

KETLYN APARECIDA DOURADO CARDOSO

**MANUTENÇÃO PREDITIVA – ANÁLISE DE VIBRAÇÃO E ANÁLISE
TERMOGRÁFICA ALINHADAS NA REDUÇÃO DE QUEBRAS E CUSTOS EM UMA
INDÚSTRIA**

UBERLÂNDIA

2020

KETLYN APARECIDA DOURADO CARDOSO

**MANUTENÇÃO PREDITIVA – ANÁLISE DE VIBRAÇÃO E ANÁLISE
TERMOGRÁFICA ALINHADAS NA REDUÇÃO DE QUEBRAS E CUSTOS EM UMA
INDÚSTRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso da
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Uberlândia - UFU - Câmpus
Santa Mônica, como requisito para a
obtenção do título de Graduação em
Engenharia Elétrica

Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Faculdade de Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares

UBERLÂNDIA

2020

Cardoso, Ketlyn Aparecida Dourado

Manutenção preditiva – Análise de vibração e análise termográficas alinhadas na redução de quebras e custos em uma indústria/ **Ketlyn Aparecida Dourado Cardoso** – **UBERLÂNDIA, 2020**- 50 f.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Uberlândia – UFU Faculdade de Engenharia Elétrica . **2020**.

1. Manutenção preditiva. 2. Redução de custo. 3. Redução de quebras.
I. Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares. II. Universidade Federal de Uberlândia. III. Faculdade de Engenharia Elétrica.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
 Av. João Naves de Ávila, 2121 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: +55 (34) 3239-4708 - cocel@ufu.br



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	1449BI - Graduação em Engenharia Elétrica: Bacharelado - Integral				
Defesa de:	FEELT31901 - Trabalho de Conclusão de Curso em Sistemas de Energia				
Data:	10/12/2020	Hora de início:	13h:30min	Hora de encerramento:	14h:30min
Matrícula do Discente:	11321EEL008				
Nome do Discente:	Ketlyn Aparecida Dourado Cardoso				
Título do Trabalho:	Manutenção Preditiva – análise de vibração e análise termográfica alinhadas na redução de quebras e custos em uma indústria				

Reuniu-se remotamente, em sala virtual de plataforma digital de comunicação, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica assim composta: **Prof. Dr. Arthur Costa de Souza (ICT/UNIFEI)**; **Prof. Dr. Luciano Coutinho Gomes (FEELT/UFU)**; e **Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares (FEELT/UFU)**, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa, Dr(a). **Carlos Eduardo Tavares**, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a) sem nota.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Luciano Coutinho Gomes, Professor(a) do Magistério Superior**, em 11/12/2020, às 09:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Eduardo Tavares, Professor(a) do Magistério Superior**, em 11/12/2020, às 09:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **Arthur Costa de Souza, Usuário Externo**, em 15/12/2020, às 13:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2449243** e o código CRC **CCA7E214**.

Referência: Processo nº 23117.073311/2020-38

SEI nº 2449243

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho inicialmente a Deus, que me suportou durante todo processo da graduação, à minha família, pelo incentivo, apoio e amor sempre necessários, aos meus professores e colegas que contribuíram em todos os períodos com o meu crescimento, ao meu orientador, pelo suporte, parceria, incentivo e orientação e à Souza Cruz, que possibilitou a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Souza Cruz LTDA., pela oportunidade de desenvolver este trabalho e por todo desenvolvimento profissional, pessoal e humano proporcionado a mim. Aos gerentes, coordenadores, analistas e técnicos que me apoiaram e orientaram em todos os processos, incentivando, motivando, desenvolvendo e suportando meu orientador, Professor Carlos Eduardo Tavares pela orientação, suporte e auxílio e à minha família pelo amor e compressão.

RESUMO

Após a Segunda Guerra mundial os modelos de produção industrial ganharam novas visões através do surgimento do Toyotismo, que visa o princípio da acumulação flexível, eliminação de perdas e produção sob demanda. Mergulhando nesta teoria e trazendo para a realidade de fábrica, as indústrias visam produção cada vez mais eficiente com custos cada vez menores, onde suas linhas de produção param apenas de forma programada para limpeza e manutenção preditiva, tendo a maior produtividade possível durante atividade de máquina. Assim sendo, a manutenção preditiva representada pelo acompanhamento do parâmetros físicos, através do uso de análises de vibração e termográfica, entra como aliada à redução de paradas desnecessárias e imprevistas, devido ao acompanhamento do trabalho dos conjuntos elétricos e mecânicos, assegurado pela criação e atualização de planos de manutenção compatíveis com o regime de operação. A redução de intervenções não planejadas em linhas reflete diretamente nos custos com manutenção, estabilidade de ritmo de produção, permitindo a vivência de produção sob demanda e eliminação de perdas. Para comprovar a importância da análise termográfica e análise de vibração na manutenção de equipamentos, este trabalho será desenvolvido em parceria com a indústria, através do acompanhamento de sistemas que tiveram quebras e manutenções reduzidas através das tecnologias termográficas e de vibração. A redução de quebras ocasionada pela identificação precoce dos defeitos, e a troca das peças realizada de forma consciente e eficaz, reflete diretamente na redução de custos de manutenção e perdas de produção, garantindo confiabilidade na capacidade produtiva, performance de máquina, melhor conhecimento do equipamento, auxiliando as equipes de fábrica em seus trabalhos.

Palavras-chave: Manutenção preditiva 1, Redução de quebras 2, Redução de custos 3.

ABSTRACT

After the Second World War, industrial production models gained new visions through the emergence of Toyotism, which aims at the principle of flexible accumulation, elimination of losses and production on demand. Diving into this theory and bringing it to the reality of the factory, industries aim at increasingly efficient production at ever lower costs, where their production lines stop only programmed for cleaning and predictive maintenance, having the highest possible productivity during machine activity. Therefore, the predictive maintenance represented by the monitoring of the physical parameters, through the use of vibration and thermographic analysis, comes as an ally to the reduction of unnecessary and unforeseen stops, due to the monitoring of the work of the electrical and mechanical assemblies, ensured by the creation and updating maintenance plans compatible with the operation regime. The reduction of unplanned interventions in lines directly reflects maintenance costs, stability of production pace, allowing the experience of production on demand and elimination of losses. To prove the importance of thermographic analysis and vibration analysis in the maintenance of equipment, this work will be developed in partnership with the industry, through the monitoring of systems that had reduced breaks and maintenance through thermographic and vibration technologies. The reduction of breakages caused by the early identification of defects, and the exchange of parts carried out in a conscious and effective way, directly reflects in the reduction of maintenance costs and production losses, guaranteeing reliability in the productive capacity, machine performance, better knowledge of the equipment, assisting factory teams in their work.

Keywords: Predictive maintenance 1, Breakdown reduction 2, Cost reduction 3.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem termográfica de uma régua de borne	23
Figura 2 – Exemplo de instrumento coletor de dados de vibração através do uso de acelerômetro	25
Figura 3 – Exemplo de ordem de serviço de manutenção	26
Figura 4 – Exemplo de maker	29
Figura 5 – Exemplo de ventilador da maker	30
Figura 6 – Câmera Termográfica Fluke TiS55	32
Figura 7 – Analisador de vibração Falcon	33
Figura 8 – Plano de preditiva para um conjunto de ventilador inserido no sistema...	34
Figura 9 – Relatório de análise de vibração	36
Figura 10 – Termografia apontando aquecimento do borne porta fusível	41
Figura 11 – Exemplo de rolamento aberto	43
Figura 12 – Lubrificação de ventilador com uso de rolamento aberto através de bomba de graxa	44
Figura 13 – Exemplo de rolamento fechado.....	44
Figura 14 – Ventilador com uso de rolamento fechado sem a presença de pontos de engate de bomba de graxa	45
Figura 15 – Gráfico comparativo do número de quebras entre os planos de preditiva por ventilador.....	46
Figura 16 – Gráfico comparativo do tempo de parada de produção não planejada entre os panos de preditiva para substituição dos ventiladores	47
Figura 17 – Gráfico dos custos de recuperação entre os planos de preditiva	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fórmulas e variáveis para critério de classificação de aquecimento	37
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados da preditiva de 720 horas.....	31
Tabela 2: Tabela de dados de medições e inspeções termográficas.....	37
Tabela 3: Tabela de Máxima Temperatura Admissível	38
Tabela 4: Fator de Correção de Carga (FCC).....	39
Tabela 5: Fator de Correção de Velocidade do vento	39
Tabela 6: Critério de Classificação de Aquecimentos	39
Tabela 7: Tabela utilizada para Inspeções Termográficas	40
Tabela 8: Tabela de inspeção termográfica para borne forte fusível 7F21	41
Tabela 9: Comparação do número de qubras entre os planos de preditiva	45
Tabela 10: Comparação das horas de parada de produção entre os planos de preditiva devido à substituição dos ventiladores.....	47
Tabela 11: Comparação dos custos de recuperação entre os planos de preditiva ...	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A – Aquecimento medido
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AC – Aquecimento corrigido
- BAT – *British American Tobacco* (Tabaco Britânico Americano)
- C – Carga
- EY – *Ernst Young*
- E&T – *Education e Training* (Educação e Treinamento)
- FCC – Fator de correção de carga
- FCV – Fator de correção da velocidade do vento
- FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica
- FMD – *Filter Manufactory Department* (Departamento de manufatura de filtro)
- Im – Corrente medida
- In – Corrente nominal
- IWS – *Integrated Work System* (Sistema de trabalho integrado)
- MAA – Máximo Aquecimento Admissível
- MTA – Máxima Temperatura Admissível
- NF – Nota fiscal
- PCM - Planejamento e Controle da Manutenção
- PED – *Production Engineering Department* (Departamento de engenharia de produção)
- P&G – *Procter & Gamble*
- R - Relação
- SAP – *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung* (Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados)
- SMD – *Secondary Manufactory Department* (Departamento de manufatura secundária)
- TA – Temperatura ambiente
- TC – Temperatura do componente inspecionado
- TMF – Tempo médio para falha
- UFU – Universidade Federal de Uberlândia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 OBJETIVO	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivo específico.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 DEFINIÇÃO	18
2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO	18
2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	19
2.3.1 Manutenção Corretiva	20
2.3.2 Manutenção Preventiva	21
2.3.3 Manutenção Preditiva	22
2.3.3.1 Tipos de manutenção preditiva	22
2.3.3.1.1 Termografia	23
2.3.3.1.2 Análise de vibração	24
2.4 CUSTOS DE MANUTENÇÃO	25
2.5 ORDEM DE SERVIÇO	25
3. METODOLOGIA.....	26
3.1 ESTUDO DE CASO.....	27
3.1.2 Identificação da empresa	28
3.1.3 Características do departamento Secundário.....	28
3.1.4 Grupo ventiladores	29
3.1.5 Sistema de gestão da manutenção utilizado.....	30
3.1.6 Análise de dados com preditiva de 720 horas	30
3.1.7 Disponibilidade da equipe executora da manutenção preditiva	31
3.1.8 Equipamentos da análise preditiva.....	32
3.1.8.1 Câmera termográfica Fluke TiS55	32
3.1.8.2 Analisador de Vibração <i>Falcon One Prod</i> , dois canais	32

