



Universidade Federal de Uberlândia

Faculdade de Administração, Ciências Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço
Social

Marcela Milan Pizzeco

**APLICAÇÃO DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO EM
COLHEDORAS DE CANA DE AÇÚCAR NUMA USINA
SUCROALCOOLEIRA DO TRIÂNGULO MINEIRO: UM
ESTUDO DE CASO**

Ituiutaba

2019



Universidade Federal de Uberlândia

Faculdade de Administração, Ciências Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço
Social

Marcela Milan Pizzeco

**APLICAÇÃO DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO EM
COLHEDORAS DE CANA DE AÇÚCAR NUMA USINA
SUCROALCOOLEIRA DO TRIÂNGULO MINEIRO: UM
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Produção da Universidade
Federal de Uberlândia - UFU, como requisito
necessário para obtenção do título de Engenheira
de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Hebert Roberto da Silva

Ituiutaba
2019

RESUMO

Impactadas pelos efeitos do advento da tecnologia nos processos produtivos, as organizações modificaram seus conceitos de redução de custos de produção inserindo mais uma variável: a Engenharia de Manutenção. Prezar pela disponibilidade do ativo torna-se o preceito-chave para a redução de paradas produtivas, e aumento da eficiência dos processos. Com isso, o presente trabalho trata-se de um estudo preliminar visando a melhoria da disponibilidade de uma colhedora de cana-de-açúcar de uma usina do Triângulo Mineiro. Serão utilizadas técnicas que permitam avaliar as falhas com base no tempo de parada do equipamento e suas causas raízes. Portanto, espera-se com este trabalho conhecer as causas raízes das falhas, aumentando a disponibilidade da colhedora de cana-de-açúcar. Por fim, com estes resultados, foi possível sugerir ações com vistas a aprimorar o Plano de Manutenção do equipamento.

Palavras-chave: Diagrama de pareto, causa raiz, plano de manutenção, disponibilidade.

SUMÁRIO

1. Introdução	5
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1 Gestão da manutenção.....	5
2.2. Terminologias da Manutenção	6
2.3. Indicadores de Manutenção.....	7
2.4. Funcionamento de uma colhedora de cana-de-açúcar.....	7
2.5. Análise de Pareto - Regra 80/20.....	8
2.6. Análise de Causas-Raízes de Falha	8
3. Metodologia	9
4. Resultados e Discussões	10
4.1. Fonte dos dados	10
4.2. Análise de dados de manutenção	11
4.3. Tratamento dos dados.....	12
4.3.1. Interpolação combinada com Regressão Linear.....	12
4.4 – Análise de Pareto - Regra 80/20.....	13
4.5 – Análise da Causa Raiz – Cinco Por quês	15
4.6. Plano de Manutenção	17
4.6.1. Média do tempo entre falhas	17
4.6.2 – Intervalo de Confiança para as médias entre falhas	18
4.6.3 – Proposta Preliminar de Plano de Manutenção.....	19
5. Conclusão	23
6. Trabalhos Futuros e Sugestões de Melhoria	24
REFERÊNCIAS	24

1. Introdução

Em função da integração cada vez maior do mercado consumidor, as organizações se propuseram, até os dias atuais, em planejar, implementar e controlar fortes medidas estratégicas em relação aos seus recursos físicos, que as tornassem competitivas entre as demais concorrentes (SOUZA; ANDRADE, 2018). Assim, reduzir perdas no processo produtivo, seja de insumos ou de disponibilidade do maquinário, se torna uma das premissas-chave para o atingimento satisfatório de lucratividade da empresa, além de alavancar sua produtividade tão exigida pelos gestores (MORAES; GARCEZ, 2017).

A inclusão da Manutenção dentro do ambiente produtivo, é um dos princípios favoráveis a este sucesso, sendo sua missão primordial manter equipamentos e instalações em perfeitas condições de funcionamento, atendendo a um processo de produção, ou um serviço com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado (KARDEC; NASCIF, 2015). Dessa forma se inclui, inspecionar máquinas periodicamente, substituir componentes, e realizar rotinas preventivas (SANTOS; CAVALCANTE, 2018), além de lubrificações periódicas, reapertos, etc (REDE INDUSTRIAL, 2017).

Diante deste cenário, que surgiu a proposta de estudar a manutenção de um determinado modelo de colhedora de cana-de-açúcar de uma Usina Sucroalcooleira da região do Triângulo Mineiro, determinando os compartimentos (seções de funcionalidades) da máquina e seus respectivos componentes (peças) que necessitam de manutenções com mais rigor e frequência, já que são estes que determinam seu nível de Disponibilidade.

Para isso, foi aplicada a Engenharia de Manutenção com a ferramenta de sistematização de dados de forma priorizada, o Diagrama de Pareto (80/20), após a avaliação de dados fornecidos pela empresa, sendo, em seguida, aplicadas técnicas de determinação da Causa Raiz das paradas/falhas do equipamento, a fim de evitar intervenções corretivas não-planejadas. Por fim, baseado nestes resultados, foram propostas ações de melhorias do Plano de Manutenção, seguido na rotina da Usina.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Gestão da manutenção

Segundo Goulart et.al. (2016), a manutenção é a prática para impedir o aparecimento de defeitos e/ou falhas, garantindo o estado original de funcionamento do equipamento. Para Freitas (2016), sua missão é a gerência otimizada do parque de equipamentos estabelecendo-se objetivos que são definidos a partir do conceito de três fatores:

a) Fator econômico: Diminuição de custos de falha, economia de energia, etc.;

b) Fator humano: Condições de segurança no trabalho, fatores prejudiciais, etc.;

c) Fator técnico: Disponibilidade e durabilidade das máquinas.

Assim, é fundamental para uma boa gestão aplicar métodos alinhados com a estratégia da empresa, que prevejam a necessidade da manutenção, já que a perda de produção, de forma planejada, reflete em menores custos do que numa ocorrência de uma parada inesperada, podendo acarretar na diminuição da vida do equipamento (REDE INDUSTRIAL, 2017).

2.2. Terminologias da Manutenção

Para Kardec e Nascif (2015), a manutenção abrange os tipos: Manutenção Corretiva, Preventiva, Preditiva e Engenharia de Manutenção.

- Manutenção Corretiva: Executada após a ocorrência de uma falha, realizando-se a substituição ou o reparo adequado em um item para que o equipamento volte a sua correta funcionalidade, sendo planejada ou não planejada. A primeira forma monitora o equipamento até a sua quebra, porém sem impactar em sua função, tendo disponível formas de substituição da máquina parada ou de seus componentes (KARDEC; NASCIF, 2015). A segunda, ocorre de forma aleatória, sendo ainda uma das mais praticadas, podendo refletir em perdas produtivas, aumento de custos, e reduzindo a qualidade do produto (FREITAS, 2016).

- Manutenção Preventiva: Reduz a ocorrência de falhas de maneira antecipada. Segundo Figueiredo e Rodrigues (2017), é feita em intervalos pré-estabelecidos ou em alinhamento com critérios já definidos, diminuindo probabilidades de falha do ativo. A conservação do maquinário é feita de forma periódica, prevenindo o surgimento de avarias (GOULART et. al, 2016). Porém, pode ser prejudicial, em parte das vezes por falta de dados precisos e cálculos corretos de paradas (FREITAS, 2016), podendo ocorrer falhas bruscas antes do período estimado para a intervenção, e haver reposições de componentes de forma prematura, algo comumente praticado (KARDEC; NASCIF, 2015).

