



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

VINÍCIUS DOS SANTOS GONÇALVES

**MELHORIA NO PROCESSO DE MANUTENÇÃO EM
COMPONENTES DE UMA FROTA DE ATIVOS: UM ESTUDO DE
CASO NO PCM DE UMA USINA DE ETANOL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MARABÁ-PA
2019

VINÍCIUS DOS SANTOS GONÇALVES

**MELHORIA NO PROCESSO DE MANUTENÇÃO EM
COMPONENTES DE UMA FROTA DE ATIVOS: UM ESTUDO DE
CASO NO PCM DE UMA USINA DE ETANOL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado junto à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Franco Jefferds dos Santos
Silva
Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará - Unifesspa

MARABÁ-PA
2019

VINÍCIUS DOS SANTOS GONÇALVES

**MELHORIA NO PROCESSO DE MANUTENÇÃO EM
COMPONENTES DE UMA FROTA DE ATIVOS: UM
ESTUDO DE CASO NO PCM DE UMA USINA DE
ETANOL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
junto à Faculdade de Engenharia Mecânica
da Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará, como requisito parcial para a obtenção
do título de Bacharel.

Trabalho aprovado. Marabá-PA, 02 de julho de 2019:

Prof. Dr. Franco Jefferds dos Santos Silva
Orientador

Prof. Dr. José Elisandro de Andrade
Convidado 1

Prof. Me. Rodrigo Rangel Ribeiro Bezerra
Convidado 2

Marabá-PA
2019

*“O correr da vida embrulha tudo.
A vida é assim: esquentando e esfria,
aperta e daí afrouxa,
sossega e depois desinquieta.
O que ela quer da gente é coragem.”*
Guimarães Rosa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua misericórdia e pela Graça de ser tão abençoado e iluminado.

Agradeço a Lidiane de Fátima, a pessoa mais importante em minha vida. Grato também a Joelson Gonçalves, pelo apoio em minha jornada para me tornar engenheiro mecânico.

Agradeço a todos os meus familiares - irmãos, irmã, avós, bisavó (um privilégio de ter), tios e tias. Agradeço a meu amigo, Allison de Sá, bem como a sua família que sempre me acolheu e incentivou, desde os meus 14 anos de idade.

Agradeço a meus amigos, casal Adonias e Rafaela Santana, que me presentearam com sua amizade incondicional. Serei também sempre grato à Sterphane Castro, que acreditou em mim em momentos que nem eu mesmo acreditei.

Agradeço a meus companheiros de Planejamento e Controle de Manutenção da Bunge - Açúcar & Bioenergia, que desde o início compraram minhas ideias na elaboração deste trabalho. Por fim, registro meus agradecimentos ao professor Dr. Franco Jefferds, por sua colaboração, paciência e empatia na orientação deste trabalho.

RESUMO

GONÇALVES, V. S.. MELHORIA NO PROCESSO DE MANUTENÇÃO EM COMPONENTES DE UMA FROTA DE ATIVOS: UM ESTUDO DE CASO NO PCM DE UMA USINA DE ETANOL. 2019. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Mecânica, *Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Marabá-PA, 2019.

Em um panorama altamente competitivo é preciso que a atividade de manutenção se integre de maneira eficaz ao processo produtivo, contribuindo para que a empresa aumente a disponibilidade de ativos, reduza custos e, por consequência, aumente sua produtividade. Em vista disso, o presente estudo de caso foi realizado no setor de Planejamento de Controle da Manutenção (PCM) de uma usina de etanol, com o objetivo de identificar os componentes deficientes da frota de ativos (colhedoras de cana-de-açúcar) e implementar ações de melhoria em seu processo de manutenção, visando otimizar os indicadores de disponibilidade dos ativos, tempo de manutenção, número de falhas por componente da frota de ativos e custos de manutenção. Para tal, foi elaborado um levantamento de dados de falha por componente, bem como seus modos de falha por meio da análise de modos de falhas e efeitos FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). A utilização da ferramenta BPMN (*Business Process Model and Notation*) foi crucial para identificação das etapas que necessitaram de melhoria e remodelagem. Com tais dados foram elaboradas estratégias de manutenção que, após implementadas, resultaram um aumento de disponibilidade de 5%, e um aumento de produtividade em mais de R\$ 200.000,00 em apenas um dos meses de análise. Considera-se que a pesquisa realizada no setor de bioenergia contribui para o vasto campo de atuação do profissional engenheiro mecânico.

Palavras-chave: Gestão da Manutenção. Indicadores Chaves da Manutenção. KPI. Etanol. Frota de Ativos.

ABSTRACT

GONÇALVES, V. S.. IMPROVEMENT IN THE PROCESS OF MAINTENANCE IN COMPONENTS OF AN ASSET FLEET: A CASE STUDY IN THE PCM OF AN ETHANOL INDUSTRY. 2019. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Marabá-PA, 2019.

In a highly competitive landscape, the maintenance activity needs to be effectively integrated into the production process, helping the company to increase the assets availability, reduce costs and, consequently, increase productivity. As a result, the present case study was carried out in the Planning Maintenance Control (PCM) sector of an ethanol plant, with the objective of identifying deficient components of sugar cane harvester and implement improvement actions in maintenance process, aiming at optimizing asset availability, maintenance time, number of failures per asset fleet component and maintenance costs. For this, a failure data collection per component was elaborated, as well as its failure modes through Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). The use of BPMN tool was crucial to identify the stages that needed improvement and remodeling. With such data, maintenance strategies were developed that, when implemented, resulted in an increase in availability of 5 %, and an increase in productivity of more than R\$ 200,000.00 in just one of the months of analysis. It is considered that the research carried out in the bioenergy sector contributes to the vast field of activity of the professional mechanical engineer.

Keywords: Maintenance Management. Key Performance Indicators. KPI. Ethanol. Asset Fleet.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – [a] Usina em vista geral e [b] Recorte do complexo de manutenção.	2
Figura 1.2 – Exemplo de notação BPMN. (a) Início, (b, c, e) tarefa de usuário, (d) serviço executado, (f) envio de mensagem e (g) término	4
Figura 2.1 – Base de elaboração da notação BPMN.	12
Figura 2.2 – Técnicas básicas adotadas em um FMEA para prolongar a vida útil da máquina.	13
Figura 3.1 – Técnicas básicas adotadas em um FMEA para prolongar a vida útil da máquina.	17
Figura 3.2 – Colhedora utilizada pela empresa na extração de matéria prima.	18
Figura 4.1 – Mapeamento BPMN do processo de manutenção da frota de ativos.	23
Figura 4.2 – Análise de Pareto das principais paradas de máquinas por componente.	25
Figura 4.3 – Amostra de componente descartado por ter apresentado falha.	26
Figura 4.4 – Primeiro modo de falha do componente - desgaste dos espirais de proteção.	27
Figura 4.5 – Segundo modo de falha do componente - ausência dos espirais de proteção.	28
Figura 4.6 – Terceiro modo de falha do componente - Terminais mal isolados.	28
Figura 4.7 – Indicador de manutenção - MTBF.	33
Figura 4.8 – Indicador de manutenção - MTTR.	34
Figura 4.9 – Curvas comparativas do número de intervenções corretivas em mangueiras - 2018 e 2019.	35
Figura 4.10 – Levantamento de repetição de falha em componentes.	37
Figura 4.11 – Remodelagem da etapa de prensagem de mangueiras no processo de manutenção.	38
Figura 4.12 – Espirais de proteção alocados na sala de prensagem de mangueiras.	39
Figura 4.13 – Espirais de proteção no carro de inspeção.	39
Figura 4.14 – Padronização da qualidade da manutenção no componente pelo PCM.	40
Figura 4.15 – Equipamento adquirido pelo PCM para vedação de terminais de mangueiras.	41
Figura A.1 – FMEA elaborado para os dez componentes que mais falham na frota de ativos.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Recomendações de pesos para os três fatores que compõem o NPR. . .	14
Tabela 2 – Farol de manutenção - 04/2019.	16
Tabela 3 – Tipos de ordens adotadas pelo objeto de estudo.	16
Tabela 4 – Principais componentes da colhedora de cana-de-açúcar.	18
Tabela 5 – Levantamento de falhas por componente.	24
Tabela 6 – Índices de ocorrência adotados na carta de falhas.	29
Tabela 7 – Índices de detecção adotados na carta de falha.	30
Tabela 8 – Índices de detecção adotados na carta de falha - Continuação.	31
Tabela 9 – Índices de ocorrência adotados na carta de falha.	32
Tabela 10 – Farol de manutenção - 05/2019.	36
Tabela 11 – Comparativo entre o preço por unidade de tampão e lacre (em reais). .	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>
CCA	Centro de Controle Automotivo
CBM	<i>Condition-based Maintenance</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
KPIs	<i>Key Performance Indicators</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
NBR	Norma Técnica Brasileira
NPR	Número de Prioridade de Risco
OMG	<i>Object Management Group</i>
OS	Ordem de Serviço
PAF	Pedro Afonso
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PM	<i>Preventive Maintenance</i>
RAM	<i>Reliability, Availability and Maintainability</i>
SAP	<i>Systems Applications and Products</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
SS	Solicitação de Serviço
TBM	<i>Time-based Maintenance</i>
WIP	<i>Work in Process</i>

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Contexto de pesquisa	1
1.2 Justificativa	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Geral	4
1.3.2 Específicos	5
1.4 Organização do Trabalho	5
2 – GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO	6
2.1 Definição de Manutenção	6
2.2 Tipos de Manutenção	6
2.2.1 Manutenção Corretiva	7
2.2.2 Manutenção Preventiva	7
2.2.3 Manutenção Preditiva	7
2.3 <i>Lean Manufacturing</i>	8
2.4 <i>Business Process Management Notation (BPMN)</i>	11
2.5 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	12
3 – ESTUDO DE CASO	15
3.1 Delineamento da pesquisa	15
3.2 O objeto de estudo	15
3.3 Classificação da pesquisa	19
3.4 Coleta de dados	20
3.5 Etapas da pesquisa	20
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Mapeamento das etapas de manutenção em colhedoras	22
4.2 Identificação dos componentes <i>gaps</i> da manutenção (FMEA)	24
4.2.1 Análise de falha do componente	25
4.2.2 Modos de falha do componente	26
4.2.3 Número de Prioridade de Risco	29
4.3 Implementação de indicadores de manutenção	32
4.3.1 <i>Mean Time Between Failures (MTBF)</i>	33
4.3.2 <i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	34
4.3.3 Disponibilidade	35
4.4 <i>Muda</i> por defeitos	36

4.4.1	Remodelagem do processo de manutenção dos componentes <i>gaps</i> . .	36
4.4.2	Etapa de prensagem de mangueiras	38
4.4.3	Etapa de instalação das mangueiras	38
5	– CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	Referências	43
	Apêndices	46
	APÊNDICE A–PLANILHA DE CONTROLE DE FALHAS	47

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo está estruturado para apresentar os pontos principais do desenvolvimento do trabalho, estabelecendo uma conjuntura que vai desde os princípios gerais da pesquisa até a solução do problema, destacando ainda a justificativa e os objetivos do estudo.

1.1 Contexto de pesquisa

De acordo com [Chiavenato \(2003\)](#), a partir da revolução da produtividade, companhias baseadas no modelo organizacional de Ford e Taylor, organizaram-se em estruturas hierárquicas, com departamentos especializados em um grupo de tarefas da organização. Esse modelo foi predominante até meados dos anos 80, quando as empresas mesmo bem organizadas funcionalmente começaram a perder competitividade. Em um ambiente de extrema concorrência a boa estruturação dá lugar de protagonismo ao conceito da “qualidade” ([CARVALHO; PALADINI, 2012](#)).

Desenhado por [Ohno \(1988\)](#) o *Lean Manufacturing* (Produção Enxuta) foi popularizado pelo Sistema Toyota e Produção ([GHINATO, 1996](#)). Desde então, o conceito *Lean* tem sido amplamente usado na produção industrial, criando um fluxo que visa primariamente a eliminação de todo desperdício encontrado no processo e, por consequência, aumento do lucro ([LIKER; MEIER, 2006](#)).

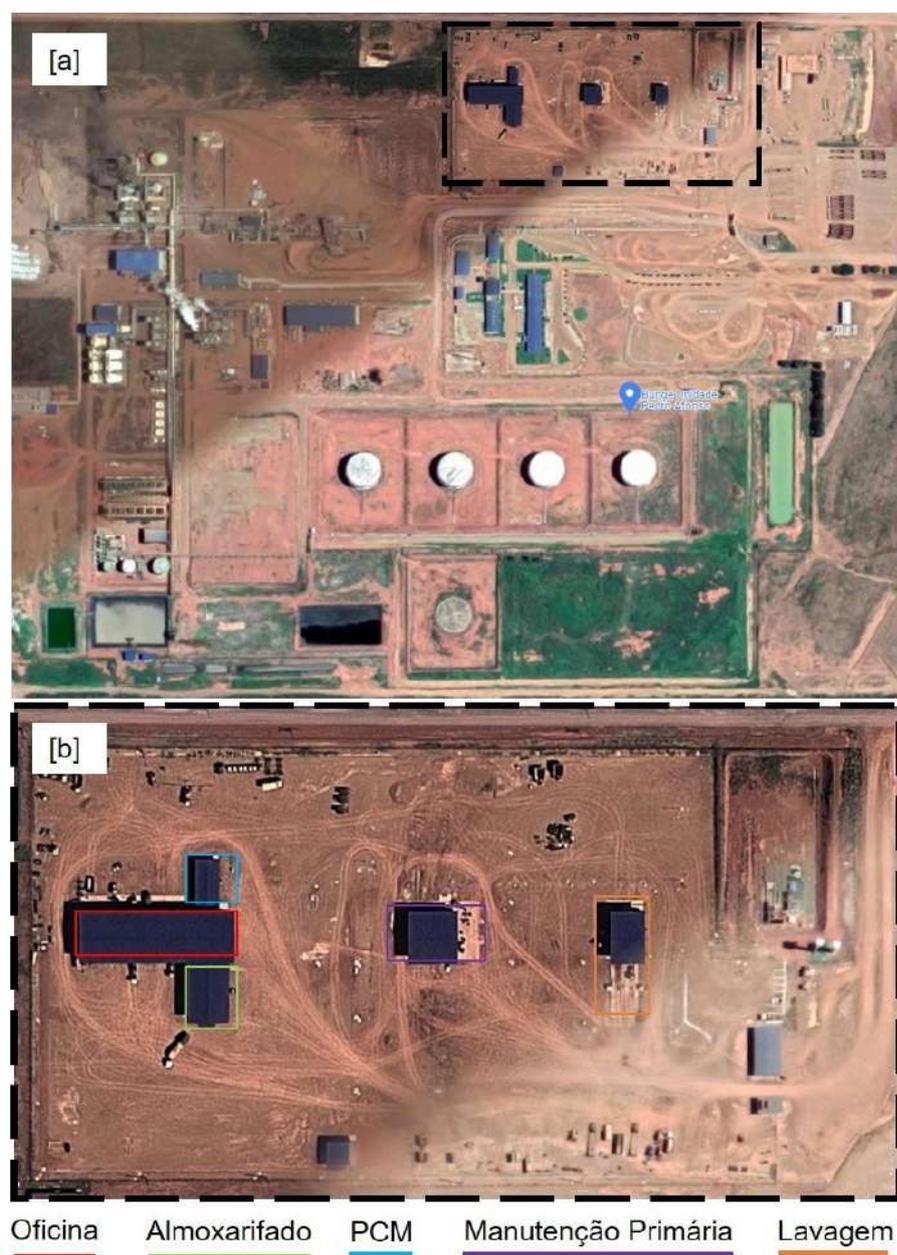
Para efetivar o *Lean Maintenance*, o tripé composto pela Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade – RAM (*Reliability, Availability, and Maintainability*) impacta significativamente na sustentação do processo de manutenção a ser consolidado. Não obstante, os atributos de RAM afetam diretamente na capacidade de realizar a missão pretendida, bem como sua eficiência global ([TELES, 2017](#)).

