



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO
DAS MÁQUINAS ROTATIVAS DA CORTEVA
AGRISCIENCE - UNIDADE FORMOSA, GO**

Por

Marcos Vinicius Sousa Varão

Brasília, 25 de maio de 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

PROJETODEGRADUAÇÃO

**ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO
DAS MÁQUINAS ROTATIVAS DA CORTEVA
AGRISCIENCE - UNIDADE FORMOSA, GO**

Por
Marcos Vinicius Sousa Varão

Relatório submetido como requisito parcial para a
obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz, UnB/ENM (Orientador)

Prof. Dianne Magalhães Viana, UnB/ENM

Prof. Jorge Luiz de Almeida, UnB/ENM

Brasília, 25 de maio de 2021

Agradecimentos

À Corteva Agriscience por me conceder o estágio na área de manutenção e pela oportunidade de complementar minha formação me colocando em contato com um ambiente de produção em grande escala, com os programas de manutenção e com um problema prático e atual.

Ao meu supervisor Rosivon Oliveira, por me propor e confiar a mim a avaliação de um problema da empresa e pelos alinhamentos a respeito do projeto. Além disso, quero agradecer também ao professor Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz, meu orientador, pelo excelente acompanhamento ao longo desse projeto.

Marcos Vinicius Sousa Varão

Resumo

Uma preocupação constante nas instalações industriais são as paradas para a manutenção, pois quando não são previstas, ocorrem vários problemas que impactam na disponibilidade das máquinas e, conseqüentemente, na produção. A manutenção preventiva surge evitar esses problemas a partir do planejamento e da programação da manutenção. A manutenção preditiva baseada na análise de vibrações é bastante usada na indústria, mas apesar dos muitos equipamentos e sistemas disponíveis atualmente para monitoramento e análise, a elaboração de um programa de monitoramento para fins de manutenção preditiva, continua exigindo um importante trabalho de engenharia. Nesse sentido, esse trabalho visa avaliar os procedimentos de manutenção da Corteva Agriscience - Unidade Formosa, com o intuito de identificar gargalos relacionados aos processos de manutenção e de avaliar melhorias a serem incluídas no plano de manutenção vigente. A metodologia utilizada neste trabalho consistiu em pesquisas bibliográficas e no levantamento de informações a respeito do histórico de falhas e dos relatórios de análise de vibrações. Para isso, utilizou-se as informações contidas do sistema de gerenciamento de manutenção e nos relatórios de análise de vibração enviados pela empresa prestadora de serviços especializada. Com isso, construiu-se gráficos que mostram os tipos de alarmes identificados em cada uma das análises de vibrações e todos os reparos que tinham relação direta com os rolamentos realizados ao longo dos anos de 2014 até 2019. Além disso, construiu-se gráficos de pareto para identificar as principais falhas em cada um dos setores. Concluiu-se que a filosofia de manutenção preditiva adotada atualmente, não garante a disponibilidade dos equipamentos de setores muito críticos como os secadores 100 e 200.

Palavras-chaves: Manutenção Preditiva; Análise de Vibrações; Manutenção Preventiva.

Abstract

A constant concern in industrial installations is maintenance stops, because when they are not foreseen, several problems occur that impact the availability of machines and, consequently, production. Preventive maintenance arises to avoid these problems from the planning and scheduling of maintenance. Predictive maintenance based on vibration analysis is widely used in the industry, but despite the many equipment and systems currently available for monitoring and analysis, the development of a monitoring program for the purpose of predictive maintenance continues to require important engineering work. In this sense, this work aims to evaluate the maintenance procedures of Corteva Agriscience - Unidade Formosa, to identify bottlenecks related to the maintenance processes and to evaluate improvements to be included in the current maintenance plan. The methodology used in this work consisted of bibliographical research and information gathering about the failure history and vibration analysis reports. For this, it was used the information contained in the maintenance management system and in the vibration analysis reports sent by the specialized service provider. As a result, graphs were constructed showing the types of alarms identified in each of the vibration analyzes and all repairs that were directly related to the bearings carried out from 2014 to 2019. In addition, graphs of pareto to identify the main flaws in each of the sectors. It was concluded that the predictive maintenance philosophy adopted today, does not guarantee the availability of equipment from very critical sectors such as dryers 100 and 200.

Keywords: Predictive Maintenance; Vibration Analysis; Preventive Maintenance

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Considerações Iniciais.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo Geral.....	3
1.2.2	Objetivos Específicos.....	3
1.3	Definição da Metodologia.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho.....	4
2	Revisão Bibliográfica.....	5
2.1	Tipos de Manutenção.....	5
2.1.1	Manutenção Corretiva.....	6
2.1.2	Manutenção Preventiva.....	6
2.1.3	Manutenção Detectiva.....	7
2.1.4	Manutenção Produtiva Total (TPM).....	7
2.1.5	Manutenção de Quebra.....	8
2.1.6	Manutenção Baseada no Tempo.....	9
2.1.7	Manutenção Preditiva.....	9
2.2	Matriz de Criticidade dos Equipamentos.....	10
2.3	Tipo e Características dos Rolamentos.....	11
2.4	Análise de Vibrações.....	14
2.4.1	Análise por Nível Global de Vibrações.....	15
2.4.2	Desbalanceamento e Desalinhamento.....	23
3	Definição do Problema.....	25
3.1	Fluxo do Processo Produtivo.....	25
3.2	Equipamentos Estudados.....	26
3.2.1	Secagem.....	26
3.2.2	Debulha.....	30
3.2.3	Classificação.....	33
3.2.4	Aquecedor.....	34
3.2.5	Soprador.....	36
3.3	Plano de Manutenção Preventiva.....	37

4	Resultados e Análises	39
4.1	Linha 100 da Secagem.....	39
4.1.1	Ventilador Combustão Fornalha 101: EX-3044A.....	39
4.1.2	Ventilador Combustão Fornalha 102: EX-3066A.....	42
4.1.3	Ventilador Combustão Fornalha 103: EX-3114A.....	44
4.1.4	Ventilador Recirculação Fornalha 103: EX-3114	46
4.1.5	Ventilador Recirculação Fornalha 104: EX-3092	48
4.2	Linha 200 da Secagem.....	50
4.2.1	Ventilador Recirculação Fornalha 201: FA-3164	50
5	Propostas.....	52
5.1	Proposta 1: Equipe Interna Especializada em Manutenção Preditiva	58
5.2	Proposta 2: Contrato de Manutenção Preditiva com uma Empresa Especializada.....	61
6	Conclusões	63
	Referências	65
	Anexos	67
	Anexo A - Ordens de Serviço	68

Lista de Figuras

Figura 2-1 - Componentes de um rolamento.....	12
Figura 2-2 - Os rolamentos são classificados em função dos seus elementos rolantes: (A) esferas, (B) Cilindros. (C) Agulhas, (D) Troncos de Cone.....	12
Figura 2-3 - Falha localizada na pista interna de um mancal de esferas.	14
Figura 2-4 - Diagrama de blocos de um medidor de vibrações portátil, para uso industrial típico.....	18
Figura 2-5 - Coletor de sinais de vibração.....	18
Figura 2-6 - Croqui dos pontos de medição.	19
Figura 2-7 - As diferentes faixas de frequência de diferentes técnicas de montagem.	20
Figura 2-8 - Processo de detecção de envelope.(a) Sinal no domínio do tempo não filtrado, (b) sinal de passagem da banda, (c) envelope do sinal de passagem da banda, (d) espectro do envelope.....	22
Figura 3-1 - Fluxo do processo.....	26
Figura 3-2 - Fornalha.....	27
Figura 3-3 - Ventilador combustão.	27
Figura 3-4 - Ventilador recirculação.	27
Figura 3-5 - Ventilador principal.	28
Figura 3-6 - Ventilador principal da linha 300.....	28
Figura 3-7 - Setor da Debulha	31
Figura 3-8 - Ventilador FCR-4030.	31
Figura 3-9 - Ventilador FCR-4035.	32
Figura 3-10 - Ventilador FCR-4000.	32
Figura 3-11 - Setor da Classificação.	33
Figura 3-12 - Ventilador FCR-7096.	34
Figura 3-13 - Ventilador boiler BL-9040 e BL-9035.....	35
Figura 3-14 - Exaustor boiler BE-9075.....	35
Figura 3-15 - Bomba de água fria PU-9018 e PU-9020.	36
Figura 3-16 - Conjunto bomba aquecedor.....	36
Figura 3-17 - Soprador EX-4020.	37
Figura 4-1 - Ventilador combustão fornalha 101 - EX-3044A	41
Figura 4-2 - Ventilador Combustão Fornalha 102 - EX-3066A.....	43
Figura 4-3 - Ventilador combustão fornalha 103 - EX-3114A.....	45
Figura 4-4 - Ventilador Recirculação Fornalha 103 - EX-3114.....	47

Figura 4-5 - Ventilador Recirculação Fornalha 104 - EX-3092.....	49
Figura 4-6 - Ventilador Recirculação Fornalha 201 - FA-3164.....	51
Figura 5-1 - Pareto de Falhas do Secador 100.	53
Figura 5-2 - Pareto de Falhas do Secador 200.	54
Figura 5-3 - Pareto de Falhas do Secador 300.	56
Figura 5-4 - Pareto de Falhas do Aquecedor.	57
Figura 5-5 - Vibracon Smart CMVC 5000-K.	59
Figura 0-1 - PM Mensal Ventilador EX-3044A.....	68
Figura 0-2 - PM Semestral Ventilador EX-3044A.....	69
Figura 0-3 - PM Anual do Ventilador EX-3044	70
Figura 0-4 - PM Anual de Análise de Vibrações Ventilador EX- 3044	71
Figura 0-5 - PM Anual Vibrações Ventilador EX-3044	72

Lista de Tabelas

Tabela 1 - A parada repentina do equipamento provoca.	11
Tabela 2 - Critério para julgamento de estado de máquinas.	17
Tabela 3 - Secador linha 100.	29
Tabela 4 - Secador linha 200.	29
Tabela 5 - Secador linha 300.	30
Tabela 6 - Ventiladores da Debulha.	31
Tabela 7 - Ventiladores da Classificação.	33
Tabela 8 - Equipamentos do aquecedor.	34
Tabela 9 - Soprador.	37
Tabela 10 - Frequências de falhas dos ventiladores de recirculação e combustão das fornalhas 100 e 200.	60
Tabela 11 - Critérios de avaliação de rolamentos conforme a SKF, utilizando a técnica de envelope.	60

Lista de Abreviaturas e Siglas

<i>CSAT</i>	Centro de Tecnologia para Tratamento de Sementes
<i>NBR</i>	Norma Técnica Brasileira
<i>ISO</i>	Organização Internacional de Normalização (<i>International Organization for Standardization</i>)
<i>VDI</i>	Associação dos Engenheiros Alemães (<i>Verein Deutscher Ingenieure</i>)
<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas

Lista de Símbolos

Símbolos Latinos

T	Tempo Futuro [h]
V_{ef}	Velocidade Eficaz de Vibração [m/s]
t	tempo [s]
$x_H(t)$	Tranformada de Hilbert [mm]
$x(t)$	Deslocamento [mm]
$z(t)$	Sinal Analítico [mm]
$A(t)$	Envelope do Sinal [mm]
f_{BFO}	Frequência de Falha na Pista Externa [Hz]
f_{BFI}	Frequência de Falha na Pista Interna [Hz]
f_{BFR}	Frequência de Falha dos Elementos Rolantes [Hz]
f_r	Frequência de Giro do Rolamento [Hz]
D	Diâmetro Primitivo do Rolamento [mm]
d	Diâmetro do Elemento Rolante [mm]

Símbolos Gregos

θ	Fase Instantânea [rad]
----------	----------------------------

1 Introdução

1.1 Considerações Iniciais

As fábricas estão se tornando cada vez mais automatizadas e complexas. Os volumes de produção e as exigências por maior qualidade são hoje bem maiores que há algumas décadas. Por isso, até mesmo as pequenas interrupções da produção podem causar grandes prejuízos. Estes desafios industriais colocaram a manutenção em evidência. A manutenção é indispensável à produção e pode ser considerado como a base de toda a atividade industrial (XENOS, 1998).

Nas instalações industriais, as paradas para a manutenção constituem uma preocupação constante para a programação da produção. Se as paradas não forem previstas, ocorrem vários problemas, tais como: indisponibilidade da máquina, atrasos no cronograma de fabricação, elevação de custos etc. Para evitar esses problemas, as empresas introduzem o planejamento e a programação da manutenção. A manutenção preventiva é o estágio inicial da manutenção planejada, e obedece a um padrão previamente esquematizado. Ela estabelece paradas periódicas com a finalidade de permitir os reparos programados. Além disso, com a manutenção preditiva, é possível prever as condições de funcionamento dos equipamentos permitindo sua operação contínua pelo maior tempo possível. Todo o controle se dá pela monitoração destas condições, como por exemplo, pela monitoração do nível de ruído de um determinado mancal de rolamento (MORO; AURAS, 2007).

As atividades de manutenção têm objetivo de evitar a degradação dos equipamentos e instalações, que o mal uso e o desgaste natural causam. As degradações podem se manifestar como perdas de desempenho, paradas da produção, fabricação de produtos de má qualidade, poluição ambiental, entre outros. Essas manifestações têm uma grande influência negativa na qualidade e produtividade e acabam colocando em risco a sobrevivência da empresa. Isso mostra que o gerenciamento da manutenção é importante para a melhoria da produtividade, gerando ganhos potenciais (XENOS, 1998).

A compra de um equipamento é sempre um investimento que pretende gerar lucros a longo prazo. Após a compra e funcionamento adequado por um determinado período, pode ser que surjam sintomas de falhas que podem evoluir com o tempo e provocar a parada do equipamento. Para garantir a vida útil e bom funcionamento dos equipamentos, a montagem e a manutenção adequada dos rolamentos precisa ser priorizada. Nesse sentido, é necessário ter um plano de manutenção preventiva muito bem definido e caso necessário, que faça parte desse plano a manutenção preditiva, que é essencial para acompanhar a evolução de defeitos em rolamentos e identificar

anomalias comuns em máquinas rotativas como desbalanceamento e desalinhamento.

Nesse cenário, este trabalho apresenta um estudo sobre manutenção, e propõe a análise dos procedimentos de manutenção das máquinas rotativas da Corteva Agriscience - Unidade Formosa, GO, que comporta uma série de máquinas rotativas de grande relevância para garantia da produção.

A Corteva Agriscience foi fundada a partir das heranças da Dow, DuPont e Pioneer. Em 2011, a Dow e a DuPont anunciaram um acordo definitivo em que as empresas se fundem e subsequentemente, se separam em três companhias independentes. Em 01 de junho de 2019 a Corteva Agriscience se separou da holding DowDuPont, tornando-se uma companhia independente (CORTEVA AGRISCIENCE, 2020).

A Corteva Agriscience pertence ao setor agrícola, está presente em mais de cento e quarenta países e atua desenvolvendo tecnologias digitais agrícola, no beneficiamento de sementes e na proteção de cultivos. A unidade da empresa localizada em Formosa-GO, atua exclusivamente no beneficiamento de sementes de milho.

O Centro de Tecnologia para Tratamento de Sementes (CSAT) Formosa-GO é o primeiro na América Latina e o segundo no mundo. O local possui os mais avançados equipamentos para realizar diversos testes que irão assegurar a qualidade do tratamento aplicado à semente, proporcionando mais garantia e segurança ao produtor rural brasileiro. O serviço prestado pelo CSAT está voltado às marcas próprias de sementes – Brevant™ Sementes e Pioneer® -, bem como para multiplicadores e demais parceiros.

Dentre as máquinas que compõem o processo produtivo da empresa, somente nos ventiladores, soprador e algumas bombas realizadas as medições de vibrações. A análise de vibrações dessas máquinas é realizada por uma empresa terceirizada e acontece nas entressafras, isto é, duas vezes no ano.

A empresa responsável pela manutenção preditiva na planta da Corteva Agriscience em Formosa é uma terceirizada especializada em técnicas de manutenção preditiva e já atua no ramo há mais de 15 anos atendendo grandes empresas como Corteva Agriscience, TEUTO, Ypê, Algar Agro, dentre outras. Tem como principais técnicas de manutenção: análise de vibrações, inspeção termográfica, inspeção por ultrassom para detecção de efeito corona e descargas parciais, detecção de vazamentos através do ruído ultrassônico (fluidos e gases), alinhamento de eixos a laser, balanceamento de campo, ensaios não destrutivos (partículas magnéticas e líquidos penetrantes) e inspeção por ultrassom.

Paradas não programadas de máquinas, principalmente no período de safra, geram perdas de produtividade, qualidade e, conseqüentemente, de receita para a

empresa. Um bom planejamento e um bom controle dos serviços realizadas nas máquinas então entre os fatores que podem ir contra a diminuição desses índices.

Mesmo com um plano de manutenção preventiva muito bem definido que comporta análise de vibrações, frequentemente, ocorrem paradas indesejadas em alguns equipamentos, devido a fenômenos, como a vibração mecânica, que não podem ser evitados simplesmente levando em consideração as atividades realizadas nas manutenções preventivas. Deste modo, esse trabalho pode servir para identificar se realmente as análises de vibrações que são feitas causam impactos nas rotinas de manutenção e os motivos das principais falhas nas máquinas rotativas da empresa.

Assim, o trabalho se justifica por possibilitar um plano de manutenção preditiva que acompanha com mais frequências os equipamentos mais críticos, causando uma menor incidência de paradas não programadas nos períodos de safra.

1.2 Objetivos

Levando em consideração o problema exposto, os objetivos gerais e específicos são explanados a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar os procedimentos de manutenção das máquinas rotativas da Corteva Agriscience, Unidade Formosa-GO.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos são listados os seguintes itens:

- Identificar os processos que constituem o programa de manutenção da empresa;
- Analisar possíveis gargalos relacionados aos processos de manutenção;
- Avaliar melhorias a serem incluídas no plano de manutenção vigente.

1.3 Definição da Metodologia

Os tipos de pesquisas utilizados foram a bibliográfica, documental e de campo. Foi feito um levantamento de informações a respeito de falhas e dos tipos de alarmes

de vibração. Para isso, utilizou-se o histórico de reparos nos equipamentos, os relatórios de análise de vibrações do período de 2014 até 2019 e informações obtidas a partir de profissionais do setor de manutenção. Com isso, construiu-se gráficos que ilustram os tipos de alarmes de vibrações e todas as intervenções realizadas em função da data de realização da atividade. Além disso, construiu-se gráficos de Pareto para identificar as principais falhas ocorridas em cada um dos setores que fazem parte desse estudo.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto por quatro capítulos, além dessa introdução, no capítulo dois apresenta-se a revisão bibliográfica, abordando os principais tipos de manutenção, o conceito de matriz de criticidade, as características gerais de rolamentos e os conceitos de análise de vibrações importantes para este relatório.

No capítulo três é feita a definição do problema, uma breve descrição do fluxo do processo produtivo da Corteva Agriscience.

No capítulo quatro é apresentado os resultados do projeto e a análise do plano dos procedimentos de manutenção. No capítulo cinco são apresentadas duas propostas. No capítulo seis, são apresentadas as conclusões e os comentários gerais sobre o projeto.

