado em posição para atender ao ponto ideal de corte de pontas. Em seguida, os divisores de linha ou separadores de linha são encarregados de desassociar as linhas, visto que a colhedora em questão, faz o corte de uma linha específica por vez. Essa divisão é essencial para a produtividade da colheita apenas do desejado, existindo ainda o encargo no levantamento da cana que esteja acamada, tombada sobre o solo.

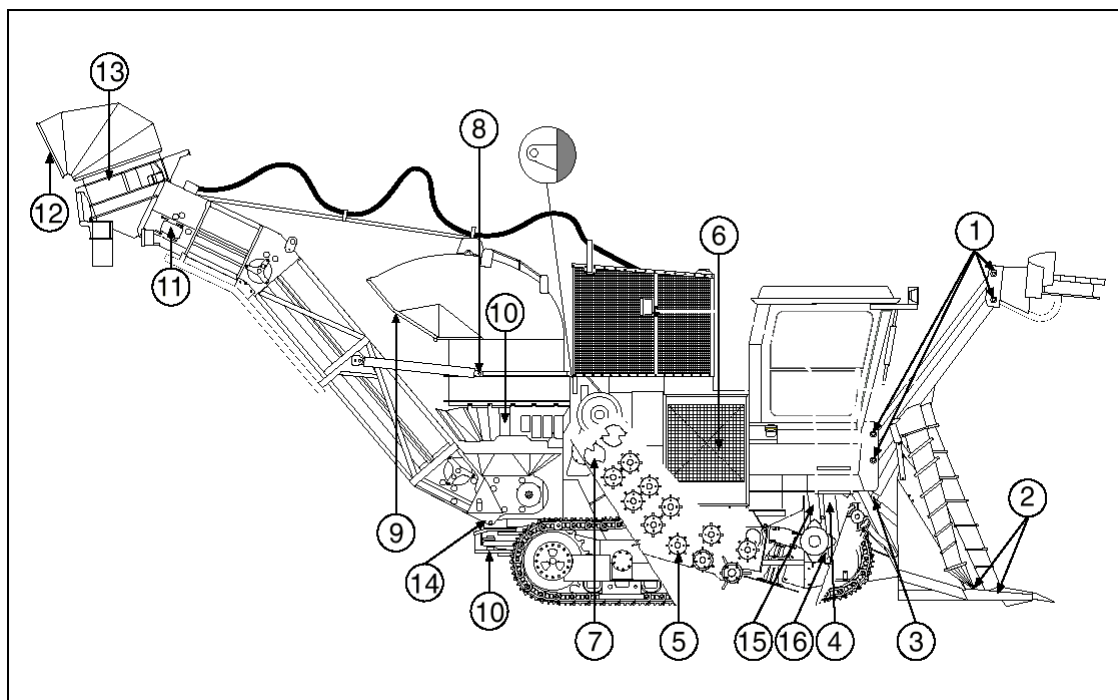


Figura 11 – Material de Treinamento Lubrificantes, 2000

Tabela 1 – Componentes principais de uma colhedora de cana-de-açúcar

Item	Nome do Componente
1	Cortador de Pontas
2	Pirulitos/Levantadores de Colmos
3	Divisores de Linha
4	Suspensão
5	Rolos Transportadores
6	Ventilador do Motor (Sist. de Arrefecimento)
7	Rolos Picadores
8	Jacaré
9	Cubo do Extrator Primário
10	Mesa de Giro do Elevador
11	Mancal de Acionamento da Esteira
12	Cubo do Extrator Primário
13	Giro do Bojo Secundário
14	Mancais do Eixo Primário
15	Suspensão e Direção
16	Mesa de Direção

O rolo tombador é incumbido do próximo procedimento, direcionar a cana para o interior da colhedora e auxiliando no sistema de corte realizado pelo corte de base, ou seja, corta-se a base da cana em altura ótima para aproveitamento da maior quantidade de cana possível, rica em açúcar. O posicionamento do corte de base é ajustado pelo operador.