De acordo com [Capote \(2011\)](#), para gerenciar os processos de uma organização é de suma importância conhecer o todo. A partir daí, deve-se analisar como determinadas ações podem ser otimizadas. O Gerenciamento de Processos de Negócio e Notação BPMN (*Business Process Model and Notation*) é conhecido por ser uma notação bastante usada para modelar processos. A representação gráfica abstrai detalhes da lógica do processo, proporcionando uma visão minuciosa do cenário em que este se encontra ([LAUE; AWAD, 2011](#)).

Diante disso, “*o todo*”, pontuado por [Capote \(2011\)](#), aqui significa o setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). O setor de PCM é responsável por todas as ações de intervenção em máquinas, equipamentos e componentes mecânicos da usina. Tais tipos de intervenções e os conceitos empregados neste trabalho, são melhores abordados por capítulos posteriores.

Em congruência com o que está exposto, o presente estudo foi direcionado pela questão de pesquisa: “*Quais melhorias precisam ser empregadas às etapas de manutenção das colhedoras de cana-de-açúcar em um PCM do setor sucroenergético, com o objetivo de aumentar a disponibilidade do maquinário?*”.

Figura 1.1 – [a] Usina em vista geral e [b] Recorte do complexo de manutenção.



Fonte: Google *Earth*. Adaptado pelo Autor.

A Figura 1.1 exibe uma vista aérea da planta industrial da empresa do setor sucroenergético onde pretende-se realizar a pesquisa que deve fornecer resposta à pergunta acima. No objeto de estudo, existem diferentes tipos de serviços de manutenção que serão

aprofundados no decorrer deste trabalho. Sendo assim, a pesquisa irá focar nas etapas de manutenção preventiva e corretiva das colhedoras.

Uma das etapas importantes do processo de manutenção preventiva, que se pretende analisar para proposição de melhorias, é o provisionamento dos materiais pelo PCM e almoxarifado. As melhorias nessa etapa são importantes para que o executor tenha tranquilidade em realizar a manutenção de forma rápida e totalmente segura, de modo que a integridade do processo e dos envolvidos seja garantida.

As boas práticas de manutenção de equipamentos podem seguir paradigmas baseados em intervalos de tempo (*Time-based Maintenance*, TBM) que levam à manutenção preventiva ou podem ser utilizados paradigmas baseados em condições (*Condition-based Maintenance*, CBM) que inclui, entre outras ações, a manutenção preditiva (SILVA, 2018; DHILLON, 2002).

Em manutenção baseada no tempo, as atividades de manutenção são rotineiramente realizadas com base no intervalo de tempo predeterminado, ou na idade dos componentes (TIAN et al., 2011). A TBM é implementada pela manutenção preventiva (*Preventive Maintenance*, PM) onde todas as ações são realizadas baseadas em uma programação específica periódica e planejada. O objetivo da manutenção preventiva é manter o equipamento em condição de trabalho através de um processo de verificação e recondicionamento. Assim, as ações da manutenção preventivas são medidas de precaução tomadas para prevenir ou diminuir a probabilidade de falha ou os níveis de degradação, em vez de corrigi-los depois que ocorrerem (DHILLON, 2002).

1.2 Justificativa

Paralelo à competitividade e a necessidade de mudança nos processos das organizações, as empresas têm enfrentado dificuldades para sustentar o desempenho dos indicadores de custo, qualidade e satisfação do cliente. Com frequência, métodos e ferramentas acabam perdendo a eficiência ao longo dos anos. Esse contexto abrevia o comprometimento dos colaboradores com a melhoria contínua e seus resultados (CARVALHO; PALADINI, 2013).

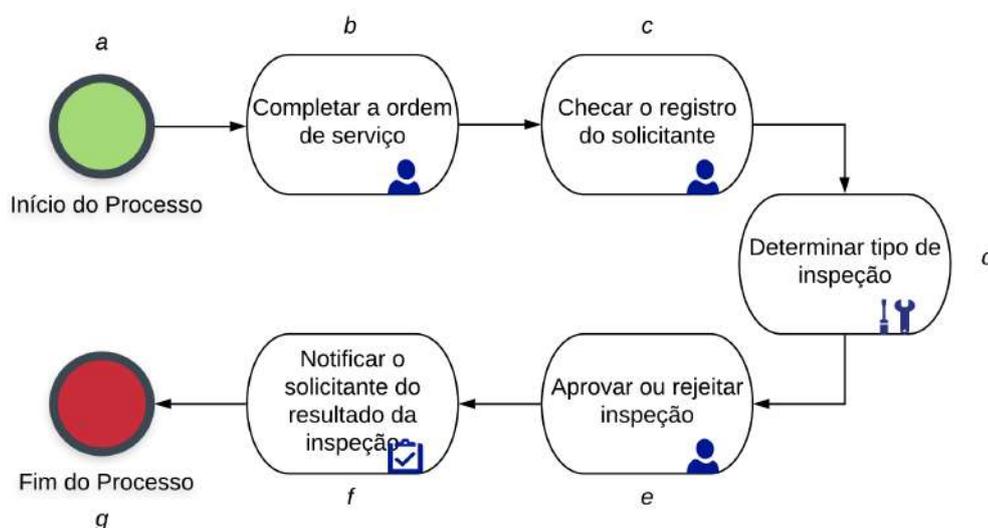
Segundo Reis (2010), as colhedoras devem receber cuidados especiais, sendo parte desses cuidados realizados por ações dos operadores que precisam conhecer a máquina, saber os principais pontos de manutenção, engraxe e verificação do nível do óleo lubrificante. Ainda segundo o autor, os sistemas de maior atenção na manutenção são: motor, diferencial do eixo dianteiro, embreagem, redutores, sistema hidráulico, sistema de direção, pneus, freio, e pontos de lubrificação.

O presente trabalho justifica-se então pela necessidade da empresa em estudar e identificar os pontos críticos existentes em seu processo de manutenção para reduzir as perdas e os impactos nos principais indicadores de desempenho (*Key Performance Indicators*, KPIs) da manutenção. São indicadores a disponibilidade (*Availability*), o tempo médio entre falhas (*Mean Time Between Failures*, MTBF) e o tempo médio para

recuperação (*Mean Time to Repair*, MTTR) que segundo [Silva \(2016\)](#) são diretamente influenciados pelos intervalos de tempo da manutenção preventiva, por exemplo.

Compreende-se dessa forma que, para a identificação das perdas existentes, fez-se necessário, primeiramente, entender o processo atual, e para isso, optou-se por utilizar o BPMN (*Business Process Model and Notation*) como ferramenta de mapeamento de processos, o qual é amplamente utilizado e já gerou grandes resultados em diversas organizações ([LAUE; AWAD, 2011](#)). A Figura 1.2 mostra um exemplo da notação BPMN.

Figura 1.2 – Exemplo de notação BPMN. (a) Início, (b, c, e) tarefa de usuário, (d) serviço executado, (f) envio de mensagem e (g) término



Fonte: Adaptado de Von [Rosling \(2015\)](#)

Nessa perspectiva, a metodologia *Lean* irá auxiliar o estudo à medida em que se torna possível identificar os possíveis *gaps* no processo de manutenção da frota de ativos. Consoante a isso, o foco deste trabalho se alinha à redução das deficiências do processo de manutenção. Na prática as deficiências surgem nos altos índices de manutenção corretiva dos ativos. Por final, busca-se a redução dos custos de manutenção, propondo o *Lean Maintenance* como boas práticas a serem implementadas pela primeira vez no PCM da empresa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Propor melhorias ao processo de manutenção de colhedoras, em uma oficina mecânica de uma usina de etanol localizada no município de Pedro Afonso/TO, por meio

do mapeamento e descrição do processo atual via ferramenta BPMN, e aplicação de um FMEA na identificação dos componentes que geram maiores perdas, de acordo com a metodologia *Lean Manufacturing*.

1.3.2 Específicos

- Mapear e descrever as etapas da manutenção das colhedoras em seu estado atual pelo uso das ferramentas BPMN;
- Identificar os componentes que ocasionam os índices de parada mais recorrentes na manutenção da frota de colhedoras por meio de um FMEA de processo.
- Implementar indicadores de manutenção por componente, sendo eles: MTBF, MTTR e Disponibilidade de cada componente identificado como *gaps* a fim de estabelecer estratégias de manutenção que diminuam o índice de defeito do ativo;
- Remodelar as etapas e atividades consideradas deficientes com base nos *gaps* identificados, objetivando potencializar melhorias no desempenho das atividades de manutenções preventivas e corretivas.

1.4 Organização do Trabalho

O trabalho está disposto em cinco capítulos: O primeiro deles é composto do Contexto da Pesquisa, Justificativa e Objetivos Geral e Específico. No segundo capítulo são abordados os principais conceitos e ferramentas que servirão como base para a aplicação desta pesquisa, evidenciando as ferramentas e pensamentos empregados pelo autor. O terceiro capítulo discorre sobre o estudo de caso com o delineamento da pesquisa, o objeto de estudo, a classificação da pesquisa, as etapas da pesquisa e a coleta de dados. O quarto capítulo foi dedicado aos resultados e discussões do trabalho, além de evidenciar se os objetivos e as respostas ao problema de pesquisa foram respondidos, assim como a proposição de estudos futuros. Por fim, no quinto capítulo apresenta as referências bibliográficas necessárias para a realização deste trabalho.

2 GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO

Este tópico expõe o levantamento bibliográfico feito como forma de revisão a fim de apresentar as características teóricas empregadas no desenvolvimento do trabalho, além disso, também é apresentada a tratativa do autor na aplicação da revisão sobre tema proposto.

2.1 Definição de Manutenção

A ABNT (1994), por meio da norma NBR 5462:1994, deliberou o termo manutenção como sendo a “*Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida*”.

Manutenção é atuar nas máquinas com o objetivo de evitar quebras e paradas na produção, bem como garantir a qualidade planejada dos produtos. Para ocorrer o processo de manutenção, há a necessidade que existam à disposição os seguintes recursos: materiais, mão-de-obra, recursos financeiros, e informação (MORO; AURAS, 2007).

Em síntese, diversos autores definem a manutenção como uma forma de garantir a disponibilidade de máquinas, equipamentos e componentes, a fim de evitar perdas no processo produtivo, atrasos na produção, perda da qualidade e, sobretudo, custos que outrora poderiam ter sido evitados com uma gestão de manutenção ativa.

Viana (2002) pontua que muitos autores abordam os vários tipos de manutenção possíveis, que nada mais são do que as formas como são encaminhadas as intervenções nos instrumentos de produção (máquinas). Por conseguinte, há um consenso, com algumas variações irrelevantes, ainda de acordo com o autor, em torno da seguinte classificação:

- a) Manutenção Corretiva;
- b) Manutenção Preventiva;
- c) Manutenção Preditiva;
- d) Manutenção Autônoma.

2.2 Tipos de Manutenção

No Subitem 2.1 está exposto, de acordo com Viana (2002), os tipos gerais de manutenção. A seguir detalham-se, para cada tipo de manutenção, as características que determinam cada abordagem.

2.2.1 Manutenção Corretiva

Constitui-se como o tipo de manutenção mais utilizado pelas empresas (GUIMARÃES; NOGUEIRA; SILVA, 2012). Segundo a NBR 5462:1994, a manutenção corretiva é conceituada como uma intervenção efetuada após a ocorrência de uma pane e é destinada a recolocar um item em condições de executar a função requerida. Para Junior e Widomar (2014), esta intervenção é capaz de fazer com que um equipamento em falha volte a operar.

Quanto ao custo de manutenção, a intervenção corretiva geralmente representa o custo mais alto dentre todos os tipos de abordagem, principalmente quando causa perdas devido a interrupção da produção (PEREIRA, 2009).

2.2.2 Manutenção Preventiva

Ainda para Viana (2002), a manutenção preventiva pode ser classificada como todo tipo de intervenção de manutenção realizada em máquinas que não estejam em falha, estando com isto em condições ainda operacionais, ou em estado de zero defeito. Ainda de acordo com o autor, as intervenções preventivas dizem respeito a serviços efetuados em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios prescritos, destinados a reduzir a probabilidade de ocorrência de falha.

Para Martins e Laugeni (2005), esse tipo de intervenção de manutenção apresenta diversas vantagens, como: (1) o aumento da vida útil do equipamento, (2) diminuição do fluxo produtivo, (3) redução de custos e (4) pode ser programada para horários em que a produção não dependa de maneira crucial da máquina ou equipamento.

Dessa forma, a manutenção preventiva busca aumentar a disponibilidade, a produtividade e o desempenho da máquina, proporcionando uma melhoria contínua. Para Pereira (2009) a intervenção preventiva aumenta a confiabilidade e a regularidade de operação do processo produtivo.

O plano de manutenção preventiva elaborado corretamente auxilia não só a intervenção da manutenção, como também auxilia no levantamento das necessidades de peças, alocação dos recursos financeiros e do almoxarifado de peças. (FILHO, 2006).

Os fatores que influenciam para adoção de uma estratégia com plano de manutenção preventiva, segundo Kardec e Nascif (2009) são:

- a) quando a manutenção preditiva não for possível;
- b) quando existir aspectos relacionados à segurança pessoal;
- c) quando houver risco ambiental e
- d) equipamentos de operação contínua ou complexos.

2.2.3 Manutenção Preditiva

Segundo Viana (2002), a manutenção preditiva se resume em tarefas de prevenção que visam acompanhar a máquina ou os componentes, por monitoramento, por medições

ou controles estatísticos de processo, a fim de prever a proximidade da ocorrência da falha. Ainda de acordo com autor, existem quatro técnicas preditivas mais utilizadas nas indústrias nacionais, sendo elas: (1) Ultra-som; (2) Análise de vibrações mecânicas; (3) Análise de óleos lubrificantes e (4) Termografia.