No anexo, pode-se encontrar o modelo de ordem de serviço utilizado na Corteva Agriscience.

2 Revisão Bibliográfica

A norma técnica NBR 5462 (1994) define 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.

A manutenção existe para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causadas pelo desgaste natural e pelo uso. As degradações, em empresas nas quais os equipamentos desempenham um papel crucial na produção, têm uma influência negativa na produtividade e na qualidade, podem se manifestar de diferentes maneiras, desde uma simples aparência ruim da máquina até perdas no desempenho e uma conseqüente parada da produção ou fabricação de produtos com má qualidade.

Segundo Monchy (1987) a manutenção dos equipamentos de produção é um elemento chave tanto para a produtividade das empresas quanto para a qualidade dos produtos.

As atividades de manutenção resultam de ações tomadas no dia-a-dia para prevenir ou corrigir eventuais anomalias ou falhas detectadas nos equipamentos pelos operadores da produção ou pelas equipes de manutenção. Estas ações podem ser uma simples lubrificação, o reparo de uma falha, a substituição periódica de uma peça, uma grande reforma do equipamento ou até mesmo cuidar da sua operação correta. Essas atividades podem ser executadas sistematicamente pelos departamentos de produção e de manutenção através do cumprimento dos padrões de operação e manutenção dos equipamentos, incluindo os padrões de limpeza, lubrificação, inspeção, reforma, troca de peças, teste funcional, dentre outros (XENOS, 1998).

2.1 Tipos de Manutenção

Classicamente os tipos de manutenção são divididos em corretiva, preventiva e preditiva. Além dessas, atualmente existem outras técnicas mais modernas, como: a manutenção detectiva, a manutenção produtiva total (TPM), a manutenção de quebra e a manutenção baseado no tempo. As seções seguintes darão mais detalhes sobre os tipos de manutenção.

2.1.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é sempre feita depois que a falha ocorreu (XENOS, 1998). É uma atitude de defesa enquanto se espera que uma próxima falha acidental aconteça.

A opção por este tipo de manutenção deve levar em consideração fatores econômicos: é mais barato consertar uma determinada falha ou tomar ações preventivas? Levando em consideração as perdas por paradas na produção, se a resposta à pergunta for sim, então a manutenção corretiva é uma boa escolha.

Os custos com a manutenção corretiva são bem menores do que prevenir falhas nos equipamentos. No entanto, pode causar grandes perdas por interrupção de produção. Mesmo escolhendo este tipo de manutenção por ser mais vantajosa, não podemos considerar a ocorrência de falhas um evento natural. É necessário um esforço para que as causas fundamentais das falhas sejam identificadas e bloqueadas, evitando sua reincidência.

Para Xenos (1998), alguns fatores importantes devem ser considerados antes de se optar pela manutenção corretiva, são eles:

- Existem ações preventivas que podem ser tomadas para evitar a ocorrência da falha no equipamento? Estas ações são tecnicamente viáveis e econômicas? Se não houver ações preventivas viáveis e econômicas, a manutenção corretiva pode ser um método de manutenção adequado.
- Em muitos casos, como não se pode prever o momento exato da ocorrência das falhas, existe a possibilidade de haver interrupções da produção de forma inesperada. Se essa interrupção for excessivamente longa, poderá haver prejuízos significativos para a empresa.
- Mesmo optando pela manutenção corretiva para algumas partes menos críticas do equipamento, é preciso ter os recursos necessários - peças de reposição, mão-de-obra e ferramental - para agir rapidamente, visando à redução de possíveis impactos da falha na produção.

2.1.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é uma intervenção de manutenção prevista, preparada e programada antes da data possível do aparecimento de uma falha (MONCHY, 1987). É feita periodicamente, e uma vez estabelecida, a manutenção preventiva deve ter caráter obrigatório.

Do ponto de vista do custo de manutenção, se comparada com a manutenção corretiva, a manutenção preventiva é mais cara, pois envolve a troca de peças e a reforma de componentes mecânicos antes de atingirem seus limites de vida. Todavia, a frequência de ocorrência de falhas diminui, a disponibilidade das máquinas aumenta e a menor probabilidade de paradas do processo produção da empresa. Isto é, levando-se em consideração os custos totais em várias situações, a manutenção preventiva acaba se tornando mais barata do que a manutenção corretiva.

Como evidenciado por Xenos (1998), muitas empresas acreditam ter um esquema eficiente de manutenção preventiva. Mas, o que temos visto no chão-de-fábrica de muitas delas é que, quase sempre, o tempo reservado para a realização da manutenção preventiva acaba sendo usado para trabalhar naquelas falhas que surgiram no dia-a-dia da produção. Em geral, os itens de manutenção preventiva ficam de lado e não são cumpridos.

2.1.3 Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não-perceptíveis ao pessoal de operação e de manutenção. A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas muito complexos, essas ações só devem ser levadas a efeito pelo pessoal da área de manutenção, com treinamento e habilitação para tal, assessorado pelo pessoal de operação. Um exemplo clássico é o circuito que comanda a entrada de um gerador em um hospital. Se houver falta de energia e o circuito tiver uma falha, o gerador não entra. Por isso, esse circuito é testado/acionado de tempos em tempos para verificar sua funcionalidade (FERREIRA, 2009).

Portanto, a manutenção detectiva é muito importante quando o nível de automação na indústria aumenta ou o processo não suporta falhas.

2.1.4 Manutenção Produtiva Total (TPM)

A TPM Manutenção Produtiva Total, que tem origem do inglês *Total Productive Maintenance*, surgiu com o objetivo de eliminar as perdas envolvidas no processo de produção e, conseqüentemente, evitar falhas e quebras de equipamentos no decorrer do processo.

Ou seja, a TPM exige compromisso voltado para o resultado. Exige uma forte dependência de envolvimento dos mais diferentes níveis da organização e antes de uma política de manutenção, é uma filosofia de trabalho.

Para MORAES (2004), a TPM possui três características importantes:

- Reconhecimento da manutenção como atividade geradora de lucros para organização;
- Integração e otimização das políticas de manutenção existentes e utilizadas na organização, melhorando a eficiência global dos equipamentos;
- Promoção e incentivo à cultura do envolvimento dos operadores com a manutenção (manutenção espontânea), adquirindo novas capacidades e se dedicando aos projetos de aperfeiçoamento de diagnóstico e do equipamento.

Além disso, para MEREIO (2017) a TPM possui oito pilares:

1. Manutenção Autônoma - estruturação do sistema para conduzir a manutenção autônoma pelos operadores;
2. Manutenção Planejada - estruturação de um órgão de manutenção;
3. Manutenção Específica - incorporação de melhorias específicas nas máquinas;
4. Educação e Treinamento - capacitação técnica e busca de melhorias tanto para a área de produção quanto de manutenção;
5. Manutenção da Qualidade - gerenciamento contínuo dos equipamentos para garantir a qualidade do produto e reduzir custos com retrabalho;
6. Controle Inicial do Equipamento - prevenção da manutenção;
7. Áreas Administrativas - tem como objetivo a redução de perdas no processo administrativo
8. Segurança, Saúde e Meio Ambiente - análise dos impactos do processo de produção na saúde e segurança das pessoas e no meio ambiente

2.1.5 Manutenção de Quebra

Diferentemente do tipo de manutenção planejada, a manutenção de quebra, está entre os tipos de manutenção onde não há planejamento de atividades. Ou seja, o objetivo é deixar o equipamento operar até que ele quebre para então consertá-lo. Esse tipo de manutenção pode ser aplicado para equipamentos onde a quebra não afeta a produção e não geram perdas financeiras.

2.1.6 Manutenção Baseada no Tempo

A manutenção baseada no tempo consiste na inspeção visual, lubrificação, limpeza do equipamento e na substituição de peças para prevenir as falhas repentinas e os problemas de processo. Esse tipo de manutenção não exige conhecimentos técnicos e pode ser realizada pelos próprios operadores da máquina mediante treinamento básico.

2.1.7 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva consiste em intervenções que estão condicionadas a algum tipo de informação reveladora do estado de degradação do sistema ou equipamento (ADYLES, 2004). Segundo Xenos (1998) é possível otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estarão próximo do seu limite de vida.

Normalmente, as empresas designam uma equipe independente de técnicos e engenheiros altamente especializados - com seus próprios sistemas e métodos de controle - especificamente para cuidar da manutenção preditiva. Vale ressaltar que, a partir do momento em que a manutenção preditiva é colocada em prática, ela deve fazer parte do planejamento de manutenção preventiva, pois a manutenção preditiva é só mais uma maneira de inspecionar os equipamentos.

Para Adyles (2004), a prática da manutenção preditiva envolve três fases:

- A **detecção do defeito** consiste na observação de que os valores medidos dos parâmetros de controle indicam uma evolução mais acelerada que a decorrente da degradação normal do equipamento.
- O **estabelecimento de diagnóstico** é resultado da análise dos valores dos parâmetros de acompanhamento estabelecido, com base em modelos de desgaste e informações anteriores sobre o equipamento, a origem e a gravidade dos possíveis defeitos.
- A **análise de tendências** consiste em se ampliar o diagnóstico e se prever, na medida do possível, quanto tempo se dispõe antes da parada forçada pela quebra propriamente dita. Nessa fase, o equipamento é submetido a uma vigilância estrita e se faz a programação do reparo.

A tecnologia presente permitiu o desenvolvimento de diversas técnicas de manutenção preditiva, como: análise de óleo, sistemas especialistas, métodos de observação e análise de vibrações. Neste trabalho, daremos foco as técnicas de análise de vibrações, já que esta técnica é utilizada no plano de manutenção preditiva da Corteva Agriscience.

2.2 Matriz de Criticidade dos Equipamentos

A análise de criticidade de equipamentos identifica qual equipamento deve ser atendido primeiro nas manutenções, sejam corretivas ou não, a partir da formação de uma hierarquia e está diretamente relacionada a análise de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Com isso é possível definir a importância das máquinas e das falhas e fazer uma classificação da mais importante para a menos importante. Por mais que todas as máquinas sejam necessárias para manter a produção em dia, de acordo com o modelo de negócio, é preciso definir essa lista prioritária.

Considerando que a relação entre o desempenho organizacional e a falha dos equipamentos interfere diretamente na tomada de decisão em relação à aplicação de recursos, ao identificar os itens que precisam ser priorizados, é possível otimizar o uso do tempo e dinheiro, além de aprimorar a confiabilidade do dispositivo.

O recurso utilizado pela Corteva Agriscience para classificar os equipamentos é a classificação ABC, responsável por informar um nível de criticidade por meio de perguntas e respostas sobre os equipamentos. Funciona da seguinte maneira:

- A - Criticidade Máxima;
- B - Criticidade Média;
- C - Criticidade Baixa.

Cada equipamento deve ser classificado de acordo com as letras, seguindo o grau de criticidade de mais para menos.

A criticidade do equipamento é feita com base em fatores e na análise devem ser levados em conta, principalmente na definição da hierarquia os fatores da Tab. 1:

Tabela 1 - A parada repentina do equipamento provoca.

	ALTA (A)	MÉDIA (B)	BAIXA (C)
Segurança e meio Ambiente	Acidentes pessoais, agressões ao meio ambiente e danos materiais.	Exposição à riscos de acidentes ao meio ambiente ou ao patrimônio.	Nenhum risco.
Qualidade e produtividade	Produtos com defeito, redução de velocidade e redução da produção.	Varição da qualidade ou da produtividade.	Não afeta.
Oportunidade	Cessa todo o processo.	Cessa parte do processo	Não afeta.
Taxa de ocupação	24 h por dia.	Dois turnos ou horário administrativo.	Ocasionalmente ou não faz parte do processo produtivo.
Frequência de quebra	Intervalo menos que 6 meses.	Em média uma vez ao ano	Raramente ocorre.
Mantenabilidade	O tempo/custo do reparo são elevados.	O tempo ou o custo do reparo são suportáveis.	O tempo ou custo do reparo são irrelevantes.

E quando o termo segurança aparece na criticidade de equipamentos, vai além da operação, garante também a saúde e a segurança dos envolvidos na operação.

2.3 Tipo e Características dos Rolamentos

Rolamentos são elementos que possuem a função de carregar e suportar cargas, isto é, o seu objetivo é facilitar e apoiar a ação rotativa de um objeto, reduzindo o esforço e a força para locomoção dele. Além disso, eles podem transmitir cargas em direções radiais e axiais ou transmitir essas duas cargas de forma combinada. Eles estão presente em diversos tipos de mercados e sua aplicação é bem ampla, sendo utilizados desde em carros, até em máquinas de barbear e em redutores de velocidade. Em aplicações industriais, mancais de rolamentos são classificados como componentes mecânicos críticos, uma vez que as ocorrências de falhas nesses dispositivos constituem a principal causa de colapso de máquinas rotativas.

Os principais componentes de um rolamento (Fig. 2.1) são: pista externa, gaiola, elementos rolantes e pista interna.

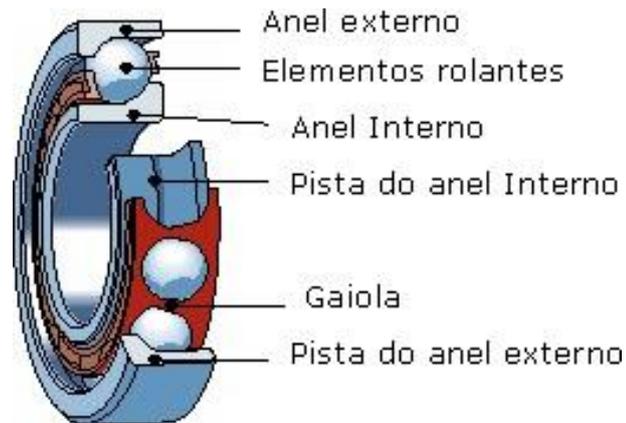


Figura 2-1 - Componentes de um rolamento.

Fonte: Macatreino (2020).

Os elementos rolantes se deslocam ao longo das pistas, com pouca resistência e deslizamento, mantidos separados pela gaiola, a fim de mantê-los adequadamente distanciados para promover uma distribuição de cargas homogênea entre eles.



Figura 2-2 - Os rolamentos são classificados em função dos seus elementos rolantes: (A) esferas, (B) Cilindros. (C) Agulhas, (D) Troncos de Cone.

Os rolamentos de esferas são os mais comuns e mais utilizados nas aplicações do mercado, sendo capazes de suportar cargas axiais e radiais. Sua principal

característica é a velocidade de rotação, que no caso, é maior do que em outros tipos de rolamentos

Os rolamentos de roletes cilíndricos são capazes de suportar altas cargas radiais. Esse tipo tem grande resistência a rápidas acelerações em altas velocidades, graças ao contato de linha entre os roletes e as pistas do rolamento.

O rolamento de agulhas é um sistema de mancal compacto e de alta rigidez. Ele possui mancais de agulha e é usado como um rolamento da guia para discos de came e movimento retilíneo. É usado em uma grande variedade de aplicações, como em mecanismos de came de máquinas automáticas, além de sistemas transportadores, esteiras, máquinas de encadernação, trocadores de ferramentas de centros de usinagem etc.

O rolamento de roletes cônico é capaz de suportar cargas combinadas (axial e radial). Além disso, esta concepção permite um movimento de rolamento dos roletes sem que deslizem para fora das pistas dos aros exteriores e interiores.

Embora os mancais de rolamentos tendam a gastar-se com o tempo, em alguns casos é possível fazê-los durar mais que os outros componentes da máquina, desde que tomados os devidos cuidados. Resfriamento, limpeza, lubrificação adequada e utilização apenas nos limites de carregamento de projeto são medidas que ajudam a retardar a formação de defeitos nos componentes do mancal.

A presença de um defeito altera significativamente os níveis de vibração em um mancal. Logo, é necessário ter conhecimento dos tipos de defeitos e como esses são classificados. Defeitos em mancais podem ser divididos em locais ou distribuídos. Defeitos distribuídos podem ser exemplificados por rugosidades superficiais, ondulações, desalinhamento entre as pistas rolantes e elementos rolantes de tamanhos diferentes, montados de forma incorreta. Esses são causados por erros nos processos de fabricação, instalação inapropriada ou desgaste das partes. Já os defeitos localizados são exemplificados por trincas, corrosões, lascas ou estilhaços nas superfícies em rotação.

Os defeitos costumam evoluir de forma lenta, de modo que os mancais emitem sinais com bastante antecedência à falha final. Na Fig. 2.3 pode ser visto um exemplo de falha localizada.



Figura 2-3 - Falha localizada na pista interna de um mancal de esferas.

Fonte: Engeteles (2020)

2.4 Análise de Vibrações

De acordo com a NBR 7497 (1982), vibração é uma variação no tempo do valor de uma grandeza a qual descreve o movimento ou posição de um sistema mecânico, quando o valor é alternadamente maior ou menor do que certo valor médio ou de referência.

Simplificadamente, a vibração mecânica é um termo utilizado para descrever o movimento produzido em partes mecânicas devido ao efeito de forças externas ou internas nessas partes. Cada parte pode ser considerada como um sistema composto por um ou mais elementos de amortecimento, de massa, ou de mola, sujeitos a uma força de excitação. Uma máquina nova apresenta um nível de vibração aceitável definido dentro das suas condições de operação. A medida que a máquina se deteriora são produzidos desgastes e folgas e também pode haver forças produzidas devido a algumas falhas como o desbalanceamento e desalinhamento. Portanto, a vibração mecânica acaba ultrapassando os níveis de tolerâncias.

A ideia básica da análise de vibrações é que as estruturas das máquinas, excitadas pelos esforços dinâmicos decorrentes do seu funcionamento, respondem com sinais vibratórios cuja frequência é idêntica àquela dos esforços que os provocam. O sinal de vibração, tomado em algum ponto do equipamento, será a soma das respostas vibratórias da estrutura às diferentes frequências dos esforços excitadores (ADYLES, 2004).

O aumento da amplitude de vibração de determinadas frequências ou o surgimento de novas frequências de vibração (harmônicas ou sub-harmônicas) é consequência da deterioração do equipamento, que se traduz como uma distribuição da "energia vibratória". A partir do acompanhamento da evolução dos sinais de vibração, tomados em pontos específicos do equipamento, é possível identificar o

aparecimento de esforços dinâmicos novos ou o aumento abrupto da amplitude de resposta, que são indicadores de defeitos e do nível de degradação do equipamento.

É importante ressaltar que, o procedimento de manutenção preditiva baseado na análise de vibrações usa um princípio comparativo, isto é, o que se analisa é a evolução histórica dos sinais de vibração do equipamento a partir de um determinado instante de referência, ou fazendo-se a comparação das medições com dados estatísticos de equipamentos semelhantes

Segundo Adyles (2004), na manutenção preditiva por análise de vibrações, é necessário utilizar técnicas de processamento de sinais vibratórios, com o objetivo de extrair as informações que permitam correlacionar algumas características do sinal com o estado do equipamento. Dentre as várias técnicas que existem, na Corteva Agriscience, são utilizadas as seguintes para acompanhar o estado de degradação dos rolamentos: análise por nível global de vibrações, detecção de envelope.

