



GABRIEL VIEL E GUILHERME LUZ BOTELHO COELHO

**MONITORAMENTO DA VIBRAÇÃO DE ROLAMENTOS DE
MÁQUINAS NA MANUTENÇÃO PREDITIVA EM USINA
ALGODOEIRA**

**LAVRAS – MG
2022**

GABRIEL VIEL E GUILHERME LUZ BOTELHO COELHO

**MONITORAMENTO DA VIBRAÇÃO DE ROLAMENTOS DE MÁQUINAS
NA MANUTENÇÃO PREDITIVA EM USINA ALGODOEIRA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador

Prof. Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz

**LAVRAS – MG
2022**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente um ao outro, pois nós sabemos e valorizamos todos os dias de suor, garra, persistência e luta ao longo do estágio realizado juntos, e o apoio mútuo foi fundamental para concluir essa etapa em nossas vidas, que contribuiu com tantos aprendizados e desenvolvimento pessoal.

Agradecemos aos familiares e amigos que sempre estiveram ao nosso lado, nos dando apoio incondicional e incentivando nossa busca por conhecimento ao longo de nossa jornada acadêmica.

A Universidade Federal de Lavras e aos docentes do curso de Engenharia Agrícola, em especial ao Professor e Dr. Gabriel, por nos ajudar nessa etapa tão importante, e estar sempre solícito e atencioso na elaboração deste trabalho, bem como nas aulas ministradas durante o curso.

Aos núcleos de estudo e empresas juniores envolvidos, que foram fundamentais em nossas trajetórias, permitindo obter outras visões e experiências extracurriculares, e que fomentou o interesse e vontade de atuar na área.

RESUMO

Em usinas e empresas com altos processos produtivos, se torna indispensável a realização de uma boa manutenção preditiva dos equipamentos, a fim de manter uma boa produção e principalmente, determinar a necessidade de manutenção, evitando assim máquinas paradas, desmontagens desnecessárias e conseqüentemente prejuízos econômicos para a empresa. Nesse tipo de manutenção, comumente são avaliados fatores incisivos no funcionamento da máquina, tais como análise de vibração, temperatura, análise de óleo, dentre outros. Em usinas de beneficiamento de algodão, o grande número de máquinas exige um acompanhamento constante de fatores que influenciam na alta produtividade da usina. O presente trabalho busca realizar o monitoramento e análise de vibrações em rolamentos de ventiladores para transporte, demonstrando assim uma faixa de valores ideais para trabalho. Através da manutenção preditiva torna-se possível detectar anomalias, evitando-se maiores problemas no processo produtivo, aliada aos custos finais de produção e horário de máquinas em funcionamento, sendo o custo de implementação do medidor para o monitoramento de vibrações apenas uma fração do custo de indisponibilidade do maquinário.

Palavras-chave: manutenção preditiva; análise de vibração; usina de beneficiamento de algodão; rolamentos; ventilador de transporte.

ABSTRACT

Companies and industries with intensive production processes rely on predictive maintenance techniques to reduce machinery wear, reach better production rates, lower machinery downtime and disassembly, and economic losses for the company. This maintenance technique validates important factors for a properly functioning machine, such as vibration analysis, temperature, oil analysis, and others. The high number of machines on cotton ins demand monitoring to achieve greater productive numbers. The monitoring and analysis of bearing vibration from transport fans is described in this work, setting a range for ideal working conditions, allowing the maintenance team to detect anomalies and avoid downtime in the process, correlating the importance of predictive maintenance with production costs and machinery availability, with the cost of the vibration meter only a fraction of the machinery downtime cost.

Keywords: predictive maintenance; vibration analysis; cotton processing plant; bearings; transport fan.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Tipos de manutenção	5
Figura 2 - Resultados x Tipos de manutenção.....	7
Figura 3- Carga Axial e Radial.....	9
Figura 4 - Tipos de rolamento.	9
Figura 5- Tipos de rolamentos detalhados.....	10
Figura 6 - Dano à superfície de rolamento devido a escorregamento.	12
Figura 7- Rolamento contaminado com líquidos.	13
Figura 8 - Descascamento da superfície do rolamento.....	13
Figura 9 - Formulário de coleta de dados.	14
Figura 10 - Planilha de dados.	14
Figura 11 - Posição do ponto de medição de vibração.	15
Figura 12 - Ilustração do medidor de vibração MVA-400	16
Figura 13 - Limites Das Zonas De Vibração.	17
Figura 14 - Ventilador Da Fibrilha	20
Figura 15 - Velocidade do rolamento esquerdo do ventilador da fibrilha.....	20
Figura 16 - Aceleração dos rolamentos do ventilador da fibrilha	21
Figura 17 - Especificações do rolamento 22217 EK.	22
Figura 18 - Desgaste dos rolos do rolamento 22217 EK.....	22
Figura 19 - Avaria no anel externo do rolamento 22217 EK	23
Figura 20 - Detecção de problemas com métodos de inspeção.....	25
Figura 21 - Gráfico de tipo de problema em função de horas de reparo.	26
Figura 22 - Proporção de gastos mensais.	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO.....	2
3	REFERENCIAL TEÓRICO	3
3.1	Histórico de manutenção	3
3.2	Tipos de manutenção	4
3.3	Manutenção preditiva em detalhes	5
3.4	Custo de manutenção em usinas algodoeiras	8
3.5	Rolamentos	8
3.6	Problemas comuns em rolamentos	11
4	MATERIAL E MÉTODOS	13
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
6	CONCLUSÕES.....	28
7	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

Em tempos onde a alta produtividade e a qualidade de produtos ditam as regras em fábricas e usinas, a manutenção preditiva torna-se uma das principais ferramentas no processo produtivo, contribuindo com uma alta eficiência das máquinas, mantendo padrões de qualidade, reduzindo custos operacionais e evitando máquinas paradas que podem vir a trazer grandes prejuízos para empresas.

Na cotonicultura, o pós processamento pelas usinas de beneficiamento de algodão é uma das etapas mais importantes do processo produtivo, pois é ele quem determinará a qualidade do produto final exigida pelo mercado. Assim, é de extrema importância o acompanhamento de cada processo, extraindo o máximo de eficiência e produtividade das máquinas.

No Brasil, o primeiro grande produtor foi o Maranhão, que em 1760, exportou para a Europa suas primeiras sacas do produto (BELTRÃO, 2003). Atualmente, grande parte da produção está concentrada nos estados de Mato Grosso, Bahia e Goiás. Desde o início do ano 2000, o cultivo do algodoeiro no Brasil vem se deslocando para a região Centro-Oeste, deixando os estados do Paraná e São Paulo. O cerrado do Brasil Central é caracterizado por uma topografia propícia à mecanização dos cultivos (BELOT, 2014), conseguindo-se assim altos números de produtividade e ganhos expressivos. Desta forma, em empresas com alta produção, pequenos detalhes fazem toda a diferença nos números finais, e a não adoção de uma manutenção preditiva pode trazer consequências nos resultados finais do processo produtivo, tais como: a queda na qualidade de produção, já que o desempenho de máquinas está diretamente relacionado com a qualidade do produto; queda na produtividade, que pode ser explicada pelo desgaste de máquinas e pequenos defeitos nos componentes da mesma e prejuízos econômicos, que podem se manifestar de diversas formas, entre elas, custos de reparos às máquinas, hora extra de funcionários e até acidentes de trabalho.

A prática da manutenção preditiva pode não ser bem aceita pelas empresas e gestores, por exigir um investimento/capital inicial alto, dificultando a implantação dessas medidas, preferindo-se, muitas vezes, a realização apenas das manutenções corretivas.

A manutenção preditiva caracteriza-se por conseguir prever a deterioração do equipamento, prevenindo as falhas por meio do monitoramento dos parâmetros principais (MOUBRAY,

1996). Um aspecto importante deste tipo de manutenção é que não exige que a máquina esteja parada para realizar o monitoramento e coleta de informações sobre o estado da máquina, que vão servir de base para a tomada de decisões acerca do que deverá ser feito.