Kardec e Nascif (2009) ressaltam que a intervenção preditiva garante uma melhor qualidade da manutenção, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, por meio do monitoramento das amostragens a fim de reduzir ao mínimo as ações corretivas e a intervenção da preventiva.

De acordo com Kardec e Nascif (2009), as condições básicas para adotar a Manutenção Preditiva são:

- a) A operação do maquinário deve ser feita de modo seguro e por mais tempo é possível;
- b) O maquinário deve permitir algum tipo de monitoramento;
- c) Estabelecer um programa padrão de acompanhamento, análise e diagnóstico;
- d) As falhas devem ser provenientes de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada.

2.3 *Lean Manufacturing*

Segundo Feld (2000), o termo *Lean Manufacturing* se trata de um ambiente de manufatura composto por elementos que permitem um domínio holístico do um processo, sendo eles o (1) Fluxo de Manufatura; (2) Organização; (3) Controle de Processo; (4) Métrica; e (5) Logística. Ainda de acordo com o autor, quando as empresas focam apenas na mecânica e na técnica – elementos (1) e (3), a melhoria do processo se dá em termos de cálculos e controles quantitativos, o que extingue a possibilidade de atuar sobre uma melhoria da capacidade da força de trabalho.

A verdadeira vantagem competitiva vem da introdução de uma força de trabalho com aptidão para aumentar sua capacidade produtiva de maneira orgânica por meio da transferência de conhecimento. Nesse processo são importantes o esclarecimento de expectativas, a capacitação da força de trabalho, o engajamento de funcionários e o direcionamento de energia em uma mesmo sentido. A filosofia *Lean* introduz uma abordagem de produção que foca na eliminação de desperdícios por meio de elementos gerenciais que permitam a essa força de trabalho atuar de forma mais produtiva (FELD, 2000).

Sobre tais desperdícios, o Sistema Toyota de Produção (STP) se alinha à filosofia *Lean* ao dedicar seus esforços para eliminação dos três M's: *Muri*; *Mura*; *Muda*. *Muri* diz respeito a qualquer sobrecarga em equipamentos ou operadores. *Mura* diz respeito a variações indesejadas no processo. Por último, o conceito de *Muda* diz respeito ao desperdício de tempo, material ou dinheiro (TOYOTA, 2019).

O termo desperdício, perda ou *Muda* – em japonês, diz respeito ao uso de recursos sem dimensão ou controle. Logo, todo tipo de trabalho, matéria-prima, insumo, capital,

serviço, material, equipamento ou máquina, quando empregado em grande quantidade, ou pouca quantidade, em um processo, se traduz em desperdício (TELES, 2018). Seguindo o que diz Shingo (1996), têm-se os tipos de *Muda* dados por:

1. *Muda* por defeitos

De acordo com a NBR 5462 – 1994 (ABNT, 1994), “defeito” diz respeito a “qualquer desvio de uma característica de um item em relação a seus requisitos”.

Não por acaso o primeiro desperdício a ser abordado neste trabalho, as perdas por produtos defeituosos, de acordo com Ghinato (1996), geralmente são o efeito da utilização incorreta de algum (ou vários) dos fatores de produção. Diante disso, ainda segundo o autor, a eficiência em eliminar um defeito é oriunda da inspeção na fonte do defeito, reconhecendo a existência da relação de causa-e-efeito entre erros e defeitos.

2. *Muda* por superprodução

Shingo (1996), define a superprodução como a sobra de peças ou produtos, podendo ser apresentada de duas formas:

- Por quantidade (produção em excesso);
- Por antecipação (produção antes do tempo).

Ohno (1988), considerava que a perda mais importante era a perda por superprodução, uma vez que esconde outros tipos de perdas (de estoques, de produtos defeituosos, de processos, tempos de espera, etc.) no decorrer do processo produtivo.

Para Ghinato (1996), à medida em que a máquina está equipada com um dispositivo capaz de interromper o processamento no momento em que a quantidade de produção planejada tenha sido atingida, não haverá excesso de produção e, portanto, a perda por superprodução será completamente extinta.

3. *Muda* por transporte

De acordo com Liker e Meier (2006), as perdas por transporte representam toda e qualquer movimentação de trabalho em um processo de produção, mesmo em curta distância. Logo, quando se trata de perda por transporte, busca-se eliminar o máximo possível a movimentação de peças, produtos acabados e materiais para estoca-los entre processos.

Slack et al. (2009) apresenta padronizações de layout como solução ao problema de transporte em uma empresa, haja vista que a não padronização da movimentação resulta em perdas devido largas variações – desvios – de trajeto em itens e serviços.

4. *Muda* por tempo de espera

Trabalhadores vigiando máquinas automatizadas, ou tendo que esperar pela próxima etapa do processo, peça, suprimento, etc. representam este desperdício. Em se tratando de tempo de espera, Slack et al. (2009) aborda dois tipos de *Muda* por espera:

- Associados ao Produto (filas de estoque);
- Associados à Mão de obra (ocupações desnecessárias).

5. *Muda* por processo

Para Antunes (2009), a perda por processamento pode ser assinalada de acordo com duas perguntas essenciais:

- Por que esse tipo de bem ou serviço específico deve ser fabricado?
- Por que esse método deve ser utilizado neste tipo de fabricação?

Ghinato (1996) explica tal perda como decorrente de fases do processamento que não interferem nas características e funções primárias do item ou serviço, podendo então serem eliminadas.

Seguindo o que expõe Liker e Meier (2006), a *Muda* por processo pode ser dividida em duas: O super-processamento e o processamento incorreto. O primeiro muitas vezes é originado por “trabalhos” extras realizados para preencher o excesso de tempo. Já a segunda perda por processamento, diz respeito a processamentos ineficientes devido a má qualidade de máquinas, ferramentas e operações de maneira geral.

6. *Muda* por estoque

Em relação aos estoques, de acordo com Bornia (2002), estes são tratados como desperdícios, uma vez que, demandam gastos sem agregar valor ao produto. Ainda segundo o autor e Liker e Meier (2006), a perda por estoque resulta do excesso de:

- Matéria – prima;
- *Work in process* (WIP);

- Produtos acabados.

Liker e Meier (2006) ainda relaciona essa perda com a ocorrência de *lead times* longos, obsolescência, produtos danificados, custos de transporte e de armazenagem e atrasos – ineficiência do processo como um todo.

7. Muda por movimentação

Por fim, para Shingo (1996) a movimentação representa um desperdício realizado pelos colaboradores que podem ser divididos em:

- Operações: movimentos que agregam valor ao produto;
- Perdas: movimentos sem o objetivo da operação.

2.4 Business Process Management Notation (BPMN)

Segundo Box e Draper (1919), em processos de maneira geral, todos os modelos estão errados, entretanto, alguns são úteis.

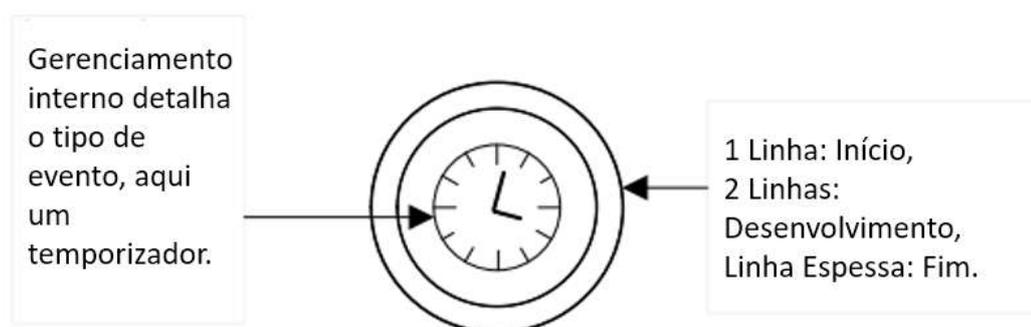
De acordo com Miers (2006), um ponto chave em processos é que muitas pessoas assumem que há sempre um modelo correto, o que empiricamente faz com que outros modelos estejam errados. Todavia, ainda de acordo com o autor, não há um único modelo de processo que deva ser considerado como correto, porém, alguns modelos podem ser tratados como inválidos, à medida em que sua implementação utiliza uma notação incorreta, por exemplo.

Segundo a OMG (2006) (*Object Management Group*), o BPMN é a notação de modelagem de processos que está sendo utilizada por quase todos os processos de gestão no mercado. A notação gráfica baseada na técnica de fluxograma, ainda de acordo com o grupo, tem sido crucial para análise e melhoria dos processos empresariais.

Debevoise et al. (2014) afirma que um processo de negócios é dinâmico e deve permitir se recuperar de circunstâncias imprevisíveis. Sendo assim, o BPMN permite que o processo siga tendo etapas mantidas ou alteradas por eventos internos ou externos à organização.

O foco da modelagem de processos está em detalhes de um processo, onde haverá a aptidão desses modelos para o estabelecimento de *loops* ao redor de condições, tempos e metas. Em vista disso, os elementos do BPMN são adequados para tratar da complexidade à medida em que adicionam recursos a cada evento dentro do processo (DEBEVOISE et al., 2014). Os elementos base da notação BPMN (tipo de evento e cronologia), foram elaborados e expostos na Figura 2.1 para melhor entendimento.

Figura 2.1 – Base de elaboração da notação BPMN.



Fonte: Adaptado de [Debevoise et al. \(2014\)](#).

De acordo com [Baldam, Abepro e Rozenfeld \(2014\)](#) a modelagem de um processo em seu estado atual permite a identificação das falhas que são atualmente empregadas nos processos existentes em um setor, bem como uma análise da performance dos processos atuais para elencar as melhorias fornecidas pelo estado futuro.

O autor define as seguintes etapas para a modelagem do processo atual:

- a) **Preparação do projeto de modelagem:** definição dos processos que serão modelados, planejamento das datas e pessoas envolvidas;
- b) **Entrevista e coleta de dados com os usuários:** contempla a descrição das atividades;
- c) **Documentação dos processos:** construção do modelo com a metodologia escolhida;
- d) **Validação dos processos:** envolve o teste da coerência do modelo e
- e) **Correção da documentação:** correção de divergências encontradas na etapa de validação.

O BPMN possui uma série de aplicações, tais como: documentação, redesenho, melhoria contínua, gestão do conhecimento, desenvolvimento de softwares, gerenciamento de *workflow* e simulação de processos ([CHINOSI; TROMBETTA, 2012](#)).

2.5 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

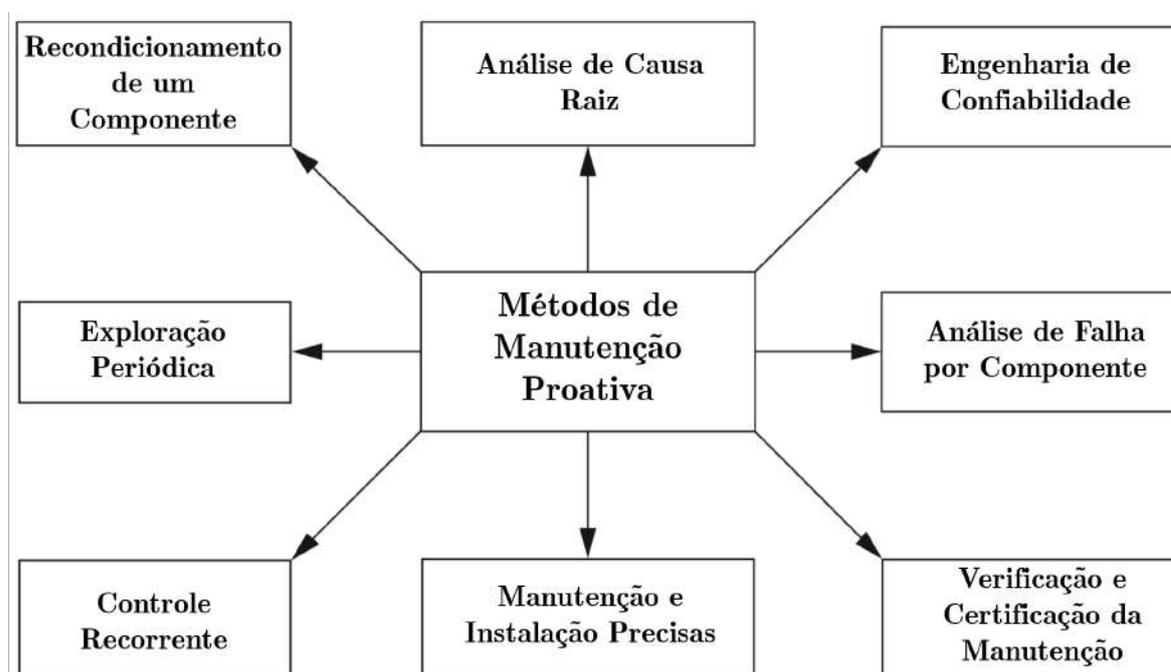
De acordo com [Dhillon \(2002\)](#), a Engenharia de Confiabilidade é um conceito que, junto com outras abordagens de manutenção proativa, envolve o redesenho, a modificação ou o aprimoramento de componentes. Ainda de acordo com o autor, em alguns casos, uma reformulação completa, ou seja, pode ser necessária.

Existem diversas técnicas que são utilizadas na Engenharia de Manutenção e Confiabilidade para realizar análises de efetividade da manutenção no componente. Sem

dúvida, a técnica mais amplamente utilizada no setor industrial é conhecida como Modos de Falha e Análise de Efeito (FMEA) (DHILLON, 2002).

A Figura 2.2 mostra bem algumas técnicas que são adotadas no cotidiano de um setor de Engenharia de Confiabilidade, onde um paradigma proativo é estabelecido para determinação da vida útil das máquinas e equipamentos, traçando um histórico de falhas que vai desde a causa à elaboração de estratégias de prevenção da falha.

Figura 2.2 – Técnicas básicas adotadas em um FMEA para prolongar a vida útil da máquina.



Fonte: Adaptado de Dhillon (2002).

Segundo Moura (2000), Apesar de sempre terem sido realizadas análises semelhantes a FMEA nos projetos e processos de manufatura, a primeira aplicação formal da FMEA foi uma inovação da indústria aeroespacial em meados dos anos 60.

GONÇALVES (2015) pontua que, a implementação da FMEA é importante como técnica disciplinada na identificação de falhas, e ajuda a eliminar problemas potenciais. Ainda segundo o autor, um dos fatores mais importantes numa implementação de sucesso da FMEA é o momento oportuno de sua execução, assim, a FMEA deve ser uma ação “pré-evento” e não “pós-evento”.

A FMEA dá suporte ao desenvolvimento do projeto reduzindo os riscos de falhas por utilizar três fatores de risco, ou parâmetros de entrada:

- **Ocorrência:** Diz respeito ao número de vezes que os riscos podem ocorrer;
- **Detecção:** Aponta a possibilidade de se reconhecer os riscos antes que eles ocorra;
- **Severidade:** Representa a gravidade do risco para a máquina.

Diante disso, um Número de Prioridade de Risco (NPR) é dado como parâmetro de saída resultado do produto dos três parâmetros de entrada que classificam os modos de falha do componente (DAĞSUYU et al., 2016).