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 CAPACITAÇÃO DE EQUIPE PARA REALIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	33
4.2 ORGANIZAÇÃO DAS EXECUÇÕES PREDITIVAS	34
4.3 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	35
4.4 TERMOGRAFIA	36
4.5 PRINCIPAIS FALHAS DETECTADAS DURANTE O TRABALHO	42
4.6 QUEBRAS OCORRIDAS COM PREDITIVA DE 360 HORAS.....	45
4.7 IMPACTOS NA PRDUÇÃO REFERENTE À QUEBRAS.....	46
4.8 CUSTOS DE MANUTENÇÃO	47
4.9 ALTERAÇÃO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO	48
5. CONCLUSÃO.....	49
6. REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A introdução de linhas de produção cada vez mais tecnológicas e eficientes nos parques industriais tem exigido uma necessidade crescente de eficiência em todos os âmbitos de produção, como matéria-prima de alta qualidade, conhecimento humano cada vez mais aprofundado e atualizado, estabelecendo uma relação de dependência cada vez maior do processo produtivo com manutenções eficientes e adequadas à realidade de produção (NEPOMUCENO, 1998). Dessa maneira, a disponibilidade de máquina por redução de quebras e paradas não planejadas, o aumento dos lucros, a diminuição de custos de produção, a qualidade, a alta mantabilidade, estão diretamente relacionados com a qualidade da manutenção empregada em uma indústria (REZENDE, 2008).

Porém, a manutenção ainda é um grande grande desafio no parque industrial brasileiro. Pode-se inferir que existem três paradigmas da manutenção, relacionados ao seu nível de desenvolvimento dentro de uma indústria:

1) Paradigma do passado: o homem da manutenção sente-se bem quando executa um bom reparo;

2) Paradigma do presente: o homem da manutenção sente-se bem quando também evita a necessidade do trabalho, a falha;

3) Paradigma do futuro: o homem da manutenção sente-se bem quando ele consegue evitar todas as falhas não planejadas (KARDEC & NASCIF (2009).

A maioria das indústrias brasileiras trabalham no paradigma do passado, onde a equipe de manutenção atua, em sua maior parte, na resolução de quebras e defeitos ocorridos em linhas de produção, estando poucas no paradigma do futuro, onde o setor de manutenção trabalha na previsão de falhas, evitando todos os tipos de parada não planejadas (KARDEC & NASCIF (2009).

Diante disso, este trabalho foi realizado visando a identificação de melhorias nos planos de manutenção e execução de equipamentos de uma indústria, refletindo diretamente na redução de paradas inesperadas por quebras, aumentando a produtividade e reduzindo gastos, de forma a garantir uma produção cada vez mais confiável e estável. Para tanto, serão apresentadas e avaliadas ações de manutenção dos ventiladores de máquinas do processo industrial da fabricante de cigarros Souza Cruz, pertencente ao grupo BAT (British American Tobacco).

Esta pesquisa está estruturada em quatro estágios. Inicialmente é apresentada a introdução da temática abordada, juntamente com objetivos e justificativas do estudo. Em seguida, o referencial teórico, que envolve a temática de manutenção industrial, que suportou todo o desenvolvimento deste trabalho. Seguindo, tem-se a metodologia utilizada e, por fim, as conclusões e contribuições para a indústria em questão.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em 2015, com o uso do plano de manutenção preditiva generalista vigente na empresa supracitada, foram registradas 31 paradas de máquinas por quebras de ventiladores no departamento de fabricação de cigarros, totalizando uma perda de 54,3 horas de produção, R\$ 36.349,74 em custos de recuperação destes conjuntos e 32.580.000 produtos a menos no mercado. O plano vigente considerava a realização de análises de vibração e termografias a cada 720 horas de produção, além de serem realizadas por um grupo reduzido de técnicos. Notou-se então a grande oportunidade de desenvolvimento e atualização dos planos de manutenção preditiva e desenvolvimento técnico da equipe, como aliados na redução de quebras de ventiladores e dos custos de manutenção.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo geral

Propor e implementar a atualização dos planos de manutenção preditiva que desencadeiem redução de quebras, paradas de produção de forma não planejada e diminuição dos custos de manutenção de uma indústria e analisar os reais impactos associados à esta estratégia.

1.2.2 Objetivo específico

Promover a redução do tempo de execução das análises preditivas de 720 horas para 360 horas nos conjuntos de ventiladores de máquinas, em caráter experimental, num período de 12 meses. Esta ação busca redução de quebras e consequente redução de custos de manutenção através do mapeamento prematuro

de falhas, além dos impactos na produção, que poderão desencadear a alteração definitiva dos planos de manutenção preditivos vigentes, identificando oportunidades de melhorias, baseadas no acompanhamento da produção e testes, estruturado com a capacitação da equipe técnica responsável.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico serão embasadas algumas teorias principais e publicações cujo conhecimento são necessários para o entendimento do estudo realizado. Será apresentada a conceituação dentro do âmbito da manutenção industrial, correlacionando com a realidade da manutenção da fábrica em questão.

2.1 DEFINIÇÃO

A literatura compreende diversas definições sobre a manutenção e seus tipos. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, através da NBR 5462:1975, cancelada em 29/09/1981, trás manutenção como o conjunto de ações para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição desejada. Substituída por uma revisão em 1994, a NBR-5462 redefine manutenção como “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”.

É de extrema importância salientar que ao longo do tempo foi observada a necessidade de se desenvolver ações administrativas para pontencializar a manutenção industrial, visualizado na reformulação da NBR-5432. Essa definição mostra a importância de se desenvolver análises e criar ações como planos de manutenção simples e inteligentes, que auxiliem as equipes técnicas na manutenção, abrindo caminho para a identificação e o tratamento de falhas de modo precoce, classificadas como ações preventivas e preditivas.

2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO

A manutenção se altera de acordo com sua evolução no tempo. No cotidiano das pessoas é possível observar atividades de manutenção em vários aspectos: Quando afia-se uma faca sem corte, quando repõe-se a costura em uma roupa que se abriu, quando retira-se do jardim ervas daninhas que cresceram sobre

as plantas cultivadas. Sendo assim, pode-se afirmar que desde os primórdios da humanidade manutenções são executadas em diversos aspectos da vida.

A chegada da revolução industrial, através da invenção das primeiras máquinas têxteis no século XVIII, trouxe à manutenção um novo setor de atuação. O surgimento de máquinas que necessitavam de reparos para seu funcionamento abriu portas para o desenvolvimento da área. Naquela época, aquele que projetava as máquinas, treinava as pessoas para operarem e consertarem, intervindo apenas em casos mais complexos. Até então, o operador era o mantenedor - mecânico. Somente no último século, quando as máquinas passam a serem movidas, também, por motores elétricos, é que surge a figura do mantenedor eletricitista (WIREBSK, 1997). A manutenção atuava no “Paradigma do passado”, segundo definições de Alan Kardec e Julio Nascif, no qual as atuações eram feitas em categoria de bom reparo, não com o objetivo de se aumentar a confiabilidade e estabilidade das linhas de produção.

Apenas com o aumento da demanda produtiva, com o passar dos anos, foi verificada a necessidade de se monitorar as máquinas e desenvolver outros tipos de manutenções, abrindo espaço para as categorias conhecidas hoje como preventivas e preditivas.