Existem diferentes técnicas de manutenção preditiva em usinas algodoeiras, tais como análise de óleo, no qual o óleo é destinado a um laboratório de análise, e de acordo com resultados, é possível saber o estado do mesmo, se há oxidação, água, partículas, dentre outros fatores avaliados. Outra técnica comum em usinas é a da termografia, que visa avaliar a temperatura emitida pelo maquinário através de um sensor térmico, dando indícios de irregularidades ou mau funcionamento dos equipamentos.

As práticas de manutenção preditiva tendem a trazer bons números para a empresa a longo prazo. Pode-se citar, como algumas vantagens: um maior controle sobre fatores diretos, no dia a dia das usinas, tais como um maior controle e eficiência das máquinas, resultando em uma maior produtividade, padronização da qualidade de produtos, redução de horas de máquinas paradas, dentre outros.

O presente trabalho abordará a manutenção preditiva através da análise de vibração de rolamentos e mancais, técnica essa muito utilizada no dia a dia das usinas. Através de um sensor, são feitas leituras da taxa de vibração dos componentes móveis das máquinas, podendo detectar rolamentos deteriorados, desgaste de rolamento e engrenagens, falta de lubrificação, desalinhamento, etc.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo de mostrar o quão benéfico é a prática da manutenção preditiva, realizando o monitoramento e acompanhamento das máquinas de beneficiamento de algodão, como o ventilador de fibrilha, por meio de sensores de vibração, assim como inserindo a cultura da manutenção no dia a dia da usina.

Além disso, pretende-se trazer uma abordagem econômica dos custos de manutenção, abordando a redução de custos e comparações de valores da manutenção preditiva e corretiva.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Histórico de manutenção

De acordo com Tavares (1998), o conceito e objetivos da manutenção variam de acordo com os anos. Até a década de 1980, a manutenção visava rentabilidade a partir de um investimento efetuado, porém, critérios como o de qualidade do produto passaram a ser um fator incisivo para que empresas se mantivessem competitivas no mercado internacional. Ainda segundo Tavares (1998), até 1914 a manutenção tinha importância secundária, porém fatores como a primeira Guerra Mundial e a implantação do sistema de produção em série, instaurada pela Ford, mostraram a necessidade de equipes que pudessem realizar reparos nas máquinas no menor tempo possível, a fim de não afetar a linha de produção e minimizar chances de problemas futuros, conceito que posteriormente ficou conhecido como manutenção corretiva.

Segundo Alan Kardec & Julio Nascif (2013), a manutenção tem passado por diversas transformações e pode ser dividida em três gerações:

a) Primeira Geração: Tem como período abrangente a pré Segunda Guerra Mundial, na qual a indústria tinha como características o fato de ser pouco mecanizada e os equipamentos simples e super dimensionados. Assim, predominava-se a manutenção corretiva, que se baseava apenas em serviços de limpezas, e após a quebra, lubrificação e reparo dos equipamentos.

B) Segunda Geração: A segunda geração compreende a Segunda Guerra Mundial até meados dos anos 60. As altas demandas da guerra, bem como a falta de mão de obra industrial foram pontos fortes para que ocorresse a segunda Revolução Industrial. Como resultado, houve uma maior mecanização das máquinas e fábricas, bem como, se fez cada vez mais necessário a idéia de que falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva.

C) Terceira Geração: Após 1970, a chamada Terceira Geração trouxe uma visão de aliar a capacidade de alta produção com custos baixos e qualidade. Os sistemas “just-in-time” aumentaram a eficiência de fábricas, cortaram custos e diminuíram desperdícios. Assim, pausas para reparo e máquinas paradas influenciavam na produção, e dessa forma, reforçou-se o conceito de manutenção preditiva.

Contrariamente à manutenção preventiva dos dias de hoje, a manutenção preditiva oferece melhorias em termos de performance dos equipamentos. Acrescentando sensores que proporcionarão um monitoramento constante e registrarão diversos valores de grande importância, é possível se pensar numa assistência remota ao equipamento. Essa assistência remota é possível pois, segundo Chase (1995), “uma mínima variação num dos parâmetros do processo produtivo pode ser razão para uma intervenção de manutenção.”

3.2 Tipos de manutenção

3.2.1 Manutenção Corretiva

Segundo ABNT(1993), a manutenção corretiva pode ser descrita como manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane. Ela é destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Este tipo de manutenção ainda pode ser dividido em planejado ou não planejado. A primeira, segundo Rodrigues (2009): Esta forma de manutenção é realizada quando o equipamento apresentou um defeito que foi identificado pelas práticas preventivas ou preditivas. Pode-se dizer que através dos parâmetros observados na manutenção preventiva ou preditiva, sabe-se das falhas e através de decisões gerenciais, define-se um planejamento para a solução desse problema futuro. Pelo fato de ser um fator planejável, os custos com essa técnica são inferiores. A segunda, de acordo com Kardec e Nascif (2009): “Manutenção corretiva não planejada é a correção da falha de maneira aleatória. [...] Caracteriza-se pela atuação da manutenção em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor do que o esperado.” Visto que esse tipo de problema se trata de uma situação emergencial, os custos são superiores, além de acarretar em paradas de produção e perda de qualidade.

3.2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é a manutenção realizada por meio de um planejamento, ou de acordo com critérios prescritos, com intenção de reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de algum equipamento (ABNT, 1993).

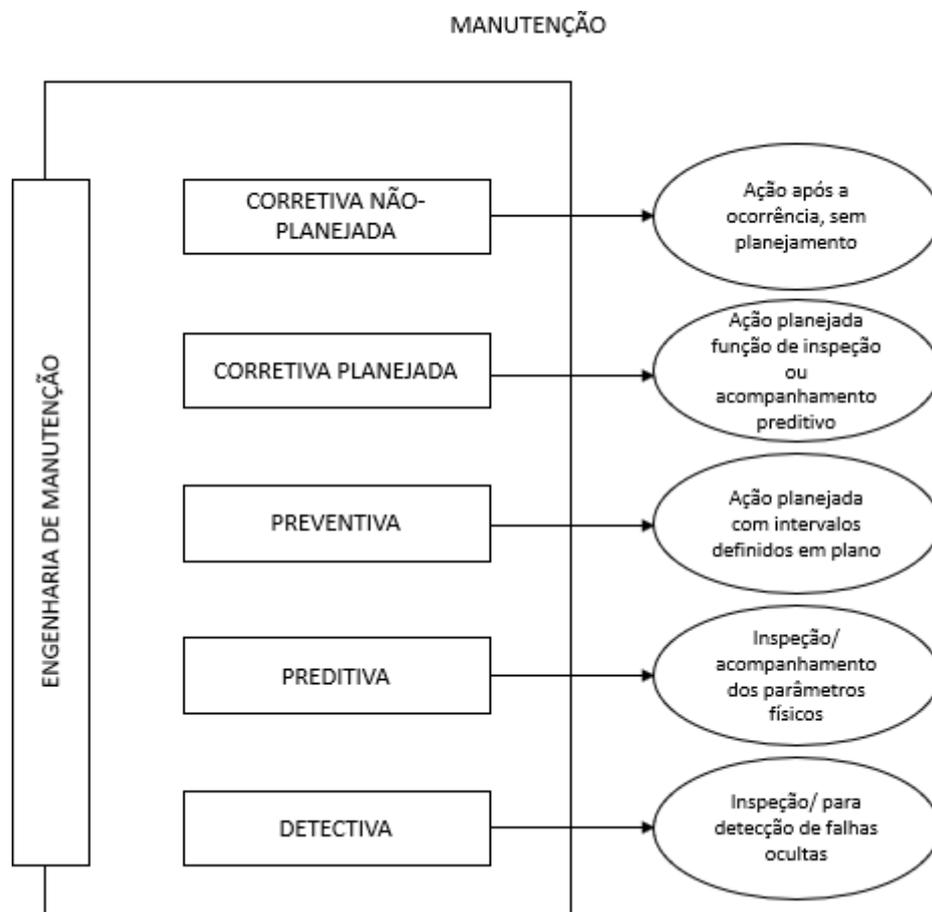
3.2.3 Manutenção Preditiva

De acordo com Alan Kardec & Júlio Nassif (2009), a manutenção preditiva pode ser explicada como “quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite previamente estabelecido, é tomada a decisão de intervenção”. Normalmente esse tipo de acompanhamento

permite preparação prévia do serviço além de outras decisões e alternativas relacionadas à produção. De forma mais direta, pode-se dizer que a manutenção preditiva, prediz as condições dos equipamentos, e quando a intervenção é decidida, o que se faz, na realidade, é uma manutenção corretiva planejada.

