

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PROJETO FINAL DE CURSO

VIABILIDADE DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM MAQUINÁRIO
FRIGORÍFICO: ESTUDO DE CASO

DOUGLAS PEREIRA MELO

GOIÂNIA
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome completo do autor: Douglas Pereira Melo

Título do trabalho: Viabilidade de manutenção preditiva em maquinário frigorífico: Estudo de caso

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Kleber Mendes De Figueiredo, Professor do Magistério Superior**, em 27/08/2024, às 20:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Douglas Pereira Melo, Discente**, em 28/08/2024, às 08:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4777825** e o código CRC **D00EFB4A**.

Referência: Processo nº 23070.017012/2024-21

SEI nº 4777825

DOUGLAS PEREIRA MELO

**VIABILIDADE DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM MAQUINÁRIO
FRIGORÍFICO: ESTUDO DE CASO**

Projeto Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Goiás.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Mendes de Figueiredo

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Melo, Douglas Pereira

Viabilidade de Manutenção Preditiva em Maquinário Refrigerífico:
Estudo de Caso [manuscrito] / Douglas Pereira Melo. - 2024.
XL, 40 f.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Mendes Figueiredo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC), Engenharia Mecânica, Goiânia, 2024.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, gráfico, tabelas.

1. Manutenção Preditiva. 2. Indústria Refrigerífica. 3. Disponibilidade.
4. Falhas. I. Figueiredo, Kleber Mendes, orient. II. Título.

CDU 621



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte e nove dias do mês de julho do ano de 2024 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**Viabilidade de manutenção preditiva em maquinário frigorífico: Estudo de caso**”, de autoria de Douglas Pereira Melo, do curso de Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC) da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo Professor Kléber Mendes de Figueiredo (EMC/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Ademyr Gonçalves de Oliveira (EMC/UFG) e Engenheiro Filipe Galvão Andrade (Grupo JBS). Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do(a) estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 9,0 (nove vírgula zero), tendo sido o TCC considerado aprovado.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Kleber Mendes De Figueiredo, Professor do Magistério Superior**, em 29/07/2024, às 17:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ademyr Goncalves De Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 06/08/2024, às 08:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Filipe Galvão Andrade, Usuário Externo**, em 28/08/2024, às 07:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4703469** e o código CRC **B574A6F8**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais Naudo e Sued, que sempre foram meus apoiadores, por me darem suporte em toda a minha trajetória e me incentivarem durante os momentos difíceis, permitindo que me desenvolvesse como pessoa.

Aos meus amigos que compartilharam experiências, dicas e sugestões e sempre estiveram torcendo por mim durante estes anos.

A empresa JBS, que permitiu e contribuiu juntamente com seus colaboradores para o estudo presente através de seus equipamentos e tempo de operação.

A todo o corpo docente da Universidade Federal de Goiás que compartilharam seus conhecimentos e garantiram meu desenvolvimento profissional durante a graduação.

Por último, gostaria de agradecer a todas as pessoas que direta ou indiretamente colaboraram com o sucesso deste trabalho.

RESUMO

O trabalho apresenta a importância do uso da manutenção preditiva mecânica em uma indústria alimentícia, mostrando os resultados obtidos a partir do acompanhamento preditivo em maquinário rotativo. Para este feito, o trabalho constituiu-se em um levantamento bibliográfico a partir de pesquisa, observação, análise e interpretação dos dados coletados in loco. Os dados coletados no acompanhamento preditivo foram obtidos de forma periódica através da termografia e das medições de desgaste físico dos componentes, que após comparados com parâmetros pré-definidos, evidenciaram pontos positivos na implementação da manutenção preditiva. Assim, o estudo de viabilidade permitiu observar que indiretamente, a implementação da manutenção preditiva colabora com um aumento da flexibilidade, confiabilidade operacional e redução dos custos de manutenção. Estes fatores confirmam que a adoção dessa tecnologia pode ser um diferencial competitivo para as empresas que buscam sustentabilidade em suas operações.