2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção pode ser classificada em diversos tipos, de acordo com as variadas literaturas existentes, porém, será tratado nesse trabalho apenas a estratificação em três grandes categorias: Manutenções corretivas, Manutenções Preventivas, e Manutenções Preditivas. Essa classificação está presente no Sistema de gestão de processos utilizado pela Souza Cruz, denominado *Integrated Work Systems* (IWS). O IWS é um sistema de gestão desenvolvido pelo grupo *Ernst Young* (EY) e *Procter & Gamble* (P&G), e possui como objetivo principal a eliminação de perdas. Para isso, a padronização do processo fabril em todas as suas estruturas como produção, manutenção, treinamento, *Supply chain*, dentre outras, é necessária. A metodologia tem sua fundamentação no sistema Toyotista de produção, desenvolvido pela *Toyota Motor Corporation*, que visa o fornecimento de qualidade ao menor custo e tempo possível, por meio da eliminação de perdas em uma produção sob demanda de mercado. O tratamento da manutenção dentro do IWS está alinhado com as diretrizes de menor custo e tempo possível, por meio da eliminação de perdas, abrindo grande leque à aplicação de manutenções preventivas e preditivas,

apresentadas na sequência.

2.3.1 Manutenção Corretiva

Caracterizada como a forma mais simples de gestão de equipamentos e manutenção, tem atuação sobre a máquina após uma pane ou quebra de um componente, sem qualquer acompanhamento prévio anterior ou planejamento das ações. A lógica da gerência em manutenção corretiva é simples e direta: quando uma máquina quebra, conserte-a. Este método (“Se não está quebrada, não conserte”) de manutenção de maquinaria fabril tem representado uma grande parte das operações de manutenção da planta industrial, desde que a primeira fábrica foi construída. Uma planta industrial usando gerência por manutenção corretiva não tem nenhum gasto com manutenção até que uma máquina ou sistema falhe em sua operação (ALMEIDA, 2000).

Porém, mesmo que não seja feito nenhum investimento em manutenções preventivas ou preditivas, os custos associados à esse tipo de manutenção são os mais altos e desencadeiam uma série de consequências negativas à indústria. Pode-se citar:

- Necessidade de sobressalentes em estoque, gerando o emprego de um alto valor em peças de reposição emergenciais;
- Paradas de linha de produção sem planejamento e durante longos períodos de tempo, devido à não detecção antecipada da falha e a falta de planejamento das ações de correção;
- Quebra de outros conjuntos relacionados à peça em questão, uma vez que uma quebra inesperada pode desencadear quebras consecutivas em conjuntos interligados;
- Altos custos de reparo dos conjuntos ou peças danificados;
- Uso de mão de obra extra devido à não previsão das quebras;
- Aquisição emergencial de peças danificadas não atribuídas ao estoque da fábrica, fazendo com que a equipe de manutenção seja obrigada a comprar os itens em valor de mercado, ficando a mercê do prazo de entrega do fornecedor.

A manutenção corretiva é dividida em dois subtipos: Corretiva Planejada e Corretiva Não Planejada. A corretiva não planejada é uma técnica de gerência reativa que espera pela falha da máquina ou equipamento, antes que seja tomada qualquer ação de manutenção (ALMEIDA, 2000). A corretiva planejada visualiza o defeito,

através de alguma técnica preditiva e permite o agendamento da troca do componente ou conjunto defeituoso. Dessa forma, os impactos causados por parada de produção são minimizados, porém, os custos referente ao não conhecimento da quebra são presentes e expressivos.

Poucas plantas industriais usam uma filosofia verdadeira de gerência por manutenção corretiva. Em quase todos os casos, as plantas industriais realizam tarefas preventivas básicas, como lubrificação e ajustes da máquina, mesmo em um ambiente de manutenção corretiva. Entretanto, neste tipo de gerência, as máquinas e outros equipamentos da planta industrial não são revisados e não são feitos grandes reparos até que o equipamento falhe em sua operação (ALMEIDA, 2000).

2.3.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é caracterizada pela criação de planos de manutenção de acordo com o tempo de trabalho da máquina. O parâmetro utilizado para estabelecer o tempo certo de troca ou reparo da peça ou conjunto é denominado Tempo Médio para Falha (TMF), que estabelece que após determinado período de tempo, falhas podem ocorrer ou peças danificarem por desgaste devido ao tempo de operação.

Todos os programas de gerência de manutenção preventiva assumem que as máquinas degradarão com um quadro de tempo típico de sua classificação em particular. Por exemplo, uma bomba centrífuga , horizontal, de estágio simples normalmente rodará 18 meses antes que tenha que ser revisada. Usando técnicas de gerência preventiva, a bomba seria removida de serviço e revisada após 17 meses de operação (ALMEIDA, 2000). No caso citado por Márcio Tadeu de Almeida, a manutenção preventiva garante que o reparo seja feito antes da quebra e de forma planejada, reduzindo os impactos gerados por parada de produção, altos custos de aquisição de peças e recuperação dos conjuntos. Porém, pode-se ter o impasse da troca do ítem ser feita puramente por solicitação do plano de manutenção, sem necessidade por desgaste ou vida útil, de forma prematura e precipitada. Nesses casos, o valor investido em todo processo de manutenção representa um gasto desnecessário e precoce. Entretanto, a análise dos custos de manutenção tem mostrado que um reparo feito de uma forma reativa (isto é, após a falha) normalmente será três vezes mais caro do que o mesmo reparo feito numa base programada (ALMEIDA, 2000).

2.3.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é caracterizada pela análise e monitoramento de variáveis e parâmetros de desempenho de equipamentos, focando na descoberta do problema antes da quebra ou falha em uma linha de produção. Dessa forma, a manutenção preditiva alinha-se à uma característica de planejamento de reparo, onde define-se o melhor instante de intervenção, aproveitando-se ao máximo a vida útil do equipamento. Monitora-se a peça ou conjunto e analisa-se a causa raiz de seu defeito, possibilitando a escolha antecipada das ferramentas necessárias para seu reparo, a aquisição de peças em tempo hábil, a preparação da mão de obra e a programação de parada da produção, ou o estudo da possibilidade de intervenção sem parada.

Talvez a diferença mais importante entre manutenção reativa e preditiva seja a capacidade de se programar o reparo quando ele terá o menor impacto sobre a produção. O tempo de produção perdido como resultado de manutenção reativa é substancial e raramente pode ser recuperado. A maioria das plantas industriais, durante períodos de produção de pico, operam 24 horas por dia. Portanto, o tempo perdido de produção não pode ser recuperado (ALMEIDA, 2000).

Segundo Márcio Tadeu de Almeida, “a manutenção preditiva tem muitas definições. Para os mecânicos, a manutenção preditiva monitora a vibração da maquinaria rotativa numa tentativa de detectar problemas incipientes e evitar falha catastrófica. Para os eletricitas, é o monitoramento das imagens infravermelhas de circuitos, de chaves elétricas, motores, e outros equipamentos elétricos para detectar problemas em desenvolvimento”.

Dessa forma, é possível se monitorar as condições dos equipamentos e acompanhar o surgimento e evolução das falhas, inclusive de processos críticos e especiais, melhorando a produtividade, estabilidade de linhas de produção e promovendo confiabilidade no processo produtivo.

2.3.3.1 Tipos de análise preditiva

As técnicas de monitoramento utilizadas dentro da análise preditiva são diversas. E quanto maior o número e os tipos de monitoramento realizados, maior é a confiabilidade da manutenção industrial e maiores são os recursos para que engenheiros e técnicos de manutenção tomem decisões sobre intervenções, controle de estoque de peças, planejamento de custos anuais e dinâmica das máquinas. Os

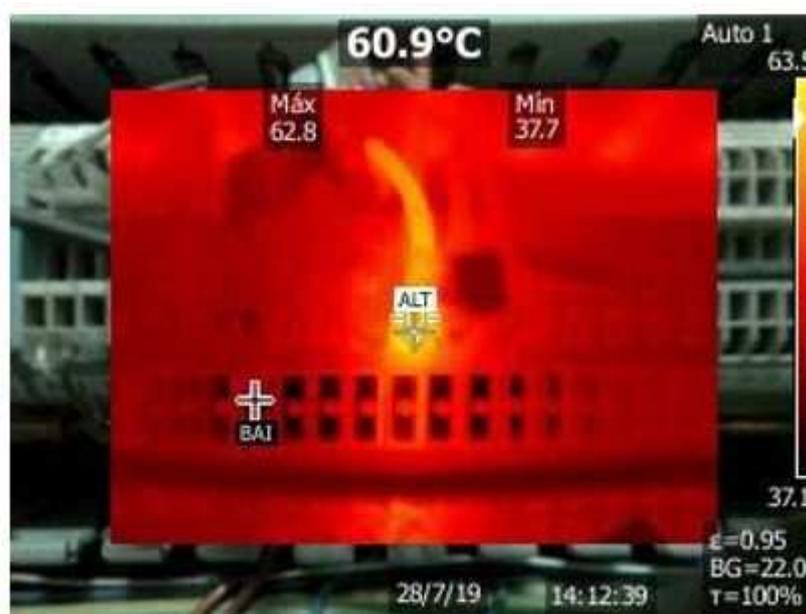
monitoramentos podem ser feitos por análise termográfica, análise de vibração, ultrassom, tribologia, inspeção visual, ferrografia, monitoria de processo, dentre outras técnicas não-destrutivas.