De acordo com a Figura 1, a manutenção preditiva consiste na inspeção e acompanhamento dos parâmetros físicos. O acompanhamento deve ser definido através de um plano de trabalho, com atividades de monitoramento estabelecidas e realizadas frequentemente.

Figura 1- Tipos de manutenção



Fonte: Alan Kardec & Júlio Nascif (2010)

O monitoramento dos equipamentos pode ser classificado como:

3.2.4 Monitoramento Subjetivo

A monitoração realizada de forma subjetiva é aquela na qual funcionários responsáveis utilizam dos sentidos para avaliar as condições das máquinas. Dessa forma, através da visão, olfato, temperatura através do tato e audição os funcionários conseguem realizar um diagnóstico de funcionamento da máquina. Esse tipo de monitoramento não é preciso, pois não gera dados/valores que possam ser avaliados. Além disso, funcionários podem ter percepções diferentes, sendo assim, um monitoramento com alto risco de falhas.

3.2.5 Monitoramento Objetivo

O monitoramento objetivo é realizado através de instrumentos, sensores ou equipamentos que fornecem valores/dados com unidades de medidas específicas. Isso torna este tipo de monitoramento mais preciso, e cabível de ser referência para a tomada de decisões, já que tem uma margem menor de erros.

Vale ressaltar que o monitoramento é uma cultura que deve ser implementada em empresas e está diretamente relacionada com a manutenção preditiva, que através de dados e informações coletadas diariamente, é capaz de determinar quais atividades são necessárias, padronizar processos de trabalho e o mais importante, prever falhas e corrigi-las, adotando-se uma visão de futuro do processo produtivo e manutenção das máquinas.

Segundo Alan Kardec & Júlio Nascif (2009), num cenário atual de economia globalizada e competitiva, fatores como flexibilidade, velocidade, trabalho em equipe e planejamento são essenciais para que a empresa sobreviva no meio, e em vista disso, se faz necessário uma mudança de visão acerca da manutenção, que não deve ser utilizada como correção de falhas não planejadas e sim como preditiva, evitando falhas e interferências na produção. Assim, o autor enfatiza a “importância de pensar e agir estrategicamente, para que a atividade de manutenção se integre de maneira eficaz ao processo produtivo”, sendo um agente proativo e aliado à produção.

A prática da manutenção preditiva se faz necessária em empresas que buscam a redução de custos pelo acompanhamento das condições das máquinas, evitando intervenções desnecessárias e falhas, que causam paradas inesperadas da produção, e também, organizações

que buscam a maximização de horas de máquinas em funcionamento, fato relevante nos números de produção em uma empresa.

Como pode-se observar na Figura 2, os resultados obtiveram uma melhoria significativa em comparação com os custos, à medida que vão se implantando técnicas de manutenção. Vale ressaltar que a engenharia de manutenção é uma cultura a ser implantada no cotidiano da empresa, e abrange todos os tipos de manutenção.

Figura 2 - Resultados x Tipos de manutenção.



Fonte: Alan Kardec & Júlio Nascif (2009)

Além disso, observa-se que a inclinação da curva de resultados é acentuada quando se passa a adotar a manutenção preditiva, fato que pode ser explicado pela manutenção de correção planejada, maior eficiência, menores tempos de máquinas paradas, maior produtividade, dentre outros fatos.

3.3 Custo de manutenção em usinas algodoeiras

O fator de custo em função da manutenção no ambiente empresarial ganhou maior notoriedade ao longo do tempo. Há dois indicadores que são amplamente utilizados que analisam o valor de custo agregado na manutenção empresarial, são eles:

- Custo da Manutenção em relação ao faturamento bruto da empresa (%)
- Custo da Manutenção em relação ao patrimônio/valor dos ativos (%)

A composição do custo de manutenção pode ser traduzida como a soma dos custos com mão de obra própria, valor gasto com funcionários e equipamentos, custo de serviços de terceiros, derivado da contratação de empresas para prestação de serviço de manutenção ou serviços de recuperação de peças, balanceamento, torneamento, etc e por fim os custos com materiais da empresa, como por exemplo, o objeto de estudo principal do trabalho, os rolamentos.

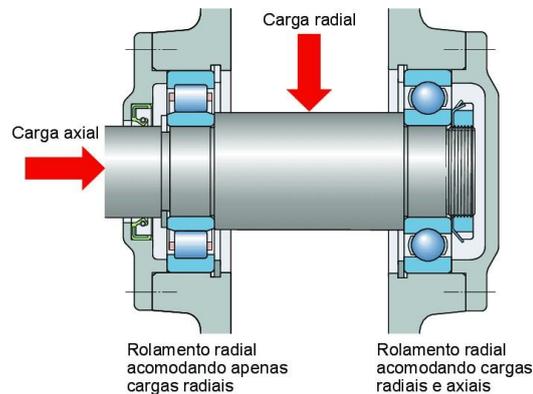
3.4 Rolamentos

Em fábricas e usinas, o rolamento é uma das peças mais importantes dentro do ambiente industrial. As máquinas e equipamentos, quase em sua totalidade, utilizam algum tipo de rolamento, já que o mesmo é responsável pela movimentação de eixos e rolos, de esteiras, motores e de conjuntos específicos que envolvam o movimento de estruturas e engrenagens.

Com uma alta gama de modelos e especificações, o mercado está cada vez mais exigente em utilizar rolamentos de qualidade, confiáveis e precisos para um bom funcionamento dos equipamentos. Os diversos modelos de rolamento, de variados tipos e tamanhos, permitem às empresas escolher o específico para cada necessidade, levando-se em consideração as condições operacionais da máquina, como cargas, velocidades, temperatura, precisão de giro e os requisitos operacionais.

Pode-se dizer então, que o rolamento consiste em um componente que facilita e serve como suporte a uma ação rotativa, reduzindo o atrito ou fricção e conseqüentemente força para a locomoção de um ou mais corpo com superfícies de contato, podendo ser classificado como um componente de transmissão mecânica, suportando cargas axiais ou radiais, como mostra a figura 3.

Figura 3- Carga Axial e Radial aplicadas em Rolamentos.