- Manutenção Preditiva: Com base no estado do equipamento, este tipo de atuação engloba a sistematização de dados que possibilitem supervisioná-lo e monitorá-lo de forma contínua, indicando seu desempenho (GOULART et. al, 2016). É o *predizer* do ativo, de forma que todo o acompanhamento é feito sem a ocorrência de paradas (FREITAS, 2016). O principal reflexo deste viés otimizado, é a não-intervenção durante o período em que ainda está em condições de produzir, e nem no momento em que suas funções e componentes estão comprometidos, ou por suposições que o ativo deve ser parado, tendo maior tempo de operação (CERVEIRA; SELLITTO, 2015).

- Engenharia de Manutenção: Se torna uma mudança cultural numa organização, consolidando a rotina e implementando a melhoria (KARDEC; NASCIF, 2015). Requer visualizar não apenas

o ativo em seu momento de reparo (corretiva), mas enxergar, de forma sistematizada, como melhorar o seu mau desempenho (GOULART, et. al., 2016). Isso envolve analisar as causas básicas das falhas, melhorar padrões, eliminar problemas crônicos, melhorar a capacitação do pessoal, gerir materiais e sobressalentes, acompanhar indicadores, aumentar a segurança, confiabilidade e disponibilidade, elaborar planos de manutenção e inspeção, entre outros aspectos (GROSSL; CARVALHO; SANTOS, 2017).

Segundo Kardec e Nascif (2015), a taxa de mão de obra aplicada por hora (homem/h) para os tipos de manutenção citados acima são respectivamente 30,1, 36,5, 17,5 e 15,9, algo que indica o alto nível de intervenção no maquinário com a aplicação de ações corretivas, e, especialmente preventivas, diferentemente da Engenharia de Manutenção, já que o equipamento é acompanhado e monitorado constantemente, antecipando-se em maior parte às falhas e, portanto, sem necessidade de altos níveis de intervenções.

2.3. Indicadores de Manutenção

Para medir o desempenho de um equipamento, e monitorá-lo, os principais indicadores usados são (MORAES; GARCEZ, 2017):

- Manutenibilidade: quanto tempo foi feita a intervenção realizada no maquinário em um determinado intervalo estabelecido.
- Disponibilidade: É a avaliação variando entre 0% e 100% do estado do equipamento em operação.

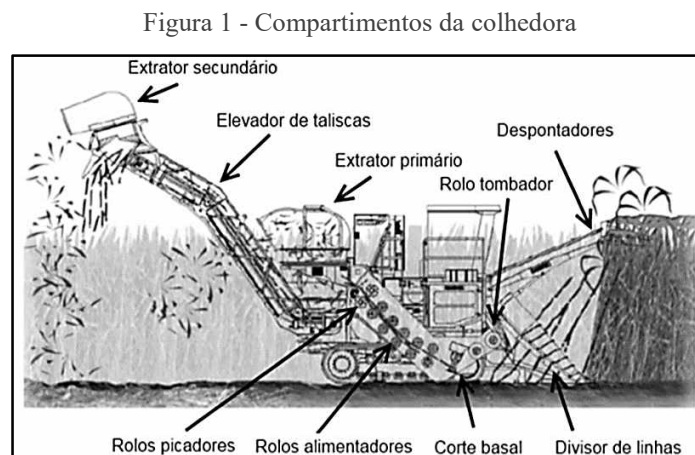
2.4. Funcionamento de uma colhedora de cana-de-açúcar

Visando rapidez produtiva a baixo custo, de forma automatizada (NOVACANA, 2014), as usinas sucroalcooleiras passaram a investir na colhedora de cana-de-açúcar, um maquinário voltado para o corte mecanizado da cana. Ela colhe de forma picada, facilitando no processamento do insumo durante a obtenção de etanol e/ou açúcar. Seu funcionamento baseia-se em (VOLTARELLI et. al., 2015):

- a) As ponteiros da cana de açúcar são retiradas pelos despontadores, que minimizam a quantidade de matéria-prima vegetal introduzida na máquina, realizando a limpeza da cana;
- b) A cana é direcionada para os divisores de linha, onde é desembaraçada pela separação das linhas e introduzida para dentro do equipamento, rumo ao corte de base;
- c) O corte basal realiza o corte dos colmos com a atuação das faquinhas em sua base;
- d) Os colmos cortados, são levados para os rolos alimentadores, até atingir os rolos picadores, sendo estes, fracionados em tamanhos que variam entre 30 a 40 cm;

- e) A cana é depositada no cesto, para que o extrator primário remova impurezas minerais e vegetais através da exaustão de ar numa hélice giratória;
- f) Os colmos repartidos são direcionados para o elevador de taliscas, levando a matéria-prima para o extrator secundário para a remoção das impurezas restantes. Finalmente, a cana é descarregada nos transbordos específicos da indústria que utiliza do insumo.

A figura 1 exemplifica a colhedora em funcionamento.



Fonte: Voltarelli et. al. (2015)

2.5. Análise de Pareto - Regra 80/20

A análise de Pareto, é uma ferramenta de análise da Qualidade que permite identificar quais parâmetros possuem influências significativas sobre cada falha considerada, priorizando a ação que trará melhor resultado, por meio da atuação em um pequeno número de itens responsáveis por significativas melhorias num processo produtivo (FABRIS, 2014).

Este resultado é possível através da visualização das causas de um problema, de maior para menor frequência/gravidade, estabelecendo uma ordem nas tomadas de ações, e priorizando as mais influentes. Dispostos em um gráfico de barras verticais ordenadas, o benefício do Diagrama de Pareto está em detectar que as principais falhas derivam de um pequeno número de causas (FIGUEIREDO; RODRIGUES, 2017). Isto está embasado na regra 80/20: 80% dos resultados correspondem apenas 20% dos fatores, justificando as priorizações necessárias (FABRIS, 2014).

2.6. Análise de Causas-Raízes de Falha

A Análise das Causas-Raízes de Falha (*Root Cause Failure Analysis – RCFA*) é um método ordenado de busca das causas dos problemas para minimizar seu grau de ocorrência (SILVA;

SOUSA; SOUZA, 2018), tomando as ações para prevenir a nova incidência do problema, descobrindo o que ocorreu e o porquê (AGUIAR, 2014).

Este método tem como objetivo eliminar causas que envolvem problemas de desempenho, eliminar causas aparentes que não são sustentadas por dados coletados durante o processo, selecionar causas verificáveis, questionando de forma sucessiva o porquê da ocorrência do problema para determinar a sua causa raiz, sendo tomada as devidas ações. (SILVA; SOUSA; SOUZA, 2018).

Os principais passos para o método são (KARDEC; NASCIF, 2015):

- a) Análise do modo e efeito de falha;
- b) Preservação da informação da falha;
- c) Organização do grupo de análise;
- d) Analisar, relatar descobertas, fazer recomendações e acompanhar resultados.

Esta não deve ser evidenciada em classificações genéricas como “erro do operador”, ou “falha do equipamento”. As causas raízes devem ser descritas de forma que a gerência consiga ter alta influência em sua resolução (AGUIAR, 2014).