Tabela 1 – Recomendações de pesos para os três fatores que compõem o NPR.

Componente do NPR	Classificação	Peso
OCORRÊNCIA	Improvável	1
	Muito pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
SEVERIDADE	Perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
	Alta	1
DETECÇÃO	Moderadamente grave	2 a 5
	Pequena	6 a 8
	Muito pequena	9
	Improvável	10
NPR	Baixo	1 a 50
	Médio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muito Alto	200 a 1000

Fonte: Adaptado de Dağsuyu et al. (2016).

A Tabela 1 exemplifica a classificação do NPR de acordo com os componentes (ocorrência, severidade e detecção) e pesos, onde quanto maior for o resultado do produto entre os três componentes, mais atenção e prioridade deve ser dado ao elemento analisado.

É importante destacar que a tabela é um dado da literatura que deve ser adaptado de acordo com o tipo de necessidade e a realidade de trabalho de cada setor de manutenção. Partindo deste conhecimento, o NPR, bem como os pesos para os componentes adotados no PCM objeto de estudo podem ser encontrados pelas Tabelas 6, 7, 9 e o Apêndice A.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Delineamento da pesquisa

A pesquisa buscou elaborar respostas ao questionamento essencial levantado e, para tal, de acordo com Mikulak, McDermott e Beauregard (2008) para se avaliar o risco que cada componente fornece à máquina, e conseqüentemente ao processo, contribuindo para a falha, é necessário que o pesquisador realize uma análise como a FMEA, de maneira a estruturar um planejamento que vise os resultados finais.

Posto isso, o primeiro passo para identificação dos *gaps* se deu por meio de um FMEA de processo, onde se identificou os componentes que mais falham, bem como a causa raiz da falha. Em seqüência ao delineamento da pesquisa, foi elaborado um mapeamento do processo de manutenção, por meio da metodologia BPMN, a fim de diluir a alta complexidade do processo, e de se obter o maior controle possível sobre o mesmo.

Dessa forma, a metodologia *Lean Manufacturing* auxilia a análise, permitindo a identificação do tipo de perda no processo, para a elaboração de estratégias de manutenção e efetivação de uma manutenção enxuta, de tal forma que o processo seja replicado para outros componentes à medida em que o componente crítico de equipamentos nas máquinas (colhedoras) seja controlado.

3.2 O objeto de estudo

O objeto de estudo se encontra inserido numa empresa multinacional de 201 anos, presente no Brasil há mais de 100 anos, com 100 unidades presentes em 17 estados de todas as regiões brasileiras, dividida entre fábricas, centros de distribuição, moinhos e silos, empregando mais de 17 mil pessoas.

A filial em questão, localizada na cidade de Pedro Afonso, possui alta relevância no mercado local por gerar cerca de 900 empregos diretos e 450 indiretos, além de representar a única usina do grupo a ter sua fundação completamente projetada e levantada pela própria empresa no país. Apesar de ter sido projetada para atender também ao ramo de açúcar, a unidade de Pedro Afonso, até a elaboração deste trabalho, apenas o ramo de bioenergia.

O setor da usina em que o objeto de estudo está alocado (PCM), é responsável pelo planejamento e controle da manutenção da frota de ativos do segmento bioenergético. Este ambiente de manutenção está dividido conforme Figura 1.1. Entretanto, o presente estudo não se limita apenas a estas áreas, como também abrange o campo, local aonde as máquinas e equipamentos põem à prova a eficácia da manutenção, bem como de sua gestão de modo geral.

A manutenção preventiva em colhedoras foi escolhida para o estudo, entre outros

aspectos, devido à máquina representar o menor índice de disponibilidade dentre as máquinas de maior criticidade para o funcionamento da usina, citada na Seção 1.1 no Capítulo 1. A Tabela 2 exemplifica a afirmação, sendo a sigla PAF correspondente à unidade de Pedro Afonso (PAF), nesse caso, em Abril.

Tabela 2 – Farol de manutenção - 04/2019.

Indicadores			
Indicador	Meta	Peso	PAF
Disponibilidade Mecânica Global	$\geq 61\%$	40%	52%
Disponibilidade Mecânica das Colhedoras	$\geq 80\%$		73%
Disponibilidade Mecânica dos Tratores	$\geq 85\%$		82%
Disponibilidade Mecânica dos Caminhões	$\geq 90\%$		86%

Fonte: Adaptado do PCM objeto de estudo.

A pesquisa está focada em identificar as causas raízes da baixa disponibilidade exposta anteriormente. Para tal, o primeiro passo está na identificação dos componentes que geram maior impacto negativo no indicador, ou seja, os componentes com maiores índices de quebra, bem como suas quantidades por máquina.

Além disso, o estudo buscou compreender as atividades operacionais realizadas no chão de fábrica da oficina, tirando de plano os processos administrativos realizados, uma vez que tais processos possuem padronização consolidada, sem variabilidade que afete os componentes dos ativos de manutenção.

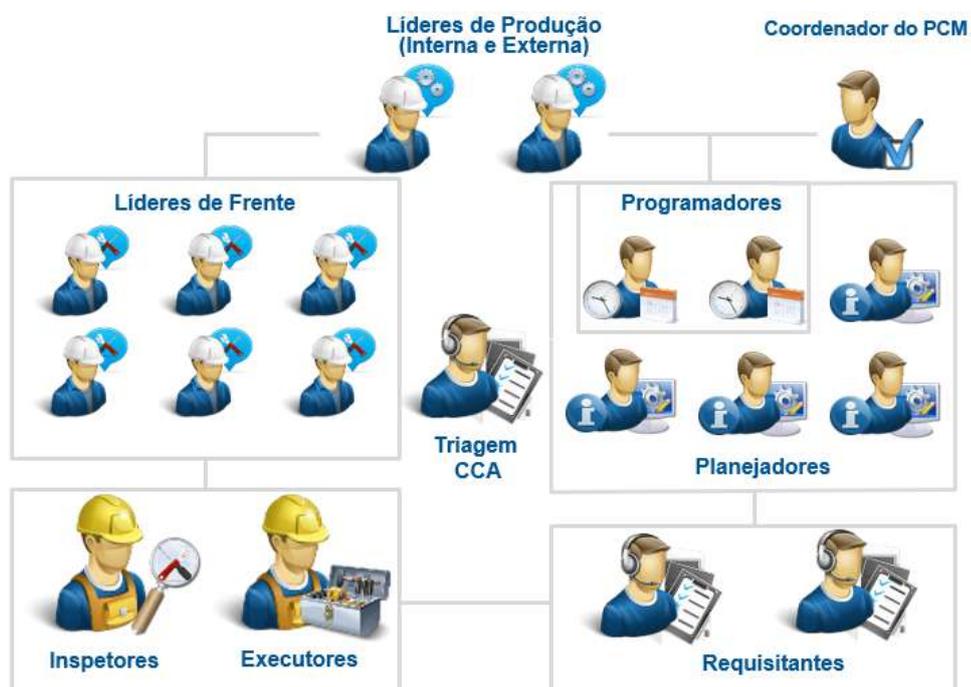
A Tabela 3 exibe os códigos de ordens de serviço adotados pelo PCM e a Figura 3.1 exprime bem a organização do setor estudado, sendo ele composto por um coordenador, dois líderes de produção, os responsáveis por duas áreas da oficina - interna e externa. Há ainda seis líderes de manutenção (frente), distribuídos entre os ativos da usina: colhedoras, tratores, caminhões, veículos leves, equipamentos de irrigação e implementos agrícolas.

Tabela 3 – Tipos de ordens adotadas pelo objeto de estudo.

AR10	INPEÇÕES
AR20	LUBRIFICAÇÃO (PREDITIVA)
AR30	CORRETIVA
AR40	PREVENTIVA
AR50	CORRETIVA DA PREVENTIVA
AR60	ORDEM ESTRUTURAL

Fonte: Adaptado do PCM objeto de estudo.

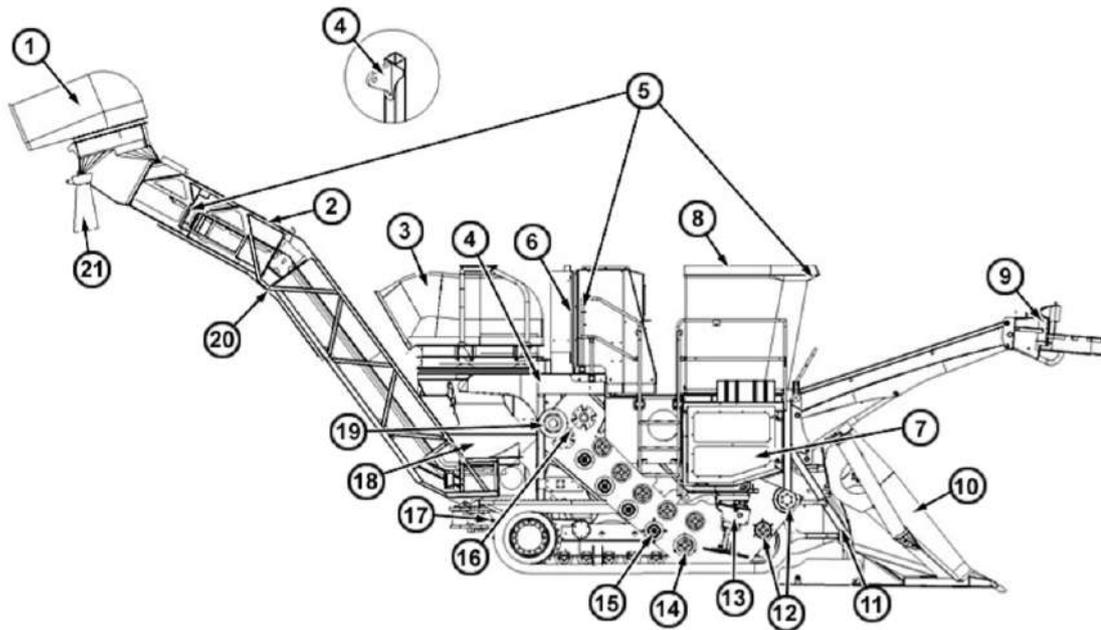
Figura 3.1 – Técnicas básicas adotadas em um FMEA para prolongar a vida útil da máquina.



Fonte: Autor.

Os inspetores são os responsáveis pelo acompanhamento da frota em campo, e os executores responsáveis pela execução da Ordem de serviço (OS) que por sua vez foram requisitadas pela operação (em caso de manutenções corretivas) ou pelo setor corporativo (em caso de manutenções preventivas).

Figura 3.2 – Colhedora utilizada pela empresa na extração de matéria prima.



Fonte: Catálogo John Deere 3520.

Tabela 4 – Principais componentes da colhedora de cana-de-açúcar.

Item	Nome do Componente
1	Extrator Secundário
2	Elevador
3	Extrator Primário
4	Alerta de Levantamento
5	Luzes (3 áreas)
6	Tela de Admissão de Ar
7	Compartimento do Motor
8	Cabine
9	Cortador de Pontas
10	Divisores de Linha
11	Orifício de Amarração
12	Rolo Tombador
13	Cortador de Base
14	Rolo Levantador
15	Rolos de Alimentação
16	Caixa do Picador
17	Ganchos de Reboque
18	Cesto

Fonte: Catálogo John Deere 3520.

Pela Figura 3.2, exibe-se a máquina abordada no objeto de estudo, o que facilita o entendimento da pesquisa. Fica perceptível a incontável quantidade de componentes que fazem parte do funcionamento da máquina e, assim, têm-se dimensão to tamanho do desafio de se encontrar a raiz dos baixos indicadores de disponibilidade, o que também significa um enorme desafio em termos de confiabilidade ao final de cada processo de manutenção na máquina.

3.3 Classificação da pesquisa

Há quatro formas clássicas de se caracterizar uma pesquisa, de acordo com a sua Natureza (Básica ou Aplicada); Abordagem (Qualitativa ou Quantitativa); Objetivos e Procedimentos técnicos (SILVA; MENEZES, 2001).

Tendo em vista que se tem como objetivo pôr em prática as metodologias BPMN, *Lean* e os indicadores de manutenção, o presente estudo foi definido como uma pesquisa Aplicada, haja vista o fim de propor soluções para os problemas encontrados na frota de ativos da empresa em questão, onde esses resultados auxiliarão nas tomadas de decisões e na estratégia de manutenção a ser remodelada.

No que diz respeito à abordagem, esta pesquisa é tipificada tanto como qualitativa como quantitativa, dado que o PCM se caracteriza como a principal fonte para coleta de dados, pelo mapeamento e identificação perdas por defeito nas máquinas do processo, por meio de uma relação dinâmica entre o autor (sujeito) e o cenário de estudo. Dado que o maior diferencial ante a abordagem quantitativa está em ressaltar a perspectiva do indivíduo para com o meio, a interação entre tal sujeito e o ambiente de estudo se traduz na essência da abordagem qualitativa (MIGUEL, 2012) *et al.* A parte quantitativa fica evidenciada pela busca do número de paradas, número de falhas, taxas de reparo e demais apontamentos mecânicos que nos permitirão extrair indicadores de manutenção para o estudo de falha de componente da máquina.

Sobre os objetivos, a pesquisa busca compreender as falhas mais recorrentes dos componentes mecânicos de colhedoras. Nessa perspectiva, a pesquisa é de caráter Exploratória, dado que não há, no objeto de estudo, material que se aproxime deste. Logo, conversas informais e entrevistas com os colaboradores são fatores importantes para obtenção de dados e troca de informações.

Tomando por base os atributos apresentados anteriormente, a pesquisa em questão define-se como um Estudo de Caso. Somando-se a isto, trata-se de um estudo aprofundado que promove a interação entre o pesquisador e o ambiente de estudo.

Nesse sentido, é proposta deste trabalho detalhar as etapas de manutenção em colhedoras, em uma oficina mecânica de uma empresa do setor sucroenergético, localizada na cidade de Pedro Afonso - TO.

3.4 Coleta de dados

Os dados foram coletados através de conversas informais, entrevistas não estruturadas e observações na área dispostos assim por meio de figuras e tabelas. Vale ressaltar que esses dados foram manipulados e tratados de acordo com o software *Lucidchart* para mapeamento de processos (FAULKNER; CONTRIBUTOR, 2018).