2.4.1 Análise por Nível Global de Vibrações

A monitoração do valor global de vibração é um método muito simples e muito utilizado para o controle da presença e do crescimento de alguns defeitos presentes em equipamentos mecânicos. A coleta do sinal de vibração é feita em pontos críticos da máquina. A amplitude desse sinal é um indicador do estado da máquina, já que ele corresponde a resposta da estrutura às excitações dinâmicas decorrentes do funcionamento dela.

Para Adyles (2004), no âmbito da manutenção preditiva existem dois métodos principais para a avaliação da vibração de máquinas rotativas por meio de valores globais. Um método avalia a severidade de vibração por meio da medição da vibração absoluta sobre partes não-rotativas. O outro avalia as condições da máquina por meio da medição direta da oscilação dos eixos. A adoção de um ou outro critério vai depender da complexidade da máquina, sua velocidade de operação, faixa de frequências de suas fontes de ruídos principais e tipo dos mancais.

Para máquinas que contenham múltiplas fontes de ruído, tais como transmissão de engrenagens, bombas de engrenagens, compressores, máquinas ou sistemas acionadores mecânicos com forças de inércia não balanceáveis devido a partes alternativas, máquinas com montagem mais rígida, com mancais de rolamentos e eixos relativamente curtos, normalmente, emprega-se a medição da vibração absoluta sobre partes não rotativas. Já a medição direta da oscilação do eixo é mais indicada para máquinas rotativas simples, com mancais de deslizamento e eixos relativamente longos, tais como turbinas e geradores de usinas hidroelétricas.

2.4.1.1 Procedimento de Monitoração pelo Nível da Severidade de Vibração

O valor eficaz da velocidade de vibração (velocidade RMS - *Root Mean Square*) e a amplitude da oscilação relativa eixo-mancal, são critérios utilizados para esta monitoração e são objeto de normatização por várias agências, tais como ISO, VDI e, no Brasil, a ABNT.

Este método se baseia na avaliação das condições da máquina utilizando-se dois critérios. Um desses métodos consiste em comparar a magnitude do valor medido com uma tabela de referência indicada pelas agências de normatização, tais tabelas são obtidas com base em médias estatísticas de milhares de casos. O segundo método considera a presença de uma variação localizada do valor medido, de forma diferente do padrão observado durante uma sequência de medidas periódicas realizadas no equipamento em questão.

O valor global escolhido para a análise do nível de severidade das vibrações é a velocidade eficaz de vibração (V_{ef}), também conhecida como velocidade RMS. Tal parâmetro deve ser medido sobre as partes fixas da máquina, preferencialmente nos mancais. De acordo com a ISO 10816-1 (1995), o valor de (V_{ef}) é definido por:

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt} \quad (2.1)$$

Os equipamentos da Corteva Agriscience são avaliados segundo as normas VDI 2056 e ISO 10816, sendo as máquinas classificadas do seguinte modo:

Classe I - Partes individuais de motores e máquinas, conectadas integralmente com a máquina completa em condições normais de operação. Motores elétricos de até 15 kW são exemplos típicos dessa classe de máquinas.

Classe II - Máquinas de tamanho médio (motores elétricos de 15 a 75 kW) sem fundações especiais, motores montados rigidamente ou máquinas sobre fundações especiais (até 300 kW).

Classe III - Grandes acionadores principais e outras grandes máquinas com massas rotativas montadas sobre rígidas e pesadas fundações, as quais são relativamente rígidas na direção de medição de vibração.

Classe IV - Grandes acionadores principais e outras grandes máquinas com massas rotativas montadas sobre fundações relativamente macias na direção de medição de vibração (conjunto turbo - geradores, especialmente aqueles com subestruturas leves).

De acordo com a ISO 10816-1 (1995) o critério para classificação e avaliação das máquinas por níveis de severidade de vibração pode ser visto na Tab. 2.

Tabela 2 - Critério para julgamento de estado de máquinas.

Nível de vibração (mm/s)	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
0,28	A ¹	A	A	A
0,25				
0,71				
1,12	B ²	B	B	B
1,8				
2,8	C ³	C	C	C
4,5				
7,1				
11,2	D ⁴	D	D	D
18				
28				
45				

[1] Nível A - Boas condições. [2] Nível B - Aceitável para operação continuada. [3] Nível C - Limite tolerável. [4] Nível D - Não permissível.

Os valores e as indicações fornecidos pelas especificações mencionadas devem ser encarados como recomendações, não representando valores absolutos.

2.4.1.2 Instrumentos para Medição da Velocidade de Vibração

Os instrumentos utilizados para medição da velocidade de vibração são bastante simples, constituídos basicamente por um transdutor, um conjunto compacto contendo um amplificador e o indicador de leitura. Em geral, o instrumento de leitura é um mostrador com escala, indicando diretamente o valor da grandeza medida.

De um modo esquemático, os equipamentos destinados às medidas do valor eficaz da velocidade de vibração voltados para a manutenção preditiva são constituídos por transdutor, pré-amplificador, amplificador, filtros e dispositivos de leitura ou indicação, além de portas de comunicação digital e/ou analógicas, com a finalidade de transferir dados para o processamento computacional ou aquisição por sistemas de digitalização de sinais (ADYLES, 2004). Na Fig. 2.4 é possível ver um esquema de tais equipamentos.

Com o avanço da tecnologia, surgiu no mercado uma grande variedade de medidores de vibração, desde os simples indicadores em painel da velocidade eficaz

do sinal de vibração, até os mais sofisticados aparelhos que incorporam facilidades de comunicação com computadores digitais, os coletores de sinais (Fig. 2.5). Estes últimos podem armazenar e transferir os sinais de vibração medidos para processamento numérico e análise em computadores.

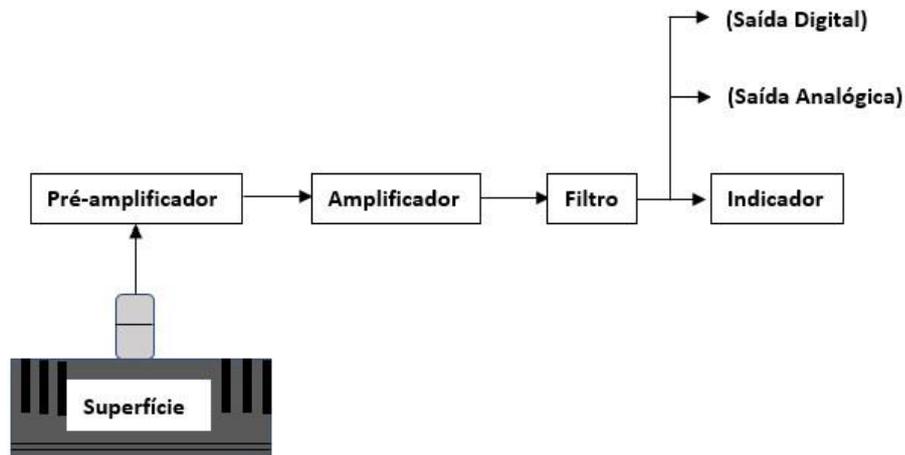


Figura 2-4 - Diagrama de blocos de um medidor de vibrações portátil, para uso industrial típico.

Fonte: Baseado em Adyles (2004).



Figura 2-5 - Coletor de sinais de vibração.

Fonte: db PRÜFTECHNIK (2020).

Para permitir uma comparação adequada, independente do equipamento, é crucial que os pontos de medida estejam perfeitamente indicados e identificados, e que as medidas sejam feitas sempre nos mesmos pontos e sob as mesmas condições

de potência e de velocidade da máquina. Na Fig. 2.6 pode ser visto o croqui utilizado para identificar os pontos de medição nas máquinas da Corteva Agriscience.

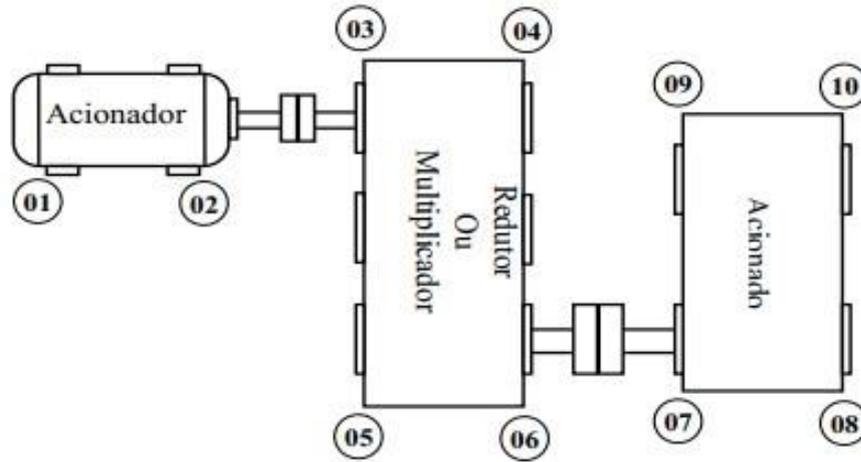


Figura 2-6 - Croqui dos pontos de medição.

Fonte: TD VIBRAÇÕES (2020).

O transdutor pode ser fixado na superfície de medição por meio de quatro métodos típicos de montagem: pontas de mão ou da sonda, magnético, adesivo ou montagem do parafuso prisioneiro. Os vários métodos de fixação afetam a frequência mensurável do acelerômetro. De um modo geral, quanto mais frouxa a conexão, menor o limite de frequência mensurável. A adição de qualquer massa ao acelerômetro, como uma base de montagem adesiva ou magnética, diminui a frequência ressonante, que pode afetar a precisão e os limites da faixa de frequência utilizável do acelerômetro. A Fig. 2.7 mostra as faixas de frequência aproximadas de diferentes técnicas de montagem, incluindo montagem de pinos, montagem adesiva, montagens magnéticas e montagens de bloco triax para um mesmo acelerômetro.

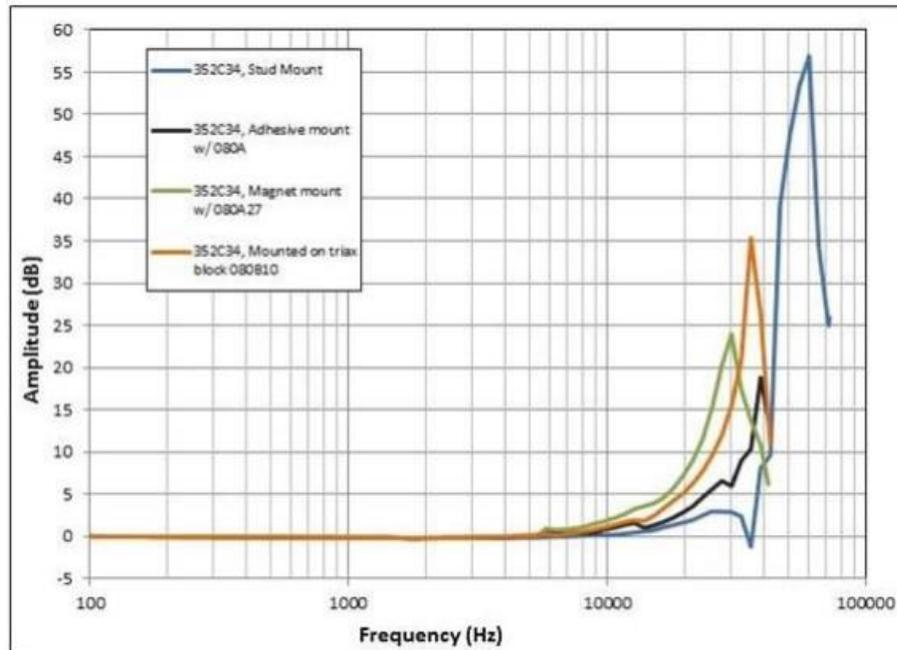


Figura 2-7 - As diferentes faixas de frequência de diferentes técnicas de montagem.

Fonte: National Instruments (2019).

Vale ressaltar que, uma vez escolhido um método, deve-se usar sempre o mesmo método para o monitoramento de um dado equipamento.

2.4.1.3 Detecção de Envelope

Alguns defeitos de sistemas mecânicos, em vez de excitar a estrutura da máquina com forças harmônicas, geram uma série de pequenos impactos repetidos de forma regular. Este é o caso de defeitos em rolamentos, que geram uma série de impulsos correlacionados com a rotação do eixo e o número de elementos rolantes, devido à passagem desses sobre a falha na pista interna ou externa do rolamento (ADYLES, 2004). No entanto, é um processo complexo identificar a frequência de defeitos do mancal de rolamento no espectro de vibração, pois os defeitos comuns do rolamento são cavidades ou lascas localizadas na pista externa, pista interna e no elemento rotativo. Esses defeitos geram uma série de impactos, à medida que o elemento rolante passa sobre o defeito devido ao contato de metal com metal. As vibrações resultantes no domínio do tempo são impulsos agudos. É difícil identificar a frequência de defeitos no espectro, pois essas vibrações de impacto distribuem sua energia por uma ampla faixa de frequências. Além disso, a frequência característica de defeito do rolamento contém baixa energia (NORTON; KARCZUB, 2003) e, portanto, é mascarada pelo ruído de banda larga e outros efeitos de baixa frequência.

Resolver este problema de não detecção de frequências de defeitos características dos rolamentos no espectro direto do sinal de vibração é o objetivo da detecção de envelope (também conhecida como Técnica de Ressonância de Alta Frequência) (BARKOV; BARKOVA; MITCHELL, 1995). A principal premissa por trás da detecção de envelope (DE) é que a força impulsiva devida à passagem dos corpos rolantes sobre o defeito excita a ressonância estrutural dos rolamentos. As ressonâncias são assim moduladas em amplitude na frequência característica do defeito e, ao desmodular uma dessas ressonâncias, o sinal de envelope indicativo da condição do mancal pode ser recuperado (TYAGI; PANIGRAHI, 2017).

Existem três etapas principais envolvidas na implementação do DE. No primeiro passo, o sinal de vibração é transmitido por banda, o que remove o ruído aleatório de alta frequência, bem como os componentes "grandes" de baixa frequência e apenas a explosão de vibrações de alta frequência permanece como mostrado nas Fig. 2.8 (a) e (b). Em seguida, um "envelope" do sinal transmitido pela banda é traçado em torno das rajadas na forma de onda temporal (Fig. 2.8 (c)) usando a transformada de Hilbert. Esta é uma técnica de convolução que permite um mapeamento em um mesmo domínio. Denotado por $x_H(t)$, a transformada de Hilbert de um sinal $x(t)$, de acordo com Adyles (2004), é representada pela equação 2.2:

$$x_H(t) = H\{x(t)\} = \frac{1}{\pi} x(t) \otimes \frac{1}{t} \quad (2.2)$$

e sua inversa será:

$$x(t) = H^{-1}\{x_H(t)\} = -\frac{1}{\pi} x_H(t) \otimes \frac{1}{t} \quad (2.3)$$

onde \otimes é o operador de convolução.

As equações 2.2 e 2.3 estão no domínio do tempo, podendo-se formar a equação 2.4:

$$z(t) = x(t) + jx_H(t) \quad (2.4)$$

A equação 2.4 é chamada de sinal analítico de $x(t)$. Para Adyles (2004), este sinal analítico pertence ao plano do conjugado imaginário e pode ser representado pela equação

2.5:

$$z(t) = A(t)e^{j\theta(t)} \quad (2.5)$$

Onde:

$$A(t) = [x^2(t) + x_H^2(t)]^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

$$\theta(t) = \tan^{-1}\left[\frac{x_H(t)}{x(t)}\right] = 2\pi f_0 t \quad (2.7)$$

O vetor das amplitudes ao longo do tempo, $A(t)$ é chamado de envelope do sinal $x(t)$ e o vetor $\theta(t)$ é a fase instantânea de $x(t)$. Desta maneira, é possível extrair o envelope de um sinal apenas obtendo-se sua transformada de Hilbert e calculando-se $A(t)$.

No último passo, o sinal do envelope é convertido no domínio da frequência (Fig. 2.8 (d)) para análise. Nas técnicas convencionais de DE, a frequência central do filtro passa-banda é selecionada para coincidir com a ressonância no espectro de frequências e escolher a banda passante igual a 2 a 4 vezes a frequência de defeito característica mais alta (TYAGI; PANIGRAHI, 2017).

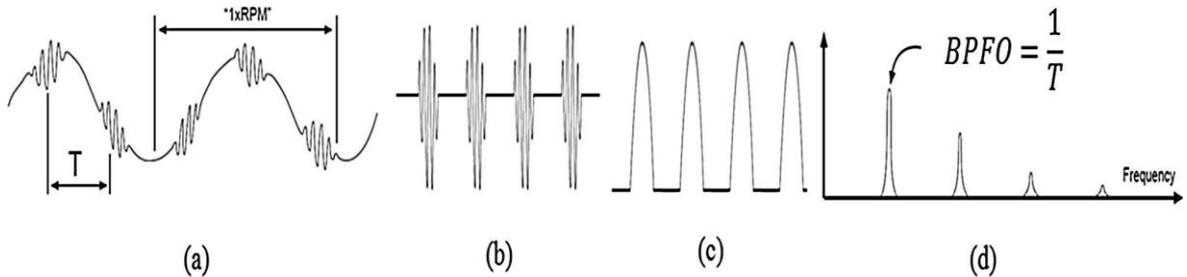


Figura 2-8 - Processo de detecção de envelope. (a) Sinal no domínio do tempo não filtrado, (b) sinal de passagem da banda, (c) envelope do sinal de passagem da banda, (d) espectro do envelope.

Fonte: (TYAGI; PANIGRAHI, 2017).

No caso da demodulação de impactos em devido a falhas de rolamentos, as frequências de ressonância são encontradas nas faixas de alta frequência do espectro, acima de 2 kHz, e a análise espectral deverá ser feita buscando-se as frequências características dos rolamentos (ADYLES, 2004), que são:

- Frequência de falha na pista externa: $f_{BPFO} = \frac{n}{2} f_r (1 - \frac{d}{D} \cos \beta)$
- Frequência de falha na pista interna: $f_{BPFPI} = \frac{n}{2} f_r (1 + \frac{d}{D} \cos \beta)$
- Frequência de falha dos elementos rolantes: $f_{BSF} = \frac{d}{D} f_r [1 + (\frac{d}{D})^2 \cos \beta]$

onde: D = diâmetro primitivo do rolamento; d = diâmetro do elemento rolante; f_r = frequência de giro do rolamento; β = ângulo de contato entre a pista e o elemento rolante.

Em geral, analisadores mais experientes utilizam a análise de envelope como uma de suas técnicas de análise. A identificação do rolamento que apresenta defeito é realizada por comparação com dados relativos a suas frequências de falha, fornecidos pelos fabricantes.

2.4.2 Desbalanceamento e Desalinhamento

A fonte de vibração mais comumente encontrada em máquinas rotativas é o desbalanceamento. É um parâmetro muito importante a ser considerado no projeto de máquinas modernas, especialmente em aplicações que envolvem um alto grau de confiabilidade e para máquinas que operam em altas velocidades de rotação. Segundo Adyles (2004), o desbalanceamento da origem a uma vibração bem determinada, com componente predominante na direção radial, cuja frequência coincide com a frequência de rotação do eixo. Como não é possível eliminá-lo totalmente, toda máquina ou equipamento admite um determinado nível de desbalanceamento, denominado desbalanceamento residual, e que permanece após o balanceamento estático e dinâmico do componente. O rotor desbalanceado gera vibrações que podem danificar os componentes da máquina. As causas mais comuns de desbalanceamento são (ADYLES, 2004):

- a) assimetria;
- b) não-homogeneidade do material;
- c) excentricidade;
- d) desalinhamento dos rolamentos;
- e) desbalanceamento dos rolamentos;
- f) desbalanceamento hidráulico ou aerodinâmico.