3. Metodologia

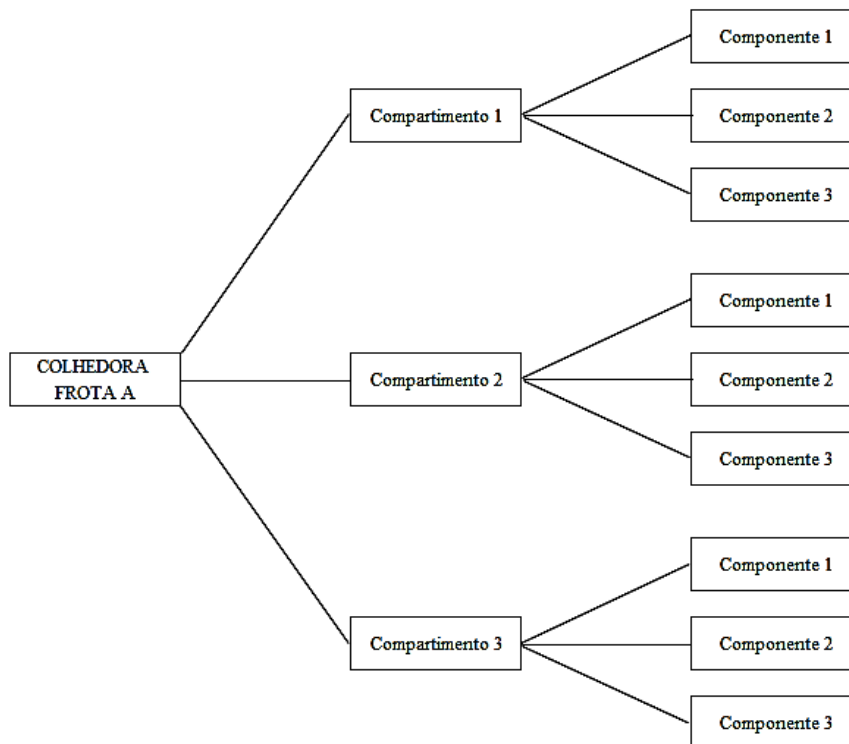
Um estudo de caso foi realizado em uma revendedora de maquinários agrícolas que fornece o pós-venda para manter disponível o equipamento, realizando manutenções corretivas e preventivas.

Esta revendedora presta serviços a uma Usina Sucroalcooleira situada na região Triângulo Mineiro, procurando manter a disponibilidade das colhedoras acima dos 85%, por meio de seus planos de manutenção e a presença de técnicos que realizam as intervenções necessárias na safra durante os dois primeiros turnos da empresa.

E com o objetivo de melhorar as atividades de manutenção da revendedora, tendo uma maior satisfação do cliente em relação a disponibilidade, analisou-se as causas das falhas de uma colhedora do ano de 2016, frota A, utilizando o diagrama de Pareto com base no somatório dos tempos de parada por compartimento e componente durante 107 dias de operação.

Coletou-se os três compartimentos com maiores tempos, e a partir destes, os três componentes mais falhos de cada um, como esquematizado no fluxograma da figura 2.

Figura 2 - Fluxograma de sistematização das falhas



Fonte: Do autor (2019)

A partir do diagrama de Pareto, identificou-se a causa raiz da falha dos componentes com a RCFA embasada nos cinco porquês, explicitando os fatores qualitativos que levam a gerar gargalos de indisponibilidade do equipamento. Esta análise contribuiu para a elaboração de um Plano de Manutenção.

4. Resultados e Discussões

4.1. Fonte dos dados

A Usina em estudo é responsável por originar relatórios semanais durante a safra sobre as Ordens de Serviços de suas colhedoras. Para este estudo, consolidou-se, na safra de 2018, os dados como as datas e a duração das paradas da Frota A, disponíveis nas Ordens de Serviço (OS), com os registros dos compartimentos e seus componentes afetados nas paradas, e sua disponibilidade, tendo como meta estar acima dos 85%.

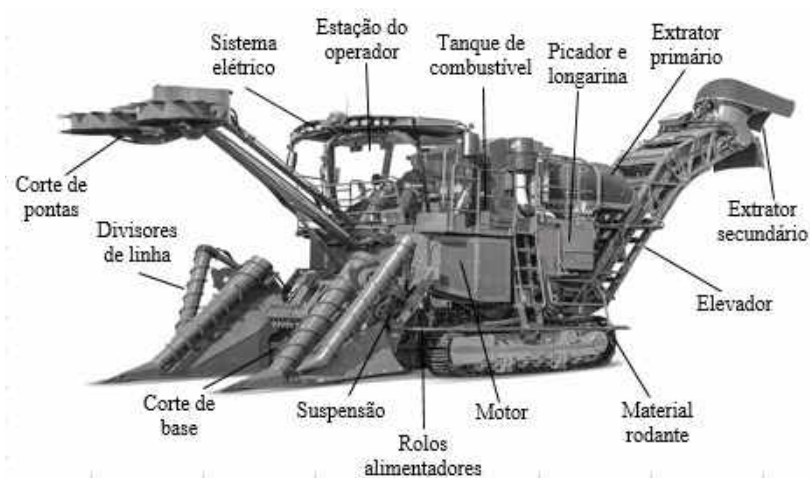
Todavia, foram observadas falhas de preenchimento nos relatórios da Usina com relação aos horímetros para cada OS. Assim, neste estudo, foi utilizado os relatórios dos serviços executados em campo pelos técnicos da revendedora durante seus turnos.

4.2. Análise de dados de manutenção

Houve a limitação do estudo no período de julho a novembro de 2018 devido a maior tendência de seca desta época, elevando o teor de fibra da cana-de-açúcar. Isso propicia a maior quebra dos equipamentos durante a colheita, e, conseqüentemente, uma maior quantidade de dados para tratamento ao fim da safra.

Com base nas OS, classificou-se os dados por compartimentos da máquina: corte de base, material rodante, extrator primário, extrator secundário, suspensão da máquina, elevador, divisor de linhas, picador e longarina, rolos alimentadores, motor, estação do operador, tanque de combustível e sistema elétrico, como evidencia a figura 3.

Figura 3 – Esquema de funcionamento de uma colhedora-de-cana



Fonte: Do autor (2019)

Foram inseridas classificações de “desconhecido” para aquelas intervenções em que não foi possível coletar qual era o compartimento correspondente, onde existia perda de informações do evento pela usina, tendo registrado apenas o tempo total de parada do equipamento. O mesmo ocorreu para a classificação de “diversos” e “preventiva”, onde não havia as mesmas especificações para a categorização correta dos dados.

Para as classificações consistentes por compartimento, uniu-se esta informação ao componente que gerou a indisponibilidade da máquina. A tabela 1 exemplifica a disposição final de informações.

Tabela 1 - Dados das intervenções

Frota	Vida (dias)	Horímetro	Data início	Data Fim	Duração (h)	Compartimento	Componente
2042	812	7042,29	19/07/2018	19/07/2018	0,97	Corte de base	Lâminas

Fonte: Usina e prestadora de serviços (2018)

4.3. Tratamento dos dados

Com um intervalo de obtenção dos dados, limitou-se a faixa de dados na seguinte análise: Interpolação combinada com Regressão Linear. Este método foi utilizado para eliminar a ausência de dados no preenchimento das OS pelos técnicos durante as intervenções de manutenção da colhedora.