Ainda de acordo com [Shimosakai \(2015\)](#), no caminho para o picador, o corte continua, sendo esse importante para picar a cana previamente cortada através do uso de facas e contra facas rotativas. Após picar, a limpeza é realizada com o extrator primário eliminando a palha e separando folhagens e a sujeira superficial. Essa palha é direcionada sobre o solo, cobrindo-o e a cana segue para o elevador da máquina, em forma de esteira, até alcançar altura necessária para ser despejada no transbordo para transporte passando ainda por um último processo de limpeza semelhante ao primeiro com o extrator secundário.

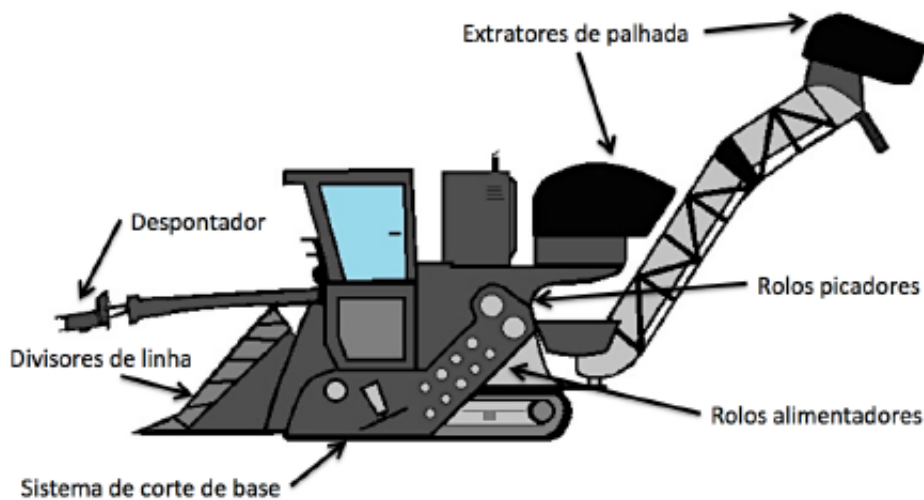


Figura 12 – [Shimosakai \(2015\)](#)

3.6 Estudo de Caso - Abordagem Utilizada

As estratégias de pesquisa concentram-se no tipo de pesquisa proposta, no controle do pesquisador sobre o comportamento dos eventos, fenômenos e no foco aos acontecimentos, presando pelo aspecto contemporâneo. A forma das questões “como” e “por que” são explanatórias e levam ao uso também de estudos de caso (como na figura X), lidando com ligações operacionais do alvo analisado e que comumente necessitam ser traçadas ao longo de um período. ([YIN, 2001](#)).

O objetivo do estudo de caso está no detalhamento dos problemas não completamente dominados ou conhecidos, buscando hipóteses e auxiliando no desenvolvimento de teorias e conceitos. Os especificamente avaliativos enfatizam a conexão entre a descrição e a avaliação de dados levantados durante o estudo. ([MATTAR, 1996](#))([GIL, 1996](#))

Tabela 2 – Características de diferentes tipos de pesquisa

Estratégia	Forma da questão de Pesquisa	Exige Controle Sobre Eventos Comportamentais?	Focaliza Acontecimentos Contemporâneos?
Experimento	Como, Por quê?	Sim	Sim
Levantamento	Quem, O que, Onde, Quantos, Quanto	Não	Sim
Análise de Arquivos	Quem, O que, Onde, Quantos, Quanto	Não	Sim/Não
Pesquisa Histórica	Como, Por quê?	Não	Não
Estudo de Caso	Como, Por quê?	Não	Sim

Nas palavras de [Schramm \(1971\)](#), o estudo de caso possui como essência a tendência em todos os seus tipos de tentar esclarecer uma decisão ou conjunto de decisões, buscando os motivos, a implementação e os resultados.