Cada técnica tem um conjunto único de dados que assistirá o gerente de manutenção na determinação da necessidade real de manutenção (ALMEIDA, 2000). Este trabalho está focado em dois tipos de análise: vibração e termografia.

2.3.3.1.1 Termografia

A termografia é uma técnica de monitoramento não destrutiva que faz uso de uma câmera capaz de captar ondas infravermelhas em espectros de frequência não visíveis a olho nu, formando uma imagem ótica e uma imagem termográfica. A figura 1 mostra uma imagem capturada por este tipo de câmera.

Figura 1 – Imagem termográfica de uma régua de borne



Fonte: Elaborado pela autora

As câmeras possibilitam a obtenção de medições de temperatura precisas. A maior parte dos conjuntos elétricos e mecânicos apresentam sobreaquecimento antes de apresentarem falhas, fazendo com que a câmera termográfica seja extremamente eficaz em termos de custo/benefício, uma vez que adquirida pela equipe de manutenção pode ser utilizada em toda a indústria.

Além disso, à medida que as indústrias lutam para melhorar a eficiência dos processos de fabricação, de controle de energia, de qualidade dos produtos e de

segurança dos seus funcionários, novas aplicações para as câmeras termográficas infravermelhas continuam a aparecer (SILVA, 2012).

2.3.3.1.2 Análise de vibração

Desde que a maioria das fábricas de manufatura e de processo baseiam-se em equipamentos mecânicos para a maior parte de seus processos, a manutenção preditiva baseada em vibração é a técnica dominante usada para a maioria dos programas de gerência de manutenção (ALMEIDA, 2000). Em situações simples do cotidiano é possível identificar a ligação da vibração com o funcionamento de equipamentos: para motoristas de carro, um pouco de vibração no volante durante a condução pode sinalizar desbalanceamento das rodas, ou em momentos de frenagem, empenamento das pastilhas de freio.

Todos os componentes de um conjunto possuem uma frequência de vibração diferente em relação aos demais, que podem ser isoladas dentro do espectro de frequência, identificadas e analisadas em suas características particulares. As características de vibração, com amplitude e frequência, deverão permanecer constantes até que se ocorram alterações na integridade do componente ou mudança da dinâmica operacional.

A análise de vibração é o processo pelo qual identifica-se variações nas frequências de vibração que o equipamento apresenta, através do uso de sensores, para identificação precoce de falhas. Cada irregularidade observada indica um defeito que precisa de correção como desbalanceamento, defeitos nos rolamentos, lubrificação, falha elétrica, folgas mecânicas, eixo empenado, cavitação, dentre outras.

As vibrações podem ser apresentadas em baixas frequências, médias ou altas. Essa natureza auxilia na definição dos sensores que podem ser utilizados na identificação das falhas. Para máquina com baixa frequência de vibração, comumente utiliza-se o de deslocamento. Entre frequências baixas e médias, pode ser utilizado um sensor de velocidade. E para aplicações gerais de frequências altas, médias e baixas, utiliza-se o acelerômetro. Esse tipo de sensor trabalha com a identificação do movimento de uma estrutura e consegue convertê-lo em uma tensão de referência com a aceleração da gravidade terrestre. Sobre as amostras coletadas por estes sensores são normalmente aplicadas a Transformada de Fourier, que separa a frequência principal de vibração das frequências harmônicas, formando o espectro para

análise.

Figura 2 – Exemplo de instrumento coletor de dados de vibração através do uso de acelerômetro



Fonte: One Prod, 2020

2.4 CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Os custos de manutenção correspondem a parte principal dos custos operacionais totais de todas as plantas industriais de manufatura e de produção. Dependendo da indústria específica, os custos de manutenção podem representar entre 15% a 30% do custo dos bens produzidos. Por exemplo, em indústrias alimentícias, os custos médios de manutenção podem representar cerca de 15% do custo dos bens produzidos; enquanto que nas indústrias siderúrgicas, de papel e celulose, e outras indústrias pesadas, a manutenção pode representar até 30% dos custos totais de produção (ALMEIDA, 2000).

Grande parte desses custos são gastos com manutenções desnecessárias ou realizadas de forma inadequada, devido a falta de métodos preditivos que poderiam auxiliar na melhor gestão da manutenção industrial (ALMEIDA, 2000).

2.5 ORDEM DE SERVIÇO

Tão importante quanto a execução da manutenção, é a gestão aplicada que oriente sua ocorrência e efetividade. As indústrias estão sempre investindo na aquisição de sistemas que gerenciem a manutenção através de um banco de dados que cruzem as informações de planos de manutenção, com ordens de serviço que orientem a execução do tipo (preventiva ou preditiva), valor do reparos, estoque de

peças e histórico. A Ordem de Serviço (O.S) é uma instrução escrita enviada mediante documento eletrônico ou físico (papel) que define um trabalho a ser executado pela manutenção (VIANA, 2014). Através desse documento, a equipe de manutenção formaliza um trabalho que deverá ser realizado, como a troca de um sensor e substituição de um motor. As ordens são geralmente impressas e repassadas ao setor de execução, que após realizá-la deverá formalizar o encerramento da pendência no sistema de gestão utilizado. Conforme ilustrado na figura 3, o documento geralmente contém informações importantes que caracterizam e orientem a execução, como número de processamento, nota do sistema de gestão que formalize a necessidade de criação de OS, a identificação do local de atividade, data de emissão, identificação do solicitante do serviço.

Figura 3 – Exemplo de ordem de serviço de manutenção

ZPM6 Order de Manutenção para Recuperação Número da Página <1/2>

DETALHES DO CABEÇALHO

Numero da Ordem	1002198694	REPARO DO MOTOR DO AF BAY 1-RIEDEL	PM tipo de atividade	
Grupo Planejador	040 / BRAD	UTL Planner	Condição do Sistema	
Centro de Trabalho Principal	BRUTL002 / BRAD	BR-UTL-ELÉTRICO PREVENTIVA	Manut. Plano / Notificação	1000784514
Localização Funcional	BRAD-UTL1-041-BAY-GRPL1	FILTRO RIEDEL BAY 01	Prioridade	Média
Equipamento	10048103	MOTOR VENTILADOR AF BAY - 01 - RIEDEL	Início Básico	06/01
Montagem			Término básico	06/01

Cabeçalho texto longo

REPARO DO MOTOR DO AF BAY 1-RIEDEL 06.01 - 14:17:01 UTC Eduardo Silveira (85015034) REPARO/MANUTENÇÃO DO MOTOR DO VENTILADOR DO AF BAY 1-RIEDEL

OPERAÇÕES VISÃO GERAL

Operação	Centro de Trabalho	Chave de Controle	Descrição	Duração	Numero de Pessoas	Concluído	Trabalho Restante
0010	BRUTL002 / BRAD	PM01	REPARO DO MOTOR DO AF BAY 1-RIEDEL				

COMPONENTES VISÃO GERAL

Operação	Material	Descrição / MPN	Qtde	UM	Posição Fixa	Mandatário	Retorno / Comentário

Fonte: Elaborado pela autora

3. METODOLOGIA

Para desenvolvimento deste trabalho, foi necessária a atividade conjunta com o departamento de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), técnicos eletrônicos, técnicos mecânicos e gestores de fábrica de cigarros da empresa Souza Cruz.

Todos os anos a indústria é desafiada a reduzir os custos de manutenção, alinhado com o aumento de produtividade e redução dos custos por milheiro de cigarro. No início de 2017, os gestores de fábrica levantaram a oportunidade existente nos conjuntos de ventiladores do setor de fabricação de cigarros, visto que foram registradas 31 quebras nos anos anteriores. A identificação das áreas de oportunidade partiu do princípio de que os planos de manutenção preventiva originais dos fabricantes estavam sendo seguidos e os planos de manutenção preditiva estavam parcialmente em dia. A manutenção preditiva possibilita o acompanhamento das falhas em seus estágios iniciais, quando realizada de forma frequente, de acordo com o regime de operação da indústria. A ideia de alteração na frequência e no modo de realização da preditiva foi apresentado como a principal solução para evitar quebras e gastos corretivos. Iniciou-se então o estudo para modificação dos planos de manutenção preditiva de 720 para 360 horas, a fim de acompanhar os conjuntos para evitar quebras e paradas de produção não planejadas. Para tanto foram idealizados os seguintes procedimentos:

- levantar a quantidade de conjuntos, quantificar as quebras, o custo de reparo dos conjuntos, o tempo gasto para substituição dos itens, as principais causas de quebras, a produção perdida e suas consequências.
- avaliar as oportunidades nos planos preditivos, uma vez que se estivessem criados conforme necessidade dos conjuntos, não deveriam ter sido registradas quebras em número tão elevado e impactos tão grandes na produção sem o monitoramento da equipe de PCM.
- verificar todas as variáveis que dificultavam a realização das manutenções preditivas, como quantidade de técnicos capacitados para realização das medições e elaboração dos relatórios, quantidade de equipamentos de análise disponíveis, dentre outros.
- atualizar dos planos de acordo com a realização da manutenção preditiva e os resultados obtidos nos meses de trabalho contemplados no ano de 2018.