3.5 Etapas da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida durante um intervalo de 7 (sete) meses, iniciando em janeiro/2019 e com data de término em julho/2019. Consoante a isso, algumas etapas foram necessárias, sendo que ao todo foram esboçadas 5 (cinco) etapas cruciais, sendo elas:

- a) *Revisão da literatura acerca do tema e suas principais palavras-chave*: etapa responsável por disponibilizar embasamento teórico essencial para as análises e tomadas de decisões a respeito da pesquisa, dado que, representa o ponto de partida para o desenvolvimento do conhecimento, além de auxiliar o autor no posicionamento que se deveria ter para com os colaboradores da empresa na implementação de melhorias;
- b) *Análise das etapas do processo de manutenção de colhedoras*: Diz respeito às alternativas encontradas e utilizadas, ou seja, ao longo dessa análise, foram realizadas as observações na área assim como entrevistas não estruturadas com os funcionários diretamente envolvidos no PCM, bem como levantamento de dados via software de gestão da manutenção *SAP ERP* (SAP, 2019);
- c) *Mapeamento das etapas do processo de manutenção de colhedoras*: Essa etapa foi iniciada após a análise detalhada das atividades que compõem o processo. Dessa forma, foi utilizado como critério de notação para mapeamento, o software *Lucidchart*, em prol de auxiliar a modelagem do processo em questão, respectivo à forma na qual as atividades encontravam-se desenvolvidas no decorrer do estudo;
- d) *Identificação dos desperdícios encontrados no processo de manutenção da frota de ativos a partir da metodologia Lean*: consistiu em utilizar o embasamento teórico como subsídio, de forma a identificar e classificar os *gaps* do processo em uma das sete perdas do STP presentes no processo de manutenção – componentes com o maior índice de quebra. Ou seja, foi feita uma correlação entre a teoria da manutenção enxuta com a prática executada na oficina de manutenção, a fim de detectar os desperdícios que poderiam ser minimizados, ou mesmo eliminados através das posteriores proposições de melhorias;
- e) *Proposição de soluções para os gaps encontrados através de uma remodelagem do processo de manutenção dos ativos*: Essa etapa utilizou a aplicação de ferramentas da qualidade aos maiores índices de falha que pressupõem o maior desperdício do setor.

Dessa forma, após analisar os dados obtidos a partir do *Lean Maintenance* e

da aplicação das ferramentas da qualidade, o processo poderá ser remodelado, a fim de minimizar ou eliminar as causas raízes das quebras dos componentes identificados, de modo a atender às reais exigências do negócio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, estão expostos os dados referentes à caracterização do problema, a metodologia desenvolvida como proposta de solução, bem como os resultados encontrados após coleta, análise, e tratamento dos dados.

4.1 Mapeamento das etapas de manutenção em colhedoras

Por meio de observações *in loco* realizadas ao longo do período de análise do processo de manutenção de ativos, foram tratadas 16 (dezesesseis) colhedoras neste trabalho, amostral consistente para execução do mapeamento das etapas do processo de manutenção.

São muitos os componentes de uma colhedora, o que representa um grande desafio no que diz respeito ao mapeamento, não só do processo, como também das perdas por defeito.

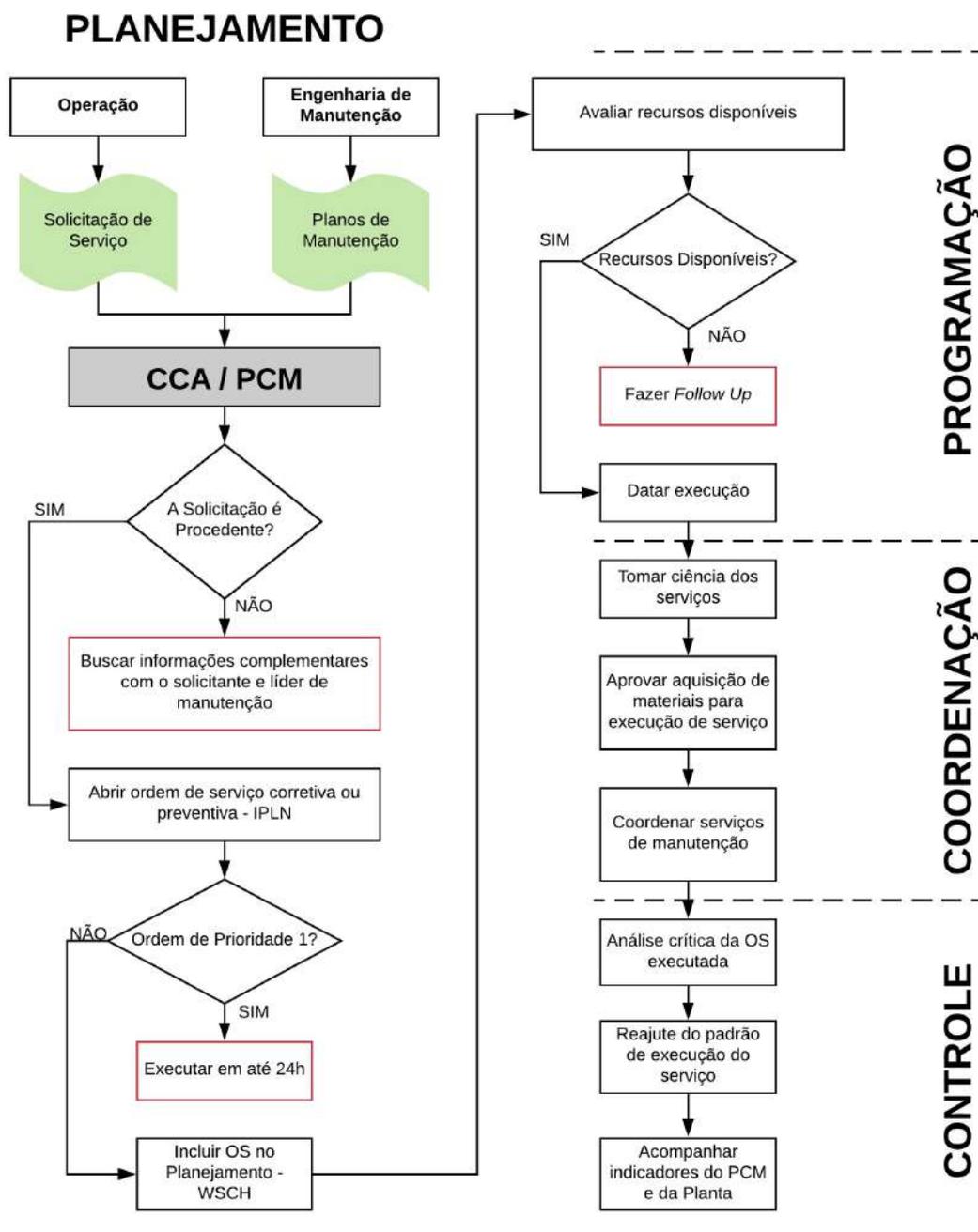
A primeira análise realizada quanto ao mapeamento foi referente ao processo de manutenção adotado pelo PCM em seu nível macro, conforme Figura 4.1. A partir desse mapeamento, apresenta-se o momento em que ocorre o início do processo (abertura de OS) pela solicitação de serviço originada da operação, ou simplesmente pelo giro do plano de manutenção estabelecido corporativamente onde, dependendo de sua origem, o serviço será direcionado pelo Centro de Controle Automotivo (CCA) ao setor de PCM. Logo após essa abertura do processo, é verificada a procedência da solicitação, ou seja, se a mesma veio de um defeito da máquina em campo (quebra) ou de uma inspeção que aponte um defeito da mesma em um futuro breve.

Na sequência, a ordem é categorizada de acordo com a prioridade do serviço, que por sua vez é determinado pelos critérios de criticidade utilizado pelo PCM (valores confidenciais do setor). De acordo com a criticidade, então, se faz a abertura de uma ordem corretiva ou preventiva. Em casos de prioridade superior à 1, abre-se o planejamento para execução da ordem e a direciona para a programação.

Na programação, são determinados os dias em que as manutenções serão realizadas. No caso do objeto de estudo, a programação ocorre semanalmente de acordo com o cronograma gerado pelo corporativo.

As paradas para manutenção são planejadas e programadas conforme manual técnico da máquina. Em colhedoras, especificamente, as paradas são observadas tendo como radar o horímetro da máquina, trabalhando com manutenções sistemáticas e lineares, divididas entre 250 horas, 500 horas e 1000 horas.

Figura 4.1 – Mapeamento BPMN do processo de manutenção da frota de ativos.



Fonte: Autor.

O coordenador, responsável pelo setor, é também o responsável pela aprovação de ordens de compra de materiais para a manutenção das máquinas. Esse papel é fundamental para controle de custos do setor de manutenção que, em média gira em torno de R\$ 400.000,00 por mês para colhedoras, e R\$ 1.400.000,00 em se tratando de todos os ativos sob responsabilidade do setor.

4.2 Identificação dos componentes *gaps* da manutenção (FMEA)

A identificação dos componentes que necessitam maior atenção se deu com base na revisão bibliográfica, nas extrações de informações do sistema de manutenção utilizado pela empresa SAP e em entrevistas observações na área com entrevistas não estruturadas direcionadas a operadores e mecânicos que lidam diariamente com a frota de ativos.

A Tabela 5 mostra informações de parada de maneira direta e automática do sistema SAP no ano de 2018, onde não houve um planejamento estratégico de controle da manutenção dos componentes das máquinas. Essas informações dizem respeito ao número de paradas e sua categoria no padrão adotado pela empresa AR10, AR20, AR30, AR40 e AR50, detalhadas anteriormente pela Tabela 3.

Tabela 5 – Levantamento de falhas por componente.

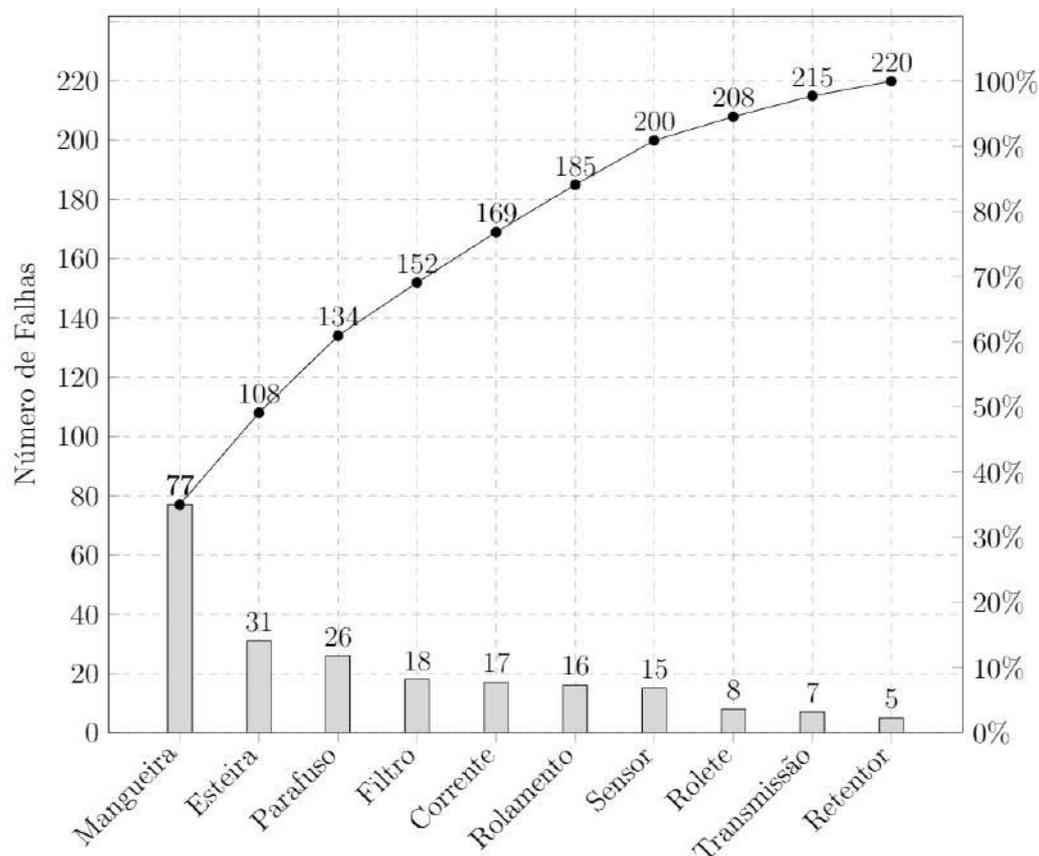
	PROBLEMA	AR10	AR20	AR30	AR40	AR50	TOTAL
P A L A V R A - C H A V E	MANGUEIRA	0	0	77	9	0	86
	ESTEIRA	0	0	31	0	0	31
	PARAFUSO	0	0	26	0	0	26
	FILTRO	0	0	18	3	0	21
	CORRENTE	0	0	17	1	0	18
	ROLAMENTO	0	0	16	0	0	16
	SENSOR	0	0	15	1	0	16
	ROLETE	0	0	8	0	0	8
	TRANSMISSÃO	0	0	7	1	0	8
	RETENTOR	0	0	5	4	0	9
	TOTAL	0	0	220	19	0	239

Fonte: Autor.

As paradas para manutenção corretiva (AR30) devido ao componente “mangueira” representam, na prática, um monopólio de falhas, à medida em que representam o dobro em relação ao segundo motivo de paradas corretivas.

É importante destacar que esses dados foram extraídos do mês de abril em 2019. Por ser o mês de abertura de safra, período onde as máquinas entram operação efetiva no campo, este mês foi escolhido para início da identificação dos *gaps*, uma vez que em janeiro, fevereiro e março a usina opera em modo atípico ao que foi planejado para o ano, com zero demanda oriunda da operação de colheita.

Figura 4.2 – Análise de Pareto das principais paradas de máquinas por componente.



Fonte: Autor.

Por meio do gráfico de Pareto mostrado na Figura 4.2, foi possível identificar os componentes críticos das máquinas em 2018, quando não houve estratégias de manutenção implementadas pelo autor, gerando 80% das paradas mensais devido a mangueiras, esteira e parafusos.

O fato de as paradas para manutenção por defeito de mangueiras representar mais que o dobro de paradas do segundo colocado faz com que este seja o componente que instigou maior atenção do autor, dando início a uma análise de modos de falha e seus efeitos.

4.2.1 Análise de falha do componente

A análise de falha usou os itens da metodologia que dizem respeito às entrevistas não estruturadas e observações na área a fim de questionar tudo o que pode dar errado sobre o componente quando o mesmo está em operação.

Para tal, foi necessário utilizar da expertise da equipe em uma única pergunta, mas com diferentes respostas, não necessariamente adotando apenas uma como verdadeira: “Como o componente (mangueira) pode falhar?”

Neste sentido, dentre as respostas encontradas, um erro em comum se repetiu

em praticamente todas as respostas: Atrito entre o componente (vide Figura 4.3) e a máquina. Tendo isso posto por colaboradores que têm contato direto na manutenção destes componentes, a prova do argumento foi tirada pela observação de *containers* de descarte, onde foi observado algo em comum em todas as mangueiras: indicativos de atrito do componente e um material que o desgasta por abrasão.

Figura 4.3 – Amostra de componente descartado por ter apresentado falha.



Fonte: Autor.