Palavras chave: manutenção preditiva, indústria frigorífica, disponibilidade, falhas.

ABSTRACT

The work presents the importance of using mechanical predictive maintenance in a food industry, showing the results obtained from predictive monitoring on rotating machinery. For this purpose, the work consisted of a bibliographical survey based on research, observation, analysis and interpretation of data collected on site. The data collected in predictive monitoring were obtained periodically through thermography and measurements of physical wear on components, which, after being compared with pre-defined parameters, highlighted positive points in the implementation of predictive maintenance. Thus, the feasibility study allowed us to observe that indirectly, the implementation of predictive maintenance helps to increase flexibility, operational reliability and reduce maintenance costs. These factors confirm that the adoption of this technology can be a competitive differentiator for companies seeking sustainability in their operations.

Keywords: predictive maintenance, refrigeration industry, availability, failures.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1.	Contextualização	8
1.2.	Motivação	9
1.3.	Objetivo	9
1.4.	Justificativa.....	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
2.1.	Conceituação	10
2.2.	Objetivos da manutenção.....	11
2.3.	Métodos de manutenção.....	11
2.3.1.	Manutenção corretiva não planejada	12
2.3.2.	Manutenção corretiva planejada	12
2.3.3.	Manutenção preventiva	13
2.3.4.	Manutenção preditiva	14
	• Objetivos manutenção preditiva	15
	• Técnicas de manutenção preditiva.....	16
	• Técnicas de manutenção preditiva – Acompanhamento por vibração	18
	• Técnicas de manutenção preditiva – Acompanhamento por temperatura ...	20
3	METODOLOGIA	22
4	ANÁLISE DAS ROTINAS E PROCEDIMENTOS	23
4.1.	Operação da máquina de raspar tripas.....	24
4.1.1.	Componentes de desgaste	25
4.2.	Estudo de caso	27
4.2.1.	Medição dos componentes	27
	• Parâmetros de acompanhamento	28
	• Periodicidade de medição.....	28
4.2.2.	Análise e avaliação do equipamento.....	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
6	CONCLUSÃO	34
6.1.	Sugestão Para Trabalhos Futuros.....	35
7	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O avanço tecnológico e a crescente competitividade do mercado têm impulsionado a busca por métodos mais eficazes de manutenção. O setor industrial principalmente, destaca-se pela necessidade da redução do custo de operação, assegurando a competitividade frente ao mercado globalizado.

De acordo com a ABNT-NBR 5462-1994, a manutenção é definida como um conjunto de ações destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual ele possa executar sua função requerida. Deste modo, a manutenção tem seu início marcado após a expansão da revolução industrial, no século XIX, onde a produção de bens deixa de ser artesanal e passa a ser manufaturada, aumentando extraordinariamente o volume de produção.

Neste período a manutenção ainda tinha importância secundária, mas com a instauração da produção em série, instituída por Henry Ford, as fábricas passaram a ter programas mínimos de produção e, conseqüentemente, a necessidade de reparos em máquinas no menor tempo possível.

Com o começo da segunda guerra mundial houve o aumento da produção de armamentos e a indústria bélica começou a se preocupar não só em corrigirem falhas, mas evitar que elas ocorressem. Deste modo, foi iniciado o processo de prevenção de falhas que ainda era ineficaz, uma vez que o tempo gasto na detecção das falhas era bem maior que a própria atividade de reparo.

No pós guerra, com a evolução da indústria eletrônica, surgiram instrumentos de proteção e medição que eram utilizados para aumentar os critérios de predição ou previsão de falhas, dando origem a manutenção preditiva. Juntamente ao constante avanço da indústria, hoje é possível indicar condições reais de funcionamento dos equipamentos com base em dados que informam o seu desgaste.

A manutenção preditiva, resume-se em um processo capaz de predizer o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja aproveitado ao máximo possível. A manutenção preditiva pode ser comparada a uma inspeção sistemática para o acompanhamento das condições dos equipamentos (FILHO, 2013).