Com isso [Yin \(2001\)](#), mostra que a definição de estudo de caso cita o objeto das “decisões” como centro dos estudos de caso. Desse modo, a designação também passa por investigações empíricas de fenômenos contemporâneos dentro do contexto da vida real do problema, em particular para contextos não claramente definidos.

Outra característica notável é a de que o estudo se baseia em várias fontes de evidências, com várias variáveis de interesse e utiliza-se de desenvolvimento prévio das teorias para planejar a coleta e análise de dados. Nesse aspecto, o estudo de caso não é se resume em tática para coleta de dados e nem é natureza do planejamento em si ([STOECKER, 1991](#))

3.6.1 Variações dos estudos de caso

Tanto estudos de caso único quanto estudos de casos múltiplos podem ser incluídos nas pesquisas. Além disso também pode ser quantitativas ou limitadas as evidências qualitativas.

De acordo com [Godoy \(1995\)](#), a concepção de pesquisa qualitativa compõe um conjunto de técnicas interpretativas que tem por consequência a descrição e decodificação dos componentes de um sistema complexo. Transcreve e apresenta o sentido das ocorrências do mundo real, reduzindo a distância entre teoria e dados. Não impedem a utilização do empirismo nas análises, mas partem com foco na análise das ocorrências, essas dotadas por vezes de certa ambiguidade.

3.6.2 Projetando estudos de caso e seus componentes

A dificuldade se deve justamente ao plano de projeto de pesquisa, que constitui uma difícil realização dos estudos de caso. Não existe ainda rígidas normativas para tais projetos. Um erro muito comum é acreditar que os estudos de caso são subconjuntos

de outras estratégias de pesquisa como por exemplo os experimentos. Por muito tempo os pesquisadores e estudantes acreditaram ser os estudos de caso, um processo quase-experimental. “Certamente o estudo de caso como vem sendo realizado não deve ser rebaixado pela identificação com um projeto apenas de pós-teste de um único grupo” (COOK; CAMPBELL, 1979).

Em termos de pesquisa o estudo de caso possui suas próprias normativas. Em um projeto de pesquisa, cinco componentes são especialmente relevantes:

1. Questões do estudo;
2. Proposições, quando houver
3. Unidade de análises;
4. Ligação lógica entre os dados e proposições;
5. Critérios de interpretação para as descobertas realizadas.

Já discutido no tópico X, as questões do estudo norteiam a estratégia utilizada, e nessa situação as perguntas “como” e “por que” possuem tarefa inicial decorrer a pesquisa e os focos. A proposição tem atenção voltada para o objeto examinado no escopo do estudo. Está amarrada a teoria desenvolvida previamente e aponta evidências significativas para a organização e estrutura da pesquisa. A definição do caso apresenta a problemática de maneira clara e conduz ao problema fundamental, sendo conceito particular para cada pesquisador. As unidades de análise estão encadeadas com o problema fundamental e a definição do caso. Os estudos podem ser a respeito de um indivíduo, e necessitam de certa restrição pois é comum que pesquisadores cometam o equívoco de fazer abrangentes coletas e proporem situações impossíveis de se estudar pelo alto volume e abrangência. A especificação das proposições permitem limites exequíveis, garantindo viabilidade e condições funcionais para o estudo. (YIN, 2001)

A ligação dos dados com a proposição de acordo com (CAMPBELL, 1975) possui diferentes maneiras de serem feitas, mas a ideia existente é trabalhar com uma adequação ao padrão relacionando a situação a uma proposição teórica, sendo que diversas partes da informação podem estar ligadas a mesma proposição teórica.

3.6.3 Utilizando a teoria no estudo de caso

Para consolidação do estudo, a teoria preliminar relacionada ao tópico deve ser realizada com bom embasamento, mas sem enrijecer e impor teorias antes de uma investigação completa. A compreensão do estudado é base para não cometer os equívocos

comuns de estudantes, contatando os responsáveis pela operação de campo rapidamente sem completo domínio do proposto e do envolvido.