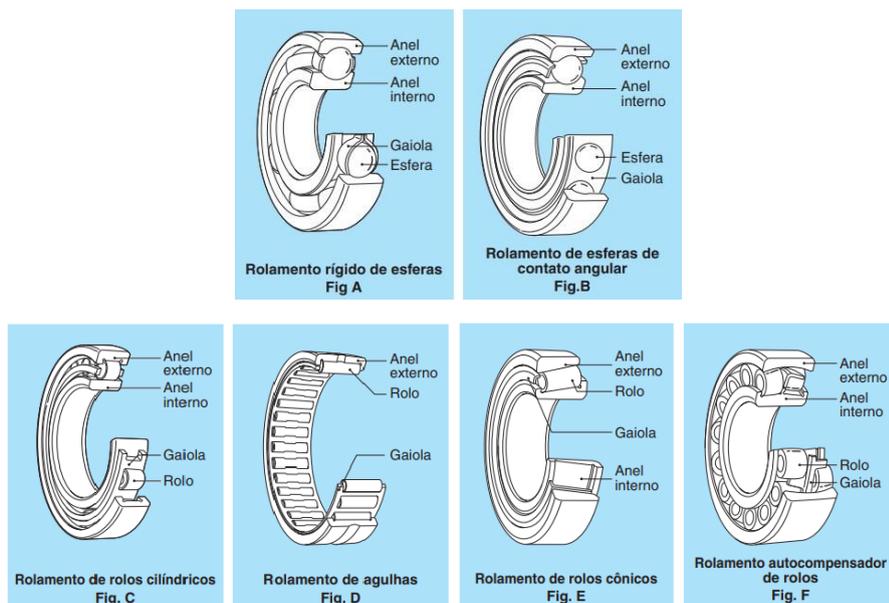


Fonte: SKF Bearing Maintenance Handbook (2010)

Em geral, os rolamentos são compostos por:

- Pista (anéis internos ou externos): superfície onde os corpos rolantes giram e no qual é suportada a carga aplicada ao rolamento.
- Elementos rolantes (rolo ou esferas): são os constituintes responsáveis por permitir o giro. No caso de rolo, há quatro tipos, os cilíndricos, de agulhas, cônicos e esféricos. A Figura 4 ilustra quais as classificações de acordo com as características de cada rolamento.

Figura 4 - Tipos de rolamento.

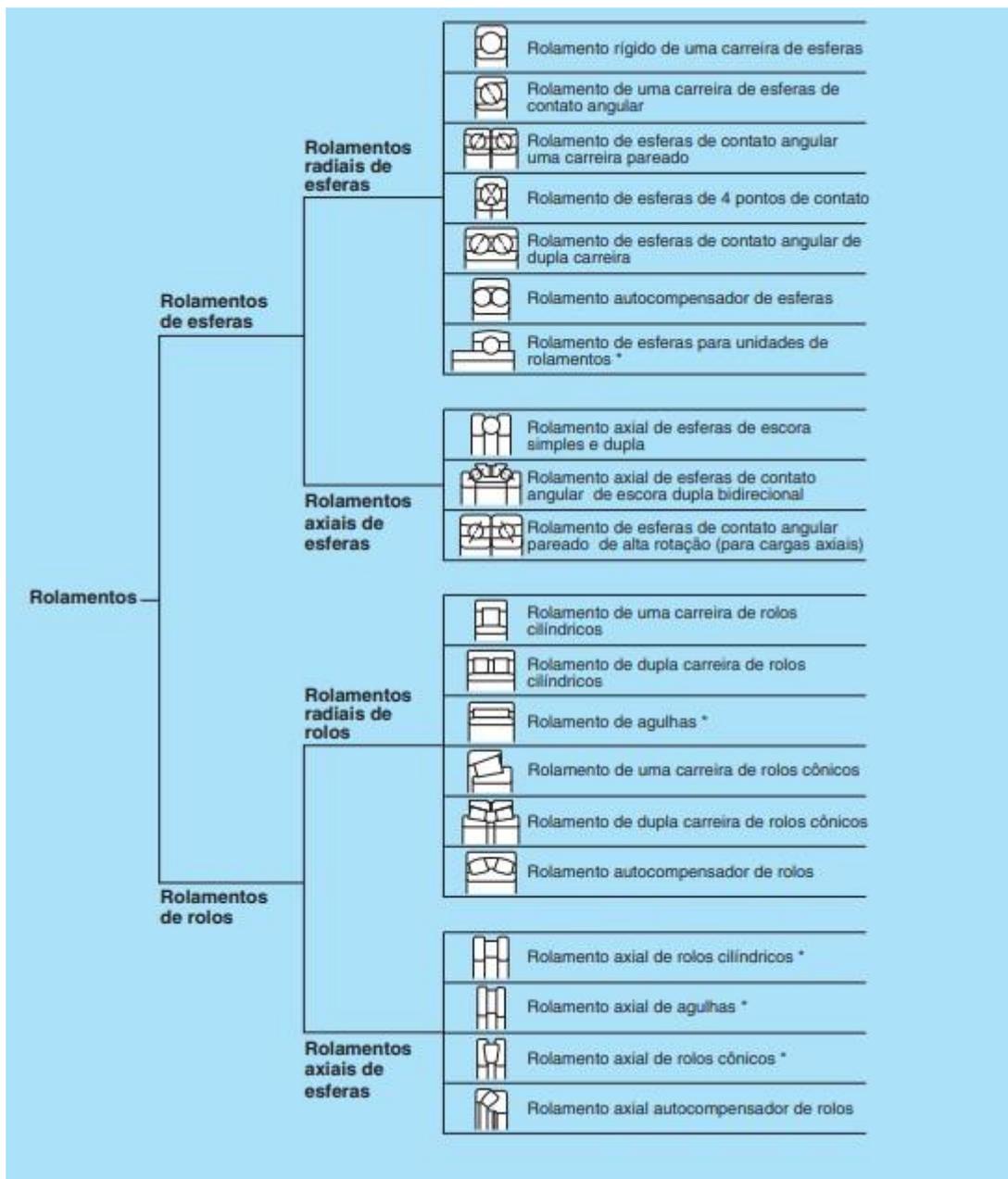


Fonte: Cat. No. 2202/P - NTN (2020)

- Gaiola: posiciona os elementos rolantes em intervalos determinados entre as pistas dos anéis, prevenindo que os corpos rolantes caiam do rolamento quando manuseados.

Os rolamentos podem ser classificados quanto a sua forma construtiva (rolamentos radiais ou axiais), ou quanto ao tipo de elemento rolante (rolamento de esferas ou de rolo), como é mostrado na Figura5.

Figura 5- Tipos de rolamentos detalhados.



Fonte: Cat. No. 2202/P - NTN (2020)

Em máquinas que têm uma alta tecnologia envolvida, os rolamentos são componentes importantes para o ciclo de produção. A falta de manutenção ou monitoramento dos mesmos podem resultar em falhas e paradas de máquinas, fatores que trazem grandes prejuízos para as empresas.

Segundo BAILLIE & MATHEW [1994], os rolamentos têm forte participação em falhas nos equipamentos rotativos modernos. Afirmam, ainda, que 90% dos rolamentos falham prematuramente. A falha prematura é mais um resultado das condições impróprias de operação, contaminação por água e sujidade, sobrecarga devido a especificação incorreta, lubrificante mal especificados, defeitos produzidos pela falta de cuidados durante a montagem, do que da baixa qualidade fornecida pelos fabricantes.

Apenas uma pequena fração de todos os rolamentos em uso falha. A maioria deles (cerca de 90%) dura mais que o equipamento em que eles estão instalados. Alguns rolamentos (9,5%) são substituídos antes de falhar por razões de segurança (prevenção). Aproximadamente 0,5% dos rolamentos são substituídos porque apresentam danos ou falham (SKF Bearing Maintenance Handbook, 2010).

As substituições e correções de rolamentos antes de apresentarem falhas, por conta de razões de segurança é um método de prevenção que não é usualmente adotado em todas as empresas. Tais medidas visam trazer inúmeros benefícios às empresas, já que a manutenção se daria com o equipamento em funcionamento e evita falhas e máquinas paradas, um dos principais problemas enfrentados pelas empresas hoje em dia.

Dentre os principais motivos de falhas ou danos nos rolamentos, estão:

- Fadiga
- Vedação e lubrificação insuficiente
- Carga maior que a prevista
- Ajustes ou montagem incorreta

Em usinas algodoceiras, uma das principais causas de falhas e quebras no rolamento se dá devido a embuchamentos de máquinas, que acabam gerando cargas maiores e danos aos

rolamentos, além de desbalanceamento de eixos, que pode levar a danos em outros componentes das máquinas.

Outro fator implicante de danos nos rolamentos, e que podem conseqüentemente levar a alterações nos valores de vibração com a máquina em funcionamento é a falta de lubrificação. Pelo fato de o beneficiamento de algodão provocar altos índices de poeira e resíduos das máquinas, a lubrificação dos componentes, como rolamentos, acabam por ser prejudicadas, e senão realizado uma manutenção e verificação preditiva dos componentes, podem-se acabar gerando problemas maiores.