Com o objetivo de estender a vida útil de uma máquina, as vibrações devidas ao desbalanceamento devem ser reduzidas a níveis aceitáveis. Os níveis de vibração podem ser avaliados de duas maneiras distintas: (i) por meio de tabelas de referência padronizadas pelas agências reguladoras e; (ii) por meio de avaliação contínua, através de medições, do estado em que se encontra a máquina em dado momento,

em comparação com o estado de uma máquina em perfeitas condições de funcionamento (PIOTROWSKI, 2006).

A causa de uma condição de desalinhamento nem sempre é óbvia. A análise de vibração pode revelar um problema de desalinhamento, mas não identifica necessariamente o motivo. Para Adyles (2004), o desalinhamento dá origem a uma vibração radial com frequência igual ao giro do eixo, acompanhada de outras frequências iguais ao dobro e ao triplo da velocidade de rotação (harmônicos). De maneira geral, apresenta também componente na direção radial axial ao eixo, com a mesma composição de frequências.

Geralmente, opta-se por medir a vibração nos mancais próximos ao acoplamento e nas direções radial e axial. Entre os principais problemas ocasionados pelo desalinhamento, temos: redução da eficiência da máquina; aumento do consumo de energia, pois a condição de desalinhamento aumenta a temperatura, ruídos e vibração que dissipam parte da energia que deveria ser convertida em trabalho; aumento dos esforços nos rolamentos; os elementos vedantes não conseguem o contato ideal com o eixo levando a vazamentos contaminações; pode causar superaquecimento nos acoplamentos, levando o ressecamento das partes de borracha (comumente utilizada nestes elementos).

3 Definição do Problema

Neste capítulo é descrito resumidamente o fluxo do processo de produção da Corteva Agriscience, de maneira a apresentar os setores e os equipamentos que serão estudados nesse projeto de graduação.

A unidade de Formosa trabalha exclusivamente com milho que ela recebe dos fornecedores dos estados de Goiás, Minas Gerais, Bahia e Distrito Federal e faz o processamento. Os grãos processados são destinados a produtores rurais de todo o Brasil.

A Corteva Agriscience possui uma série de máquinas que são utilizadas no processamento do milho, entre elas: os ventiladores dos secadores e do aquecedor que são utilizados na secagem; as bombas do aquecedor; os ventiladores da debulha, da classificação e o soprador.

Nesse sentido, a Corteva Agriscience pretende avaliar se os procedimentos atuais em prática são eficientes e quais os impactos que eles causam na rotina de manutenção das máquinas rotativas da empresa.

3.1 Fluxo do Processo Produtivo

Na Fig. 3.1 pode ser visto o fluxo do processo produtivo da empresa. Na descarga, ocorre o recebimento do milho em espigas, estas são levadas através de esteiras até os despalhadores. A despalha é realizada por máquinas com rolos de borracha, que além de retirar a palha, reduzem os danos mecânicos. Em seguida as espigas passam pela seleção manual, onde as espigas com palha são separadas das espigas sem palha.

Após a despalha e a seleção natural, o produto segue para o secador, onde a secagem é feita em espiga. Quando as sementes atingem 12,5% de umidade, são levadas para a debulha, onde ocorre a separação das sementes do sabugo, este processo ocorre devido à pressão e ao atrito entre as espigas o que diminui os danos às sementes.

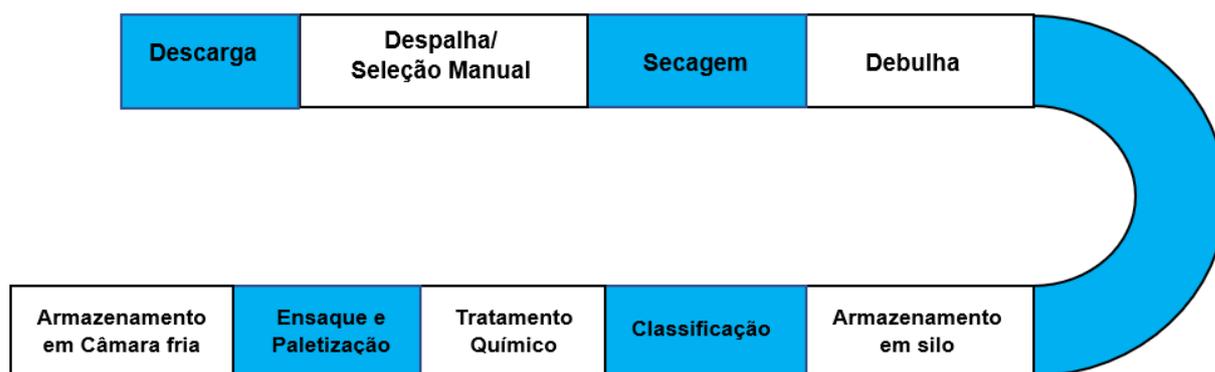


Figura 3-1 - Fluxo do processo.

Antes de irem para os silos, a máquina de pré-limpeza retira resíduos de sabugo, pequenos grãos e poeira da massa de sementes. Estas são tratadas com inseticidas para proteção contra pragas de grãos armazenados (traças, carunchos e lagartas). Através de elevadores e correias, as sementes são transportadas até os silos, que possuem sistemas de amortecimento para prevenir danos mecânicos e redução do potencial produtivo das sementes causados pela queda.

A próxima etapa é a classificação, onde os grãos são separados pelo seu formato e tamanho. Com base nas diferentes destinações de uso das sementes, estas receberão um produto químico específico. O processo termina com ensaque e armazenamento em câmaras climatizadas a 10 °C

Neste trabalho, os equipamentos estudados pertencem aos setores da secagem, debulha, soprador, classificação e aquecedor.

3.2 Equipamentos Estudados

3.2.1 Secagem

O secador é dividido em três linhas: 100, 200, 300. A linha 100 e 200 é composta por conjuntos formados por uma fornalha (Fig. 3.2), um ventilador de combustão (Fig. 3.3), um ventilador de recirculação (Fig. 3.4) e um principal (Fig. 3.5) que no total são oito conjuntos desse tipo. A linha 300 é composta pelo ventilador principal, que no caso, são vinte ventiladores do mesmo modelo (Fig 3.6).



Figura 3-2 - Fornalha.



Figura 3-3 - Ventilador combustão.



Figura 3-4 - Ventilador recirculação.



Figura 3-5 - Ventilador principal.



Figura 3-6 - Ventilador principal da linha 300.

Na matriz de criticidade da empresa, o secador apresenta criticidade nível A. No período da safra, a fábrica funciona sete dias por semana, vinte e quatro horas e, em média, cerca de cinquenta caminhões passam pelo setor do recebimento, o equivalente a 1250 toneladas de espigas de milho por dia, durante toda a safra, e a matéria-prima que chega não pode ser armazenada in natura. A safra tem uma duração média de 4 meses. Caso o secador não esteja funcionando, a empresa pode deixar de faturar por colheita, aproximadamente, 1,75 milhões de reais por hora parada.

Nas Tab. 3, 4, 5 pode ser visto os equipamentos que fazem parte do estudo, no caso, os ventiladores de combustão, de recirculação e principal das linhas 100 e 200 e os ventiladores principais da linha 300.

Tabela 3 - Secador linha 100.

TAG	Equipamento	Rotação (rpm)	Potência (cv)	Modelo
EX-3044A	Ventilador combustão fornalha 101	2318	7,5	DES.36 SQA.#18 1/4
EX-3066A	Ventilador combustão fornalha 102	2318	7,5	DES.36 SQA.#18 1/4
EX-3114A	Ventilador combustão fornalha 103	2318	7,5	DES.36 SQA.#18 1/4
EX-3092A	Ventilador combustão fornalha 104	2318	7,5	DES.36 SQA.#18 1/4
EX-3044	Ventilador recirculação fornalha 101	1805	75	DES.10 B. #33.S
EX-3066	Ventilador recirculação fornalha 102	1805	75	DES.10 B. #33.S
EX-3114	Ventilador recirculação fornalha 103	1805	75	DES.10 B.#33.S
EX-3092	Ventilador recirculação fornalha 104	1805	75	DES.10 B.#33.S
EX-3014	Ventilador principal fornalha 101	615	185	DES.51 A. # 807-D
EX-3016	Ventilador principal fornalha 102	615	185	DES.51 A. #807-D
EX-3020	Ventilador principal fornalha 103	615	185	DES.51 A. #807-D
EX-3018	Ventilador principal fornalha 104	615	185	DES.51 A. #807-D

Tabela 4 - Secador linha 200.

TAG	Equipamento	Rotação (rpm)	Potência (cv)	Modelo
FA-3165	Ventilador combustão fornalha 201	2014	5,5	DES.36 SQA.#18 25.S
FA-3187	Ventilador combustão fornalha 202	2014	5,5	DES.36 SQA.#18 25.S
FA-3213	Ventilador combustão fornalha 203	2014	5,5	DES.36 SQA.#18 25.S
FA-3235	Ventilador combustão fornalha 204	2014	5,5	DES.36 SQA.#18 25.S
FA-3164	Ventilador recirculação fornalha 201	1488	50	DES.10 B. #33.S
FA-3186	Ventilador recirculação fornalha 202	1488	50	DES.10 B.#33.S
FA-3212	Ventilador recirculação fornalha 203	1488	50	DES.10 B.#33.S
FA-3234	Ventilador recirculação fornalha 204	1488	50	DES. 10 B.#33 S
FA-3136	Ventilador principal fornalha 201	615	185	DES.51 A. #807-D
FA-3138	Ventilador principal fornalha 202	615	185	DES.51 A. #807-D
FA-3140	Ventilador principal fornalha 203	615	185	DES.51 A. #807-D
FA-3142	Ventilador principal fornalha 204	615	185	DES.51 A. #807-D

Tabela 5 - Secador linha 300.

TAG	Equipamento	Rotação (rpm)	Modelo
BL-3703	Ventilador Principal 301	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3708	Ventilador Principal 302	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3713	Ventilador Principal 303	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3718	Ventilador Principal 304	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3723	Ventilador Principal 305	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3728	Ventilador Principal 306	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3733	Ventilador Principal 307	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3738	Ventilador Principal 308	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3743	Ventilador Principal 309	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3748	Ventilador Principal 310	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3753	Ventilador Principal 311	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3758	Ventilador Principal 312	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3763	Ventilador Principal 313	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3768	Ventilador Principal 314	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3773	Ventilador Principal 315	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3778	Ventilador Principal 316	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3783	Ventilador Principal 317	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3788	Ventilador Principal 318	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3793	Ventilador Principal 319	1780	DES 51A.TAM 660
BL-3798	Ventilador Principal 320	1780	DES 51A.TAM 660

3.2.2 Debulha

O setor da debulha (Fig. 3.7) é composto por cinco conjuntos formados por um filtro, um ventilador e um motor. Os equipamentos que fazem parte deste estudo podem ser vistos na Tab. 6



Figura 3-7 - Setor da Debulha

Tabela 6 - Ventiladores da Debulha.

TAG	Equipamento	Rotação (rpm)	Potência (kW)	Modelo
FCR-4000	Exaustor F. M. Debulha 100	1780	45	PES.1903PFD TAM .3612 SISW ARR.4 CL.HD
FCR-4035	Exaustor FM Debulha 200	180	75	VCT-1-1100L1S1
FCR-4030	Exaustor FM Debulha Geral	1610	30	VCT-1-900L11-ST

Nas Fig. 3.8 e 3.9 podem ser vistos os ventiladores FCR-4030 e FCR-4035, equipamento na cor cinza, que atendem a debulha geral e a debulha 200, respectivamente. Ambos possuem um sistema de transmissão, no caso, a caixa amarela, que transmite o movimento do motor ao ventilador. E na Fig. 3.10 o ventilador FCR-4000 que atende a debulha 100. Neste caso, o motor é ligado diretamente ao ventilador.



Figura 3-8 - Ventilador FCR-4030.



Figura 3-9 - Ventilador FCR-4035.



Figura 3-10 - Ventilador FCR-4000.

Considerando a matriz de criticidade, os ventiladores se enquadram no nível A. No período em que a empresa trabalha na sua capacidade máxima, a debulha trabalha constantemente e os ventiladores são de suma importância na pré-limpeza das sementes e na captação do pó do sabudo. Aproximadamente 55 toneladas/hora de sementes passam pela debulha. No caso de paradas não programadas do setor, a empresa pode ter prejuízos na faixa de 17 milhões de reais por dia.

3.2.3 Classificação

A classificação é composta por doze mesas de filtros, ventiladores e motores. Na Fig. 3.11 pode ser visto parte do setor da classificação e na Tab. 7 os equipamentos que serão estudados.



Figura 3-11 - Setor da Classificação.

Tabela 7 - Ventiladores da Classificação.

TAG	Equipamento	Rotação (rpm)	Modelo
FCR-7014	Ventilador mesa 1	1795	VCT1800L2251
FCR-7054	Ventilador mesa 4	1795	VCT1800L2251
FCR-7086	Ventilador mesa 7	1770	DES.51B-TAM.330
FCR-7096	Ventilador mesa 8	1770	DES.51B-TAM.330
FCR-7006	Exaustor da color sorter	1780	DES-51B-TAM-300

A classificação é considerada um setor de criticidade nível A, justamente porque é aqui onde é agregado valor à semente no processo de limpeza. A mesma quantidade de sementes que passa pela debulha também passa pela classificação.

Nas Fig. 3.12 pode ser visto o ventilador FCR-7096, todos os outros ventiladores do setor apresentam a mesma configuração física.



Figura 3-12 - Ventilador FCR-7096.

3.2.4 Aquecedor

O aquecedor trabalha diretamente com o secador 300, ele aquece a água que passa pelos trocadores de calor, essa água esquenta o ar dos ventiladores que é usado para secar a sementes. Portanto, apresenta criticidade nível A, pois em casos de paradas deste setor, o secador também interrompe suas atividades.

Na Tab. 8 podem ser vistos os equipamentos que fazem parte deste estudo.

Tabela 8 - Equipamentos do aquecedor.

TAB	Equipamento	Rotação (rpm)	Modelo
BL 9040	Ventilador Boiler	1775	DES.51A #660 SISW ARR.1 CL.II CCW BH(270°)
BL 9035	Ventilador Boiler	1775	DES.51A #660 SISW ARR.1 CL.II CCW BH(270°)
BE 9075	Exaustor Boiler	1790	DES.51A #660 SISW ARR.1 CL.II CCW BH(270°)
PU 9018	Bomba água fria aquecedor	3515	MEGANORM 40-160
PU 9020	Bomba água fria aquecedor	3515	MEGANORM 40-160
PU 9115	Bomba aquecedor	1760	MEGANORM 50-250
PU 9125	Bomba aquecedor	1760	MEGANORM 50-250
PU 9135	Bomba aquecedor	1760	MEGANORM 50-250
PU 9145	Bomba aquecedor	1760	MEGANORM 50-250
PU 9315	Bomba aquecedor	1760	MEGANORM 50-250
PU 9325	Bomba aquecedor	1760	MEGANORM 50-250
PU 9335	Bomba aquecedor	1760	MEGANORM 50-250
PU 9345	Bomba aquecedor	1760	MEGANORM 50-250

Na Fig. 3.13 pode-se visualizar uma representação dos ventiladores boiler BL-9040 e BL-9035, ambos apresentam as mesmas configurações físicas e mesmas características de funcionamento. Na Fig. 3.14 temos o exaustor boiler BE-9075, na

Fig. 3.15 as bombas de água fria do aquecedor PU-9018 e PU-9020 e na Fig. 3.16 o conjunto de bombas do aquecedor.



Figura 3-13 - Ventilador boiler BL-9040 e BL-9035.



Figura 3-14 - Exaustor boiler BE-9075.



Figura 3-15 - Bomba de água fria PU-9018 e PU-9020.



Figura 3-16 - Conjunto bomba aquecedor.

3.2.5 Soprador

O soprador apresenta criticidade nível A, trabalha diretamente com a debulha e com a classificação. A parada deste setor leva a interrupção das atividades na debulha e na classificação. Sua função é soprar o pó que vem dos filtros a uma velocidade de 32 *m/s* destes dois setores e levar para a silo de descarte de pó. Além disso, outro motivo para sua elevada criticidade é a sua importância ambiental, pois sem o soprador, todo o pó gerado seria descartado no meio ambiente e isso acarretaria alguns problemas como: o aumento de riscos de incêndios, por exemplo.

Na Tab. 9 pode ser visto as características do equipamento e na Fig. 3.17 pode ser visto o soprador.

Tabela 9 - Soprador.

TAG	Equipamento	Rotação (rpm)	Modelo
EX-4020	Soprador	3560	SRT1334



Figura 3-17 - Soprador EX-4020.

3.3 Plano de Manutenção Preventiva

A Corteva Agriscience adota hoje a manutenção preventiva com base nos dados dos fornecedores, dos fabricantes, na experiência e nas recomendações de normas regulamentadoras. Com base nisso, é elaborado para cada equipamento, uma lista de atividades que precisam ser realizadas semanalmente, quinzenalmente, mensalmente, bimestralmente, trimestralmente, semestralmente e anualmente.

Essas atividades dão origem a ordens de serviço. Estas especificam, além do equipamento, do setor, do executante da atividade, bem como outras informações relevantes para o setor de manutenção, as tarefas que devem ser realizadas e uma estimativa do tempo que será gasto para realizar essas atividades.

O gerenciamento da manutenção é feito utilizando-se um software alemão chamado “Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung” (SAP), da fabricante SAP, que traduzido em português significa “Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados”. Este sistema é dividido em módulos e no setor da manutenção é utilizado o módulo “Plant Maintenance” (PM) que inclui o

gerenciamento de equipamentos e seus respectivos locais de instalação e outros objetos que podem ser gerados e serem alvos de ações no PM. Além disso, faz o controle do planejamento de trabalho de manutenção, das notificações de manutenção, ordens de serviço, planejamento de capacidade, confirmações, histórico de manutenção e ainda faz a compressão e avaliação dos dados de manutenção.

Dentro do plano de manutenção preventiva, encontra-se as atividades de análise de vibrações. Estas são executadas semestralmente com base na ordem de serviço semestral emitida para cada equipamento.

Exemplos de ordens de serviço podem ser vistos no Anexo A.