3.1 ESTUDO DE CASO

Objetivando apresentar a aplicação dos procedimentos apresentados e seus impactos em um setor específico do processo produtivo da indústria, tais informações foram compiladas em um estudo de caso, cujos detalhes são

apresentados na sequencia.

3.1.2. Identificação da empresa

A Souza Cruz é uma empresa que atua no ramo do tabaco desde 1903, inaugurando a unidade de Uberlândia em 1978, local onde este trabalho foi realizado. Com mais de 1200 funcionários diretos, atua no desenvolvimento da região, gerando renda e crescimento para a Triângulo Mineiro. Pertencente ao grupo BAT, atua no abastecimento do mercado nacional e internacional. A fabrica é dividida em três grandes departamentos produtivos: PMD (Primary Manufactory Department), conhecido apenas como Primário, responsável pelo processamento de fumo; SMD (Secondary Manufactory Department), conhecido apenas como Secundário, responsável pela fabricação de cigarros; e FMD (Filter Manufactory Department), conhecido apenas como Filtros, responsável pela fabricação de filtros comuns e especiais. Este trabalho está especificamente voltado para as linhas de produção do departamento Secundário, especificamente nas máquinas fabricantes de cigarro.

O grupo BAT adotou como sistema de gestão o IWS, criado pelos parceiros EY e P&G. A metodologia desenvolvida possui como objetivo principal a eliminação de perdas. Para isso, a padronização do processo fabril em todas as suas estruturas é necessária, inclusive na manutenção. A metodologia tem sua fundamentação no sistema Toyotista de produção, que visa o fornecimento de qualidade ao menor custo e tempo possível, por meio da eliminação de perdas em uma produção sob demanda de mercado. Explorando o pilar da manutenção dentro do IWS, o foco é reduzir a necessidade de manutenção corretiva para se trabalhar apenas com manutenção preditiva (redução de quebras e de perdas), como por exemplo a necessidade de troca de peça/material que acarreta parada de linha de produção ou troca de um sensor que parou de funcionar, de um cabo quebrado ou de um motor que apresentou avaria.

3.1.3 Características do departamento Secundário

O SMD é composto por 23 módulos ativos de produção. Considera-se módulo a linha de produção formada pelo conjunto de 4 máquinas: *Maker*, fabricante de cigarro; *Packer*, fabricante de carteiras de cigarro com 20 unidades; *Wrapper*, responsável pela aplicação do selo em carteira e pelica e *Blundler*, empacotadora, responsável pela formação de pacotes com 10 carteiras cada. As produções de uma *Maker*, figura 4, variam de acordo com a tecnologia e fabricante, tendo-se máquinas

que fabricam 8.000 cigarros/minuto até máquinas que fabricam 20.000 cigarros/minuto.

As máquinas trabalham em regime constante de produção, 24 horas do dia, 7 dias por semana, parando apenas para limpezas e manutenções planejadas. Justamente por esse fato toda parada de produção não planejada representa perda de produto que deveria abastecer mercado, já que o planejamento produtivo trabalha mediante tendência de consumo, ou seja, apenas sob demanda de produto, e não com o intuito de se criar estoques. O volume de produção do departamento chega a quase 50 bilhões de cigarros anuais. Cada minuto de máquina parada, considerando uma produção média de 10.000 cigarros/ minuto, com o preço da carteira à R\$ 8,50, representa R\$ 4250,00 de produção perdida.

Figura 4 – Exemplo de maker



Fonte: Hauni, 2020

3.1.4 Grupo ventiladores

Durante o processo de fabricação de cigarros, o produto é transportado dentro da *maker* através do processo de transmissão de tambores, que agarram o cigarro em suas fissuras através de pressão negativa (sucção) gerada pelos ventiladores. Dependendo do fabricante e do modelo de máquina, recebem nomes diferentes, como: Câmara de sucção, Vertical, AF12, Max e *Spider*, porém todos com a mesma função: geração de sucção. Este sistema pode ser observado na figura 5. O departamento possui um total de 106 ventiladores de *maker*, uma vez que as *makers*

se diferenciam na quantidade de ventiladores, de acordo com o fabricante.

Figura 5 – Exemplo de ventilador da maker



Fonte: Elaborado pela autora

3.1.5 Sistema de gestão de manutenção utilizado

Devido à quantidade de departamentos e processos que uma empresa possui, faz-se necessário o uso de um sistema de gestão unificado para gerir e compilar todos os processos e documentos necessários à sua operação. Estes sistemas são aplicados à áreas diversas, como finanças, manutenção, produção, utilidades, estoques, expedição, recursos humanos e outros. Como exemplo, pode-se citar toda gestão de requisição de compras, entradas de NFs, planejamento de pagamento de fornecedores, na área financeira. Em manutenção, a criação de planos preditivos e preventivos e sua programação de execução, a criação de ordens para troca de componentes pelas equipes técnicas, o controle de estoque e sua disponibilidade em almoxarifado, e outra infinidades de aplicações.

A fábrica de Uberlândia, assim como todas as outras unidades do grupo BAT, utilizam o SAP (*Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*) como sistema de gestão corporativa, criado pela empresa alemã SAP AG.

3.1.6 Análise dos dados com preditiva de 720 horas

De acordo com os dados obtidos através do histórico de manutenção no sistema utilizado pela fábrica, as principais causas de quebras desses conjuntos foram: desbalanceamento de rotor, falha de rolamento, falha elétrica, desalinhamento entre polias e fixação na bases e falhas de rolamento devido à alta temperatura. Verifica-se aqui que todas essas quebras poderiam ter sido evitadas através do

acompanhamento da manutenção preditiva, com o uso de termografia e análise de vibração, além de poderem ser implementadas melhorias de engenharia como modificação dos tipos de rolamentos utilizados e lubrificação.

O plano preventivo desses conjuntos eram realizados a cada 4500 horas de atividade de máquina, de acordo com a especificação do fabricante. Em 2015 foram registradas 31 quebras, com um somatório de 54 horas e 18 minutos de parada de produção para substituição dos conjuntos, gerando uma perda anual de 32.580.000 cigarros. O custo total para recuperação dos conjuntos foi de R\$ 36.349,74, de acordo com a tabela 1:

Tabela 1: Dados da preditiva de 720 horas

Conjunto	Código	Plano Preditivo (horas)	Número de quebras	Tempo para troca unitário (min)	Tempo total (horas)	Perda de produção (cigarros)	Custo de recuperação
Ventilador câmara de sucção	89674516	720	8	171	22,8	13.680.000	R\$ 5.693,41
Ventilador Vertical	89660835	720	6	70	7	4.200.000	R\$ 11.106,57
Ventilador AF12	89605175	720	1	171	2,9	1.740.000	R\$ 2.510,75
Ventilador max	89506323	720	8	100	13,3	7.980.000	R\$ 8.388,92
Ventilador Spider	89603578	720	8	62	8,3	4.980.000	R\$ 8.650,09
TOTAL			31	574	54,3	32.580.000	R\$ 36.349,74

Fonte: Elaborado pela autora

3.1.7 Disponibilidade da equipe executora da manutenção preditiva

Um dos grandes empecilhos para o cumprimento dos planos de preditiva em indústrias de produção contínua é a disponibilidade de técnicos capacitados para as execuções e quantidade de equipamentos para uso. O corpo técnico responsável pelas termografias era formado por 32 técnicos, porém apenas 4 com treinamento para manuseio da câmera termográfica e montagem de relatórios, o que representa 12% da equipe.

Para as análises de vibração, apenas 1 pessoa era capacitados para fazer

a coleta dos dados e interpretar o software de geração de relatórios.

3.1.8 Equipamentos da análise preditiva

A fábrica dispunha de duas câmeras termográficas e dois equipamentos de identificação das frequências de vibração, apresentados nas figuras 6 e 7 com os seguintes dados:

3.1.8.1 Câmera termográfica Fluke TiS5.

Resolução das imagens: 220x165 (36.300 pixels);

Intervalo de medição de temperatura: -20 °C a 450 °C (-4 °F a 842 °F);

Figura 6 – Câmera Termográfica Fluke TiS55



Fonte: Fluke, 2020

3.1.8.2 Analisador de Vibração Falcon One Prod, dois canais.

Frequência de amostragem: 102,4 kHz para cada canal e até 204,8 kHz em 2 canais.

Figura 7 – Analisador de vibração Falcon



Fonte: One Prod, 2020

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho será avaliada a efetividade do acompanhamento por análise preditiva do grupo de ventiladores do setor secundário do processo produtivo da empresa em estudo, com o aumento da frequência de execução para 360 horas, visualizando redução de quebras e conseqüente redução de custos de manutenção com os conjuntos recuperados.

4.1 CAPACITAÇÃO DE EQUIPE PARA REALIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA

O departamento de *Education & Training (E&T)* da indústria é o setor responsável pelo levantamento das necessidades de treinamento técnico, contratação de empresas de capacitação e replicação do conhecimento entre membros da equipe ou novos colaboradores que adentrarem na área. Fez-se então o treinamento “*on the job*” com os técnicos, que consiste no aprendizado dos processos diretamente no campo. O técnico responsável pelas capacitações realizou diversas medições acompanhado de cada membro específico que precisava ser treinando, além de auxiliá-los na criação dos relatórios, garantindo 100% de treinamento da área.