No caso de um rolamento trabalhar com cargas maiores do que o determinado, é comum a ocorrência de danos pelo escorregamento, que por si, pode ocasionar aumento de temperatura, ruído e desgaste da superfície do rolamento, causando avarias que podem comprometer o funcionamento e estrutura da peça, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 - Dano à superfície de rolamento devido a escorregamento.



Fonte: SKF Bearing Maintenance Handbook (2010)

Em usinas algodoeiras, um problema enfrentado frequentemente é o combate a focos de fogo gerados pelo atrito decorrente das máquinas. Uma prática comum em grande parte das algodoeiras é apagar os focos de fogo com água. A contaminação do rolamento com líquidos pode gerar problemas futuros às máquinas, visto que reduzem a viscosidade do lubrificante presente em rolamentos, podendo gerar contato metal - metal ou enferrujar as superfícies de contato do rolamento (Figura 7).

Figura 7- Rolamento contaminado com líquidos.



Fonte: SKF Bearing Maintenance Handbook (2010)

Outro problema comum é o descascamento na superfície do rolamento (Figura 8), que pode ser ocasionada por falta de lubrificação, viscosidade baixa a temperatura de operação, resíduos físicos em contato durante a operação, dentre outros.

Figura 8 - Descascamento da superfície do rolamento.



Fonte: SKF Bearing Maintenance Handbook (2010)

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste projeto, foram avaliados 8 ventiladores de uma algodoeira, localizada na cidade de Luis Eduardo Magalhães, no estado da Bahia, e com capacidade de produção estimada em cem mil fardos de algodão beneficiados por safra . Os ventiladores são destinados para o transporte do algodão e seus subprodutos durante o beneficiamento. A frequência da coleta de dados respeitou a rotinade operação da algodoeira em uma jornada de trabalho de 6 dias, com as medições de vibrações realizadas esporadicamente na semana e no caso dos rolamentos que apresentaram valores forados limites aceitáveis, o intervalo entre as medições diminuiu. O registro de dados foi feito utilizando o aplicativo google forms (Figura 9), gerando uma planilha no excel com os dados coletados (Figura 10).

Figura 9 - Formulário de coleta de dados.

Dados

guilherme.lbcoelho@gmail.com (não compartilhado)
[Alternar conta](#)

Qual a maquina?

Ventilador 2A

Ventilador 2B

Ventilador 3A

Ventilador 3B

Ventilador Sobras

LF linha A

LF linha B

Ventilador Fibrilha

Fonte: Autor (2022)

Figura 10 - Planilha de dados gerada automaticamente pelo forms.

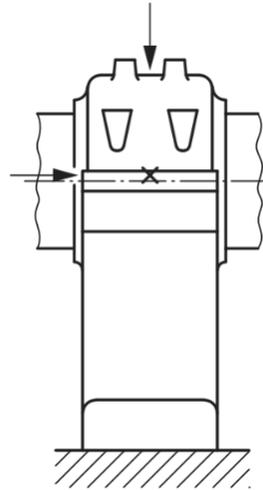
Carimbo de data/hora	Qual a maquina?	Aceleração Lo Esquerdo	Aceleração Hi Esquerdo	Velocidade Esquerdo	Deslocamento Esquerdo
03/08/2022 13:52:28	Ventilador 3A	4,9	20,6	1,9	0,036
03/08/2022 13:55:57	Ventilador Sobras	8	25	1	0,011
03/08/2022 13:59:03	Ventilador 3B	7,8	33,1	3,9	0,05
03/08/2022 14:01:41	LF linha B	5,2	13,1	2,5	0,035
03/08/2022 14:07:14	LF linha A	4,8	19,2	1,1	0,015
03/08/2022 14:15:15	Ventilador Fibrilha	41,2	170,5	60,3	0,039
05/08/2022 07:58:25	Ventilador Fibrilha	6	45	2,5	0,022
05/08/2022 09:13:04	Ventilador 2A	7,9	21,2	2,6	0,041
05/08/2022 09:16:59	Ventilador 2B	10,2	55,8	7,8	0,059
05/08/2022 09:36:08	Ventilador 3A	6,2	30,6	2,2	0,045

Fonte: Autor (2022)

Para este trabalho foram coletados os dados de aceleração em alta e baixa frequência, velocidade e deslocamento, utilizando um medidor de vibração portátil digital tendo um acelerômetro cerâmico piezoelétrico como sensor. As medidas foram adquiridas em nível global devido às limitações do aparelho, apresentando os valores de pico a pico para o

descolamento, valores de pico para aceleração e velocidade rms. O ponto em que o sensor será colocado segue as recomendações da ISO 20816, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Posição do ponto de medição de vibração.



Fonte: ISO 20816 (2016)

Adotar o acompanhamento das grandezas relacionadas a vibração de forma global é a forma mais comum para iniciar o controle, visto que é um método de baixo custo, permite mais clareza para a equipe de manutenção sobre os componentes e traz mais conhecimento prático para avançar para um nível mais detalhado de controle.

A princípio, o acompanhamento da vibração dos rolamentos foi feito somente com o medidor portátil Minipa MVA-400 (Figura 12). O sensor de vibração possui um acelerômetro cerâmico piezométrico, faz leituras de aceleração, velocidade e deslocamento, com as especificações contidas na Tabela 1.

Figura 12 - Ilustração do medidor de vibração MVA-400



Fonte: Manual de instruções MVA-400 (2017)

Tabela 1- Especificações técnicas do medidor de vibração MVA-400.

Grandezas	Unidade	Faixa de frequência	Faixa de medição	Precisão
Aceleração	mm/s ²	10 Hz - 1 kHz	0,1 – 199,9 m/s ² pico	5% + 2 dígitos
		1 kHz - 15 kHz		
Velocidade	mm/s	10 Hz - 1 kHz	0,1 – 199,9 m/s ² rms	
Deslocamento	mm	10 Hz - 1 kHz	0,001 – 1,999 mm pico-pico	

Fonte: Autor (2022)

À princípio os limites de vibração dos rolamentos foram definidos conforme a sugestão da norma ISO 20816, conforme a Figura 13 e posteriormente os limites foram ajustados conforme o acompanhamento do funcionamento dos equipamentos.

Figura 13 - Limites Das Zonas De Vibração.

Range of typical zone boundary values for non-rotating parts r.m.s. vibration velocity mm/s				
0,28				0,28
0,45				0,45
0,71				0,71
1,12	Zone boundary A/B 0,71 to 4,5			1,12
1,8				1,8
2,8		Zone boundary B/C 1,8 to 9,3		2,8
4,5				4,5
7,1			Zone boundary C/D 4,5 to 14,7	7,1
9,3				9,3
11,2				11,2
14,7				14,7
18				18
28				28
45				45
NOTE 1 This table only applies to machines for which specific International Standards have not been developed and for which there is no suitable experience available.				
NOTE 2 Small machines (e.g. electric motors with power up to 15 kW) tend to lie at the lower end of the range and large machines (e.g. prime movers with flexible supports in the direction of measurement) tend to lie at the upper end of the range.				

Fonte: ISO 20816 (2016)

As zonas de avaliação definidas pela ISO 20816 são uma forma de conceituar qualitativamente a vibração de um equipamento, operando em condições constantes e velocidade nominal, provendo diretrizes de possíveis ações. As zonas de avaliação estão listadas a seguir:

- Zona A: Vibração de máquinas novas pertencem a essa categoria (o esforço necessário para atingir vibrações nessa zona é desnecessário);
- Zona B: Máquinas com vibrações nesta zona podem operar por longos períodos, sendo considerado aceitável.

- Zona C: Máquinas com vibrações nessa zona são consideradas inadequadas para operar continuamente por longos períodos. Medidas corretivas devem ser tomadas assim que possível.
- Zona D: Vibrações nessa zona indicam que a máquina pode ser danificada.