4 Resultados e Análises

Neste trabalho são estudados sete setores: a linha 100 e 200 da secagem com quatro ventiladores de combustão, quatro de recirculação e quatro principais, cada um; a linha de secagem 300 com vinte ventiladores; o setor aquecedor que possui dois ventiladores, um exaustor e dez bombas; o setor debulha com três ventiladores; a etapa classificação que possui cinco ventiladores e o soprador que é um equipamento que atende a debulha e a classificação. Para esta análise, desenvolveu-se, nesse projeto de graduação, uma planilha capaz de gerar gráficos que permitem a análise dos relatórios de vibração e do histórico de reparo dos equipamentos. O critério de escolha dos equipamentos foi quantidade de falhas por período avaliado e pela quantidade de alarmes anormais no mesmo período. Com base nisso, selecionou-se os seguintes equipamentos para serem analisados

4.1 Linha 100 da Secagem

4.1.1 Ventilador Combustão Fornalha 101: EX-3044A

Na Fig 4.1 pode ser visto um gráfico gerado na planilha desenvolvida para relacionar o histórico de falhas das máquinas estudadas e os relatórios de análise de vibrações, a partir das informações coletadas na empresa. Na planilha, pode-se encontrar as seguintes informações: atividades de manutenção realizadas que tenham relação com trocas de rolamentos, lubrificação, desbalanceamento e desalinhamento; a data de realização dessas atividades; e os alarmes de vibração. Os códigos de alarmes que podem ser vistos na Fig 4.1 representam a classificação das prioridades. O código OK (verde), indica que o equipamento apresenta bons níveis de vibração, isto é, com base na Tab,2, possui nível A, não requerendo nenhum tipo de intervenção pela manutenção, ou seja, está normal. AT (azul), indica atenção, ou seja, nível B de vibração, significa que foi observado algum tipo de anormalidade: equipamento parado; questões relacionadas à segurança; picos de frequência que podem estar correlacionados com a frequência de algum componente, sinal de estágio inicial de defeito e com baixa amplitude vibracional ou alguma anormalidade que deverá ser realizado outro tipo de estudo e avaliação. O código A1 (amarelo), indica alerta nível C de acordo com a Tab.2 e que a manutenção do equipamento deve ser realizada no prazo de 30 dias da comunicação do problema, podendo ser prorrogado, havendo acompanhamento programado. A2 (vermelho), representa emergência, no caso, vibração nível D, a manutenção do equipamento

deve ser efetuada com urgência, sendo a avaria comunicada verbalmente para o responsável e registrada no relatório de inspeção.

Com base na análise do gráfico, pode-se perceber que no dia 01/06/2015 foi detectado um alarme do tipo AT (Atenção). No caso, o alarme se referia a uma folga no mancal do ventilador. Já o segundo alarme AT, no dia 21/10/2015, indicou um desgaste inicial dos rolamentos. No dia 26/12/2015, aproximadamente dois meses depois da última análise de vibrações, foi feita uma troca dos rolamentos em uma atividade preventiva, isto é, não houve um acompanhamento da evolução da falha identificada pela análise de vibração do mês de outubro, e o mecânico responsável decidiu trocar o rolamento apenas com base na inspeção visual.

Em 05/06/2016, realizou-se mais uma análise de vibrações, nesse momento o alarme foi do tipo A1 (alerta). Como não havia registro da descrição do problema encontrado, não se sabe exatamente se o alarme em questão tem relação com defeitos em algum rolamento ou não. Porém, em 22/09/2016, três meses após o alarme, foi realizada uma nova troca de rolamentos baseada apenas na análise de inspeção da máquina. No mês de novembro do mesmo ano foi feita uma nova análise e de acordo com o relatório da TD Vibrações a máquina estava com alarme OK (normal).

Porém, no do dia 29/04/2017, foi feita uma nova troca de rolamentos, apesar de que na análise anterior, não foi detectado nenhuma anomalia na máquina. Após a última análise de vibrações feita em 16/05/2017 não houve alarmes de atenção e não houve nenhuma troca de rolamentos até o dia 04/09/2019. Vale ressaltar que, de acordo com o relatório de 07/05/2019, a máquina estava em boas condições. Embora na última análise feita em 2019 o alarme tenha sido A2 (emergência), o sinal foi apenas de uma folga nos mancais, que no caso, foi corrigido e o problema resolvido.

Com base na análise do gráfico da Fig. 4.1, pode-se dizer que, o plano de manutenção preditiva não está sendo utilizado da melhor forma possível, já que estão ocorrendo reparos preventivos, isto é, as trocas de rolamentos estão acontecendo sem considerar os níveis de alarme de vibração e não exatamente conforme o acompanhamento da evolução das falhas potenciais detectadas. Além disso, é notável que apenas duas análises de vibrações por ano não são suficientes para saber o momento exato da troca dos rolamentos, e isso pode ser comprovado com base em algumas atividades de intervenção corretiva para troca de rolamentos já realizadas, justamente porque não ocorreu o acompanhamento da falha potencial detectada anteriormente.

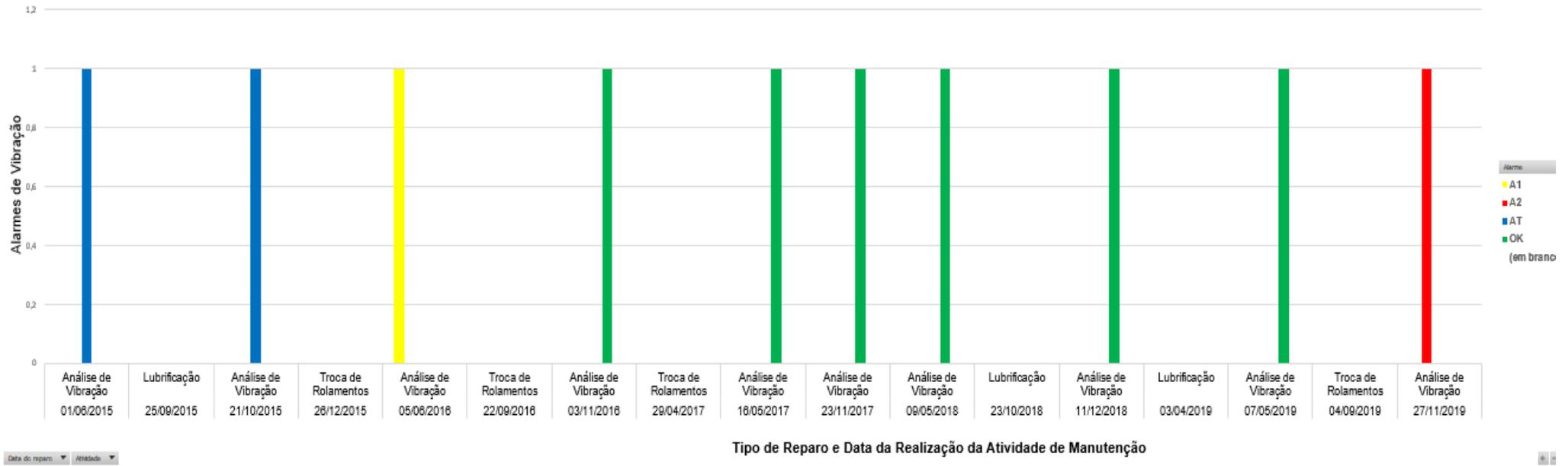


Figura 4-1 - Ventilador combustão fornalha 101 - EX-3044A

Vale ressaltar também que não é recomendado se basear em informações preventivas para a realização de trocas de rolamentos. Se as trocas são feitas seguindo um padrão preventivo, não faz sentido a Corteva Agriscience pagar por um plano de manutenção preditiva. O ideal seria que a evolução das falhas fosse acompanhada, com uma frequência maior, logo após algum alarme.

4.1.2 Ventilador Combustão Fornalha 102: EX-3066A

Na Fig 4.2 pode ser visto o gráfico referente ao ventilador combustão da fornalha 102. Pela análise do gráfico, percebe-se que entre 22/05/2014 até 08/10/2014 não houve nenhum alarme e nenhuma troca de rolamentos. Já na análise de 01/06/2015, detectou-se um alarme do tipo A1, no caso, havia um desalinhamento nos mancais do ventilador. O problema em questão foi corrigido. Em 01/10/2015 foi feita uma nova análise de vibrações e o equipamento não apresentou nenhum problema.

No dia 01/06/2016, o relatório de vibrações afirmou que o equipamento estava em ótimo estado, porém, no dia 05/10/2016 foi feita uma troca de rolamentos. Com base nisso, pode-se dizer que no período entre duas análises de vibração, surgiu um defeito no rolamento, ele não foi monitorado até que o mesmo falhou e através de uma ação corretiva, foi necessário fazer a troca do rolamento. Após a troca do rolamento, o relatório de 05/11/2016 mostrou um alarme do tipo A1, que se referia novamente a um desalinhamento nos mancais de rolamentos.

No dia 15/05/2017, identificou-se novamente um alarme do tipo A1, aqui o problema se referia a um desgaste inicial e a folgas nos rolamentos e mancais. No mês seguinte, no dia 01/06/2017, realizou-se a troca de rolamentos. Mais uma vez, a troca foi feita através de uma ação corretiva, o que demonstra a importância do acompanhamento dos defeitos identificados através de uma análise mais constante dos rolamentos. Em 24/11/2017, o alarme A1 se referia a folgas nos mancais.

Em 01/05/2018 o equipamento estava em bom estado de funcionamento, porém três meses depois foi feita novamente a troca de rolamentos em uma atividade preventiva. No dia 28/12/2018, o alarme foi do tipo AT, que indicou um início de desalinhamento dos mancais do ventilador. No ano 2019 foram feitas mais duas análises de vibrações, mas não foram detectadas nenhuma anormalidade e não houve troca de rolamentos.

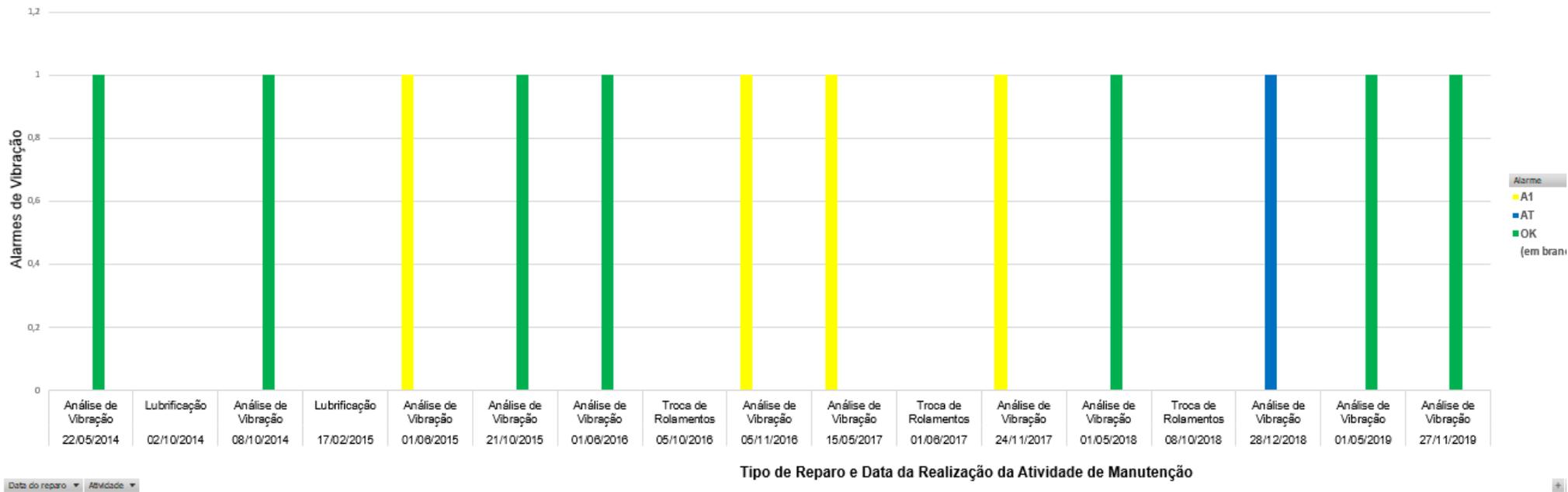


Figura 4-2 - Ventilador Combustão Fornalha 102 - EX-3066A

A Análise do gráfico de ações de manutenção no Ventilador Combustão Fornalha 102: EX-3066A mostrou a necessidade de um aperfeiçoamento na monitoração da vibração e também um maior acompanhamento das intervenções realizadas, pois o equipamento tem apresentado problemas de desalinhamento.

4.1.3 Ventilador Combustão Fornalha 103: EX-3114A

Na Fig 4.3 pode ser visto o gráfico referente ao ventilador combustão da fornalha 103. Pela análise do gráfico, pode-se dizer que no ano de 2014 não houve nenhuma troca de rolamentos. Os relatórios de análise de vibrações apontaram um desbalanceamento no mês de maio, porém tal problema foi imediatamente corrigido. No dia 16/02/2015 foi feita a lubrificação dos rolamentos do ventilador e no relatório de 02/06/2015 foi apontado um alarme do tipo A2, no caso, as polias do motor estavam desgastadas, os rolamentos do ventilador estavam desgastados e os mancais estavam desalinhados. A recomendação dada foi de retificar a polia do motor, trocar os rolamentos e alinhar o conjunto. Porém, de acordo com os relatórios de manutenção da Corteva, nada foi feito a respeito durante o mês de junho. Em 21/10/2015 foi feita uma nova análise de vibrações e o equipamento não apresentou nenhum defeito.

No dia 01/06/2016 foi feita uma nova análise e o equipamento estava normal. No dia 03/11/2016, o relatório de vibrações apontou um alarme do tipo A2, que se referia a um desbalanceamento, folgas e excentricidade nas polias. A empresa terceirizada corrigiu o desbalanceamento e recomendou a inspeção às folgas e excentricidade nas polias para depois programar atividade de reparo.

Em 06/03/2017 foi feita uma troca de rolamentos em uma atividade corretiva emergencial. No dia 15/05/2017 foi feita a análise de vibrações e o rotor do ventilador apresentou um desbalanceamento, que foi corrigido imediatamente. Dois meses após a última análise de vibrações, foi feita a troca de rolamento no ventilador em uma atividade emergencial. Através dos relatórios não foi possível identificar motivos que levaram a trocar do rolamento. Com base nisso, pode-se supor que a análise de vibrações pode não ter detectado algum possível problema que acarretaria a falha dos rolamentos. Na medição do dia 24/11/2017, o equipamento apresentava-se funcionando normalmente.

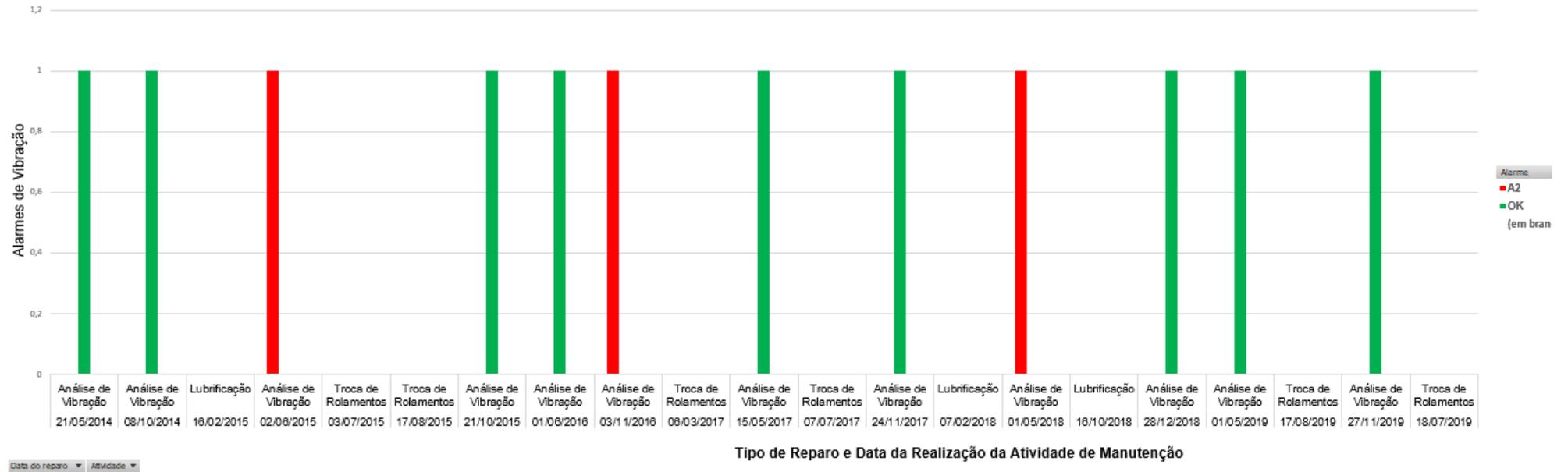


Figura 4-3 - Ventilador combustão fornalha 103 - EX-3114A.

No dia 07/02/2018 foi feita a lubrificação dos rolamentos em uma atividade preventiva e no dia 01/05/2018 houve a análise de vibrações, que indicou desbalanceamento e desalinhamento dos mancais, o problema foi corrigido imediatamente. Mais uma atividade de lubrificação foi feita em 16/10/2018 e de acordo com o relatório de 28/12/2018, o equipamento estava normal. Na análise de vibrações do dia 01/05/2019, também não foi detectada nenhuma anormalidade. No dia 18/07/2019 foi feita uma troca de rolamentos, provavelmente em virtude de algum problema que surgiu após análise de vibrações. No dia 17/08/2019 foi feita uma nova troca de rolamentos, o que sugere que o desbalanceamento do rotor, que foi verificado no dia 04/08/2019, ocasionou um desgaste prematuro dos rolamentos. De acordo com a análise do dia 27/11/2019, o equipamento estava normal.

4.1.4 Ventilador Recirculação Fornalha 103: EX-3114

Na Fig 4.4 pode ser visto o gráfico referente ao ventilador de recirculação da fornalha 103. Com base nas informações do gráfico, o ventilador apresentava condições normais de acordo com o relatório de análise de vibrações do dia 21/05/2014. No dia 17/08/2014 foi feito o aperto das buchas do rolamento. Em 01/10/2014 foi feita a troca de rolamentos em uma atividade preventiva. Aparentemente surgiu alguma falha no rolamento após a primeira análise de vibrações, a evolução da falha não foi acompanhada e no dia da inspeção da máquina o mecânico percebeu que o rolamento precisava ser trocado. A segunda análise de vibrações, que deveria acontecer no mês de outubro de 2014 não aconteceu porque o equipamento estava em manutenção. No dia 14/02/2015 foi feito o alinhamento dos rolamentos e no dia 01/06/2015 foi feita uma nova medição de vibração, no caso, o equipamento não apresentou nenhuma anormalidade. No dia 14/09/2015 foi feita a lubrificação dos rolamentos e em 21/10/2015 uma nova análise de vibrações, que não apontou nenhuma falha ou defeito no equipamento.

No relatório de análise de vibrações do dia 01/06/2016, não foi detectada nenhuma anormalidade. Em 24/09/2016 foi feito o serviço de lubrificação e em 03/11/2016 uma nova medição das vibrações foi feita, que indicou um alarme do tipo AT, que no caso, se referia a um ruído que foi identificado nos mancais do motor. Foi sugerido a inspeção dos ajustes nos mancais e hélice. No ano de 2017 aconteceram duas análises de vibrações, uma em 15/05/2017 e a outra em 24/11/2017, nos dois casos o equipamento não apresentou nenhuma anormalidade.