Ao longo do tempo muitos tipos e teorias foram apresentadas, considerando análise de grupos, teorias individuais, organizacionais, entre outras. O estudo de caso facilita a coleta de dados, elevando o nível dos resultados. Acreditar que se deve pensar a teoria com muita formalidade e excesso de complexidade é um erro, pois não requer domínio teórico magistral, mas o projeto completo do estudo de caso conduzirá a uma necessidade de domínio da teoria aplicada, sendo essa primordialmente conhecida antes da realização da coleta dos dados, embasando os principais dados e as relevantes estratégias a seguir. As teorias utilizadas podem ser diversas, passando por teorias: individuais; de grupo; organizacionais e sociais. (YIN, 2001)

No estudo de Carrol e Johnson (1992) as teorias de tomada de decisão foram ilustradas e descritas, incluindo indivíduos, grupos sociais e organizações.

3.6.4 Avaliando a generalização

Uma generalização comumente reconhecida é a estatística, embora não seja uma das mais relevantes para realizar estudos de caso. Através da generalização estatística é feita uma dedução a respeito de uma população ou universo, considerando os dados obtidos sobre a amostragem. Dessa maneira é possível fazer correlação entre população e amostragem, tendo o pesquisador ferramentas matemáticas para determinar o grau de certeza dessa inferência. (FOWLER, 1988)

Ainda assim deve haver cuidado, sendo um erro considerar a generalização estatística para generalizar o estudo de todo caso. A generalização analítica é outro meio pelo qual são realizados os estudos, no qual se utiliza de teorias previamente estabelecidas para validar o modelo, utilizando-se dos dados obtidos empíricos. Esse meio se torna forte quando casos plurais sustentam a mesma teoria. (YIN, 2001)

3.6.5 Projeto de estudo de caso

Podem ser divididos basicamente em dois tipos: único e múltiplos. Quando se trata de estudo de caso único busca-se atestar um fundamento coeso, coerente representando um caso decisivo, com teoria sólida. Nesse caso deve haver um caso único que defere, questiona ou adiciona algo a teoria. Outras possibilidades são o caso único que descreve fenômenos raros, extremos e também casos reveladores, geralmente inacessível a comunidade científica. Assim sendo, torna-se complexa a avaliação e especificação correta de casos considerados como únicos criando a necessidade de uma investigação minuciosa a respeito do evento. (LUDKE; ANDRÉ, 1986)

A medida que se têm mais de um caso único, recorre a projeto de casos múltiplos.

Quando comparado aos casos únicos a vantagem está em abranger mais as diferentes situações gerando inclusive considerações e resultados mais robustos, convincentes, embora exijam para a maioria dos casos amplos recursos e tempo.

4 Metodologia

O trabalho em questão se trata de um estudo de caso. Uma pesquisa quantitativa, com objetivo descritivo e explicativo. Para tanto se faz necessário a coleta de dados, em campo, de máquinas em operação.

A empresa escolhida para avaliação possui nome fantasia X e está localizada no interior do estado de Goiás. A produção da unidade, tendo como base a moagem de cana é de aproximadamente 3 milhões de toneladas na safra de 2014/2015.

Neste trabalho parte dos dados levantados foram fornecidos pela empresa estudada, a qual utilizou-se do software PIMS-MANFRO para grande parte dos dados, responsável pelo acompanhamento da manutenção de frota. A TOTVS é uma empresa brasileira de tecnologia, responsável pela criação e desenvolvimento do PIMS-MANFRO e especialista no desenvolvimento de soluções de negócios para players de todos os portes.

As análises consistem no acompanhamento de 20 colhedoras de cana-de-açúcar dos seguintes modelos:

- 12 Colhedoras - Modelo John Deere 3520
- 4 Colhedoras - Modelo Case IH 8800
- 4 Colhedoras - Modelo John Deere CH 570

Dentro do processo operacional as colhedoras possuem seu código, atribuído pela unidade produtiva, desse modo o acompanhamento permanece organizado para o processo do departamento e conseqüentemente para o estudo de caso presente.