O rolamento utilizado no ventilador é da marca SKF, modelo 22217 EK/C3, sendo um rolamento autocompensador de rolos. Suas especificações técnicas são apresentados na Figura 17.

Para a validação econômica do projeto de melhoria, foi definido o custo de hora parada da usina, conforme a equação (1):

$$\text{Custo de hora parada} = \text{CE} + \text{FP} + \text{CM} + \text{COT}$$

CE – Custo de energia elétrica por hora

FP – Custo folha de pagamentos por hora

CM - Custos com peças mecânicas

COT - Custos de serviços realizados na oficina/terceiros

O custo de hora parada será comparado com o valor de aquisição do medidor de vibração.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Usina de Beneficiamento de Algodão abordada neste estudo, a engenharia de manutenção não se faz presente de forma benéfica e vantajosa à empresa. A implantação da cultura de manutenção preditiva tem alguns impasses e pontos que impossibilitam a realização das práticas atreladas a ela no dia a dia, tais como:

- Pode exigir recursos financeiros, devido a novos empregados responsáveis por essa função, aquisição de equipamentos e sensores de monitoramento.
- Falta de sensibilização, treinamento ou representatividade por parte de gerentes e supervisores.

- Necessidade de mão de obra qualificada e disponível para realizar o monitoramento e manutenção.
- Necessidade de uma gestão focada na redução de custos e diminuição do tempo de máquina parada.
- Indispensável estudos/análises de dados de falhas e problemas.

Tais fatores fazem com que a manutenção na usina seja do tipo corretiva, acarretando fatores prejudiciais à produção, manutenções não planejadas e conseqüentemente maiores custos.

Após o período de monitoramento dos rolamentos da sala de ventiladores da usina de beneficiamento de algodão, foi identificado que o ventilador que transporta a fibrilha apresentou valores de velocidade nos limites das zonas C/D, de acordo com a norma ISO 20816.

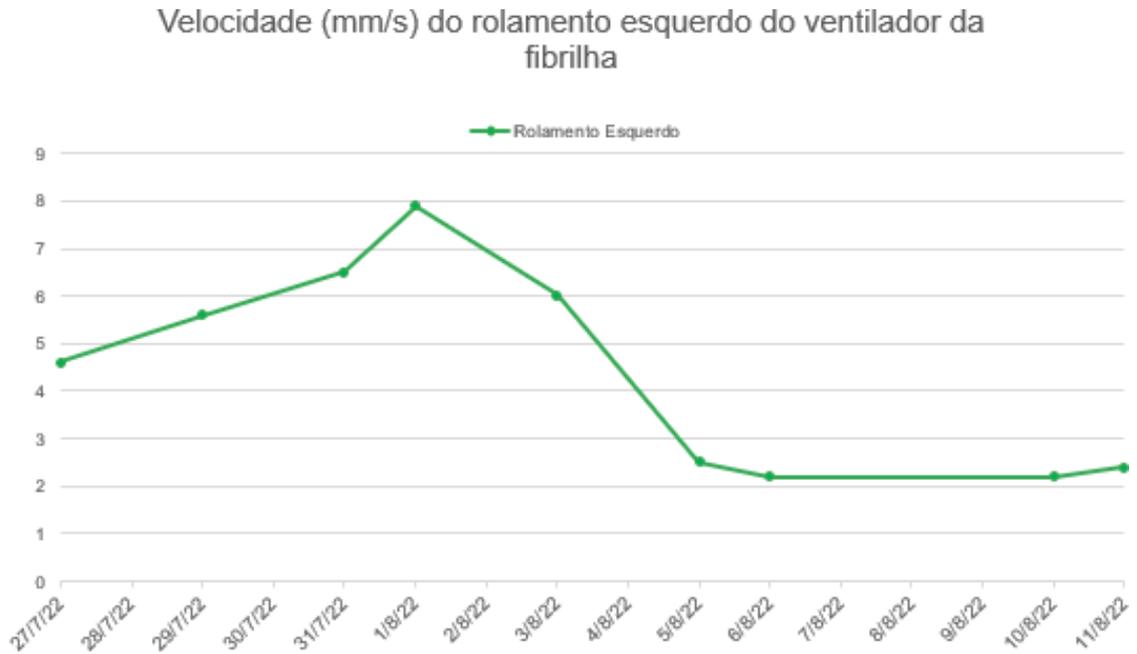
Durante o monitoramento, o ventilador de transporte da fibrilha (Figura 14), apresentou valores de velocidade conforme a Figura 15, se enquadrando no intervalo entre as zonas C e D, conforme a ISO 20816. Como a parada do ventilador causa a interrupção da produção, os responsáveis pela manutenção propuseram fazer a manutenção do equipamento durante o período de 18h às 21h, quando a usina é desligada para evitar multas devido ao horário de pico de consumo de energia elétrica.

Figura 14 - Ventilador Da Fibrilha.



Fonte: Autor (2022)

Figura 15 - Velocidade do rolamento esquerdo do ventilador da fibrilha.



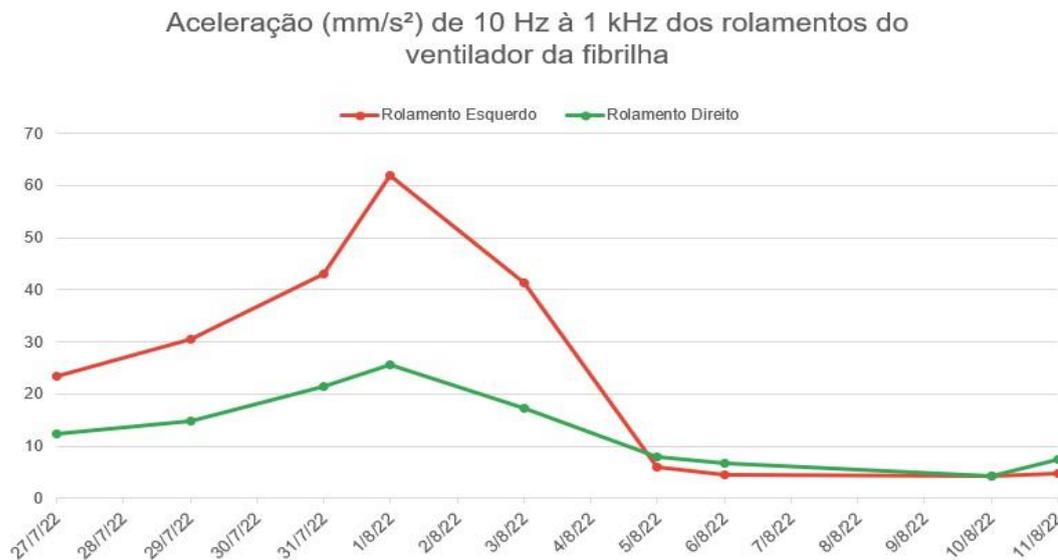
Fonte: Autor (2022)

De acordo com a ISO 20816, o uso da técnica de medições de banda larga para valores brutos de aceleração, promove informações suficientes sobre as condições de funcionamento do rolamento em questão. Porém, em casos onde há efeitos de ressonância entre o rolamento e

o mancal na frequência abordada ou vibrações de outros elementos são transmitidos para o rolamento, essa técnica não funcionaria.

Na Figura 16 foi possível observar o comportamento da aceleração dos rolamentos do eixo do ventilador fibrilha, antes e após a manutenção.

Figura 16 - Aceleração dos rolamentos do ventilador da fibrilha.



Fonte: Autor (2022)

É possível observar com clareza na Figura 16 a diferença no funcionamento dos rolamentos após a manutenção realizada no dia 04/08 no horário de parada de 18h até 21h. A manutenção do ventilador foi feita com a troca do rolamento e mancal esquerdo, lubrificação e troca das correias, visto que não é possível saber com exatidão onde está o problema devido às limitações da leitura do aparelho.

Figura 17 - Especificações do rolamento 22217 EK.