1.2. Motivação

Com o crescente grau de complexidade das indústrias a partir do desenvolvimento tecnológico, hoje em dia, linhas de produção operam 24 horas por dia e 7 dias por semana. Falhas inesperadas em equipamentos são cada vez menos toleradas a fim de não comprometerem a produção. A manutenção então, tem como objetivo, garantir a funcionalidade dos equipamentos e suas instalações (Pinto, 2001). Segundo a ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção), no Brasil a utilização de técnicas de manutenção preditiva vem se tornando maior com o passar dos anos, diminuindo o uso de ações corretivas.

Todos estes conceitos são ainda mais críticos quando se fala em indústrias alimentícias. Nos frigoríficos da JBS, os quais serão citados neste trabalho, a indisponibilidade repentina de um equipamento crítico pode acarretar em paradas não programadas na produção, gerando enormes prejuízos. Portanto, buscar formas de prever o tempo de vida útil dos equipamentos e garantir as condições na qual eles operem para que o tempo de uso seja melhor aproveitado é essencial.

1.3. Objetivo

O propósito central deste trabalho é analisar a viabilidade da utilização da manutenção preditiva em equipamentos frigoríficos, com enfoque em um equipamento específico para raspagem de tripa bovina. Objetiva-se também, a partir de dados reais de um estudo de caso, otimizar a gestão de ativos e reduzir custos operacionais com manutenção de maquinário na indústria citada.

1.4. Justificativa

Kardec e Nascif (2004) comentam sobre o fato de as organizações estarem em busca de novas ferramentas de gerenciamento de manutenção que lhes propiciem uma maior competitividade através da melhoria da produtividade e qualidade de seus produtos, processos e serviços. Deste modo, o presente trabalho mostrará possíveis benefícios a serem obtidos com a prática da manutenção preditiva em uma máquina raspadora de tripa bovina, comumente utilizada em frigoríficos.

Este estudo coloca em enfoque o equipamento citado, mas pode-se analisar de forma genérica, uma vez que é imprescindível para qualquer instalação que seus equipamentos tenham bom desempenho a fim de alcançar melhores resultados com uma maior confiabilidade, menores custos e maior produtividade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Conceituação

A palavra manutenção vem do latim "manutenerere", que é formada pela junção de "manus" (mão) e "tenere" (manter), significando manter com as mãos, no sentido de sustentar ou preservar algo. Ou seja, a manutenção é ação ou efeito de manter, de sustentar, conservar alguma coisa ou situação. Ela é considerada estratégica para as organizações, pois ela garante a disponibilidade dos equipamentos e instalações com confiabilidade, flexibilidade, segurança e dentro dos custos adequados (XAVIER, 2005). Já para BORGES et al (2009 apud SOUZA 2012) "Manter significa fazer tudo que for preciso para assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foi projetado, num nível de desempenho exigido".

Monchy (1987), ainda faz uma boa comparação entre a saúde humana e a saúde da máquina, afirmando que a manutenção é a "medicina das máquinas", como podemos ver na Figura 1:

Figura 1. Analogia saúde humana x máquina.

SAÚDE HUMANA		ANALOGIA		SAÚDE DA MÁQUINA	
Conhecimento do homem	Nascimento	Entrada em operação		Conhecimento tecnológico	
Conhecimento das doenças		Durabilidade		Conhecimento dos modos de falha	
Carnê de saúde	Longevidade	Confiabilidade		Histórico	
Dossiê médico		Sucata		Dossiê da máquina	
Diagnóstico, exame, visita médica	Boa saúde			Diagnóstico, pericia, inspeção	
Conhecimento dos tratamentos		Retirada do estado de pane, reparo		Conhecimento das ações curativas	
Tratamento curativo	Morte			Renovação, modernização, troca	
Operação					
MEDICINA				MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	

Fonte: Adaptado de Monchy (1987).