4.3.1. Interpolação combinada com Regressão Linear

Esse estudo se iniciou a partir do 812º dia de operação da máquina. Nos 107 dias seguintes de funcionamento da mesma relacionou-se sua vida aos horímetros existentes, para, então, estimar o intervalo entre falhas, utilizando uma técnica de Interpolação para a estimativa de dados indisponíveis, aumentando a precisão dos intervalos entre falhas do equipamento, e tornando a linha de tendência ainda mais precisa e sem lacunas durante o histórico de intervenções ocorridas. Baseada na equação $ax + b$, a técnica contempla a utilização da seguinte Equação 1.

$$\text{Intervalo entre falhas} = \frac{y1 - y0}{x1 - x0}$$

y1: Horímetro inicial;

y0: Horímetro final;

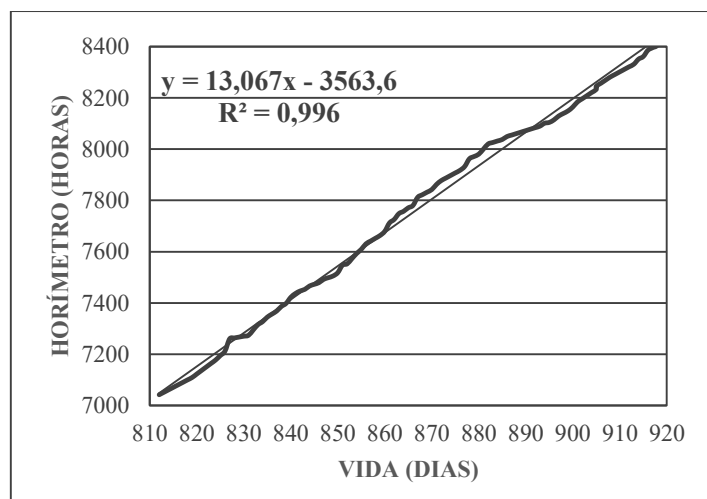
x1: Número da posição do horímetro inicial;

x0: Número da posição do horímetro final.

Com o uso da equação 1, visando melhor precisão na análise, estimou-se os horímetros faltantes para cada intervenção. A figura 4 indica um satisfatório grau de correlação com todos os dados estimados, e um valor R próximo de 1.

Figura 4 – Vida e Horímetro

Eq. (1)



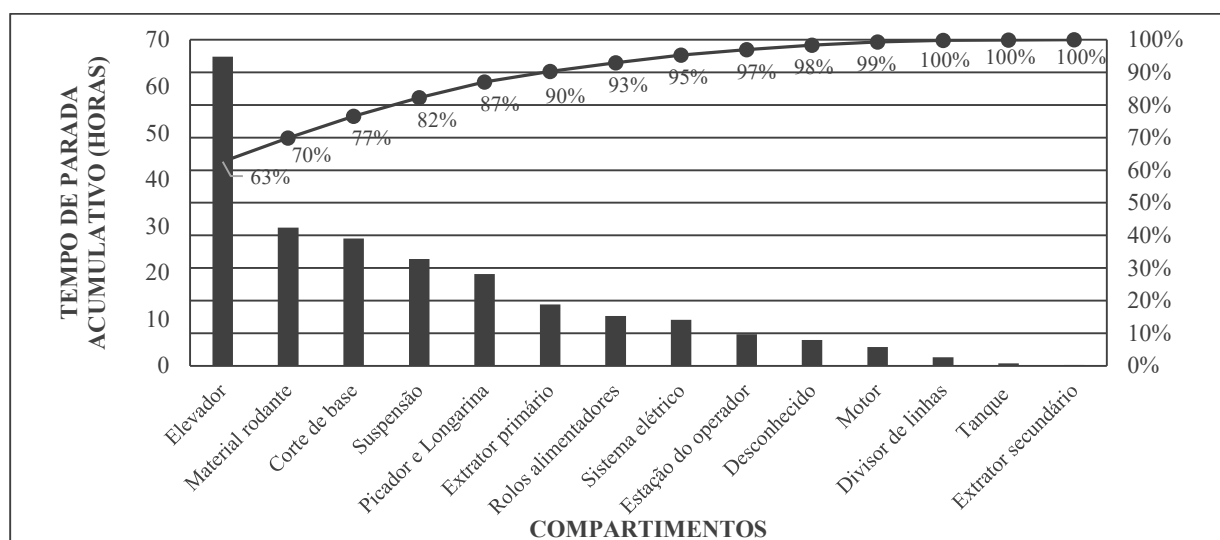
Fonte: Do autor (2019)

4.4 – Análise de Pareto - Regra 80/20

No diagrama de Pareto, foram explicitados os compartimentos com maiores falhas. O resultado julga as classificações de “diversos” e “preventiva” como as principais responsáveis pela parada do mesmo com 112h e 75,52h, respectivamente. Porém, são dados que serão desconsiderados pelo fato de não haver parâmetros de tempo indisponível específicos/seccionados para cada compartimento/componente falho, o que dificulta na sistematização baseada na análise de Pareto.

Desta forma, a figura 5 mostra os compartimentos que mais influenciam na indisponibilidade da máquina, ou seja, 20% dos indicados apresentam 80% do tempo indisponível, seguindo em tempos de parada de 66,38h, 29,70h e 27,35h para: elevador, material rodante, e corte de base.

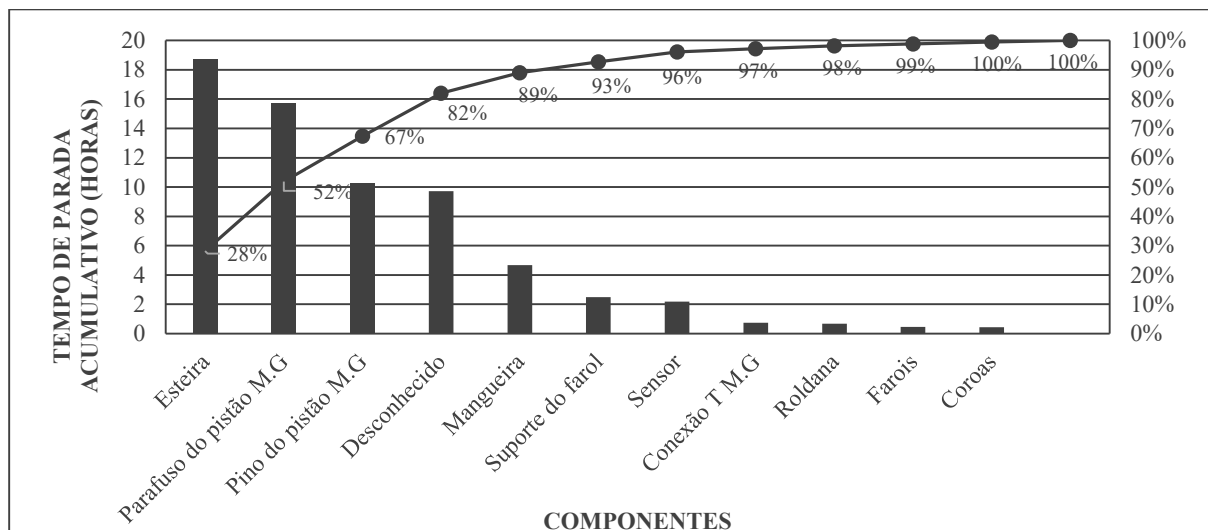
Figura 5 – Gráfico de Pareto aplicado aos compartimentos



Fonte: Usina (2018)

De acordo com a figura 5, analisou-se a causa da falha dos três compartimentos com maior número de intervenções (elevador, material rodante e corte de base) por componentes, sendo os mais falhos apresentados nas figuras 6, 7 e 8. Ainda baseado na regra 80/20, foi considerado componentes que geram indisponibilidade do equipamento de até 80% ou inferior a este valor. Na figura 6 para o elevador, é a esteira (18,72h), seguido do parafuso do pistão da mesa de giro (15,72h), e o pino do pistão da mesa de giro (10,28h), os maiores responsáveis pelas paradas. Todos são elementos de elevado grau de desgaste e de forma prematura e imprevista mediante a condições adversas da máquina, ocorrendo paradas sem planejamento.