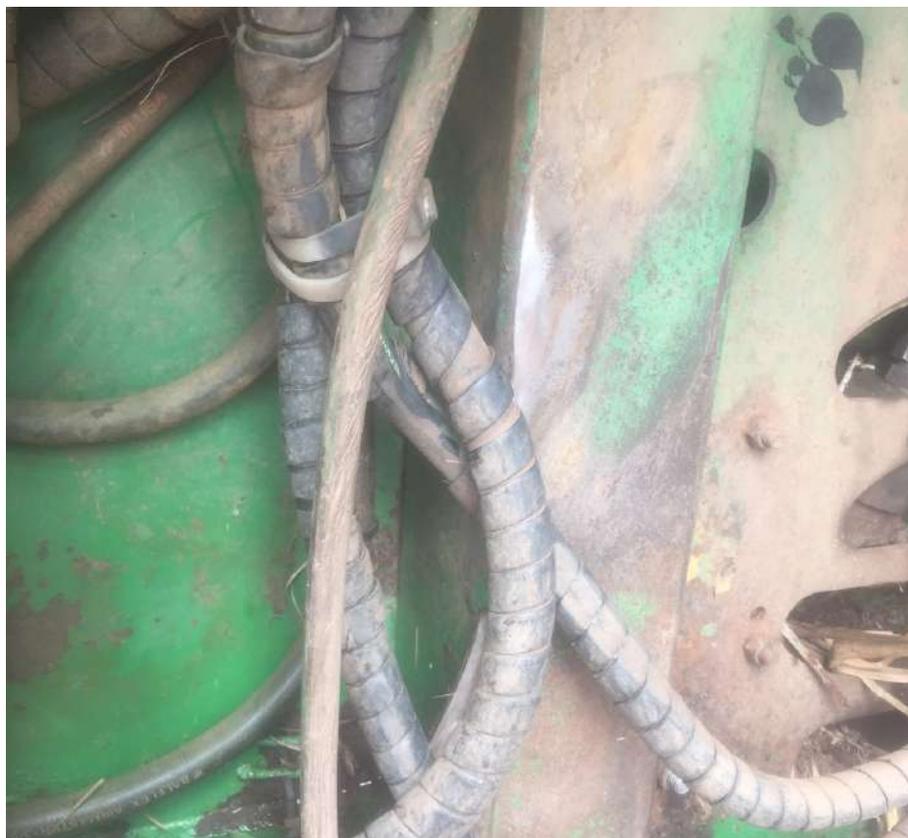
Ainda na etapa de análise da falha do FMEA, foram feitos acompanhamentos da operação das máquinas no campo, bem como paradas para inspeção dos componentes *in loco*. Este acompanhamento foi crucial na determinação dos motivos da perda por defeito do STP aplicada no objeto de estudo, uma vez que foram identificadas situações em que a máquina não estava em condições de operar de forma a garantir a vida útil do componente.

4.2.2 Modos de falha do componente

A Figura 4.4 exemplifica uma situação comum na operação: mangueiras com proteções avariadas que necessitariam de uma parada preventiva para substituição dos espirais de proteção. Na mesma figura, ainda fica evidente – pela falta de tinta na estrutura – o contato entre a parte metálica da máquina e os componentes (mangueiras), que fazem

parte do sistema de elevação da máquina, sistema esse composto por atuadores que fornecem movimento na direção vertical e em ambos os sentidos, desgastando as proteções, mostradas na figura, e comprometendo a vida útil das mangueiras.

Figura 4.4 – Primeiro modo de falha do componente - desgaste dos espirais de proteção.



Fonte: Autor.

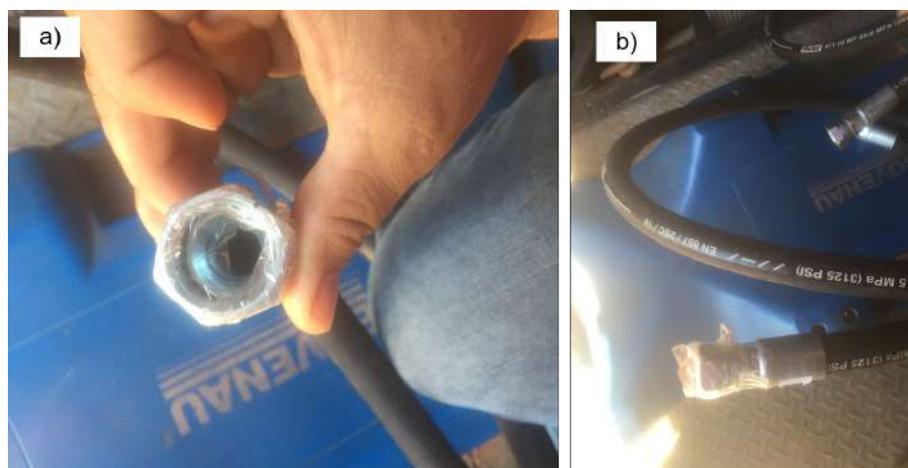
Outro modo de falha do componente recorrente dessa vez tem origem no processo de manutenção. A manutenção malfeita devido a pressa, ou não comprometimento dos executores no processo faz com que as mangueiras sejam instaladas nas máquinas sem os espirais de proteção, o que encurta a vida útil do componente, contribuindo para um alto número de perdas por defeito.

Figura 4.5 – Segundo modo de falha do componente - ausência dos espirais de proteção.



Fonte: Autor.

Figura 4.6 – Terceiro modo de falha do componente - Terminais mal isolados.



Fonte: Autor.

Outro fator que contribui para a falha do componente, e na diminuição da vida útil de equipamentos que dependem de mangueiras para operarem (como bombas e válvulas controladoras) é a falta do devido isolamento dos terminais das mangueiras pós montagem, o que é evidenciado pela Figura 4.6 – mangueira “pronta” para aplicação em uma máquina.

4.2.3 Número de Prioridade de Risco

Conforme o gráfico de Pareto exposto na Figura 4.2, foram mapeados os 10 (dez) principais falhas em componentes de 15 (quinze) máquinas colhedoras de cana-de-açúcar, de um total de cerca de 600 falhas que sistema SAP aponta, em média, por mês para esse número amostral do objeto de estudo. Com isso, pelo NPR do Apêndice A, buscaram-se identificar os índices de risco das causas, estratificando as falhas em hierarquias através de pesos atribuídos a cada uma das variáveis de avaliação: Ocorrência, Detecção e Severidade.

Tabela 6 – Índices de ocorrência adotados na carta de falhas.

SEVERIDADE		
Severidade	Efeito da Severidade	Índice
Nenhum	Sem efeito identificado.	1
Muito menor	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado nas máquinas (menos que 25%)	2
Menor	Itens de ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado em 50% das máquinas.	3
Muito baixo	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito notado na maioria das máquinas (mais que 75%).	4
Baixo	Máquina operável, mas com níveis de desempenho reduzidos.	5
Moderado	Máquina operável, mas com perda considerável do desempenho.	6
Alto	Máquina operável em condições críticas de desempenho.	7
Muito alto	Máquina inoperável (perda das funções primárias).	8
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha afeta a segurança na operação da máquina com aviso prévio.	9
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha afeta a segurança na operação da máquina sem aviso prévio.	10

Fonte: Autor.

Tabela 7 – Índices de detecção adotados na carta de falha.

DETECÇÃO						
Detecção	Critério	A ¹	B ²	C ³	Faixas dos Detecção	Nº
Quase impossível	Certeza absoluta da não detecção			x	Não pode detectar ou não é verificado.	10
Muito remota	Controles provavelmente não irão detectar.			x	Controle é alcançado somente com verificação indireta.	9
Remota	Controles têm pouca chance de detecção.			x	Controle é alcançado somente com inspeção visual.	8
Muito Baixa	Controles têm pouca chance de detecção.			x	Controle é alcançado somente com dupla inspeção visual.	7
Baixa	Controles podem detectar.		x	x	Controle é alcançado com métodos gráficos, tais como CEP (Controle Estatístico do Processo).	6
Moderada	Controles podem detectar.		x		Controle é baseado em medições por variáveis depois que as peças deixam a estação.	5

Fonte: Autor.

Tabela 8 – Índices de detecção adotados na carta de falha - Continuação.

DETECÇÃO						
Detecção	Critério				Faixas de Detecção	Nº
		A ¹	B ²	C ³		
Moderadamente alta	Controles têm boas chances para detectar.	x x	x x		Detecção de erros em operações subsequentes, OU medições feitas na preparação de máquina e na verificação da primeira peça. (somente para casos de preparação de máquina)	4
Alta	Controles têm boas chances para detectar.	x	x		Detecção de erros na estação, ou em operações subsequentes por múltiplos níveis de aceitação: fornecer, selecionar, instalar, verificar. Não pode aceitar peça discrepante.	3
Muito alta	Controles quase certamente detectarão.	x	x		Detecção de erros na estação (medição automática com dispositivo de parada automática). Não pode passar peça discrepante.	2
Quase certamente	Controles certamente detectarão.	x			Peças discrepantes não podem ser feitas porque o item foi feito a prova de erros pelo projeto do . processo/produto.	1

Fonte: Autor.

¹Poka Yoke²Inspeção de Medição³Inspeção Manual/Visual

Tabela 9 – Índices de ocorrência adotados na carta de falha.

OCORRÊNCIA		
Probabilidade de Falha	Taxas de falha possíveis	Índice
Remota: Falha é improvável	Chance Remota de Falha	1
Baixa: Relativamente poucas falhas	Frequência muito baixa 1 vez a cada 2 anos	2
	Pouco Frequente: 1 vez por ano	3
Moderada: Falhas ocasionais	Frequência baixa: até 6 vezes por ano	4
	Frequência ocasional: Mensalmente	5
Alta: Falhas frequentes	Frequência moderada: Várias vezes por mês	6
	Frequente: Semanalmente	7
Muito Alta: Falhas Persistentes	Frequência elevada: Várias vezes por semana	8
	Frequência muito elevada: 1 vez ao dia	9
	Frequência máxima: várias vezes ao dia	10

Fonte: Autor.

A elaboração da carta de falhas - encontrada no Apêndice A - envolveu reuniões e entrevistas não estruturadas com pessoas que lidam diariamente com a frota de ativos, incluído um dos líderes de manutenção, uma engenheira júnior, dois inspetores de manutenção, e o coordenador do PCM, atribuindo valores que sejam de comum acordo entre a equipe para tais variáveis.

O NPR mostra que, das 10 (dez) causas de falhas na frota de ativos, o componente de mais alto risco para a máquina está estabelecido como mangueiras. Uma colhedora de cana-de-açúcar possui cerca de 300 (trezentas) mangueiras, se somados todos os sistemas: Hidráulico, transmissão, corte de base, corte de pontas, extratores primário e secundário, e assim por diante.

4.3 Implementação de indicadores de manutenção

No intuito de mensurar quantitativamente os equipamentos críticos para a gestão da manutenção do componente que oferece maior risco à frota de ativos – mangueiras – foram calculadas três variáveis de desempenho: MTBF; MTTR e Disponibilidade do maquinário, antes da análise (cenário de 2018), e após a implementação de estratégias de manutenção para o item (cenários presente e futuro).

O setor corporativo da empresa estabeleceu como valor mínimo de trabalho, um índice para disponibilidade das colhedoras de cana-de-açúcar de 80% ao mês. Entretanto, antes da implementação de estratégias de manutenção propostas pelo autor, esse índice

estava em 73% (vide Tabela 1).

Sendo a disponibilidade dos ativos dado pela divisão do número de colhedores ativas e o número de colhedoras total operáveis na usina, acredita-se que o número de paradas por falhas no componente mais crítico da frota tenha um grande impacto em tal disponibilidade mensal.

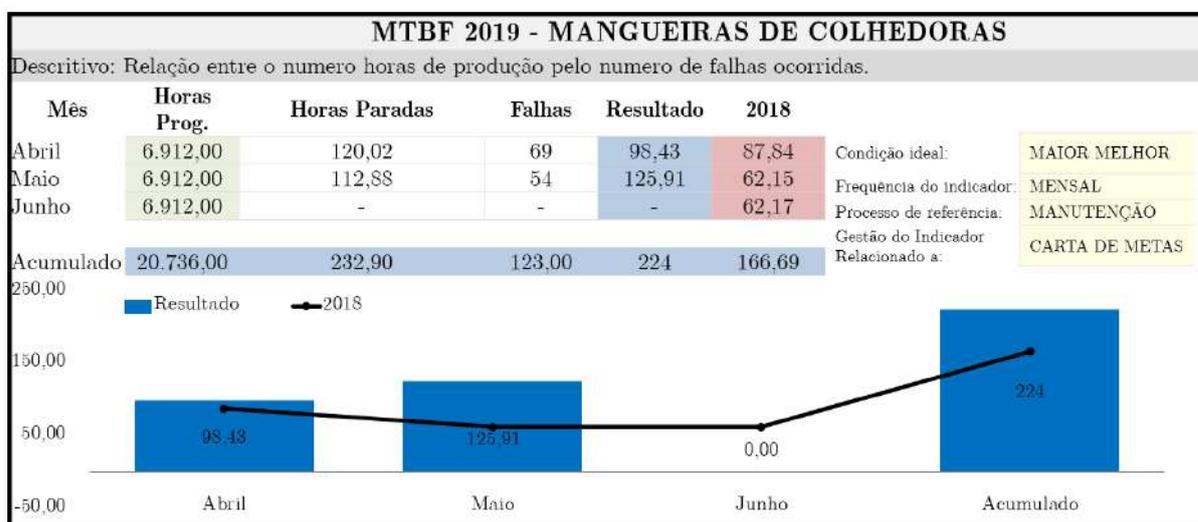
4.3.1 Mean Time Between Failures (MTBF)

A Equação 4.1 fornece o cálculo do tempo médio entre falhas (MTBF) de mangueiras. Pelo gráfico mostrado na Figura 4.7 é extraído que, com a implementação das estratégias de manutenção no componente – mangueira – as falhas ocorreram cerca de 10 (dez) horas mais cedo no primeiro mês, em relação ao ano em que houve o estabelecimento de estratégias pelo autor (2019).

$$MTBF = \frac{\text{Horas em funcionamento}}{n \check{z}AR30} \tag{4.1}$$

Na Equação 4.1 o dividendo diz respeito às horas em funcionamento de determinado componente, o termo divisor ($n^o AR30$) é o número de correções que o componente precisou passar durante o período de 1 (um) mês, e o quociente ($MTBF$) é o tempo médio entre uma falha e outra dentro do contexto do objeto de estudo.

Figura 4.7 – Indicador de manutenção - MTBF.



Fonte: Autor.

O ganho é ainda mais evidente quando a análise é feita para o segundo mês (Maio), onde houve um acréscimo de cerca de 63 horas no tempo médio entre uma falha e outra. Em outras palavras, isso implica em um aumento de 49% na vida útil do componente atacado com as estratégias de manutenção.