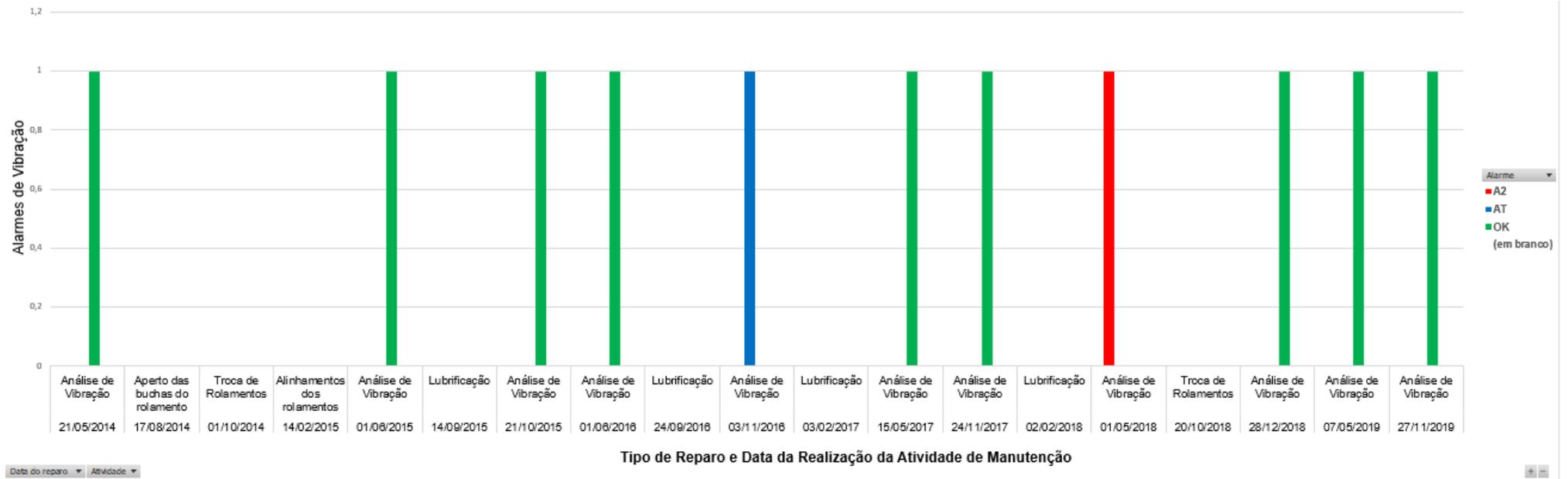


Figura 4-4 - Ventilador Recirculação Fornalha 103 - EX-3114.

No dia 02/02/2018 foi feito o serviço de lubrificação dos rolamentos e em 01/05/2018 a análise de vibrações, que indicou um alarme do tipo A2, que no caso de referia a um desbalanceamento do rotor do ventilador. Cinco meses depois, no dia 20/10/2018 foi feita a troca de rolamentos e lubrificação em uma atividade preventiva. Em 28/12/2018 foi feita uma nova medição de vibrações e o equipamento estava normal. Durante o ano de 2019 não foi feito nenhum reparo emergencial no equipamento e os dois relatórios de vibração indicaram que o equipamento estava normal.

4.1.5 Ventilador Recirculação Fornalha 104: EX-3092

Na Fig 4.5 pode ser visto o gráfico referente ao ventilador de recirculação da fornalha 104. Durante os anos de 2014 e 2015, os relatórios de análise de vibrações não apontaram nenhuma anormalidade. Nesse período, foi feita apenas uma intervenção no equipamento que tinha relação com os rolamentos, no caso, um alinhamento que aconteceu no dia 02/10/2014.

No dia 18/03/2016 houve uma troca de rolamento. Vale ressaltar, que de acordo com o último relatório de análise vibrações, do dia 21/10/2015, o equipamento não possuía nenhuma anormalidade. No dia 01/06/2016 foi feita uma nova análise de vibrações e o alarme foi do tipo A1, no caso, a informação a respeito do motivo do alarme não constava no relatório. No ano de 2017, foi foram feitas as atividades preventivas no equipamento e nos dias 15/05/2017 e 24/11/2017 a análise de vibrações. Nos dois relatórios não foram identificados problemas nos rolamentos, foram identificados desbalanceamentos e esse foi corrigido imediatamente.

Durante todo o ano de 2018 até o dia 07/05/2019 o equipamento não apresentou nenhuma anormalidade. Porém, em 09/09/2019 houve uma troca de rolamentos, isto é, quatro meses após o último relatório de análise de vibrações, que indicou que o equipamento estava em boas condições. No dia 27/11/2019 foi feita uma nova análise e o alarme foi do tipo A2, no caso, se referia a um desbalanceamento.

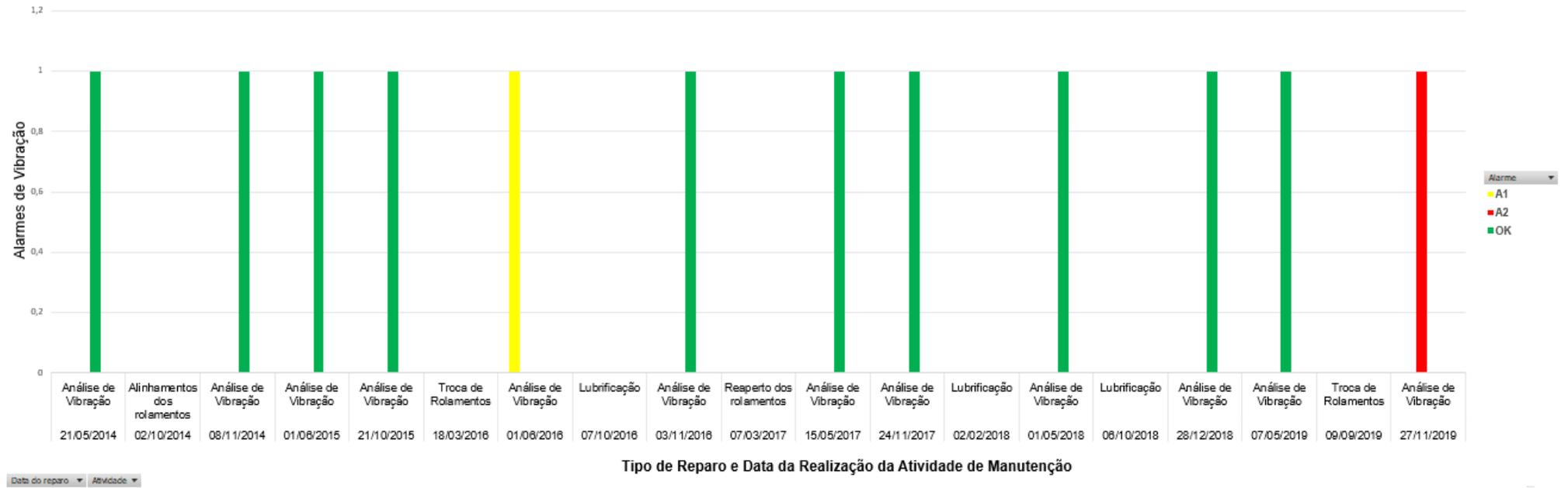


Figura 4-5 - Ventilador Recirculação Fornalha 104 - EX-3092.

4.2 Linha 200 da Secagem

4.2.1 Ventilador Recirculação Fornalha 201: FA-3164

Na Fig 4.6 pode ser visto o gráfico referente ao ventilador de recirculação da fornalha 201. No ano de 2014 foram feitas duas análises de vibrações, uma no dia 22/05/2014 e a outra no dia 08/10/2014, nos dois casos o equipamento estava normal. Em 25/05/2015 foi feita a lubrificação dos rolamentos e em 01/06/2015 uma nova medição de vibração, que apontou um alarme do tipo A2, no caso, o problema identificado foi um desbalanceamento do rotor. No dia 30/09/2015 foi feita uma troca de rolamentos e na análise do dia 21/10/2015 o equipamento estava normal.

Durante os anos de 2016 e 2017 não foram feitas nenhuma troca de rolamentos e as análises de vibrações não mostraram nenhum problema nos equipamentos.

No dia 01/05/2018, o relatório de análise de vibrações apontou um alarme do tipo A2, que se referia a um desbalanceamento do rotor do ventilador, que foi corrigido imediatamente. Até o dia da segunda análise de vibrações, não houve nenhuma intervenção no equipamento. O relatório de medição de vibrações do dia 28/12/2018 apontou novamente um alarme do tipo A2, o problema identificado mais uma vez foi o desbalanceamento do rotor do ventilador. O problema foi corrigido, de acordo com o laudo da empresa responsável pelas análises. No dia 28/03/2019 foi feita a troca de rolamentos em uma atividade preventiva. No dia 07/05/2019 foi feita a análise de vibrações e o equipamento estava normal. Já na análise do dia 28/11/2019, mais uma vez foi identificado que o rotor do ventilador estava desbalanceado.

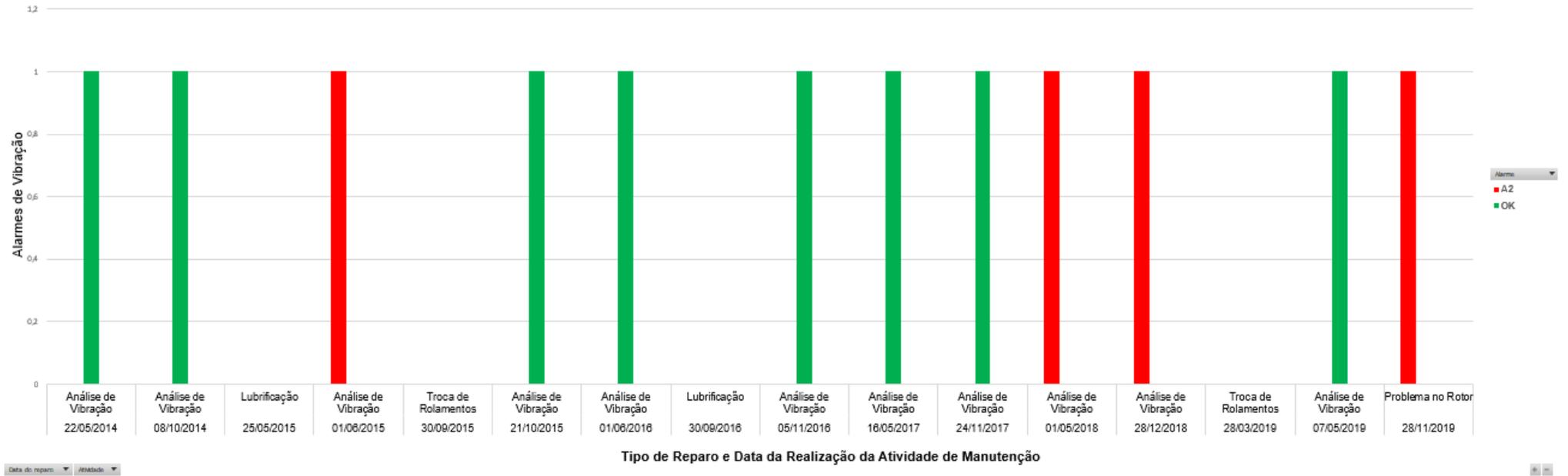


Figura 4-6 - Ventilador Recirculação Fornalha 201 - FA-3164.

5 Propostas

Neste capítulo é apresentado outro resultado do projeto de graduação, além das análises feitas no capítulo anterior, são apresentadas propostas de melhorias do sistema de manutenção da Corteva Agriscience.

Com base nas análises do capítulo 4, pode-se perceber que atualmente não há um plano de manutenção preditiva na Corteva Agriscience Unidade Formosa Goiás, pois a análise de vibração realizada a cada seis meses não causa impactos na rotina de manutenção. O que há é um plano de manutenção preventiva que inclui análise de vibração. A filosofia da manutenção preventiva é muito bem aplicada na empresa, mas a prática da manutenção preditiva ainda precisa evoluir.

Por motivos da planta ser sazonal, com duas safras no ano, com uma produção em torno de 60 dias de dezembro a fevereiro e outra de 120 dias que vai do final de maio ao início de outubro, existe uma necessidade em trazer as atividades de manutenção para o período entressafra para evitar paradas durante a safra.

Para melhor análise do plano de manutenção, foram levantados os gráficos de Pareto dos setores secador 100, 200 e 300 e aquecedor com o objetivo de apresentar as principais causas de falhas nesses setores.

Pela análise dos gráficos das Fig. (5.1), (5.2), (5.3) e (5.4) é possível notar que os principais problemas nesses setores possuem relação com desgastes, falta de lubrificação, desbalanceamento e desalinhamento. O gráfico de Pareto dos ventiladores dos secadores 100 e 200 são semelhantes (Fig. 5.1 e 5.2), pois os equipamentos dos dois setores apresentam características em comum, tais como: condições de trabalho, tipo de rolamento e configuração do equipamento. Percebe-se também que, tradicionalmente, os problemas mais comuns são de desalinhamento e desbalanceamento, justamente porque esses equipamentos trabalham sobrecarregados. Tais problemas desencadeiam outros fenômenos que resultam no desgaste de certos componentes, como: chavetas, eixos, rolamentos, polias, mancais e correias. Problemas com rolamento danificado não aparecem com tanta frequência no gráfico, pois na empresa há uma política de se trocar o rolamento na entressafra assim que é detectado algum alarme, essa medida é tomada para evitar paradas no período de safra, pois o custo de troca de rolamento é muito inferior ao de um equipamento parado, mesmo que por um curto período de tempo.

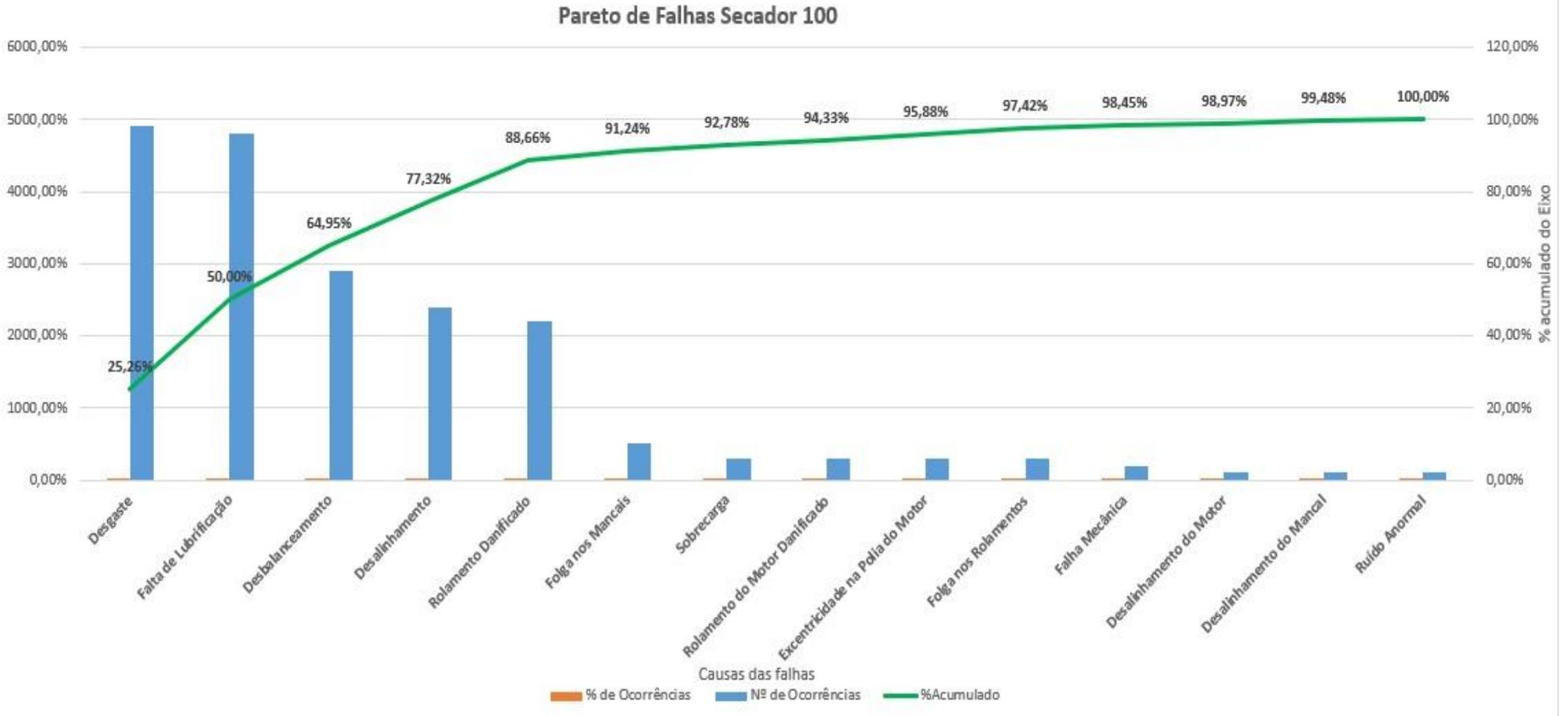


Figura 5-1 - Pareto de Falhas do Secador 100.

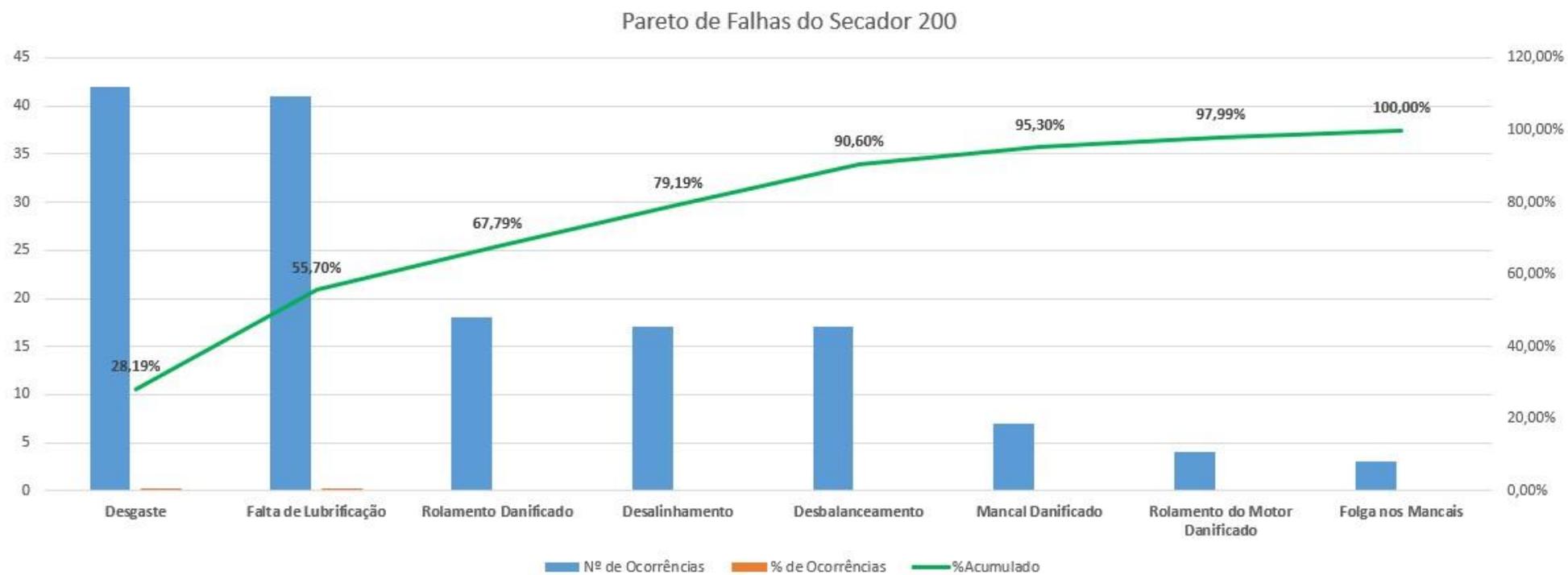


Figura 5-2 - Pareto de Falhas do Secador 200.