A mesma experiência foi realizada com os técnicos e analistas responsáveis pelas análises preditivas de vibração, aumentando o número de executores de 1 para 2, estes em caráter de trabalho dedicado, ou seja, eram

responsáveis apenas pela realização dos testes em campo e elaboração de relatório, não executando outra função na indústria. Com a equipe capacitada, os planos preditivos atualizados puderam ser realizados.

4.2 ORGANIZAÇÃO DAS EXECUÇÕES PREDITIVAS

Considerando planos de 360 horas para os conjuntos, uma análise deveria ser realizada a cada 15 dias para o mesmo equipamento. Os 106 ventiladores do setor compunham uma rotina de 216 medições mensais, que representa 7 medições diárias. Elas foram separadas em 3 turnos de execuções para as termografias, onde foi considerado 2 medições no primeiro turno de produção, 2 no segundo e 3 no terceiro. Para as medições de vibração, foram definidas execuções durante o período comercial de trabalho, de 07h30 min às 17h00.

Como forma de garantir as execuções e orientar o trabalho dos técnicos executores, os planos foram inseridos no sistema de gestão utilizado, SAP. Diariamente as ordens de execução de preditiva eram emitidas do sistema e distribuídas aos executores, que as executava, em sua maioria, acompanhado pelo autor deste trabalho. Abaixo, segue o exemplo do plano de preditiva introduzido no sistema.

Figura 8 – Plano de preditiva para um conjunto de ventilador inserido no sistema

Oper	SOp	CenTrab	Ce...	Ch...	ChvMo...	C.	Txt.breve operação	T...	Trabalho real	CdCb
0010		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR MANCAL ACION. DA AF12			0.100 Atualiz.manu...
0020		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR ESTIC. DA CORREIA ACION. AF12			0.100 Atualiz.manu...
0030		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR MC. ACION. PRINCIPAL ARANHAS			0.100 Atualiz.manu...
0040		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR MOTO-VENTIL. DA ARANHA			0.100 Atualiz.manu...
0050		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR MOTO-VENTIL. TROCA BOBINAS			0.100 Atualiz.manu...
0060		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR MOTOR VENTIL. DA EXTRACAO			0.100 Atualiz.manu...
0070		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR VENTIL. ESTRACAO PONTEIRA			0.100 Atualiz.manu...
0080		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR MOTOR DA FACA BARRA DUPLA			0.100 Atualiz.manu...
0090		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR MOTOR VENTIL. SUCCAO AF12			0.100 Atualiz.manu...
0100		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR VENTIL. DE SUCCAO AF12			0.100 Atualiz.manu...
0110		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR MOTOR DA FACA CORTE FINAL			0.100 Atualiz.manu...
0120		BRSHD050	BRAD	FM01		0	COLETAR BOMBA DE OLEO DA AF12			0.100 Atualiz.manu...

4.3 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

Durante 12 meses, foram realizadas análises de vibração a cada 360 horas de produção nos conjuntos de ventiladores. Os resultados obtidos tornaram-se, com o passar do tempo, cada vez mais efetivos e confiáveis e os executores cada vez mais experientes na criação de relatórios, análises aprofundadas e planejamento das intervenções, explorando ao máximo a vida útil dos conjuntos antes da substituição. As falhas encontradas eram monitoradas até evoluírem para estágio de possível quebra. Os dados abaixo referem-se à um dos relatórios emitidos para o Ventilador vertical da *Maker*. Apenas com o diagnóstico em crítico foi realizada a programação da substituição, com criação de Nota no sistema e Ordem de manutenção pela equipe de PCM, contendo orientações para a substituição correta, como alinhamento cruzado, tensionamento de correia e fixação. Um exemplo deste documento é apresentado na figura 9.

Figura 9 – Relatório de análise de vibração

Local	Equipamento	Diagnóstico				Recomendações
		Coleta anterior		Coleta atual		
Maker - Protos 100/ Módulo 41	Vent. Vertical	ACEITAVEL		CRITICO		Rolamento
		18/04/2018 09:22:05	03/05/2018 19:57:16	Cond.	CdP	
		Rolamento				
Local	CIGARRO PROTOS100- SD41\					
Equipament	PROTOS100-M4A					
	Ventilador Vertical					
	FABRICA CIGARROS					Fixa
Abrev.	VTVERTIC					
Nº de série	110528					
Modelo	83.12.843					
Periodicidade	Normal 60 Alarme 15					
Conselho anterior		Cond.	Rotação			
18/04/2018 09:22:05	ACEITAVEL	CdP	109 Hz	6540 rpm		
02/04/2018 15:43:37	BOM	CdP	109 Hz	6540 rpm		
15/03/2018 07:45:09	BOM	CdP	109 Hz	6540 rpm		
26/02/2018 10:17:07	BOM	CdP	109 Hz	6540 rpm		
04/02/2018 17:07:18	BOM	CdP	109 Hz	6540 rpm		
11/01/2018 06:04:28	BOM	CdP	109 Hz	6540 rpm		
Data	CRITICO				Rotação	109 Hz / 6540 rpm
03/05/2018 19:57:16	Os níveis de vibraçao podem causar uma quebra inesperada!				Autor	Moacir
Condição					Coletor	FALCON - 11309
CdP					Sensor	
				Conector		
Diagnóstico e Recomendações						Planilha de Parâmetros
Diagnóstico						
Rolamento						
O conjunto apresentando elevados níveis de vibração com característica de falha de rolamento						
Ordem 1001992585 com nota 1000716969						
Recomendações						
Rolamento						
Substituir o conjunto ventilador vertical e enviar para revisão.						
Código do conjunto - 89660835						
Na montagem do ventilador na maquina.						
fazer alinhamento cruzado entre ventilador e motor;						
Deixar tensionamento da correia com 35Hz						
Verificar fixação do motor e ventilador.						
Ordem 1001992585 com nota 1000716969						

Fonte: Elaborado pela autora

4.4 TERMOGRAFIA

Para estabelecermos parâmetros de intervenção de acordo com as temperaturas visualizadas nas medições termográficas, foi desenvolvida uma tabela de classificação de aquecimento, baseada no estudo realizado pelo Engenheiro Atílio Bruno Veratti, em 1982. Esse método de classificação foi adotado por empresas como *General Motors* do Brasil e Petrobrás, esta última através da CONTEC SC-23 N-2475 conferia o método à todas as medições termográficas realizadas. A intenção é classificar a falha, desde “crítico” até “normal”, e estabelecer um diagnóstico, desde “quebra eminente” até “sem falhas”, facilitando a programação da intervenção e acompanhamento do defeito. O método usa como referência o aquecimento do componente, corrigido em relação à carga de trabalho e velocidade do vento no local e o compara com o máximo aquecimento admissível para ele. O executor da

termografia deve extrair os seguintes dados de suas medições: Temperatura do ambiente (TA) (em °C), temperatura do componente inspecionado (TC) (em °C), velocidade do vento no local (em m/s), corrente nominal (In) (em *Ampére*) e corrente medida (Im) (em *Ampére*), conforme indicado na tabela 2.

Tabela 2: Tabela de dados de medições e inspeções termográficas

INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS				
Ítem:				
Tag:				
Máquina:			Módulo:	
TA (°C)	TC (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Im (<i>Ampére</i>)	In (<i>Ampére</i>)

Fonte: Elaborado pela autora

Como forma de facilitar o trabalho do executor, para inspeções em painéis de máquina, a velocidade do vento foi considerada 1 m/s. O quadro 01 mostra o significado de cada variável e fórmula usadas na elaboração de relatórios:

Quadro 1: Fórmulas e variáveis para critério de classificação de aquecimento

CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO DE AQUECIMENTOS																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>FORMÚLAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$A=TC-TA$</td> </tr> <tr> <td>$AC=A \times FCC \times FCV$</td> </tr> <tr> <td>$MAA=MTA-TA$</td> </tr> <tr> <td>$C= (Im \times In) \times 100$</td> </tr> </tbody> </table>	FORMÚLAS	$A=TC-TA$	$AC=A \times FCC \times FCV$	$MAA=MTA-TA$	$C= (Im \times In) \times 100$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SIGNIFICADO DAS VARIÁVEIS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A->AQUECIMENTO MEDIDO (°C)</td> </tr> <tr> <td>TC->TEMPERATURA DO COMPONENTE (°C)</td> </tr> <tr> <td>TA->TEMPERATURA AMBIENTE (°C)</td> </tr> <tr> <td>AC->AQUECIMENTO CORRIGIDO</td> </tr> <tr> <td>MTA->MÁXIMA TEMPERATURA ADMISSÍVEL (°C)</td> </tr> <tr> <td>MAA->MÁXIMO AQUECIMENTO ADMISSÍVEL (°C)</td> </tr> <tr> <td>FCC -> FATOR DE CORREÇÃO DE CARGA</td> </tr> <tr> <td>FCA-> FATOR DE CORREÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO</td> </tr> <tr> <td>C -> CARGA (%)</td> </tr> <tr> <td>Im-> CORRENTE MEDIDA (Ampéres)</td> </tr> <tr> <td>In-> CORRENTE NOMINAL (Ampéres)</td> </tr> </tbody> </table>	SIGNIFICADO DAS VARIÁVEIS	A->AQUECIMENTO MEDIDO (°C)	TC->TEMPERATURA DO COMPONENTE (°C)	TA->TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	AC->AQUECIMENTO CORRIGIDO	MTA->MÁXIMA TEMPERATURA ADMISSÍVEL (°C)	MAA->MÁXIMO AQUECIMENTO ADMISSÍVEL (°C)	FCC -> FATOR DE CORREÇÃO DE CARGA	FCA-> FATOR DE CORREÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO	C -> CARGA (%)	Im-> CORRENTE MEDIDA (Ampéres)	In-> CORRENTE NOMINAL (Ampéres)
FORMÚLAS																		
$A=TC-TA$																		
$AC=A \times FCC \times FCV$																		
$MAA=MTA-TA$																		
$C= (Im \times In) \times 100$																		
SIGNIFICADO DAS VARIÁVEIS																		
A->AQUECIMENTO MEDIDO (°C)																		
TC->TEMPERATURA DO COMPONENTE (°C)																		
TA->TEMPERATURA AMBIENTE (°C)																		
AC->AQUECIMENTO CORRIGIDO																		
MTA->MÁXIMA TEMPERATURA ADMISSÍVEL (°C)																		
MAA->MÁXIMO AQUECIMENTO ADMISSÍVEL (°C)																		
FCC -> FATOR DE CORREÇÃO DE CARGA																		
FCA-> FATOR DE CORREÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO																		
C -> CARGA (%)																		
Im-> CORRENTE MEDIDA (Ampéres)																		
In-> CORRENTE NOMINAL (Ampéres)																		