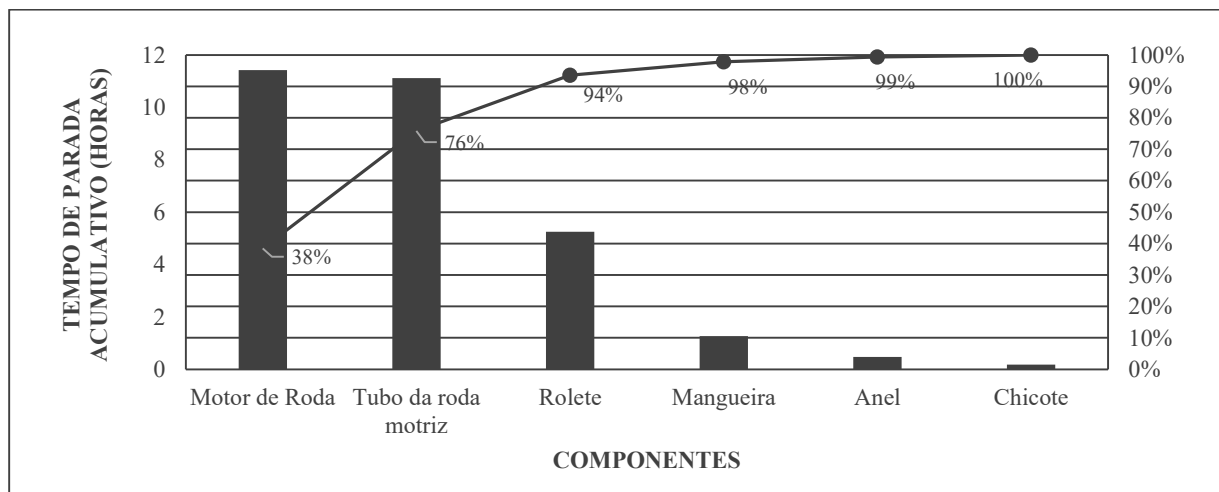
Figura 6 – Gráfico de Pareto para Elevador



Fonte: Usina (2018)

Na figura 7 para o material rodante, os componentes que mais geram paradas são o motor de roda (11,42h), e o tubo da roda motriz (11,12h), elementos em que circula-se o óleo em elevadas pressões para gerar movimentação da máquina, o que leva ao rompimento frequente de retentores, vedações e abraçadeiras existentes nos mesmos.

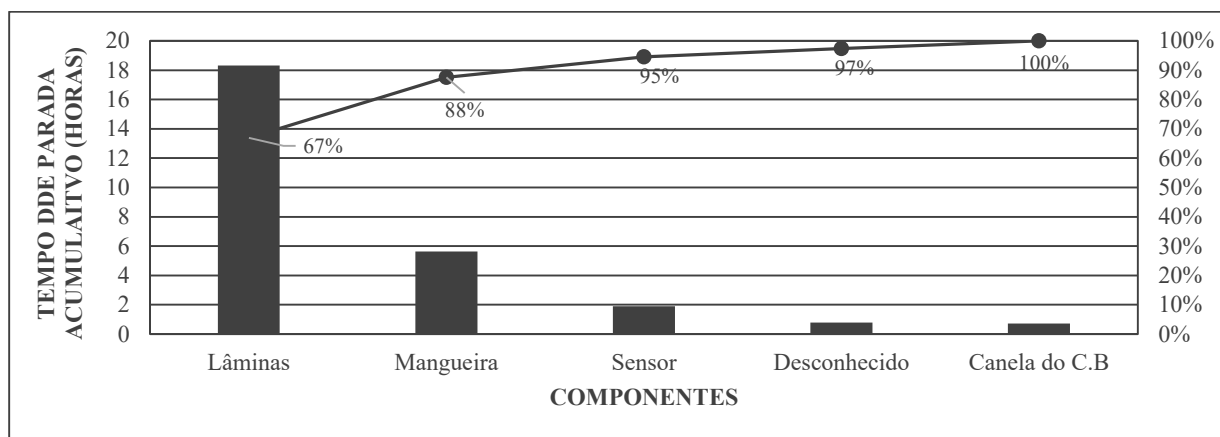
Figura 7 – Gráfico de Pareto para Material Rodante



Fonte: Usina (2018)

Na figura 8 com o corte de base, as lâminas de corte se sobressaem nas intervenções (18,32h), pois este elemento permanece em contato constante com o solo e seus obstáculos, como tocos, pedras, contribuindo para o seu desgaste excessivo.

Figura 8 – Gráfico de Pareto para Corte de Base



Fonte: Usina (2018)

Com base nas figuras 5 e 6, o elevador, então, é o compartimento que gera o maior somatório de paradas do equipamento para intervenção, sendo a esteira, parafusos e pinos da mesa de giro responsáveis por 67% do tempo de parada do elevador. Já para o material rodante na figura 7, o motor e o tubo da roda motriz representam 75% deste tempo, enquanto que, para o corte de base, a faquinha representa 67% do tempo de parada com base na figura 8.

Por meio desta análise, o elevador é o principal compartimento que mais gera indisponibilidade, com três componentes gargalos que devem ser priorizados no plano de manutenção. Contudo os componentes do material rodante e corte de base também devem ser analisados como alta prioridade, já que pertencem aos compartimentos que seguem a mesma proporção geradora de um alto nível de parada do equipamento.

4.5 – Análise da Causa Raiz – Cinco Por quês

A Análise de Pareto, baseada na regra 80/20 aplicada aos compartimentos e componentes permite de forma sistematizada visualizar as principais causas do efeito da indisponibilidade do equipamento abaixo de 85%. Assim, realizou-se a análise da causa raiz das falhas dos componentes destes compartimentos, aplicando-se a ferramenta dos Cinco Por quês, como indica a tabela 2, para o elevador.

Tabela 2 – Aplicação dos Cinco Porquês para o Elevador

Equipamento: Colhedora		Data: De 19/07/2018 a 03/11/2018			
Efeito: Disponibilidade abaixo de 85%					
ELEVADOR					
Componente	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?
I - Falha na esteira	Folga excessiva na esteira.	Correntes de movimentação da esteira desgastadas.	Impurezas minerais da cana em atrito com a corrente, gera o desgaste.		
II - Falha no pino do pistão da mesa de giro	Pino do pistão com desgaste excessivo.	Atrito com o pistão na movimentação da mesa de giro, gera o desgaste.	Falta de lubrificação periódica do componente.	Falta de regularidade dos operadores do caminhão-oficina na lubrificação do equipamento.	
III - Falha no parafuso do pino do pistão da mesa de giro	Quebra excessiva do parafuso do pino do pistão da mesa de giro.	Atrito do parafuso com o pino/pistão na movimentação da mesa de giro, gera a quebra.	Falta de lubrificação periódica do componente + torque do parafuso inadequado.	Falta de regularidade dos operadores do caminhão-oficina na lubrificação do equipamento + falta de verificação do torque do parafuso.	