Já os equipamentos do da linha de secagem 300 e o aquecedor, não trabalham sobrecarregados, isto é, eles não trabalham em 100% da sua capacidade. Embora problemas de desalinhamento, desbalanceamento e falha de rolamentos sejam os mais relevantes no gráfico de Pareto (Fig. 5.3 e 5.4), eles não aconteceram com tanta frequência no período de 2014 a 2019. Com base nas informações levantadas, ou seja, o histórico de reparos e os alarmes de análise de vibrações, esses equipamentos não demonstraram grande relevância para esse estudo, pois não são equipamentos muito carregados. Por outro lado, os ventiladores de combustão e recirculação trabalham em 100% da sua capacidade.

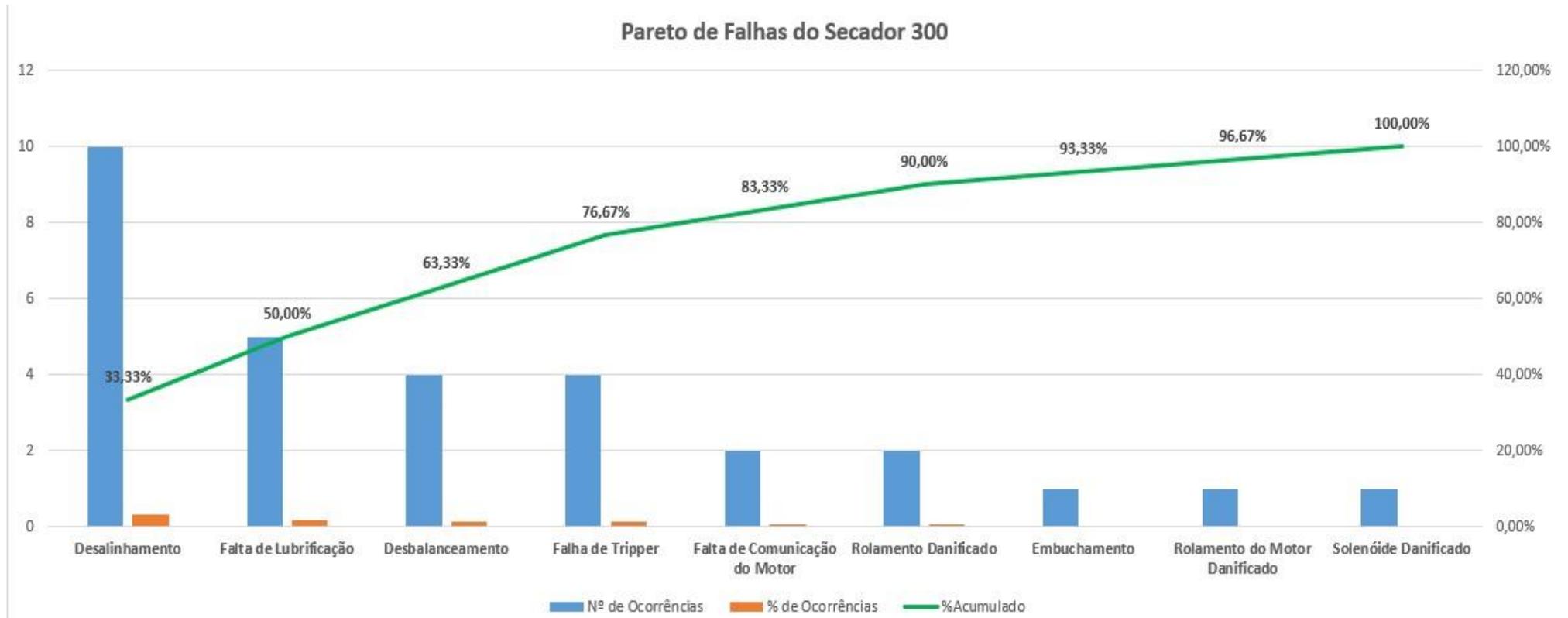


Figura 5-3 - Pareto de Falhas do Secador 300.

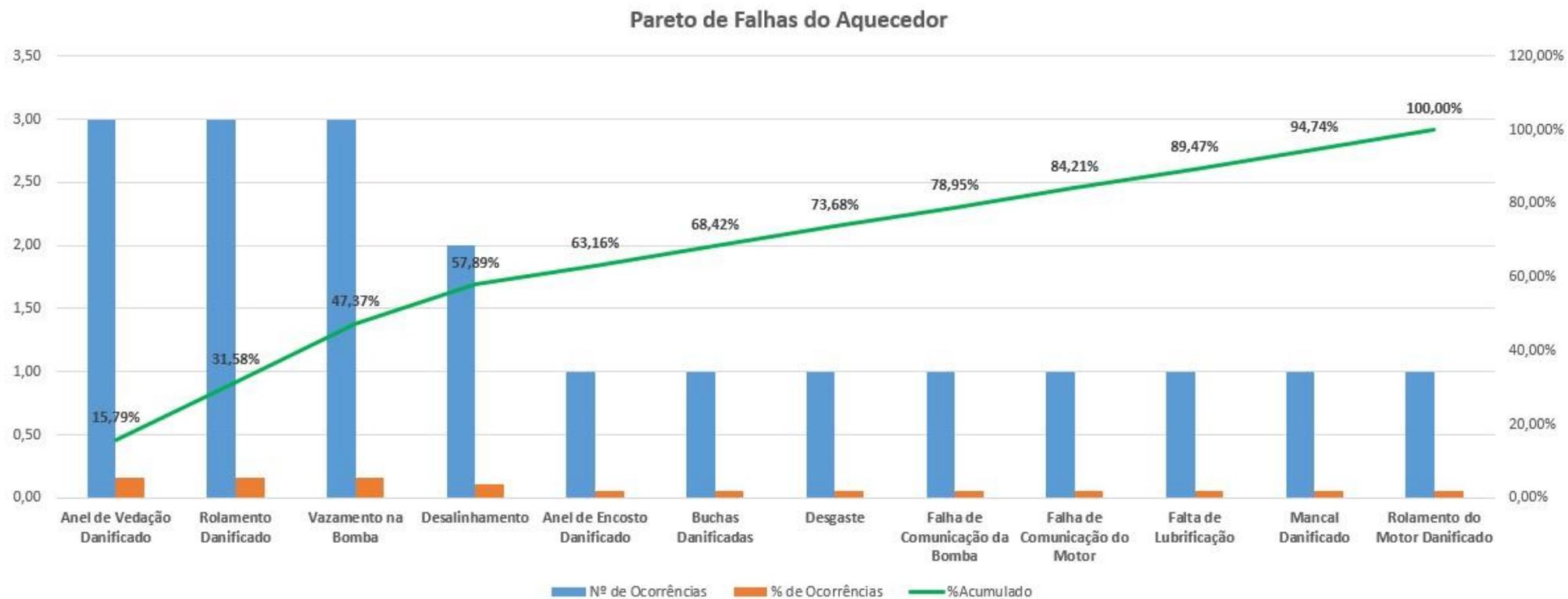


Figura 5-4 - Pareto de Falhas do Aquecedor.

Para que a manutenção preventiva funcione, sugere-se duas propostas: ter uma equipe interna especializada para realizar a análise de vibração ou expandir o contrato de manutenção preditiva com uma empresa externa.

5.1 Proposta 1: Equipe Interna Especializada em Manutenção Preditiva

Considerando a hipótese da Corteva Agriscience, unidade Formosa-GO desejar criar uma equipe interna para manutenção preditiva, uma solução é a implantação de um plano de manutenção preditiva com base nos seguintes passos:

- 1 Levantar a relação de equipamentos da planta;
- 2 Determinar a criticidade dos equipamentos: A, B ou C (seção 2.2);
- 3 Adquirir equipamentos e softwares para coleta e análise de vibrações;
- 4 Contratar mão de obra especializada para o serviço;
- 5 Coletar os dados técnicos dos equipamentos e criar banco de dados no software do coletor;
- 6 Definir os parâmetros de alarme das vibrações;
- 7 Determinar a periodicidade das medições 8 Coletar e analisar as vibrações.

Os equipamentos que fariam parte do plano de manutenção preditiva seriam os ventiladores de combustão e recirculação dos secadores 100 e 200, pois eles trabalham sobrecarregados, e de acordo com a análise de Pareto, esses equipamentos possuem uma maior tendência a apresentar problemas relacionados a desbalanceamento e desalinhamento, que desencadeiam uma série de problema na máquina e comprometem o seu funcionamento. Na matriz de criticidade da empresa, os ventiladores de combustão e recirculação dos secadores 100 e 200, apresentam criticidade nível A, pois no período de safra a planta funciona sete dias por semana, vinte e quatro horas. Esses equipamentos trabalham constantemente sobrecarregados e a quebra de um equipamento pode atrasar o processo de secagem dos grãos de milho e diminuir a produção.

Com base nas necessidades da empresa e na criticidade dos equipamentos, sugere-se a aquisição de um coletor de vibrações como, por exemplo, Vibracon Smart CMVC 5000-K (Figura 5.5) da SKF ou similar. O Vibracon Smart SKF possui um software de gestão e configuração que permite a criação de rotas e faz a gestão de todos os dados coletados, apresentando gráficos e tabelas, além de gerar relatórios

automáticos destacando quais equipamentos precisam de uma atenção especial. O equipamento possui a capacidade de armazenar as coletas e sincronizar os valores com o computador, criando um histórico de manutenção de cada uma das máquinas monitoradas. Além disso, o Vibracon Smart realiza todas as medições necessárias para acompanhar a evolução das falhas, desbalanceamentos e desalinhamentos dos ventiladores dos secadores, tais como medidas em G, mm/s, G pico a pico, envelope e deslocamento. O valor do Vibracon Smart SKF no dia 29/04/2021 era de R\$ 38.625,40.



Figura 5-5 - Vibracon Smart CMVC 5000-K.

Fonte: SKF (2021)

Para realizar o monitoramento da vibração nos equipamentos é necessário um profissional especializado que domine os conceitos fundamentais de vibração, que tenha conhecimento em aquisição de dados, processamento de sinais, que saiba analisar as condições de máquinas por análise de vibrações e de fornecer diagnósticos de problemas mecânicos com base em análise de vibrações. Em geral, os cursos de monitoração de vibração em máquinas e equipamentos não são comuns em cursos de engenharia, mas são oferecidos por instituições privadas e empresas, como a SKF.

Analisando as documentações das máquinas, foram levantados os rolamentos que são utilizados nos ventiladores de combustão e recirculação analisados nesse projeto de graduação, e identificou-se, com base nas informações do fabricante, as frequências de defeito, calculadas utilizando-se a ferramenta "SKF Bearing Select", que utiliza as equações seção 2.4.2 desse trabalho para realizar os cálculos e que são apresentadas na Tab. 10. As siglas f_{BPFO} , f_{BPFI} e f_{BSF} representam, respectivamente, frequência de falha na pista externa, frequência de falha na pista

interna e frequência de falha dos elementos rolantes. A equipe de inspeção de vibração deverá monitorar a amplitude de vibração associada às frequências da Tab. 10.

Tabela 10 - Frequências de falhas dos ventiladores de recirculação e combustão das fornalhas 100 e 200.

Equipamento	Debalanceamento (Hz)	Desalinhamento (Hz)	f_{BPFO} (Hz)	f_{BPF1} (Hz)	f_{BSF} (Hz)
Vent. Recirculação Forn. 101	30,10	60,20	244,28	327,01	201,86
Vent. Recirculação Forn. 102	30,10	60,20	244,28	327,01	201,86
Vent. Recirculação Forn. 103	30,10	60,20	244,28	327,01	201,86
Vent. Recirculação Forn. 104	30,10	60,20	244,28	327,01	201,86
Vent. Combustão Forn. 101	38,63	77,27	198,94	302,85	178,41
Vent. Combustão Forn. 102	38,63	77,27	198,94	302,85	178,41
Vent. Combustão Forn. 103	38,63	77,27	198,94	302,85	178,41
Vent. Combustão Forn. 104	38,63	77,27	198,94	302,85	178,41
Vent. Recirculação Forn. 201	24,80	49,60	201,38	269,58	166,41
Vent. Recirculação Forn. 202	24,80	49,60	201,38	269,58	166,41
Vent. Recirculação Forn. 203	24,80	49,60	201,38	269,58	166,41
Vent. Recirculação Forn. 203	24,80	49,60	201,38	269,58	166,41
Vent. Combustão Forn. 201	33,57	67,14	172,83	263,11	155,04
Vent. Combustão Forn. 202	33,57	67,14	172,83	263,11	155,04
Vent. Combustão Forn. 203	33,57	67,14	172,83	263,11	155,04
Vent. Combustão Forn. 204	33,57	67,14	172,83	263,11	155,04

Os parâmetros de alarme devem ser definidos com base nas normas VDI 2056 e ISSO 10816-1 (1995). Com base na seção 2.4.1, os ventiladores de combustão dos secadores 100 e 200 são classificados como classe I e os ventiladores de recirculação são classe II.

Os critérios de avaliação de rolamentos utilizando a técnica de envelope estabelecidos pela SKF podem ser utilizados conforme a tabela da Fig. (11). Com base na rotação dos ventiladores, tanto os ventiladores de combustão como os de recirculação devem ser avaliados conforme o filtro 3.

Tabela 11 - Critérios de avaliação de rolamentos conforme a SKF, utilizando a técnica de envelope.

FILTRO	BANDA DE FREQ.	FAIXA DE ROTAÇÃO	FAIXA DE ANÁLISE	ALARME A1 [g]	FALHA A2 [g]
1	5 - 100 Hz	0 - 50 RPM	0 - 10 Hz	0,01	0,05
2	50 - 1k Hz	25 - 500 RPM	0 - 100 Hz	0,3	0,5
3	500 - 10k Hz	250 - 5k RPM	0 - 1k Hz	4	10
4	5k - 40k Hz	> 2500 RPM	0 - 10k Hz	10	25

Quanto ao status do equipamento, pode-se utilizar os seguintes códigos de letras conforme a ISO 10816-1 (1995):

- A: o equipamento está em estado normal;
- B: Atenção - registro de observações;
- C: Alarme A1 - tendência linear crescente;
- D: Alerta A2 - Tendência em evolução exponencial

Quanto as prioridades, sugere-se a seguinte classificação:

- EMERGÊNCIA (D): o problema deve ser imediatamente comunicado para responsável pela programação das atividades de manutenção e a intervenção no equipamento deve ser realizada o mais rápido possível;
- ALERTA (C): deve-se programar a realização da manutenção no prazo de 30 dias da comunicação do problema, podendo ser prorrogado para ser realizado com base nas necessidades da empresa;
- OBSERVAÇÃO (B): indica algum tipo de anormalidade: equipamento parado, início de falhas em rolamentos, questões de segurança, picos de frequência que possam estar relacionados a frequência de algum componente, anormalidade que possam demandar outros tipos de estudo;
- NORMAL (A): o equipamento apresenta níveis de vibração dentro dos limites permitidos e não requer nenhum tipo de intervenção.

A periodicidade das análises de vibrações devem ser mensal no período de safra, ou se aparecer um nível de alarme, a periodicidade deve ser aumentada, de forma que se garanta que no período da safra não comprometa o funcionamento dos ventiladores e, conseqüentemente, a linha de produção.

Com base nessas informações, é possível que sejam colocadas e analisadas as informações sobre a análise de vibração e definidas as atitudes que devem ser tomadas para garantir a produtividade.

5.2 Proposta 2: Contrato de Manutenção Preditiva com uma Empresa Especializada

Considerando a hipótese da Corteva Agriscience optar por não ter uma equipe interna de manutenção preditiva, uma outra alternativa seria expandir o contrato de manutenção preditiva com uma empresa especializada.

Considerando a quantidade de equipamentos críticos, a demanda e o período da safra, as atividades de manutenção preditiva ficariam pré agendadas anualmente e no período de safra. Os equipamentos mais críticos, os ventiladores de combustão e recirculação dos secadores 100 e 200, seriam acompanhados mensalmente no período de safra. No caso, as medições sempre seriam realizadas no início de cada mês para identificar uma possível necessidade de troca de rolamentos ou de realizar algum balanceamento ou alinhamento, já que são necessidades comuns nesses equipamentos. E os equipamentos do secador 300, aquecedor, debulha e classificação, continuariam seguindo o atual modelo de medição de vibração semestral, já que tais equipamentos não apresentam com frequência falhas que tenham relação com vibração mecânica.

Além disso, sugere-se incluir outras técnicas de manutenção preditiva na empresa, no quesito de que outros equipamentos que também se enquadram em uma necessidade de manutenção preditiva que um contrato poderia ajudar, por exemplo, análise termográfica, para inspecionar conexões elétricas, transformadores, subestações, identificar anomalias térmicas em rotores e acoplamentos, visto que deficiência de contato nos componentes, corrosão e oxidação, distribuição de carga ou defeitos em componentes, são problemas comuns nesses equipamentos; detector de ruído ultrassônico, que serviriam para identificar efeito corona e descargas parciais em subestações, painéis ou transformadores e identificar vazamento de fluidos e gases, esse último muito comum em válvulas pneumáticas na torre de classificação da Corteva Agriscience; análise de líquido penetrante para identificar rachaduras em tubulações do depósito de químicos da empresa.

6 Conclusões

Pelo apresentado, pode-se concluir que como o trabalho foi elaborado com o objetivo de analisar os procedimentos de manutenção das máquinas rotativas da Corteva Agriscience - Unidade Formosa, com o intuito de identificar os processos que constituem o programa de manutenção da empresa, analisar possíveis gargalos relacionados aos processos de manutenção e avaliar melhorias a serem incluídas no plano de manutenção vigente, os objetivos pretendidos foram atingidos.

Com base nos relatórios de análise de vibrações e no histórico de reparos dos equipamentos, pode-se concluir que não há um plano de manutenção preditiva na empresa. O que há é um plano de manutenção preventiva, muito bem definido, que inclui a análise de vibrações que ocorre semestralmente. Percebeu-se também, que mesmo com a medição de vibração, alguns equipamentos necessitaram de manutenção emergencial no período de safra, principalmente os ventiladores de combustão e recirculação dos secadores 100 e 200. A partir das informações coletadas, notou-se que a filosofia de manutenção preditiva empregada atualmente, não é suficiente para garantir a disponibilidade dos ventiladores de combustão e recirculação dos secadores 100 e 200. Além disso, com base nos gráficos de Pareto do capítulo 5, conclui-se que os principais problemas nesses equipamentos tem relação direta com vibração mecânica e que esses equipamentos precisam de um acompanhamento mais frequente de análise de vibração.