Os dados foram coletados no departamento de manutenção, seguindo os processos do departamento de manutenção como pode ser visto no anexo X e analisando os documentos de ordens de serviço, (onde é possível a retirada da informação das peças que falharam, os serviços realizados – e o enquadramento do método de manutenção realizado – conseqüentemente o custo de manutenção, proveniente da integração com o setor de compras da unidade).

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), a confiabilidade é função de um período de tempo e sobre isso decorrem os seguintes cuidados para essa metodologia:

- A unidade de tempo deve ser definida;
- A variável aleatória deixa de ser X (unidade clássica da estatística) e passa a ser T ;

- O tempo T pode ser analisado considerando ciclo de vida, número de milhas ou outra representação indireta de tempo, duração;
- A especificação de confiabilidade deve estar amarrada a especificação do tempo. Um simples valor de confiabilidade sem situar o período de análise não é conclusivo;
- Um dos pontos mais importantes da análise de confiabilidade é que a resolução para a medição nem sempre é rígida, óbvia. Pode ser definido diferentes meios de se obter a confiabilidade de um mesmo item.

Desse modo os cálculos e procedimentos serão descritos seguindo as métricas indicadas no referencial teórico.

4.1 Métricas de análise para o estudo de caso

Nessa seção será discutido de maneira descritiva quais as considerações para os levantamentos e tratamento de dados do estudo de caso.

4.1.1 MTBF - Mean Time Between Failures (Do português Tempo Médio Entre Falhas - TMEF)

De acordo com a distribuição Weibull o cálculo realizado para o MTBF emprega a Equação 4.1:

$$u = \theta\gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (4.1)$$

Onde:

- Para γ é necessário considerar o valor para a distribuição/função Gamma;
- θ é o parâmetro de escala;
- β é o parâmetro de forma.

A variável do tempo utilizado para cálculo será T em Horas e os valores obtidos consideram análises semanais, mensais e período total.

4.1.2 MTTR - Mean Time to Repair (Do Português Tempo médio de Reparo - TMR)

A equação é utilizada para o cálculo da média de uma distribuição Weibull, podendo ser a média de qualquer condição pré-determinada, a mesma Equação 4.1 é utilizada:

$$u = \theta\gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (4.2)$$

Onde:

- Para γ é necessário considerar o valor para a distribuição/função Gamma;
- θ é o parâmetro de escala;
- β é o parâmetro de forma.

4.1.3 Disponibilidade Física de Máquinas

A Equação 4.3:

$$DF = \frac{\text{Horas Trabalhadas}}{\text{Horas Totais do Período}} \quad (4.3)$$

Os levantamentos serão da Disponibilidade Física:

- Por semana
- Por mês

4.1.4 Custo de Manutenção Por Máquina

A Equação 4.4 não faz distinção a respeito do método de manutenção utilizado, sendo considerado a soma dos custos de corretiva, preventiva e preditiva:

$$\text{CustodeManutençãoTotal} = \sum \text{Custos de Manutenção por Máquina no Período} \quad (4.4)$$

O período de levantamento é semanal e mensal.

4.1.5 Custo de Manutenção Corretiva Por Máquina

A Equação 4.5 refere-se apenas ao custo do método corretivo de manutenção, ou seja considera apenas as falhas da máquina:

$$\text{CustodeManutençãoTotal} = \sum \text{Custos de Manutenção Corretiva por Máquina no Período} \quad (4.5)$$

O período de levantamento é semanal e mensal.

4.1.6 Índice de Retrabalho

A Equação 4.6 é:

$$\text{Retrabalho} = \frac{\sum \text{Horas em OS reabertas}}{\sum \text{Horas totais trabalhadas no período}} \quad (4.6)$$

O período de levantamento é semanal e mensal.