Fonte: Autor (2019)

Com base na Tabela 2, estas causas raízes são provenientes de falta de execução correta dos processos de manutenção da Usina, sem estabelecer uma periodicidade rígida em lubrificações dos componentes desgastantes, dos pinos e parafusos do pistão da mesa de giro. O maior índice ocorre nas esteiras, algo esperado, já que é um componente exposto a condições adversas constantes, incluindo as impurezas da cana.

A tabela 3, apresenta as causas raízes para o material rodante.

Tabela 3 – Aplicação dos Cinco Porquês para o Material Rodante

Equipamento: Colhedora		Data: De 19/07/2018 a 03/11/2018			
Efeito: Disponibilidade abaixo de 85%					
MATERIAL RODANTE					
Componente	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?
I - Falha no motor de roda	Vazamento de óleo dentro do cubo da redução final	Estouro do retentor do motor de roda.	Excesso de pressão vindo da bomba de transmissão	Má calibração da pressão da bomba de transmissão	

II - Falha no tubo de alimentação do motor de roda	Quebra do tubo de alimentação do motor de roda.	Rompimento da vedação do tubo de alimentação do motor de roda.	Vibração excessiva do tubo do motor.	Falta de manutenção correta na abraçadeira de borracha que fixa o tubo do motor de roda.
--	---	--	--------------------------------------	--

Fonte: Autor (2019)

De acordo com a tabela 3, percebe-se como causa raiz a falta de conhecimento em executar com precisão a manutenção no motor de roda e no tubo de alimentação, pois são neles que circulam o óleo em elevadas pressões e fazem a máquina se mover. Isso mostra que se deve ter ciência sobre a pressão correta de circulação do óleo mediante a calibração correta da bomba, e da fixação correta da abraçadeira do tubo, evitando intervenções longas e sem planejamento. Na tabela 4 pode-se observar a causa raiz para o corte de base.

Tabela 4 – Análise dos Cinco Porquês para o Corte de Base

Equipamento: Colhedora		Data: De 19/07/2018 a 03/11/2018			
Efeito: Disponibilidade abaixo de 85%					
CORTE DE BASE					
Componente	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?
I - Falha das lâminas de corte	Desgaste excessivo das extremidades das lâminas.	Atrito das lâminas com o solo durante o corte.	Desuso do CICB (regulador de altura), que regula a altura da máquina de acordo com o terreno.	Desconforto dos operadores devido à oscilação constante causada na máquina ao copiar o solo.	Má calibragem da pressão do corte de base ao utilizar o CICB.

Fonte: Autor (2019)

As lâminas são elementos com alto índice de desgaste, sendo a principal causa raiz a falta de informação aos operadores de como calibrar corretamente a pressão do corte de base, de forma que a máquina não oscile em operação e evite maiores atritos com o solo.

4.6. Plano de Manutenção

Com a descoberta das causas raízes de falha dos componentes que mais geram a indisponibilidade do equipamento, é possível esboçar um Plano de Manutenção, estipulando-se ações preventivas a serem tomadas em cada compartimento e em determinada periodicidade para cada componente.

4.6.1. Média do tempo entre falhas

Para determinar o intervalo em que será tomada as ações, foi necessário estipular o tempo médio entre falhas, mas categorizando os cálculos por componente do compartimento mais falho.

Utilizando a diferença entre os horímetros de cada intervenção, agora categorizada, calculou-se o tempo entre as falhas, finalizando com o cálculo da média destes tempos. Para a média (\bar{x}), foi excluído os valores máximos e mínimos do tempo entre falhas para cada componente dos compartimentos, aumentando a precisão do resultado.

Devido a insuficiência de dados para os cálculos das médias do parafuso do pistão da mesa de giro e todos os componentes do material rodante, a periodicidade dos mesmos será inserida no plano de manutenção de acordo com os dados do fabricante, não sendo realizado cálculos estatísticos. Desta forma, obteve-se o tempo médio entre falhas dos seguintes componentes, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Média do Tempo entre Falhas

Componentes	Média do Tempo entre Falhas (horas)
I - Esteira do elevador	75
III - Pino do pistão da mesa de giro do elevador	145
VI - Facas do corte de base	53

Fonte: Do autor (2019)

4.6.2 – Intervalo de Confiança para as médias entre falhas

O intervalo de confiança é um dos procedimentos de cálculo estatístico que pode determinar os limites de tolerância de uma determinada média amostral. Para o número de amostras $n < 30$, utiliza-se a distribuição de probabilidade *t* de *student* com graus de liberdade $n-1$, possibilitando encontrar o intervalo em que a verdadeira média μ varia em um determinado nível de confiabilidade usualmente entre 95% a 99%. A equação 2 foi utilizada para a determinação do intervalo de μ , neste caso, para um nível de confiabilidade estipulado de 95%, é (BUSSAB; MORETTIN, 2017)

$$(\bar{x} - t_{(n-1, 0,05)} \times \frac{s}{\sqrt{n}} ; \bar{x} + t_{(n-1, 0,05)} \times \frac{s}{\sqrt{n}}) \quad \text{Eq. (2)}$$

\bar{x} = média amostral;

t = valor tabelado da distribuição *t* de student;

n = número de amostras;

s = desvio padrão amostral.

Embasado na Equação 2, foi possível determinar os limites superiores e inferiores expressos na Tabela 6, os quais variam as médias dos tempos entre falhas de cada componente, de forma a expressar com maior precisão a periodicidade em que se deve realizar a manutenção preventiva.

Tabela 6 – Determinação de limites das médias entre falhas

Componentes	Média do Tempo entre Falhas (horas)	Limite inferior (horas)	Limite superior (horas)
I - Esteira do elevador	75	53	97
III - Pino do pistão da mesa de giro do elevador	145	59	231
VI - Facas do corte de base	53	38	70

Fonte: Do autor (2019)

Com o objetivo de antecipar-se à falha, utilizou-se os valores dos limites inferiores de cada média de tempo entre falhas, sendo estes valores selecionados para determinar a periodicidade em que será executada as ações preventivas com 95% de confiabilidade, como mostra a tabela 7.

Tabela 7 – Média final do Tempo entre Falhas (limite inferior)



Componentes	Média do Tempo entre Falhas (horas)
I - Esteira do elevador	53
III - Pino do pistão da mesa de giro do elevador	59
VI - Facas do corte de base	38

Fonte: Do autor (2019)

4.6.3 – Proposta Preliminar de Plano de Manutenção

Com base na coleta de instruções técnicas de como executa-se as intervenções com o fabricante do equipamento, juntamente com informações fornecidas pelos mecânicos da empresa que realizam o pós-venda na Usina, concretizou-se o plano de ação preventivo para os três compartimentos gargalos, como explicitado na Tabela 8, 9 e 10 para o Elevador, Material Rodante e Corte de Base, respectivamente.