Fonte: Adaptado de Atílio Bruno Veratti, 1982

A Máxima Temperatura Admissível (MTA), representa a temperatura

máxima que deve ser observada na câmera termográfica para cada um dos componentes inspecionados, independente do valor da temperatura ambiente. Para facilitação dos trabalhos, foi criada a tabela 03 que define a MTA para os principais componentes das rotinas termográficas.

Tabela 3: Tabela de Máxima Temperatura Admissível

ITEM	MTA EM GRAUS
FUSÍVEIS	100
FIOS ENCAPADOS	70
CABOS ISOLADOS	70
RÉGUA DE BORNES	70
COMPONENTES INDUSTRIAIS	70 A 100
CONEXÕES MEDIANTE PARAFUSOS	90
CONEXÃO E COMPONENTES METÁLICOS	90
CONEXÃO E BARRAMENTOS DE BAIXA TENSÃO	90
CONEXÕES RECOBERTAS DE NÍQUEL OU PRATA	90
MOTORES (AVALIAR CLASSES DE ISOLAMENTO)	MÉDIA 130 PARA F

Fonte: Elaborado pela autora

O aquecimento medido (A) pode ser entendido como a diferença entre a temperatura medida pela câmera termográfica (TC) e a temperatura ambiente (TA), demonstrado na equação 1:

$$A = TC - TA \quad (1)$$

O Fator de Correção de Carga (FCC) é utilizado para corrigir o aquecimento baseado no percentual de carga que o componente trabalha, uma vez que nem sempre o ítem opera com 100% de sua capacidade. O valor pode ser determinado a partir da equação 2 que relaciona a corrente nominal (In) com a corrente medida (Im), mostrada abaixo:

$$FCC = \left(\frac{In}{Im}\right)^2 \quad (2)$$

Porém, para facilitação dos cálculos foi desenvolvida a tabela 4, que relaciona o percentual de carga com o valor FCC que deve ser utilizado. O percentual de carga pode ser encontrado através da equação 3:

$$Carga(\%) = (Im / In) \times 100 \quad (3)$$

Utiliza-se a tabela 04 para definir o FCC utilizado, a partir do percentual de carga, para valores até 50% do nominal. Não é recomendada medições termográficas

para componentes que operam com carga abaixo desse valor.

Tabela 4: Fator de Correção de Carga (FCC)

CARGA %	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
FCC	1,00	1,11	1,23	1,38	1,56	1,77	2,00	2,37	2,78	3,3	4

Fonte: Elaborado pelo autora

O fator de correção do vento (FCV), mostrado na tabela 5, é válido para condições de ensaio em que a velocidade do vento não ultrapasse 7 m/s. Para velocidades acima desse valor não é recomendada a execução dos ensaios, devido à influência da ventilação na temperatura do ítem.

Tabela 5: Fator de Correção de Velocidade do vento

VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	Até 1	2	3	4	5	6	7
FCV	1,00	1,37	1,64	1,86	2,06	2,23	2,39

Fonte: Adaptado de Atílio Bruno Veratti, 1982

Com todas as variáveis conhecidas (MTA, A, FCC e FCV), deve ser realizado o cálculo do Aquecimento Corrigido (AC) através da equação 4, e do Máximo Aquecimento Admissível (MAA), representado pela equação 5:

$$AC = A \times FCC \times FCV \quad (4)$$

$$MAA = MTA - TA \quad (5)$$

Através desses valores, calcula-se a relação (R) entre os dois, mostrada na equação 6, que será utilizada como parâmetro para classificação do nível de falha:

$$R = \frac{AC}{MAA} \quad (6)$$

A variável R será usada para determinação do diagnóstico de falha e classificação da intervenção, conforme tabela 6:

Tabela 6: Critério de Classificação de Aquecimentos

CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO DE AQUECIMENTOS		
R = AC/MAA	DIAGNÓSTICO	CLASSIFICAÇÃO
1,2 < R	EMINENTE	CRÍTICO
0,9 <= R < 1,2	POTENCIAL	INTERVENÇÃO IMEDIATA
0,6 <= R < 0,9	PROVÁVEL	INTERVENÇÃO PROGRAMADA

0,3 ≤ R < 1	SUSPEITA DE FALHA	OBSERVAÇÃO
R < 0,3	NORMAL	NORMAL

Fonte: Adaptado de Atílio Bruno Veratti, 1982

Para rotina de inspeções, foi elaborada a tabela 7:

Tabela 7: Tabela utilizada para Inspeções Termográficas

INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS				
Ítem:				
Tag:				
Máquina:			Módulo:	
TA (°C)	TC (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Im (Ampére)	In (Ampére)
CÁLCULOS				
EQUAÇÃO	RESULTADO	FCC DETERMINADO:		
A=TC-TA		FCV DETERMINADO:		
C= (Im / In) x 100		DIAGNÓSTICO:		
AC=AxFCCxFCV		CLASSIFICAÇÃO:		
MAA=MTA-TA				
R = AC/ MAA				

Fonte: Elaborado pela autora

Com base nestas premissas, diversas avarias foram detectadas ao longo das medições que puderam ser tratadas de forma antecipada antes da ocorrência da quebra. A figura 10 ilustra uma análise de termografia em que foi identificado aumento de temperatura no borne porta fusível. Identificando possível avaria, foi preenchida a tabela de Classificação de aquecimentos (tabela 08), dando como diagnóstico de falha potencial e necessidade de intervenção imediata para reparo.

Figura 10 – Termografia apontando aquecimento do borne porta fusível



7. DESCRIÇÃO DA ANOMALIA / OBSERVAÇÕES

Local: Gabinete elétrico

Termografia: Aquecimento no borne porta fusível 7F21

Recomendação: Retirar o porta fusível, dar pressão na mola, refazer o reaperto e realizar novamente a inspeção termográfica.

Tempo aproximado 10 minutos

Ordem 1001558132 com nota 1000576088 gravada

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 8: Tabela de inspeção termográfica para borne porta fusível 7F21

INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS				
Ítem: Porta Fusível				
Tag: 7F21				
Máquina: Gabinete Elétrico GD121			Módulo:	
TA (°C)	TC (°C)	Velocidade do vento (m/s)	Im (Ampére)	In (Ampére)
24	95	1	33	35
CÁLCULOS				
EQUAÇÃO	RESULTADO	FCC DETERMINADO:		1,1
A=TC-TA	71°C	FCV DETERMINADO:		1

C= (Im / In) x 100	94%		
AC=AxFCCxFCV	78,81°C	DIAGNÓSTICO:	Potencial
MAA=MTA-TA	76°C	CLASSIFICAÇÃO:	Intervenção
R = AC/ MAA	1,03		Imediata

Fonte: Elaborado pela autora

A tabela de classificação de aquecimentos gerou parâmetros para a tomada de decisão do departamento de manutenção e do departamento de produção em monitorar a falha identificada e classificar a sua intervenção em planejada, imediata ou reparo crítico (quando atividades de máquina estão possivelmente comprometidas e o item precisa ser removido no mesmo instante).

4.5 PRINCIPAIS FALHAS DETECTADAS DURANTE O TRABALHO

As principais falhas encontradas nas análises realizadas coincidem em sua maioria com as falhas registradas no ano anterior: desbalanceamento de rotor, falha de rolamento, falha elétrica, desalinhamento entre polias e fixação na bases, falhas de rolamento devido à alta temperatura. Muitas estão relacionadas a procedimentos e verificações executados durante a montagem dos conjuntos, que podem apresentar uma oportunidade em treinamento e desenvolvimento da equipe. Esses dados foram apresentados ao departamento de manutenção e, como forma de reduzir as falhas e desenvolver a equipe, foi orientado a oportunidade em treinamentos e capacitações. Acatando a orientação, foi estruturada a transferência de conhecimento técnico entre os técnicos mecânicos e empresas terceiras que realizam a recuperação dos conjuntos, além da busca de orientação de especialistas em manutenção, como forma de evitar ao máximo situações como desbalanceamento de rotor, desalinhamento entre polias e fixação na base.