4.1.7 Índice de Preventiva

A Equação 4.7 é:

$$\text{Índice de Preventiva} = \frac{\sum \text{Horas de Preventiva}}{\sum \text{Horas de Corretiva} + \sum \text{Horas de Preventiva}} \quad (4.7)$$

4.1.8 Índice de Corretiva

A Equação 4.8 é:

$$\text{Índice de Corretiva} = \frac{\sum \text{Horas de Corretiva}}{\sum \text{Horas de Corretiva} + \sum \text{Horas de Preventiva}} \quad (4.8)$$

4.1.9 Diagrama de Pareto

A utilização do Diagrama de Pareto lista as peças, componentes e subsistemas que falharam, criando assim um levantamento relacionando a frequência de problemas e permitindo priorizar problemas e ajudar no combate a situações que diminuem a confiabilidade das máquinas e conseqüentemente a disponibilidade.

4.1.10 Controle Estatístico de Processo - Gráfico U

Para o estudo de caso presente, é valioso monitorar o número de defeitos em uma unidade (no caso a colhedora de cana-de-açúcar). Para essa situação utiliza-se o gráfico U com o limite superior de controle - LSC e pelo limite inferior de controle - LIC:

$$LSC = u + 3\sqrt{\frac{u}{n}} \quad (4.9)$$

$$LC = u \quad (4.10)$$

$$LIC = u - 3\sqrt{\frac{u}{n}} \quad (4.11)$$

Sendo:

- n é o número de amostras;
- $u = \frac{\sum \text{Defeitos por Unidade}}{n}$

Cada amostra é composta pelas 20 colhedoras, mencionadas no início do Capítulo 4.

4.1.11 Quantificando a Confiabilidade

A discussão realizada na Seção 3.3 e Seção 3.4 embasa a metodologia aplicada onde a confiabilidade R para um modelo de distribuição Weibull é expressa pela Equação 4.12

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-\delta}{\theta}\right)^\beta} \quad (4.12)$$

As variáveis:

- T é o tempo no qual se deseja a confiabilidade R ;
- $beta$ é o parâmetro de forma da distribuição Weibull
- θ é o parâmetro de escala
- δ é o parâmetro de posição

Nesse estudo de caso o parâmetro δ foi considerado zero porque pressupõe que assim que o equipamento entra em operação existe a possibilidade de falha, como discutido na Seção 3.4

4.1.12 Taxa de falha - Função de Risco

A taxa de falha h para aplicação no estudo de caso, com utilização do modelo de distribuição Weibull é obtida através de:

$$h(T) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{T-\delta}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (4.13)$$

As variáveis:

- $beta$ é o parâmetro de forma da distribuição Weibull
- T tempo em horas;

- θ é o parâmetro de escala
- δ é o parâmetro de posição

Nesse estudo de caso o parâmetro δ foi considerado zero porque pressupõe que assim que o equipamento entra em operação existe a possibilidade de falha, como discutido na Seção 3.4

4.2 Tratamento de dados

O fornecimento de dados feito pela usina sucroalcooleira é via planilha, exportado do software PIMS-MANFRO para o software da Microsoft Corporation, Excel. Ainda existem parte dos dados organizados e levantados pelo próprio departamento de manutenção da unidade, o setor de PCM (Planejamento e Controle de Manutenção). Posteriormente são dados enviados para tratamento em software de cálculo numérico, aplicando as métricas do Capítulo 4.1