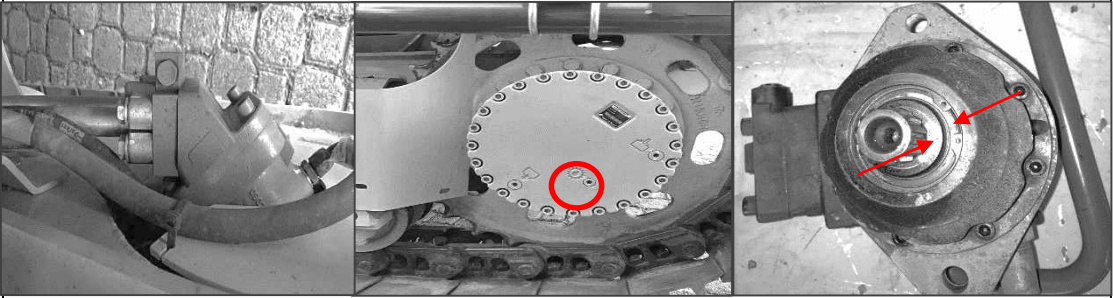

Tabela 8 – Plano de Manutenção Preventiva: Elevador

Equipamento: Colhedora de cana-de-açúcar				
Compartmento	Componente	Ações	Periodicidade	Fotos
I - Elevador	I - Esteira	<ul style="list-style-type: none"> • Tensionar corrente da esteira (1), empurrando a talisca, movimentadora da esteira, para cima; • Verificar se a folga (2) entre a corrente (ligada a talisca) e a tira de desgaste é maior que 25mm (1 in); • Em caso positivo, deve-se bombear graxa na válvula do cilindro de tensão (3, pontos F e G) de cada lado do elevador, igualmente. Isso movimentará os cilindros, tensionando a corrente. 	A cada 53 horas	
		<ul style="list-style-type: none"> • Lavar diariamente as correntes da esteira (A) para a retirada de impurezas da cana, que agravam o seu desgaste, e, conseqüentemente, maiores folgas entre a corrente e a tira de desgaste. 	De 1x à 2x ao dia*	
	II - Parafusos do pistão da mesa de giro	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar se há folga excessiva nos parafusos (6) da mesa giratória (4); • Em caso positivo, substituí-lo por um novo, aplicando o torque de 380 N.m para sua correta fixação. (Realizar a lubrificação do pino é fundamental para evitar a quebra do parafuso, mostrado a seguir). 	A cada 59 horas	
III - Pinos do pistão da mesa de giro	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar a lubrificação com graxa nas conexões dos pinos da mesa giratória (5); • Repetir a operação do outro lado da máquina; • Girar a mesa de giro (4) de um lado para o outro para verificar se os pinos estão sendo lubrificados. 	A cada 59 horas		

Fonte: Do autor (2019)

*Segundo especificações do fabricante

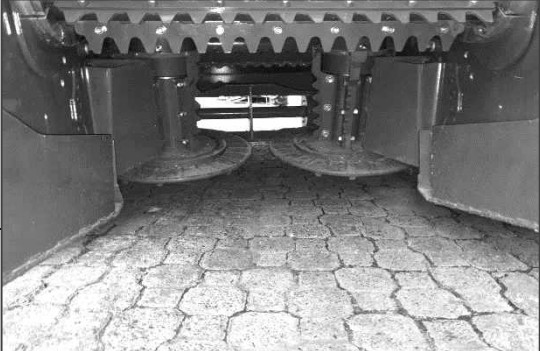
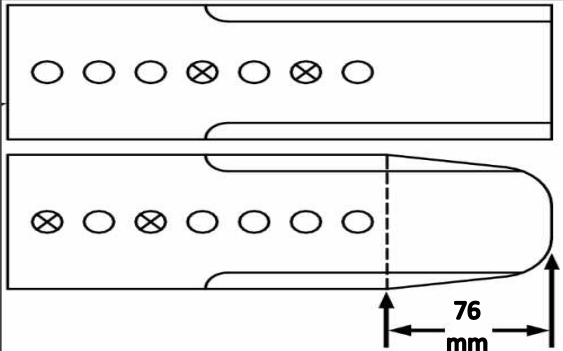

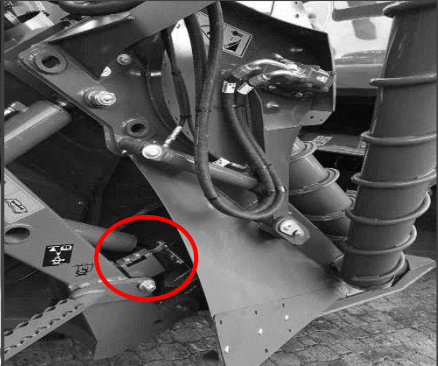

Tabela 9 – Plano de Manutenção Preventiva: Material Rodante

Equipamento: Colhedora de cana-de-açúcar				
Compartmento	Componente	Ações	Periodicidade	Fotos
II - Material Rodante	I - Motor de roda	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar o nível de óleo da redução final (8) e sua viscosidade; • Em caso de excesso, liberado pelo bужão de dreno (8 circulado), e viscosidade fina, é necessário trocar a vedação (9) do motor de roda (7), pois indica vazamentos que contaminam o óleo da redução final (85W140) com o óleo do motor de roda mais fino (Hidráulico 68). 	A cada 50 horas *	 <p>(7) (8) (9)</p>
	II - Tubo de alimentação do motor de roda	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar fixação da abraçadeira (11) de borracha no tubo de alimentação (10); • Em caso de má fixação, deve-se reapertar as abraçadeiras para que se evite a vibração do tubo. 	A cada 100 horas*	 <p>(10) (11)</p>

Fonte: Do autor (2019)

*Segundo especificações do fabricante

Tabela 10 – Plano de Manutenção Preventiva: Corte de Base

Equipamento: Colhedora de cana-de-açúcar				Fotos	
Compartmento	Componente	Ações	Periodicidade		
III - Corte de base	I – Lâminas	<ul style="list-style-type: none"> • Virar lâminas no disco do corte de base (12), mediante ao desgaste além de 76 mm (13) da extremidades; • Após o desgaste dos dois lados da lâmina, trocá-las, seguindo este intervalo de verificação. 	A cada 38 horas		
		<ul style="list-style-type: none"> • Calibrar a pressão do corte de base no CICB (Controle Integrado da Altura do Corte de Base). Isso faz com que sua altura (16) seja ajustada de acordo com o desnível do terreno, copiado de forma automática pela controladora. 	A cada mudança no local de colheita/ troca do sensor (14) de altura do corte de base*		
		<ul style="list-style-type: none"> • Instruir operadores a manter a colhedora sobre o centro da linha que está sendo cortada, ajustando a altura de forma a aparar as pontas da linha e que poucas impurezas entre na colhedora; • Instruir operadores que cortar em altura muito grande faz com que a cana se parta e perca tonelagem. Cortar em altura muito baixa faz com que o atrito com a terra e talos agravem o desgaste das lâminas; • Instruir operadores a utilização de bordas retas, ao invés das arredondadas para aumentar a qualidade do corte. 	Início, meio, e fim da safra.	  	(14)

Fonte: Do autor (2019)

*Segundo especificações do fabricante

5. Conclusão

A falta de planejamento e troca de informações faz com que haja tempo desperdiçado em Manutenções Preventivas desnecessárias, e gera uma alta quantidade de Manutenções Corretivas não planejadas, pois não se aplica um monitoramento contínuo, como ocorreria ao adotar a Engenharia de Manutenção. Com o desenvolvimento deste estudo de caso, teve-se o intuito de gerar uma proposta preliminar de um plano de manutenção baseado em diretrizes a serem seguidas para os compartimentos mais falhos de forma periódica, para que fosse possível proporcionar à Frota A uma disponibilidade de operação acima dos 85%, exigida pela Usina.