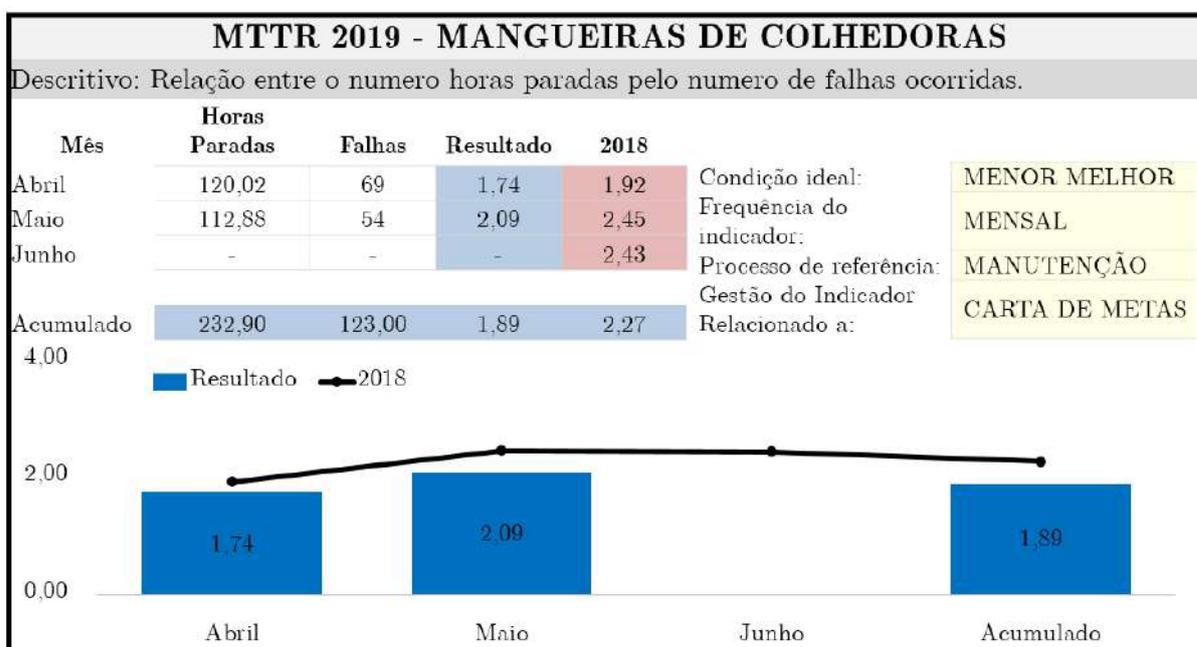
4.3.2 Mean Time To Repair (MTTR)

O tempo médio para reparos (MTTR) em mangueiras é dado apenas pelo tempo total de manutenção corretiva para falhas (em horas), e o total de ações corretivas (AR30) durante os meses de análise: Abril, Maio e Junho, conforme Equação 4.2.

$$MTTR = \frac{\text{horas de reparo}}{n \cdot AR30} \tag{4.2}$$

Na Equação 4.2 o dividendo diz respeito às horas que foram necessárias para reparar determinado componente, o termo divisor ($n \cdot AR30$) é o número de correções que o componente precisou passar durante o período de um mês, e o quociente ($MTTR$) é o tempo médio levado pelo PCM para reparar um componente.

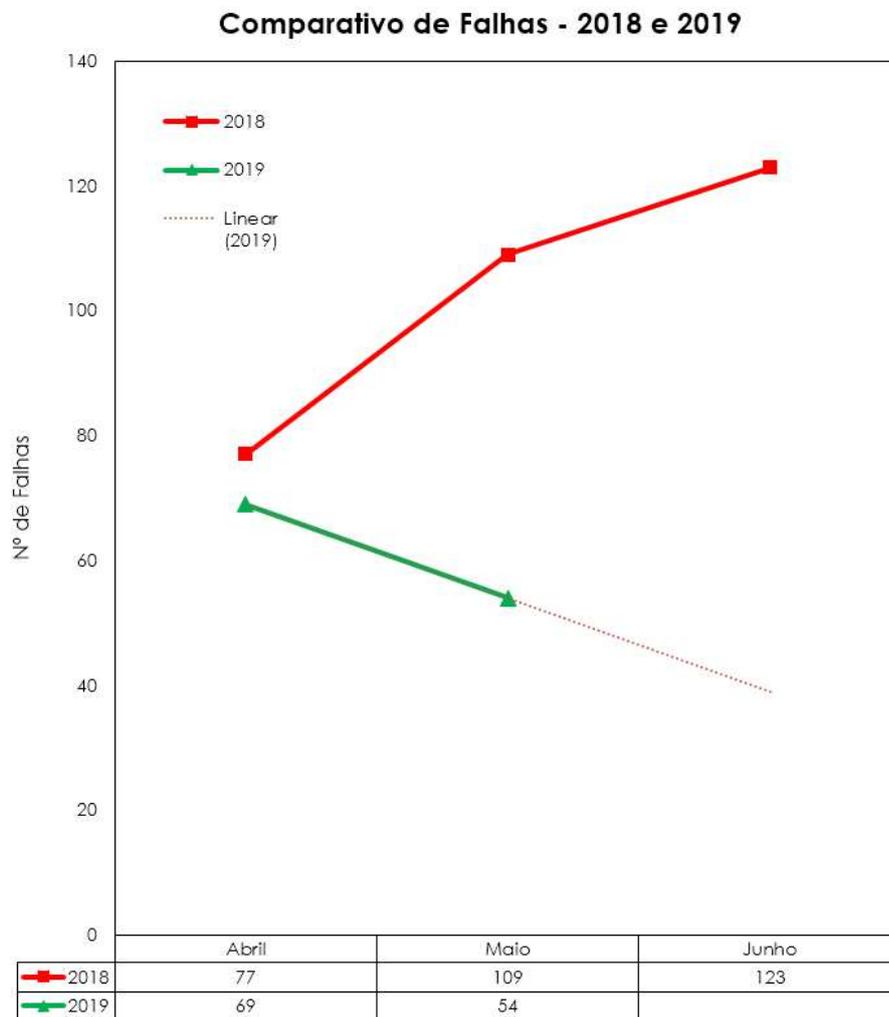
Figura 4.8 – Indicador de manutenção - MTTR.



Fonte: Autor.

Por meio da observação dos gráficos de MTBF e MTTR, Figuras 4.7 e 4.8, fica evidente a melhoria implementada pelas estratégias de manutenção em 2019, em relação ao ano anterior. Pelo gráfico comparativo de falhas, observa-se que no ano de 2018 as falhas cresceram conforme os meses de análise decorriam. Ainda pela Figura 4.9, a curva referente ao ano em que autor estabeleceu estratégias de manutenção para o componente constata que o número de perdas por defeito (STP) é dado de maneira decrescente conforme o passar dos meses. Um ponto que deve ser ressaltado é que, para o mês de Junho, foi realizada uma estimativa linear conforme os meses anteriores, uma vez que este trabalho foi escrito e finalizado antes do final do mês de Junho.

Figura 4.9 – Curvas comparativas do número de intervenções corretivas em mangueiras - 2018 e 2019.



Fonte: Autor.

4.3.3 Disponibilidade

A disponibilidade da frota de ativos antes da implementação das estratégias de manutenção, conforme exibe a Tabela 2, estava em 73%. Após a efetivação das estratégias de manutenção no cotidiano do PCM, a disponibilidade da frota de ativos subiu 5% (mês de Junho).

Tabela 10 – Farol de manutenção - 05/2019.

Indicadores			PAF
Indicador	Meta	Peso	
Disponibilidade Mecânica Global	>=61%	40%	57%
Disponibilidade Mecânica das Colhedoras	>=80%		78%
Disponibilidade Mecânica dos Tratores	>=85%		85%
Disponibilidade Mecânica dos Caminhões	>=90%		86%

Fonte: Autor.

É de extrema importância ressaltar que essa é uma conquista de todo o setor, haja vista que dentro desses 5% há inúmeras boas práticas estabelecidas pelo setor visando o aumento da disponibilidade. O valor de 78% ainda não retrata o valor mínimo de 80% estabelecido pelo setor corporativo, mas com uma continuidade nas estratégias estabelecidas, o autor assegura que certamente esse valor será atingido no decorrer do ano.

4.4 Muda por defeitos

A *muda* em questão se deve ao monopólio de falhas que determinados componentes (mangueiras) exerce sobre os demais, uma vez que tais itens representam o dobro de falhas em relação ao segundo colocado (esteiras), vide Figura 4.2.

Em vista disso, a montagem de mangueiras que não atendem aos requisitos de operação das máquinas representam a *muda* do STP no cotidiano do objeto de estudo.

4.4.1 Remodelagem do processo de manutenção dos componentes *gaps*

Por meio das observações realizadas *in loco*, que viabilizaram o mapeamento do processo de manutenção, identificação e caracterização das etapas deficientes do processo, bem como propor melhorias por meio de estratégias, foi possível produzir a remodelagem do processo em seu estado futuro, conforme a metodologia BPMN.

Em síntese, a Figura 4.10 mostra que os componentes apontados como *gaps*, numa análise minuciosa das ordens de serviço cadastradas no *software* SAP ERP, foram as mangueiras dos divisores de linha (MJD 091 no catálogo Deere (2013)), mangueiras dos motores *Charlynn* dos rolos móveis (MJD 046 no catálogo Deere (2013)), mangueiras do sistema de transmissão (MJD 134 no catálogo Deere (2013)), e mangueiras dos cilindros de suspensão da máquina (MJD 144 em no catálogo Deere (2013)).

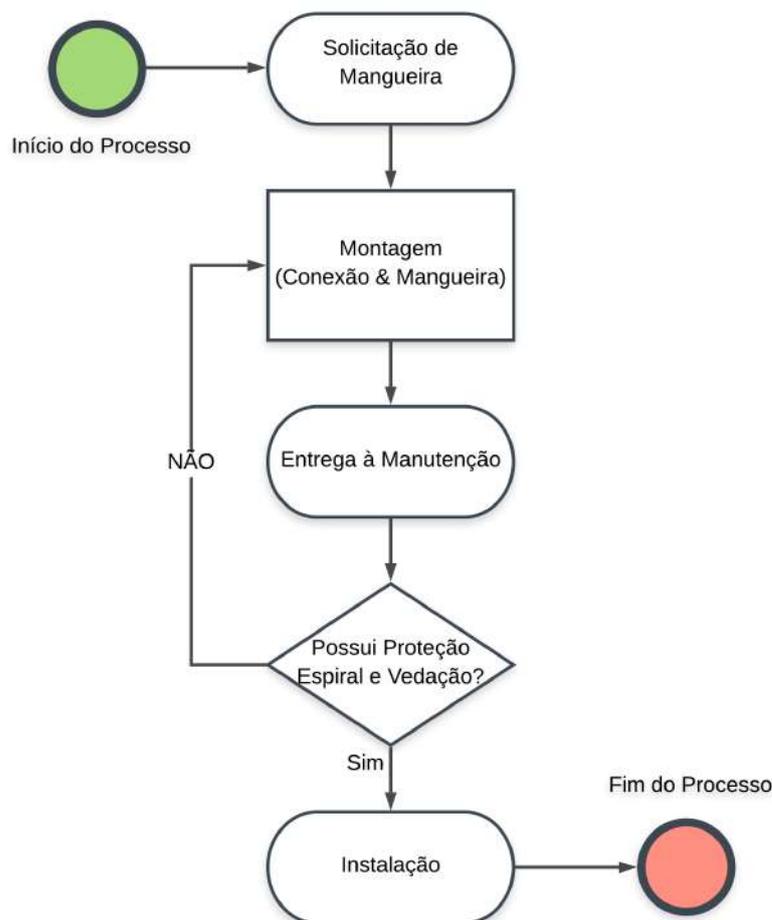
Figura 4.10 – Levantamento de repetição de falha em componentes.



Fonte: Autor.

4.4.2 Etapa de prensagem de mangueiras

Figura 4.11 – Remodelagem da etapa de prensagem de mangueiras no processo de manutenção.



Fonte: Autor.

A Figura 4.11 mostra o modelo BPMN elaborado para a etapa de confecção (prensagem) de mangueiras. Antes desse modelo, as mangueiras eram confeccionadas e instaladas sem um padrão de proteções que garanta a vida útil de tais componentes em campo. Com o novo modelo dessa etapa no processo de manutenção, há a possibilidade de assegurar o padrão de qualidade da manutenção, aumentando a vida útil dos componentes e, por consequência, a disponibilidade da frota de ativos. No capítulo seguinte, o autor deixa claro em números os ganhos com esse novo modelo.

4.4.3 Etapa de instalação das mangueiras

Os modos de falha do componente evidenciam que há uma melhoria factível a ser estabelecida na instalação das mangueiras nas máquinas. O primeiro passo na etapa de instalação das mangueiras se deu na disponibilidade de espirais de proteção na sala

de prensagem de mangueiras, vide Figura 4.12, em que, no PCM objeto de estudo, são utilizadas bitolas de 3/8", 1/4", 5/8", 3/4", e 1".

Figura 4.12 – Espirais de proteção alocados na sala de prensagem de mangueiras.



Fonte: Autor.

Outra estratégia implementada está no que tange aos espirais de proteção avariados em campo, que passam agora a serem reconicionados pelos inspetores de manutenção (apresentados na Seção 3.2). Por tanto, o carro de inspeção passou a ter espirais reservas, conforme a Figura 4.13 mostra.

Figura 4.13 – Espirais de proteção no carro de inspeção.

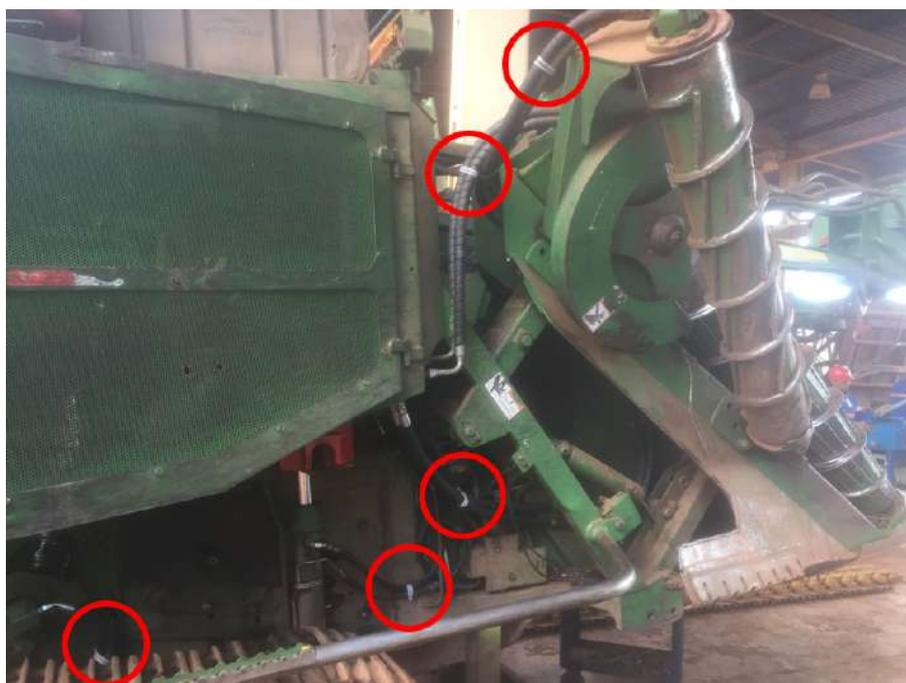


Fonte: Autor.