Fonte: SKF Catalog (2022)

Após a troca, foi verificado que o rolamento apresentou desgaste dos rolos (Figura 18) e no anel externo (Figura 19).

Figura 18 - Desgaste dos rolos do rolamento 22217 EK



Fonte: Autor (2022)

Figura 19 - Avaria no anel externo do rolamento 22217 EK



Fonte: Autor (2022)

Para um maior controle das atividades da usina, foram registrados em uma planilha os reparos realizados no dia, servindo como relatório de manutenções da usina. A referida planilha continha as seguintes informações:

- Data: dia em que foi realizado o reparo
- Turno: diurno ou noturno
- Código: código do problema
- Tipo de Problema: classificação do tipo de problema, podendo ser ajustes gerais, embuchamentos, pane elétrica, erro de painel, dentre outros
- Descrição do Problema: descrição breve do reparo
- Gravidade da Ocorrência: gravidade classificada em baixa, média e alta
- Duração do reparo (horas): quantas horas levou o serviço
- Impacto na produção: “sim”, se o problema causava parada na produção ou afetava parcialmente a produção, ou “não”, se a produção não fosse afetada.

A estrutura da planilha, contendo o relatório final da manutenção realizada na Usina Algodoeira, segue descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Modelo de relatório da manutenção realizada na Usina Algodoeira.

RELATÓRIO DA USINA



DATA	TURNO	CÓDIGO	TIPO	DESCRIÇÃO	GRAVIDADE DA OCORRÊNCIA	DURAÇÃO DE REPARO (H:MM)	IMPACTO NA PRODUÇÃO	PRODUÇÃO	OBSERVAÇÕES
------	-------	--------	------	-----------	-------------------------	--------------------------	---------------------	----------	-------------

Fonte: Autor (2021)

De acordo com o relatório de manutenção da Usina, constatou-se que grande parte dos reparos realizados foram de manutenção corretiva não planejada, questão já abordada anteriormente e que é caracterizada por altos custos, maiores tempos de máquina parada, além de impactar na produção. Na Tabela 3, estão demonstrados alguns exemplos dos reparos realizados na Usina Algodoeira.

Tabela 3 – Ocorrências dos reparos realizados durante a manutenção na Usina Algodoeira.

RELATÓRIO DA USINA



DATA	TURNO	CÓDIGO	TIPO	DESCRIÇÃO	GRAVIDADE DA OCORRÊNCIA	DURAÇÃO DE REPARO (H:MM)	IMPACTO NA PRODUÇÃO
28/07/2021	DIURNO	5	AJUSTES GERAIS	ROLAMENTO E EIXO DO DESCAROÇADOR QUEBRADO	ALTA	09:00	SIM
13/07/2021	DIURNO	5	AJUSTES GERAIS	EIXO DO VENTILADOR 2A	MÉDIA	02:00	SIM
14/08/2021	DIURNO	5	AJUSTES GERAIS	TROCA DE ROLAMENTO DO ROLO DO DESCAROÇADOR	MÍNIMA	01:56	SIM
29/10/2021	DIURNO	5	AJUSTES GERAIS	TROCA DE ROLAMENTO COM MANCAL EIXO DO DESCAROÇADOR 1	MÉDIA	01:45	SIM
06/07/2021	DIURNO	5	AJUSTES GERAIS	VENTILADOR 2B	MÍNIMA	01:00	SIM
TOTAL						15:41	

Fonte: Autor (2021)

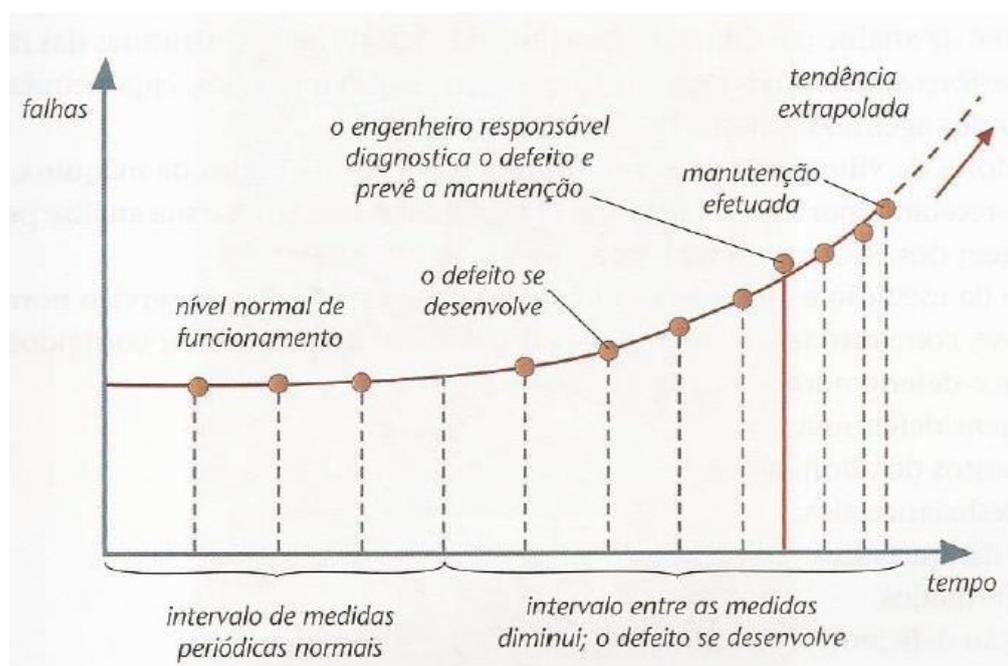
Foram aplicados os filtros de tipo de problema para o de ajustes gerais, que estavam relacionados geralmente a problemas de rolamento e eixos, ponto de estudo principal deste trabalho (Tabela 3). Além disso, o filtro de impacto na produção foi aplicado, assim, as referidas ocorrências da Figura 20 causaram paradas na produção, ou então afetaram a quantidade de fardos produzidos.

Outro ponto de análise foi o de gravidade da ocorrência (reparo). A classificação foi feita de acordo com a exigência de horas de reparo, dificuldade de acesso e manutenção das máquinas, e também, da dificuldade de compra ou aquisição das peças necessárias para o reparo. Tais fatores foram definidos de acordo com a experiência vivenciada da situação.

De acordo com as informações, a soma de horas de máquina parada, e consequentemente sem produção, foi de quinze horas e quarenta e um minutos. Interessante observar na Tabela 3 as ocorrências do dia 28/07/2021, de rolamento e eixo do descaroador quebrado. Vale observar que a gravidade da ocorrência é alta, e o reparo foi de cerca de nove horas. O ponto de estudo neste detalhe é que com práticas de manutenção preditiva, tal problema poderia facilmente ter sido evitado, sem mesmo a necessidade de parar a produção da usina.

Para Weber et al. (2009), os defeitos em rolamentos geralmente evoluem com certa lentidão e emitem sinais com bastante antecedência da falha final, que pode ocorrer por travamento ou ruptura dos componentes (Figura 20).

Figura 20 - Detecção de problemas com métodos de inspeção.