Em 30 análises de vibração isoladas, 22 constataram falhas de rolamento relacionadas à lubrificação que tiveram que ser acompanhadas durante as semanas correntes nos ventiladores Spider. Por mais que se refiram à falhas pequenas com um custo de reposição de peças relativamente baixo (inferior à R\$ 200,00), a necessidade de parada de produção por 60 min para troca dos conjuntos, mesmo que de forma planejada, apresenta-se como um inconveniente que poderia ser evitado, além de todo o trabalho em remover o ventilador, abrí-lo e realizar a troca do rolamento. Tendo

esses dados como base, foi apresentada a possibilidade de remoção de rolamentos fechados para introdução de rolamentos abertos no ventiladores Spider, onde a lubrificação passou a ser feita pelo próprio mecânico de linha, com o uso de bomba de graxa, obedecendo os planos de lubrificação que poderiam ser diários, ou semanais, dependendo da aplicação e do equipamento. A figura 11 mostra um rolamento aberto no qual a lubrificação deve ser realizada por bomba de graxa, cuja aplicação está representada na figura 12, através do encaixe da bomba nos pontos de engate específicos do ventilador para introdução da graxa. A figura 13 apresenta um rolamento fechado, onde a lubrificação é realizada pelo fabricante do item, ainda no processo de fabricação. O ventilador não possui pontos para engate da bomba de cola, conforme mostrado na figura 14.

Figura 11 – Exemplo de rolamento aberto



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 12 – Lubrificação de ventilador com uso de rolamento aberto através de bomba de graxa



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 13 – Exemplo de rolamento fechado



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 14 – Ventilador com uso de rolamento fechado sem a presença de pontos de engate de bomba de graxa



Fonte: Elaborado pela autora

4.6 QUEBRAS OCORRIDAS COM PREDITIVA DE 360 HORAS

Durante os 12 meses foram registradas 4 quebras dos conjuntos ventiladores, sendo que 3 ocorreram nos três primeiros meses da experiência e 1 no quinto mês. As falhas monitoradas foram compartilhadas com a produção que tomava a decisão, juntamente com o departamento de manutenção, sobre o momento ideal de intervenção, encaminhando à equipe de planejamento a solicitação de parada em momento oportuno e solicitação de peças de reposição. Observou-se que o amadurecimento do Departamento de manutenção ao longo do tempo, propiciou uma mudança de cultura, fazendo com que a área acompanhasse de forma dedicada cada uma das avarias encontradas, identificando suas causas raízes e tratando-as. A tabela 9 e a figura 15 apresentam um comparativo do número de quebras para os dois planos de manutenção preditiva.

Tabela 9: Comparação do número de quebras entre os planos de preditiva

Conjunto	Código	Número de quebras (360 horas)	Número de quebras (720 horas)
Ventilador vertical	89660835	1	6
Ventilador max	89506323	2	8

Ventilador câmara de sucção	89674516	1	8
Ventilador do AF12	89605175	0	1
Ventilador Spider	89603578	0	8
TOTAL		4	31

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 15 – Gráfico comparativo do número de quebras entre os planos de preditiva por ventilador



Fonte: Elaborado pela autora

A redução de 31 para 4 quebras, representa um declínio de 87,09% em manutenções corretivas não planejadas para esses conjuntos. Esse valor terá reflexão no tempo de parada de produção não planejada e nos valores anuais de recuperação dos itens.

4.7 IMPACTOS NA PRODUÇÃO REFERENTE ÀS QUEBRAS

A ocorrência de 4 quebras anuais gerou um impacto em paradas não planejadas de 7,5 horas, considerando o tempo necessário para substituição dos conjuntos e retomada de produção. A tabela 10 e a figura 16 mostram o tempo de parada de produção para cada plano de manutenção. Os impactos foram reduzidos em 86,18% quando comparados à referência de 12 meses do plano anterior, que geraram 54,3 horas de parada de máquina.

Tabela 10: Comparação das horas de parada de produção entre os planos de preditiva devido à substituição dos ventiladores

Conjunto	Tempo total para troca com plano de 360 horas (horas)	Tempo total para troca com plano de 720 horas (horas)
Ventilador vertical	1,2	22,8
Ventilador max	3,4	7
Ventilador câmara de sucção	2,9	2,9
Ventilador do AF12	0	13,3
Ventilador do Spider	0	8,3
Total	7,5	54,3

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 16 – Gráfico comparativo do tempo de parada de produção não planejada entre os planos de preditiva para substituição dos ventiladores



Fonte: Elaborado pela autora

Com a redução de 46,8 horas de parada não planejada pela quebra dos conjuntos, 28.080.000 cigarros foram destinados a mais ao mercado em 2018.

4.8 CUSTOS DE MANUTENÇÃO

O custo de manutenção dos equipamentos está diretamente ligado à quantidade de quebras e paradas não planejadas: quanto maiores as quebras, maiores serão os custos para reparos e impactos na produção. O reparo corretivo não planejado chega a representar 3 vezes o valor necessário para reparos planejados, conforme apresentado anteriormente. A redução de 87,09% das quebras dos conjuntos de ventiladores de *makers* refletiu na redução dos custos com manutenção. O valor anual destinado aos reparos declinou de R\$ 36.349,74 para R\$1.947,49,

representando 94,64% do orçamento. Esses dados comprovam que o monitoramento de falhas pela preditiva resulta em intervenções mais acertivas, reduzindo o número de quebras inesperadas dos conjuntos.

Tabela 11: Comparação dos custos de recuperação entre os planos de preditiva

Conjunto	Custo de recuperação (360 horas)	Custo de recuperação (720 horas)
Ventilador vertical	25,18	11.106,57
Ventilador max	1.834,45	8.388,92
Ventilador câmara de sucção	87,86	5.693,41
Ventilador do AF12	0	2.510,75
Ventilador Spider	0	8.650,09
TOTAL	1947,49	36.349,74

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 17 – Gráfico dos custos de recuperação entre os planos de preditiva



Fonte: Elaborado pela autora

4.9 ALTERAÇÃO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO

Após apresentação dos resultados obtidos, visualizando a redução de quebras e conseqüente redução de custos e impactos na produção, a alteração definitiva dos planos de manutenção preditiva dos ventiladores foi realizada. A equipe de PCM teve autorização para alterar todos os planos dentro do sistema de gestão da fábrica, já no início de 2019. O próximo passo será avaliar a alteração dos planos de preditiva para o restante da fábrica, estendendo-se para o departamento primário,

filtros e setor de utilidades.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a importância dos métodos de manutenção e seus impactos operacionais e econômicos em uma indústria. Também mostra que não há uma fórmula única de solução e que novas possibilidades e adequações podem gerar resultados surpreendentes, a exemplo do estudo de caso aqui apresentado. Com a manutenção preditiva com periodicidade de 360 horas, em caráter experimental durante 12 meses aplicados aos conjuntos de ventiladores de *Makers* do departamento Secundário da fábrica de cigarros Souza Cruz, obteve-se resultados satisfatórios de redução de quebras e conseqüente redução de custos de manutenção e impactos na produção, desencadeando a alteração definitiva dos planos vigentes.

Os resultados apresentaram uma redução de 87,09% nas quebras, refletindo em diminuição de 86,18% de paradas não planejadas devido à manutenções corretivas emergenciais. A redução das quebras impactou diretamente os custos de manutenção dos conjuntos, trazendo uma economia anual de R\$34.402,25, durante o período analisado.

Observa-se a comprovação da ligação dos métodos preditivos com a eficiência da manutenção e confiabilidade. A criação de planos preditivos personalizados de acordo com o regime de operação das máquinas, garante à indústria o monitoramento das variáveis e parâmetros físicos dos conjuntos, permitindo o planejamento da intervenção em um momento e menor impacto para a produção, aproveitando-se ao máximo a vida útil dos componentes. Torna-se possível o estudo aprofundado da causa raiz do defeito, possibilitando a criação de contra medidas efetivas que garantem a não ocorrência de tal falha.

Consequências positivas como melhor aproveitamento da mão de obra técnica, aquisição de peças em tempo hábil e preço justo, controle assertivo e redução de sobressalentes em estoque, também poderão ser observadas à medida que a aplicação de métodos preditivos for estendida para todas as áreas da fábrica e todos os conjuntos, aumentando cada vez mais a confiabilidade e assertividade das manutenções.

6. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 5462/1994 – Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: Copyright, 1994. 37p.;

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000. Disponível em: <https://mtaev.com.br/wp-content/uploads/2018/02/mnt1.pdf>. Acesso em 19 nov. 2020;

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.;

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preventiva**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1989. 501 p.;

PETROBRÁS: **N-2475 REV.B – Inspeção Termográfica em Sistemas Elétricos**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1998. 11p;

SILVA, M. P. Da T. **Aplicação de técnicas de manutenção preditiva para o aumento da confiabilidade de locomotivas diesel-elétricas**. 2012. Disponível em: <http://transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON055.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020;

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2014. 192 p.;

WYREBSK, J. **Manutenção Produtiva Total. Um Modelo Adaptado**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/158161/108695.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 19. nov. 2020;