5 Conclusão Parcial

Referências

- BALLESTERO-ALVAREZ, M. E. Gestão de qualidade, produção e operações. São Paulo, Brasil, v. 2, 2012. Citado na página 36.
- CAMPBELL, T. D. Degree of freedom and the case study. *comparative political studies*. v. 8, p. 178–193, 1975. Citado na página 48.
- CARROL, J.; JOHNSON, E. Decision research: A field guide. In: *Journal of the Operational*. [S.l.: s.n.], 1992. v. 43, p. 71–72. Citado na página 49.
- CONAB, C. N. de A. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. - v. 1 - Brasília. 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Citado na página 27.
- COOK, T. D.; CAMPBELL, T. D. Quasi-experimentation: Design and analysis issues for field settings. Chicago, Rand McNally, 1979. Citado na página 48.
- CRUZ, R. R. Desempenho operacional e análise de custo de corte, carregamento e transporte mecanizado da cana-de-açúcar (*saccharum spp*). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, 2010. Citado na página 27.
- FOGLIATTO, F. S.; DUARTE, J. L. R. *Confiabilidade e Manutenção Industrial*. Rio de Janeiro, Brasil, 2009. Citado na página 39.
- FOWLER, E. J. J. Survey research methods. Newbury Park, California, 1988. Citado na página 49.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo, Brasil, 1996. Citado na página 46.
- GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. In: *Revista de Administração de Empresas*. [S.l.: s.n.], 1995. v. 35, n. 2, p. 57–63. Citado na página 47.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. A. Manutenção – função estratégica. Rio de Janeiro, Brasil, 2001. Citado na página 29.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. A. Manutenção preditiva: fator de sucesso na gestão empresarial. Rio de Janeiro, Brasil, p. 196, 2013. Citado na página 33.
- LEWIS, E. *Introduction to reliability engineering*. USA, 1996. Citado na página 39.
- LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. São Paulo, p. 99, 1986. Citado na página 49.
- MATTAR, F. N. Pesquisa de marketing: Metodologia e planejamento. São Paulo, Brasil, 1996. Citado na página 46.
- MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. C. Manutenção – combate aos custos na não-eficácia – a vez do Brasil. São Paulo, Brasil, 1993. Citado na página 29.

- MONTEMOR, K. G.; ORTEGA; C.S, A. *Fabricação Classe Universal (FCU) In: Ballestero-Alvarez, Maria Esmeralda (Coord). Administração da Qualidade e da Produtividade.* São Paulo, Brasil, 2001. Citado na página 37.
- MONTGOMERY, D. C. *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.* Rio de Janeiro, Brasil, p. 490, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 36, 37 e 38.
- MOUBRAY, J. *Manutenção centrada na confiabilidade.* São Paulo, Brasil, 1996. Citado na página 39.
- MURTY, A.; NAIKAN, V. Availability and maintenance cost optimization of a production plant. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 12, n. 2, p. 28–35, 1995. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- REZENDE, G. C. de. *Estado, Macroeconomia e Agricultura no Brasil.* Porto Alegre, Brasil, 2003. 246 p. Citado na página 27.
- RIPOLI, T. C.; PARANHOS, S. B. Sistemas de colheita - cana-de-açúcar - cultivo e utilização. In: *Fundação Cargill.* Campinas, São Paulo, Brasil: [s.n.], 1897. v. 2, p. 519–593. Citado na página 44.
- SCHRAMM, W. Notes on case studies of instructional media projects. .working paper, the academy for educational development. Washington, 1971. Citado na página 47.
- SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. In: *Revista Produção.* [S.l.: s.n.], 2005. v. 15, n. 1, p. 44–59. Citado na página 39.
- SHIMOSAKAI, V. C. de M. *Custo de reparo e manutenção de colhedoras de cana-de-açúcar em função das horas de operação.* Campinas, SP, Brasil, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 17, 44 e 46.
- STOECKER, R. Evaluating and rethinking the case study. the sociological review. 1991. Citado na página 47.
- VIANA, H. R. G. *PCM, Planejamento e Controle de Manutenção.* Rio de Janeiro, Brasil, 2002. 192 p. Citado 3 vezes nas páginas 31, 32 e 35.
- XENOS, H. G. D. *Gerenciando a Manutenção Produtiva.* Belo Horizonte, Brasil, 1998. 302 p. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 32.
- YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e método.* Porte Alegre, Brasil, 2001. 202 p. Citado 4 vezes nas páginas 46, 47, 48 e 49.

Anexos

ANEXO A – Primeiro Anexo

ANEXO B – Segundo Anexo

Texto do segundo anexo.