Nesse sentido, foram sugeridas duas propostas de melhoria para a manutenção preditiva na Corteva Agriscience, uma delas seria a implantação de uma equipe interna de inspeção e análise de vibrações mecânicas e a outra seria expandir o contrato de análise de vibrações com uma empresa especializada, no caso, nesse novo contrato, os ventiladores de combustão e recirculação dos secadores 100 e 200 teriam um acompanhamento mensal durante o período de safra, já para os outros equipamentos não haveria alteração na periodicidade das medições de vibração. Além disso, sugeriu-se incluir outras técnicas de manutenção preditiva que podem ser úteis em outros equipamentos da empresa que demonstram uma certa necessidade, tais como: análise termográfica, detecção de ruído ultrassônico e análise de líquido penetrante.

Espera-se que o presente relatório de Projeto de Graduação seja aproveitado pela Corteva Agriscience na melhoria de seus programas de manutenção. A realização desse trabalho contribuiu muito com a formação do autor em Engenharia Mecânica.

Tendo interesse da Corteva Agriscience em continuar os estudos de manutenção preditiva, pode-se avaliar a possibilidade de implantação de outras

técnicas de manutenção preditiva na empresa. Tal aspecto não foi estudado profundamente no complemento da proposta dois desse trabalho, mas em um trabalho futuro pode ser continuado.

Referências

ABNT. *NBR 7497 - Vibrações Mecânicas e Choques*. [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, 1982.

ABNT. *NBR 5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade*. [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, 1994.

ADYLES, A. J. *Manutenção Preditiva Usando Análise de Vibrações*. São paulo: Ed. Manole Ltda, 2004. 190 p.

BARKOV, A.; BARKOVA, N.; MITCHELL, J. **Condition assessment and life prediction of rolling element bearing-part 1**. Sound and Vibration, p. 10–17, 1995.

CORTEVA AGRISCIENCE. *Quem é a Corteva Agriscience*. 2020. Disponível em: <<https://www.corteva.com.br/quem-somos/nossa-fusao.html>>. Acesso em: 27 março 2020.

DB PRÜFTECHNIK. *Produtos e Serviços*. 2020. Disponível em: <<https://www.pruftechnik.com/pt-BR/Produtos-e-servi%C3%A7os/Sistemas-de-Monitoramento-de-Condi%C3%A7%C3%B5es/An%C3%A1lise-de-Vibra%C3%A7%C3%A3o-e-Balanceamento/Analísadores-de-vibra%C3%A7%C3%A3o/VIBSCANNER-2/>>. Acesso em: 25 abril 2020.

ENGETELES. *Falhas em Rolamentos e Suas Causas*. 2020. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/falhas-em-rolamentos/>>. Acesso em: 06 junho 2020.

FERREIRA, L. *Implementação da Central de Ativos para Melhor Desempenho do Setor de Manutenção: um estudo de caso Votorantim Metais*. Juiz de Fora: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009. 60 p.

ISO. *Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts ISO 10816-1*. [S.l.]: International Standard - ISO, 1995.

MECATREINO. *Componentes dos Rolamentos*. 2020. Disponível em: <https://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/47218/mod_resource/content/0/CD-rom/Estudo/Mecanica/E_-_Rolamentos/frame_2.htm>. Acesso em: 06 junho 2020.

MEREO. *TPM Manutenção Produtiva Total: conheça os pilares da manutenção*. 2017. Disponível em: <<https://mereo.com/blog/conheca-um-pouco-mais-sobre-manutencao-produtiva-total-tpm/#:~:text=A%20TPM%20Manuten%C3%A7%C3%A3o%20Produtiva%20Total>,>

equipamentos%20no%20decorrer%20do%20processo.> Acesso em: 21 março 2021.

MONCHY, F. **A Função Manutenção: Formação para a gerência da Manutenção.** São Paulo: Ed. Durban, 1987. 424 p.

MORAES, P. **Manutenção Produtiva Total: estudo de caso em uma empresa automobilística.** 2004. Disponível em: <<http://migre.me/4FEPO>>. Acesso em: 21 março 2021.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Measuring Vibration with Accelerometers.** 2019. Disponível em: <<https://www.ni.com/en-us/innovations/white-papers/06/measuring-vibration-with-accelerometers.html>>. Acesso em: 21 maio 2020.

NORTON, M.; KARCZUB, D. **Fundamentals of noise and vibration analysis for engineers.** [S.l.]: Cambridge University Press, 2003.

PIOTROWSKI, J. Shaft alignment handbook. 3ed, 2006.

SKF. **Vibracon Smart CMVC 5000-K.** 2021. Disponível em: <<https://www.compreskf.com.br/p/3051598/coletores-de-dados-de-vibracao-skf-cmvc-5000-k-br-unitario>>. Acesso em: 25 abril 2021.

TD VIBRAÇÕES. **Quem somos.** 2020. Disponível em: <<http://www.tdvibracoes.com.br/index.php/empresa/quem-somos.html>>. Acesso em: 28 março 2020.

TYAGI, S.; PANIGRAHI, S. **An improved envelope detection method using particle swarm optimisation for rolling element bearing fault diagnosis.** Journal of Computation Design and Engineering, p. 305–317, 2017.

XENOS, H. G. D. **Gerenciando a Manutenção Produtiva.** Belo Horizonte: Editora DG, 1998.

Moro, N., & Auras, A. P. (2007). **Introdução à Gestão da Manutenção.** Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Acesso em 2021, disponível em <https://norbertocefetsc.pro.br/downloads/manutencao.pdf>

Anexos

Anexo A - Ordens de Serviço

01.02.2021 NA PM Order MONTEIRO Original Page 1

LANÇADO
03 FEV 2021

Order: 3002583665 Order type: ZPM2 Pioneer Preventative Order
 Description: PM MENSAL VENTILADOR
 ISO-05
 Start date: 01.02.2021 End date: 28.02.2021
 Priority: 3 Medium
 Type: 002 PREVENTIVE MAINTENANCE
 Status: LIB CAPC NOLQ SCDM
 Funct. location: FMA1-010-DRY-DRY1-DRYR SECADOR 100 FORNALHA
 Equipment: 10073468 EX-3044A VENTILADOR COMBUSTÃO 101
 PM planner grp: SHA Any Shift PM plant: FMA1
 Main work center: MAINT-14 /ANDERSON SILVA MARINHO-MECANICO
 Maintenance plan: FMA1-1M-DRY1 Maint. plan item: 120977
 Task List: FMA1BLOW 2
 Object Type: BLOWER, CF
 Notification:

Object	Sub	Control	Damage	Cause	Work	Unit	Initials
Operation	Operation	Key	OperationShort Text				
0010		ZPM1	COMPLETE O PM MENSAL DE VENTILADOR.		0,5	HR	<u>AS</u>
0010	0010	ZPM2	VISUALMENTE INSPECIONE POR FROUXIDÃO		0,0		<u>AS</u>
0010	0015	ZPM2	NAS CORREIAS V, SE APLICAVEL.		0,0		<u>AS</u>
0010	0020	ZPM2	INSPECIONE POR VIBRAÇÕES E BARULHOS		0,0		<u>AS</u>
0010	0025	ZPM2	ANORMAIS.		0,0		<u>AS</u>
0010	0030	ZPM2	ENTRE NOTIF. P/ PROBLEMAS ENCONTRADOS.		0,0		<u>AS</u>

Completed? Y/N Name: Anderson Silva Signature: Anderson Silva Date: 03-02-2021
 Work Duration: 0,5
 Notes: _____

Figura 0-1 - PM Mensal Ventilador EX-3044A

05 MAR 2021

Order: 3002584296 Order type: ZPM2 Pioneer Preventative Order

Description: PM SEMESTRAL VENTILADOR

ISO-09

Anderson Silva / Francisco Patricio

Start date: 01.02.2021 End date: 31.07.2021

Priority: 3 Medium

Type: 002 PREVENTIVE MAINTENANCE

Status: LIB CAPC NOLQ SCDM

Funct. location: FMA1-010-DRY-DRY1-DRYR SECADOR 100 FORNALHA

Equipment: 10073468 EX-3044A VENTILADOR COMBUSTÃO 101

PM planner grp: SHA Any Shift PM plant: FMA1

Main work center: MAINT-0M / MECÂNICO DE MANUTENÇÃO

Maintenance plan: FMA1-6M-FEB Maint. plan item: 120314

Task List: FMA1BLOW 1

Object Type: BLOWER, CF

Notification:

Object Operation	Sub Operation	Control Key	Damage Operation Short Text	Cause Work	Unit Initials
0010		ZPM1	COMPLETE O PM SEMESTRAL DE VENTILADOR.	1,0	HR 03:08
0010	0010	ZPM2	REALIZAR ESTE PM ANTES DA ANALISE DE	0,0	03:08
0010	0015	ZPM2	VIBRAÇÃO.	0,0	03:08
0010	0020	ZPM2	VERIFICAR CONDIÇÕES DAS CORREIAS	0,0	03:08
0010	0025	ZPM2	(TRINCAS, DESGASTE, FOLGA) SE APLICAVEL	0,0	03:08
0010	0030	ZPM2	LUBRIFICAR ROLAMENTOS.	0,0	03:08
0010	0035	ZPM2	VERIFICAR AS LAMINAS DO ROTOR (TRINCAS,	0,0	03:08
0010	0040	ZPM2	AMASSAMENTOS, SUJEIRA)	0,0	03:08
0010	0045	ZPM2	ENTRE NOTIF. P/ PROBLEMAS ENCONTRADOS.	0,0	03:08

Quilometro: 25041,6

Completed? Y/N Name: Anderson Silva Signature: Francisco Patricio Date: 04-03-2021
 Work Duration: 03:08
 Notes: _____

Figura 0-2 - PM Semestral Ventilador EX-3044A

Order: 3002525464 **Order type:** ZPM2 Pioneer Preventative Order
Description: PM ANUAL DE ANALISE DE VIBRAÇÃO [A]
Start date: 01.01.2021 **End date:** 30.06.2021
Priority: 3 Medium
Type: 018 MIQA
Status: LIB IMPR CAPC NOLQ SCDM
Funct. location: FMA1-010-DRY-DRY1-DRYR SECADOR 100 FORNALHA
Equipment: 10073467 EX-3044 VENTILADOR RECIRULAÇÃO 101
PM planner grp: SHA Any Shift **PM plant:** FMA1
Main work center: MAINT-P1 /PPA - MECÂNICA
Maintenance plan: FMA1-1Y-JANU **Maint. plan item:** 122212
Task List: MIQPDYR 15
Object Type: BLOWER, CF
Notification:

Object Operation	Sub Operation	Control Key	Damage OperationShort Text	Cause Work	Unit Initials
0010		ZPM1	COMPLETE ANALISES ANUAIS DE VIBRAÇÃO [A]	2.0	HR _____
0010	0010	ZPM2	A ANÁLISE DA VIBRAÇÃO DEVE SER EXECUTADA	0.0	_____
0010	0015	ZPM2	POR UM TÉCNICO CERTIFICADO DE NÍVEL II.	0.0	_____
0010	0020	ZPM2	ANEXAR A CERTIFICAÇÃO DO TÉCNICO A ESTA	0.0	_____
0010	0025	ZPM2	ORDEM DE SERVIÇO. ANEXAR CÓPIA	0.0	_____
0010	0030	ZPM2	ELETRÔNICA INICIAL DO RELATÓRIO DE	0.0	_____
0010	0035	ZPM2	VIBRAÇÃO A ESTA ORDEM DE SERVIÇO. SE A	0.0	_____
0010	0040	ZPM2	VIBRAÇÃO EXCEDER 0,25 POLEGADA/SEGUNDO	0.0	_____
0010	0045	ZPM2	BALANCEAMENTO DO VENTILADOR É NECESSÁRIO	0.0	_____
0010	0050	ZPM2	O SITE DEVERÁ ENTRAR COM UMA NOTIFICAÇÃO	0.0	_____
0010	0055	ZPM2	PARA O REPARO DE QUALQUER VENTILADOR QUE	0.0	_____
0010	0060	ZPM2	ESTEJA FORA DA TOLERÂNCIA. ANOTAR O	0.0	_____
0010	0065	ZPM2	NÚMERO DA NOTIFICAÇÃO PARA O REPARO NA	0.0	_____
0010	0070	ZPM2	CAIXA DE CONFIRMAÇÃO	0.0	_____
0010	0075	ZPM2	ORDEM DO MIQA DEVE TER CONFIRMAÇÃO FINAL	0.0	_____
0010	0080	ZPM2	APÓS BALANCEAMENTO, REPETIR A ANÁLISE DA	0.0	_____
0010	0085	ZPM2	VIBRAÇÃO DO VENTILADOR E ANEXAR O NOVO	0.0	_____
0010	0090	ZPM2	RELATÓRIO À ORDEM DE SERVIÇO DE REPARO.	0.0	_____

Completed? Y/N Name: _____ Signature: _____ Date: _____
 Work Duration: _____
 Notes: _____

Figura 0-3 - PM Anual do Ventilador EX-3044

Operation	Sub	Control	OperationShort Text	Work	Unit	Initials
			Reset 1 # 00.25			
Rely 2:	Act 2 # L-CL					
	Set 2 # 00.50					
	Reset 2 # 00.25					
	Flsf 1 # On					
	Flsf 2 # On					
	Dlay 1 #On1 # 010					
	Off1 # 010					
	Dlay2 # On2 # 010					
	Off2 # 010					
DOCUMENTE COMO ESTAVA O VALOR DO SET POINT E COMO FICOU O VALOR, NA PLANILHA DE INTEGRIDADE DE ATIVOS.						
0010	0135	ZPM2	VERIFICAR INTERTRAVAMENTO MOTOR DO	0.0		_____
0010	0140	ZPM2		0.0		_____
EXAUSTOR DO SECADOR.VER CAIXA DE TEXTO						
Verificar se o contato auxiliar na partida do motor do exaustor principal funciona como projetado (se instalado). Confirmar se o sistema de segurança atua quando a partida do motor do exaustor principal estiver desenergizado.						
0010	0145	ZPM2	ENTRE NOTIF. P/ PROBLEMAS ENCONTRADOS	0.0		_____

Completed? Y/N Name: _____ Signature: _____ Date: _____
 Work Duration: _____
 Notes: _____

Figura 0-4 - PM Anual de Análise de Vibrações Ventilador EX-3044

Order: 3002526144 Order type: ZPM2 Pioneer Preventative Order
 Description: PM ANUAL VENTILADOR SECADOR
 Start date: 01.01.2021 End date: 26.12.2021
 Priority: 3 Medium
 Type: 002 PREVENTIVE MAINTENANCE
 Status: LIB CAPC NOLQ SCDM
 Funct. location: FMA1-010-DRY-DRY1-DRYR SECADOR 100 FORNALHA
 Equipment: 10073467 EX-3044 VENTILADOR RECIRULAÇÃO 101
 PM planner grp: SHA Any Shift PM plant: FMA1
 Main work center: MAINT-P1 /PPA - MECÂNICA
 Maintenance plan: FMA1-1Y-JANU Maint. plan item: 132974
 Task List: FMA1BLOW 4
 Object Type: BLOWER, CF

Object	Operation	Sub Operation	Control Key	Damage OperationShort Text	Cause Work	Unit Initials
	0010		ZPM1	COMP.TAREF.ANUAL DEVENTILADOR SECADOR	2.5	HR _____
	0010	0010	ZPM2	COMPLETAR CAMPOS EM: INTEGRIDADE DE	0.0	_____
	0010	0015	ZPM2	ATIVOS AJUSTADO PARA A FOLHA DE SERVIÇO.	0.0	_____
	0010	0020	ZPM2	COLOCAR CADEADO DE SEGURANÇA E SEGUIR	0.0	_____
	0010	0025	ZPM2	O PROCEDIMENTO DE ENTRADA DE ESPAÇO	0.0	_____
	0010	0030	ZPM2	CONFINADO. LIMPAR ROTOR E VENTURI.	0.0	_____
	0010	0035	ZPM2	INSPECIONAR SOLDAS RACHADAS OU OUTROS	0.0	_____
	0010	0040	ZPM2	SINAIS DE DESGASTE OU FADIGA. UTILIZE	0.0	_____
	0010	0045	ZPM2	TÉCNICAS AVANÇADAS DE INSPEÇÃO	0.0	_____
	0010	0050	ZPM2	(EX. MAGNAFLUX OU SIMILAR),	0.0	_____
	0010	0055	ZPM2	QUANDO APROPRIADO.	0.0	_____
	0010	0060	ZPM2	SE NECESSÁRIO APLICAR TINTA ANTIFERRUGEM	0.0	_____
	0010	0065	ZPM2	VERIFICAR A MONTAGEM DO VENTILADOR,	0.0	_____
	0010	0070	ZPM2	PARAFUSOS, ROLAMENTOS E TROCAR PARAFUSOS	0.0	_____
	0010	0075	ZPM2	SOLTOS OU COM SINAIS DE DESGASTE.	0.0	_____
	0010	0080	ZPM2	VERIFICAR A TENSÃO DA CORREIA	0.0	_____
	0010	0085	ZPM2	VERIFICAR O ALINHAMENTO DA POLIA	0.0	_____
	0010	0090	ZPM2	TENSÃO E ALINHAMENTO. VER CAIXA DE TEXTO	0.0	_____
				VERIFICAR A TENSÃO DA CORREIA COM UM		
				EQUIPAMENTO DE PRECISÃO PARA VERIFICAR O		
				TENSIONAMENTO DA CORREIA.		
				A VERIFICAÇÃO DEVE SER CONDUZIDA COM UM		
				MEDIDOR DE DEFLEXÃO DE FORÇA OU UM		
				MEDIDOR DE TENSÃO SONIC.		
				TENSIONAMENTO DA CORREIA		
				UM TENSIONAMENTO NA CORREIA		
				INAPROPRIADO, ESPECIALMENTE NAS CORREIAS		
				MUITO APERTADAS, OCASIONAM UM DESGASTE E		
				ESTRESSE ADICIONAL NOS ROLAMENTOS,		
				LEVANDO A FALHA.		
				AJUSTAR O TENSIONAMENTO DAS CORREIAS		
				CONFORME ESPECIFICAÇÃO DO FABRICANTE.		
	0010	0095	ZPM2	LUBRIFICAR CORRETAMENTE OS ROLAMENTOS DO	0.0	_____
	0010	0100	ZPM2	MOTOR E VENTILADOR - CONFORME	0.0	_____
	0010	0105	ZPM2	ESPECIFICAÇÕES DO FABRICANTE.	0.0	_____
	0010	0110	ZPM2	COMPLETAR PM ANALISES ANUAIS DE VIBRAÇÃO	0.0	_____
	0010	0115	ZPM2	SE INSTALADO, FAZER TESTE E VERIFICAÇÃO	0.0	_____
	0010	0120	ZPM2	DOS PROCEDIMENTO PARA SENSORES DE	0.0	_____
	0010	0125	ZPM2	VIBRAÇÃO DO VENTILADOR. VER CAIXA DE	0.0	_____
	0010	0130	ZPM2	TEXTOS PARA PROCEDIMENTO DETALHADO	0.0	_____

Figura 0-5 - PM Anual Vibrações Ventilador EX-3044