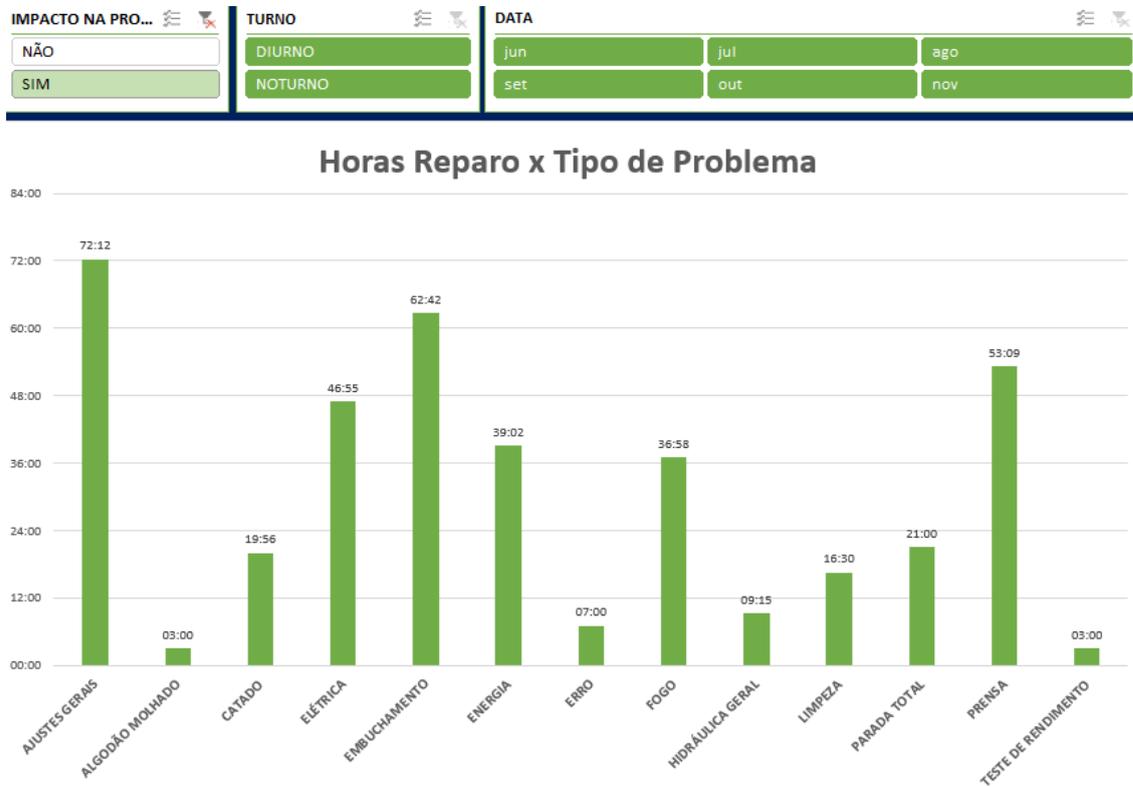


Fonte: Weber (2009)

Como pode-se observar na figura 20, o começo de um problema mecânico geralmente é acompanhado por um aumento dos níveis de vibração, assim, com a verificação preditiva dos rolamentos, através dos níveis de vibração é possível identificar o dano e o reparo, predizendo um problema futuro. Tal fato pode ser comprovado através das Figuras 15 e 16, no qual constatou-se um aumento dos níveis de vibração, e com a troca do rolamento, a máquina voltou a funcionar em condições normais sem quebras ou manutenções corretivas não planejadas.

Outro gráfico passível de estudo foi o da Figura 21, que mostra a quantidade de horas de reparo realizadas por tipo de problema. Vale destacar que os problemas de ajustes gerais foram os que demandaram maior tempo de serviço.

Figura 21 - Tipos de problemas, em função de horas de reparo, durante a manutenção na Usina Algodoeira.

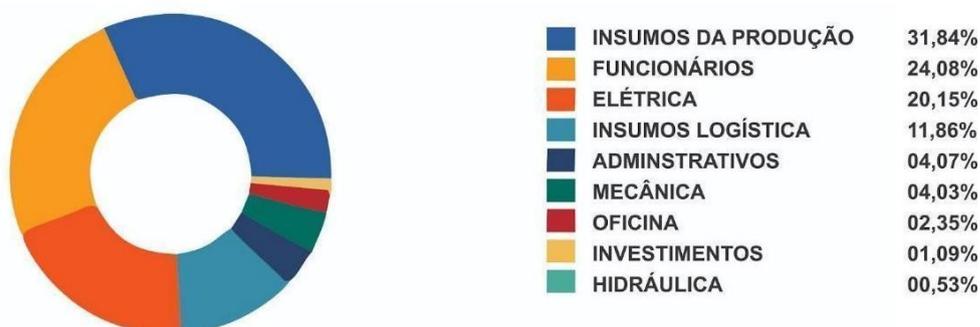


Fonte: (Autor 2021)

Além disso, foi possível realizar uma análise econômica da usina algodoeira (Figura 22), onde determinou-se quais as principais áreas de custos e recursos da empresa. Através desta classificação foi possível estimar os custos da máquina parada. Porém, esses itens compõem apenas parte dos custos de indisponibilidade do maquinário. A maior parte está ligada à queda na produção e penalidades comerciais, que podem afetar a imagem da empresa (Mirshawa & Olmedo, 1993).

Figura 22 - Proporção de gastos médios mensais da Usina Algodoeira.

Fonte: Autor (2021)



Investir recursos em manutenção preventiva tem um impacto positivo na redução dos custos relacionados aos problemas de equipamentos. Porém, aumentar o valor investido em manutenção preventiva a partir de certo ponto, torna o processo muito oneroso para atingir poucas melhorias (Marcorin & Lima). A partir desse ponto, torna-se interessante aumentar os recursos investidos em outras formas de manutenção.

Considerando apenas os custos de energia elétrica, folha de pagamento e os custos que envolvem manutenções corretivas (mecânica e oficina), o custo da hora de máquina parada tem o valor de aproximadamente R\$1.340,00 (Valor fornecido pela empresa). Comparando com a solução proposta, o sensor custa aproximadamente R\$1.700,00 e a manutenção das máquinas pode ser realizada no intervalo de 18h às 21h (Horário de pico de consumo de energia). Em paradas mais longas no processo produtivo, conforme a parada de 9 horas apresentada na tabela 3, o valor do medidor de vibrações chega a 15% do custo da interrupção,

6 CONCLUSÕES

Os custos atrelados à perda na produtividade, somados às possíveis punições que a empresa pode sofrer no mercado, faz da proposta de manutenção preditiva, apresentada neste trabalho, uma alternativa extremamente viável. Além de ser um recurso técnico de baixo custo, traz informações valiosas para tomada de decisões da equipe de manutenção da usina. Embora não tenha sido possível monitorar a maior parte das máquinas da indústria, devido à dificuldade de acesso aos rolamentos, uma possível solução é a instalação de medidores de vibração fixos, principalmente em máquinas que tem grande importância para a produção, em que a quebra do rolamento possa gerar paradas muito longas ou danificar componentes de valor elevado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462/1993: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 11/1994.

Catálogo. No. 2202/P - NTN (2020).

CHASE, Richard B.; AQUILANO, Nicholas J. Gestão da produção e das operações: perspectiva do ciclo de vida. Lisboa: Monitor, 1995.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. Manutenção Função Estratégica, 3ª edição, 2009. Editora Quality.

MARCORIN, Wilson; LIMA, Carlos. Análise dos custos de manutenção e de não-manutenção de equipamentos produtivos, 2003.

MARK, Rio de Janeiro, Coleção Manutenção, Abraman.

MATHEW, JOSEPH & BAILLIE, DAVID, Diagnosing Rolling Element Bearing Faults with Artificial Neural Networks. Centre for Machine Condition Monitoring, Monash Universty, Clayton, Victoria,3168, Australian Acoustical Society, Vol. 22 Número 3, 12/94.

Mechanical Vibration – Measurement and evaluation of machine vibration – Part 1: General guidelines, ISO 20816, 2016.

MIRSHAWKA, V. & OLMEDO, N.C. Manutenção – combate aos custos na não-eficácia – a vez do Brasil. São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda., 1993.

MOUBRAY, J. (1996). Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade. São Paulo: Aladon.

NSK. Rolamentos. Disponível em: <[https://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK\(1\).pdf](https://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK(1).pdf)>. Acesso em: 05/09 setembro 2022.

SKF Bearing Maintenance Handbook (2010). Disponível em: https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/094fe398236d3d0a-03000EN_tcm_12-595611.pdf.

TAVARES, Lourival. Administração Moderna de Manutenção. Novo Pólo Editora – New York, 1998.

WEBER, Abilio José; et al. Telecurso: profissionalizante de Mecânica: manutenção. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2009.