Assim, determinou-se através da Análise de Pareto que 20% dos compartimentos em falha da colhedora, elevador, material rodante, e corte de base, geraram uma indisponibilidade de aproximadamente 80% do tempo em operação, sendo esta análise pouco enxergada pelas instâncias estratégicas da Usina para que um Plano de Ação fosse elaborado de forma eficaz.

A partir disso, determinou-se quais foram os 20% de componentes responsáveis pelas manutenções destes compartimentos em aproximadamente 80% do tempo de parada, sendo detectados esteiras, parafusos e pistões da mesa de giro do elevador, motor e tubo da roda motriz do material rodante, e lâminas do corte de base, com indisponibilidade de 67%, 76% e 67% do tempo, respectivamente.

Isso possibilitou determinar a causa raiz das falhas dos componentes gargalos, com a utilização da ferramenta dos Cinco Porquês, entendendo-se a verdadeira causa das falhas. Viabilizou-se, então, a criação de um Plano de Manutenção Preventiva da máquina voltado para o tratamento/acompanhamento das causas de falha do elevador, material rodante e corte de base de forma periódica e antecipada.

Para determinar a periodicidade, utilizou-se o limite inferior da média entre falhas com nível de confiança estatística de 95% para os componentes os quais possuíam uma base de dados suficientes para a análise: esteira e pino do pistão da mesa de giro do elevador, e lâmina do corte de base, com limites inferiores de 53h, 59h e 38h, respectivamente. Para os demais, foi utilizada especificações de periodicidade dos fabricantes.

Com isso, para aumentar a disponibilidade da máquina em estudo, propõe-se um plano de manutenção preventiva não para todos os compartimentos, mas sim, para aqueles que são gargalos de indisponibilidade do equipamento utilizando da metodologia 80/20, do diagrama de Pareto.

6. Trabalhos Futuros e Sugestões de Melhoria

Torna-se, assim, uma sugestão de melhoria para trabalhos posteriores elaborar um plano de manutenção preventiva para todos os compartimentos restantes na ordem de priorização fornecida pela Análise de Pareto: suspensão, picador e longarina, extrator primário, etc., embasando-se no mesmo raciocínio: determinação dos compartimentos e componentes mais falhos com a soma dos tempos de parada, causas raízes das falhas, do tempo médio entre falhas com aplicação de intervalo de confiança.

Outra sugestão seria melhorar a sistematização dos dados, que poderiam ser feitos no próprio *template* de Ordem de Serviço da Usina ao abri-la, deixando espaços de livre preenchimento pelo usuário para inserir palavras-chave de compartimento e componente correspondente àquela intervenção, e para o horímetro da máquina no seu momento de parada.

Em caso de paradas que envolvessem mais de um compartimento, seria necessário coletar os tempos de duração da manutenção pelos técnicos da revendedora através de seus relatórios de campo, para que não existam manutenções em mais de um compartimento registradas com apenas com uma soma do tempo de parada da máquina como consta na OS da Usina, refletindo nas classificações dos dados como “Diversos” e “Preventivas” cujo histórico foi desconsiderado por falta de desmembramento do tempo de parada por compartimento.

Tais dados poderiam ser direcionados e armazenados no Sistema de Informação de Manutenção da empresa, aumentando os tamanhos amostrais para as médias do tempo entre falhas dos componentes, especialmente aqueles que falham com menos frequência (menor amostragem). Isso possibilita cálculos mais precisos de periodicidade preventiva, não dependendo somente de dados do fabricante para determinados componentes em que não se obtém uma precisão satisfatória devido ao tamanho reduzido de dados. Melhorar nestes aspectos contribuiria ainda mais para a disponibilidade acima dos 85%.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M.C. **Análise de Causa Raiz: levantamento dos métodos e exemplificação**. Dissertação de Mestrado. PUC, Rio de Janeiro, 2014.

BUSSAB, W O.; MORETTIN, P.A. **Estatística Básica**. 9ª ed. Editora Saraiva, 2017.

CERVEIRA, D. S.; SELBITTO, M. A. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise quantitativa de um forno elétrico a indução**. Revista Produção Online, v. 15, n. 2, p. 405-432, 2015.

FABRIS, C.B. **Aplicação das ferramentas da qualidade em um processo produtivo em uma indústria de ração**. Trabalho de Conclusão de Curso. UTFPR. Medianeira, 2014.

FIGUEIREDO, M. T.; RODRIGUES A.L. **Proposta de implantação da manutenção preventiva no setor de solda em uma empresa metalomecânica.** Trabalho de Conclusão de Curso. UEM, Paraná, 2017.

FREITAS, L.F. **Elaboração de um plano de manutenção em uma pequena empresa do setor metal mecânico de juiz de fora com base nos conceitos da manutenção preventiva e preditiva.** Trabalho de Conclusão de Curso. UFJF, Juiz de Fora, 2016.

GOULART, N.H.B.; LIMA, S.C.; SOUZA, D.S.V.F.; RAPOSO, J.F.P. **Proposta de implantação de um sistema de manutenção preventiva em uma empresa de pequeno porte do ramo de fabricação de fraldas.** ENEGEP – ABEPRO. Maceió, 2016.

GROSSI J.S.; CARVALHO P.H.S.; SANTOS, R.M.P. **Aplicação de ações gerenciais de gestão ambiental no curso superior em tecnologia de manutenção industrial.** Trabalho de Conclusão de Curso. IFF, Campos dos Goytacazes, 2017.

KARDEC, Alan & NASCIF, Júlio. **Manutenção função estratégica.** Rio de Janeiro, Qualitymark, 2015.

MORAES, S.C.B.; GARCEZ, T.V. **Análise do impacto nos indicadores de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade após a implantação do programa tpm.** ENEGEP - ABEPRO, Joinville, 2017.

NOVACANA. **Colhendo informações: mecanização dos canais pode ser mais eficaz.** 2016. Disponível em <<https://www.novacana.com/n/industria/maq-equip/colhendo-informacoes-mecanizacao-canais-eficaz-140416>> Acesso em: 02 fev 2019.

REDE INDUSTRIAL. **Manual prático de PCM – Planejamento e Controle da Manutenção.** Sigma, v.2, p.10-65, 2017.

SANTOS, A.C. J; CAVALCANTE, C. A. **Discussão sobre metodologias de análise da gestão da manutenção: da estratégia à operação.** ENEGEP – ABEPRO. Salvador, 2018.

SILVA, A.S.C.; SOUZA, A.G.; SOUSA, C.R.C. **Aplicação da válvula gaveta MGV em poços de petróleo.** Trabalho de Conclusão de Curso. IFF, Campos dos Goytacazes, 2018.

SOUZA, A.N.; ANDRADE J. J. O. **Análise de falhas para subsidiar a proposição de procedimentos de manutenção: um estudo de caso em uma empresa do ramo de mineração.** ENEGEP - ABEPRO, Salvador, 2018.

VOLTARELLI, M.A.; SILVA, R.P.; TAVARES, T.O.; PAIXÃO, C.S.S. **Colheita mecanizada de cana-de-açúcar.** UNESP. Jaboticabal, 2015.