Em vista disso, a padronização da manutenção de tais componentes em colhedoras foi estabelecida pelo autor, no objeto de estudo, a fim de tornar mais fino o controle de falhas e a diminuição do índice de defeitos do componente. A padronização passa por:

- Lacre de mangueiras a serem instaladas em campo;
- Instalação apenas de mangueiras que possuem espirais de proteção;
- Apresamento de mangueiras com presilhas;
- Alteração dos terminais que foram instalados erroneamente.

Figura 4.14 – Padronização da qualidade da manutenção no componente pelo PCM.



Fonte: Autor.

Como expressado pelas Figuras 4.12 e 4.13, dois modos de falha foram atacados com o remodelagem da etapa de prensagem (confeção) das mangueiras e substituição de espirais de proteção avariados em campo. Para o último modo de falha – falta de vedação dos terminais – foi adotado o uso de lacres de PVC que, quando expostos a uma fonte de calor (soprador térmico), se retraem e vedam o terminal por completo. Essa tomada de decisão foi feita após análise de custo entre vedações do tipo “tampão” (anterior) e do tipo “lacre PVC” (proposta).

As vedações do tipo tampão apresentavam a desvantagem de serem facilmente perdidas, e possuíam um elevado custo. A oficina necessita de tampões ou lacres que atendam as bitolas de 1 1/4”; 5/8”; 1/2”; 1” e 3/4”. Uma comparação entre unidades de lacre e tampão foi feita, vide Tabela 11.

Tabela 11 – Comparativo entre o preço por unidade de tampão e lacre (em reais).

Material	Descrição	Centro	Unidade	R\$ UN. TAMPÃO	R\$ UN. LACRE
501285	BUJÃO PEBD DENT 1-1/4" RJIC 37º VM	2493	UN.	0,66	0,69
501160	BUJÃO PEBD DENT 5/8" RJIC 37º VM	2493	UN.	0,74	0,62
501158	BUJÃO PEBD DENT 1/2" RJIC 37º VM	2493	UN.	0,95	0,62
501286	BUJÃO PEBD DENT 1" RJIC 37º VM	2493	UN.	1,59	0,64
501162	BUJÃO PEBD DENT 3/4" RJIC 37º VM	2493	UN.	3,79	0,63
TOTAL:				7,73	3,2

ECONOMIA DE 42 %

Fonte: Autor.

Considerando apenas a compra da unidade de lacre e tampão, a economia com a implementação da nova estratégia para atacar tal modo de falha é de 42%. Todavia, este valor a ser economizado pode ser ainda maior se a quantidade de lacres comprados não se der de maneira uniforme (por exemplo, 100 unidades de determinada bitola, 160 unidades de outra bitola, e assim por diante). A seguir, exhibe-se o lacre e o soprador térmico adquiridos pela empresa para implementação da estratégia sugerida pelo autor.

Figura 4.15 – Equipamento adquirido pelo PCM para vedação de terminais de mangueiras.



Fonte: Empresa fornecedora do equipamento de vedação. Disponível em: <www.ultracleanbrasil.com.br/>.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou que na manutenção, setor estratégico para o aumento da competitividade das organizações de grande porte, a otimização no uso dos recursos disponíveis, além do trabalho e qualidade do processo de manutenção, podem ser realizados à partir de ações geridas pela engenharia e por equipes de execução competentes.

O trabalho teve seus objetivos e questionamentos alcançados, tendo em vista que foi possível identificar os componentes que ocasionam os índices de paradas mais recorrentes na manutenção da frota de ativos por meio de um FMEA simplificado, implementar indicadores de manutenção para componentes (MTBF, MTTR e Disponibilidade), mapear e descrever, além de remodelar etapas deficientes do processo de manutenção pelo método BPMN.

Para atingir a meta de aumento da disponibilidade da frota de ativos e redução dos custos de manutenção, foram realizadas avaliações de riscos e análises das causas raízes das falhas, que permitiram a realização de propostas de melhorias no sistema da manutenção da empresa.

O estudo de caso realizado em uma usina de bioenergia (etanol), contribui para o vasto campo de atuação do profissional engenheiro mecânico. O setor de bioenergia possui grandes desafios para o cumprimento de prazos e custos, além disso, poucos vislumbram um planejamento de médio e longo prazo para recursos materiais. Dessa forma, como visto na pesquisa pelo viés da gestão da manutenção (sendo possível atuação em outras áreas da empresa), os problemas citados acima transformam-se em oportunidades para a Engenharia de Manutenção, uma vez que propõem soluções de melhoria nos processos, por meio de suas ferramentas e técnicas.

Tendo em vista que o preço do etanol na esteira, no momento do desenvolvimento desse trabalho, flutuou na casa dos R\$ 64,41; uma análise de custo foi realizada. Levando em conta que, na realidade particular da usina, uma hora de colhedora parada representa cerca de R\$ 4.187,95 não ganhos, em 63 (sessenta e três) horas acrescidas só com o controle de manutenção do componente mangueira, ganhou-se cerca de R\$ 263.840,85 apenas evitando paradas por falha de mangueiras no mês de Maio.

Em última análise, ficou evidente, por parte do autor ao longo dos 7 (sete) meses de pesquisa, a mudança de visão e tratativa do PCM acerca de componentes da frota de ativos da usina, uma vez que a pesquisa apresentou resultados de natureza expressiva por meio de estratégias de engenharia antes não utilizadas no cotidiano do objeto de estudo.

Referências

- ABNT. **NBR 5462/1994, Confiabilidade e manutenibilidade**. [S.l.], 1994. Esta Norma define os termos relacionados com a confiabilidade e a manutenibilidade. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=4086>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 9.
- ANTUNES, J. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta**. [S.l.]: Bookman Editora, 2009. Citado na página 10.
- BALDAM, R.; ABEPRO, A.; ROZENFELD, H. **Gerenciamento de Processos de Negócio-BPM: uma referência para implantação prática**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2014. Citado na página 12.
- BORNIA, A. C. **Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas**. [S.l.]: Bookman Porto Alegre, 2002. Citado na página 10.
- BOX, G. E.; DRAPER, N. R. Essentially, all models are wrong, but some are useful. **Statistician**, Citeseer, v. 3, n. 28, p. 2013, 1919. Citado na página 11.
- CAPOTE, G. **Guia para formação de Analistas de Processos - BPM**. 1. ed. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2011. 328 p. Citado na página 1.
- CARVALHO, M.; PALADINI, E. **Gestão da Qualidade – Teoria e casos**. 2. ed. ABEPRO: Elsevier, 2012. 688 p. Citado na página 1.
- CARVALHO, M.; PALADINI, E. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2013. Citado na página 3.
- CHIAVENATO, I. **Administração - Teoria, Processo e Prática**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2003. 416 p. Citado na página 1.
- CHINOSI, M.; TROMBETTA, A. Bpmn: An introduction to the standard. **Computer Standards & Interfaces**, Elsevier, v. 34, n. 1, p. 124–134, 2012. Citado na página 12.
- DAĞSUYU, C. et al. Classical and fuzzy fmea risk analysis in a sterilization unit. **Computers & Industrial Engineering**, Elsevier, v. 101, p. 286–294, 2016. Citado na página 14.
- DEBEVOISE, T. et al. **The MicroGuide to process and decision modeling in BPMN/DMN: building more effective processes by integrating process modeling with decision modeling**. [S.l.]: CreateSpace independent publishing platform, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.
- DEERE, C. d. C. J. **Circuitos Hidráulicos John Deere 3520 - Bunge Brasil Unidade Pedro Afonso**. [S.l.]: Consulta, 2013. Citado na página 36.
- DHILLON, B. S. **Engineering maintenance: a modern approach**. 1. ed. Florida: CRC Press, 2002. 222 p. Citado 3 vezes nas páginas 3, 12 e 13.
- FAULKNER, A.; CONTRIBUTOR. Lucidchart for easy workflow mapping. **Serials Review**, Taylor & Francis, v. 44, n. 2, p. 157–162, 2018. Citado na página 20.

- FELD, W. M. **Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them**. [S.l.]: CRC press, 2000. Citado na página 8.
- FILHO, G. B. Indicadores e índices de manutenção. **Rio de Janeiro: Ciência Moderna**, sn, v. 148, 2006. Citado na página 7.
- GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente Just-in-time**. 1. ed. Caxias do Sul: Editora da UCS, 1996. 21 p. Citado 3 vezes nas páginas 1, 9 e 10.
- GONÇALVES, E. Manutenção industrial—do estratégico ao operacional. **Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda**, 2015. Citado na página 13.
- GUIMARÃES, L. M.; NOGUEIRA, C. F.; SILVA, M. D. B. da. Manutenção industrial: implementação da manutenção produtiva total (tpm). **e-xacta**, v. 5, n. 1, 2012. Citado na página 7.
- JUNIOR, C.; WIDOMAR, P. Introdução ao projeto de produtos. **Série Tekne. São Paulo, SP: Bookman**, 2014. Citado na página 7.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção-função estratégica**. [S.l.]: Qualitymark Editora Ltda, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 8.
- LAUE, R.; AWAD, A. **Visual sugestions for improvements. In: business process diagrams**. [S.l.]: Elsevier, 2011. 385-399 p. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 4.
- LIKER, J. K.; MEIER, D. **O Modelo Toyota: Manual de aplicação**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 432 p. Citado 4 vezes nas páginas 1, 9, 10 e 11.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. [S.l.]: Saraiva São Paulo, 2005. Citado na página 7.
- MIERS, D. The keys to bpm project success. **Retrieved July**, v. 20, p. 2011, 2006. Citado na página 11.
- MIGUEL, P. A. **Metodologia de Pesquisa: em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2012. 280 p. Citado na página 19.
- MIKULAK, R. J.; MCDERMOTT, R.; BEAUREGARD, M. **The basics of FMEA**. [S.l.]: Productivity Press, 2008. Citado na página 15.
- MORO, N.; AURAS, A. P. Introdução a gestão da manutenção. **Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina Gerência Educacional de Metal Mecânica Curso Técnico de Mecânica Industrial. Florianópolis**, 2007. Citado na página 6.
- MOURA, C. Análise de modo e efeitos de falha potencial (fmea): manual de referência. **São Paulo: IQA**, 2000. Citado na página 13.
- OHNO, T. **Toyota production system: beyond large-scale production**. [S.l.]: crc Press, 1988. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 9.
- OMG, B. P. M. N. Object management group. **Needham, MA, USA**, v. 2, n. 2, 2006. Citado na página 11.
- PEREIRA, M. J. **Engenharia de manutenção: teoria e prática**. [S.l.]: Editora Ciência Moderna, 2009. Citado na página 7.

- REIS, Z. C. A implantação de um planejamento e controle da manutenção: Um estudo de caso desenvolvido em uma empresa do ramo alimentício. **VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Niterói**, 2010. Citado na página 3.
- ROSING, M. V. **Business Process Model and Notation-BPMN**. [S.l.]: Elsevier, 2015. 429-452 p. Citado na página 4.
- SAP. **About SAP SE**. 2019. Disponível em: <<https://www.sap.com/corporate/en.html>>. Citado na página 20.
- SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção**. [S.l.]: Bookman Editora, 1996. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 11.
- SILVA, E. L. d.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 3. ed. rev. atual, 2001. Citado na página 19.
- SILVA, F. J. S. **Availability forecast of mining equipment**. Florida: Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2016. 418-432 p. Citado na página 4.
- SILVA, F. J. S. **Simulação e Previsões nas Tomadas de Decisões da Manutenção Condicional em Equipamentos da Indústria de Mineração**. Pará: Não Publicado, 2018. Citado na página 3.
- SLACK, N. et al. **Administração da produção**. [S.l.]: Atlas São Paulo, 2009. v. 2. Citado na página 10.
- TELES, J. **Confiabilidade: O que é e Como medir?** 2017. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/o-que-e-confiabilidade/>>. Citado na página 1.
- TELES, J. **Manutenção Enxuta: O que você precisa saber**. 2018. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/o-que-e-manutencao-enxuta/>>. Citado na página 9.
- TIAN, Z. et al. Condition based maintenance optimization for wind power generation systems under continuous monitoring. **Renewable Energy**, Elsevier, v. 36, n. 5, p. 1502–1509, 2011. Citado na página 3.
- TOYOTA. **Sistema Toyota de Produção**. 2019. Disponível em: <<https://www.toyota.com.br/mundo-toyota/toyota-production-system/>>. Citado na página 8.
- VIANA, H. R. G. **PCM-Planejamento e Controle da manutenção**. [S.l.]: Qualitymark Editora Ltda, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.

Apêndices

APÊNDICE A – PLANILHA DE CONTROLE DE FALHAS

Figura A.1 – FMEA elaborado para os dez componentes que mais falham na frota de ativos.

LEVANTAMENTO DE FALHAS EM COMPONENTES							
Máquina	Análise da Falha			Avaliação de Risco			Ação Preventiva Recomendada
	Componentes	Modos de Falha	Ocorrência	Severidade	Deteção	NPR	
Máquina	Mangueiras	Estrangulamento (Mangueiras soltas); Falta de isolamento; Atrito.	10	8	7	560	Remodelagem do sistema de montagem de mangueiras; Espalhas de proteção em todas as mangueiras da máquina; Lacre dos terminais.
	Estrela	Concentração de tensão; Vida Útil.	9	8	5	360	Vitar pino e bucha a cada 1000 h.
	Parafuso	Concentração de tensão; Vida Útil.	8	1	9	72	Análise Preditiva dos óleos lubrificantes e diesel com trocas de 125h; 250h; 500h; 1000h e 1500h.
	Filtros	Obstrução; Vida Útil.	8	6	6	288	Verificar extensão e tensionamento da corrente (125h); Inspeção na barra de desgaste da corrente do elevador (500h).
	Correntes	Quebra por tensão de tração.	8	6	5	240	Análise de vibração - Desalinhamento / Partículas Estranhas (300h).
	Rolamentos	Falta de lubrificação; Partículas estranhas; Descontinuidade; Umidade; Desalinhamento.	8	7	4	224	Verificação do funcionamento (125h).
	Sensores	Queima de componentes; Circuito defeituoso no chicote.	8	5	8	320	Verificar desgaste e fixação dos roletes a cada 125h.
	Roletes	Concentração de tensão; Vida Útil.	6	5	5	150	Verificar sistema hidráulico da transmissão (2000h); Afeit-vazão da bomba da transmissão (4000h).
	Transmissão	Falta de lubrificação; Falha na Bomba de Transmissão.	6	8	5	240	Clair Plano de Manutenção - Troca (500h)
	Reflentes	Concentração de tensão; Vida Útil.	6	5	7	210	

Fonte: Autor.