2.2. Objetivos da manutenção

A manutenção dentro de uma indústria está diretamente subordinada aos interesses estratégicos corporativos. Estes são estabelecidos visando maior produtividade com menor custo e os objetivos da manutenção de maneira geral podem se resumir em 4 tópicos, sendo;

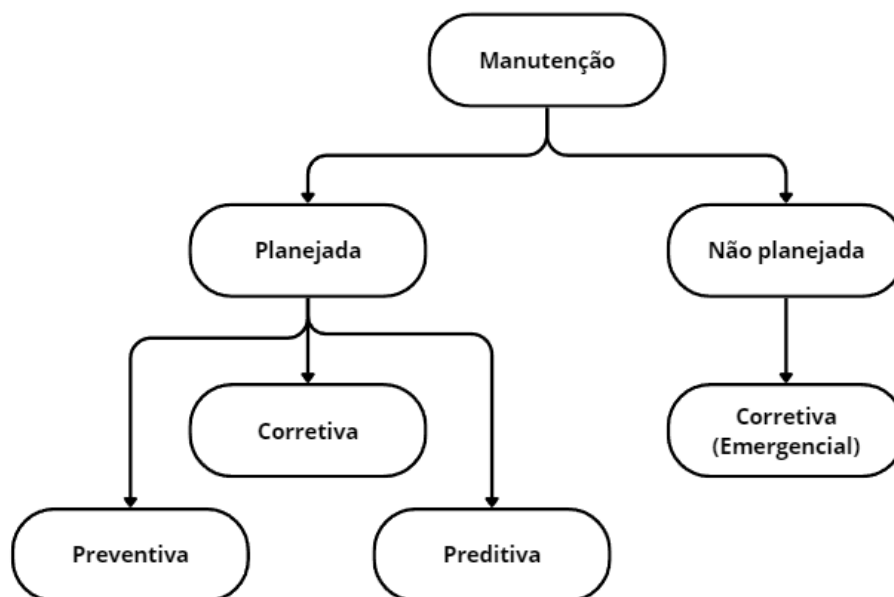
- **Segurança:** Visa manter a segurança tanto das pessoas que trabalham no local, como para os equipamentos e da comunidade ao redor, sendo um objetivo obrigatório e inegociável.
- **Qualidade:** Tende a melhorar os rendimentos das máquinas e equipamentos, estabelecendo um mínimo de defeitos de produção segundo uma padronização de produtos com melhorias nas condições de higiene, preservação do meio ambiente.
- **Custo:** Procura as soluções que minimizem os custos globais do produto considerando, portanto, a par dos custos próprios de produção, os custos provocados pela manutenção ou pela não manutenção (BORGES et al 2009).
- **Disponibilidade:** Visa manter todos os equipamentos e máquinas em plena operação durante o maior tempo possível, diminuindo ao máximo as paradas, sejam elas programadas ou não, para intervenções de reparo. Isso contribui para maximizar a produtividade aumentando o lucro global do processo.

De maneira mais completa, a missão da manutenção, é um conjunto integrado de atividades que se desenvolvem em todo o ciclo de vida de um equipamento, sistema ou instalação, visando manter ou repor a sua operacionalidade nas melhores condições de qualidade, custo e disponibilidade, com total segurança (BORGES et al 2009).

2.3. Métodos de manutenção

Os métodos de manutenção existentes são caracterizados pela maneira como é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações. Existe uma gama bem grande de denominações para classificar os métodos de manutenção. De acordo com Casconi (1992), manutenção pode ser classificada, pela sua forma de atuação em 2 subgrupos: planejada e não-planejada conforme Figura 2.

Figura 2. Classificação da forma de atuação da manutenção.



Fonte: Autor.

2.3.1. Manutenção corretiva não planejada

A manutenção corretiva não planejada ocorre após a falha de um equipamento ou sistema. Esse tipo de manutenção é realizado sem qualquer planejamento prévio e geralmente é reativo, sendo executado apenas quando um problema inesperado surge e para a produção. Para Borges et al (2009), a manutenção corretiva não planejada é a correção da falha de maneira aleatória, ou seja, a correção da falha da forma mais simples e rápida possível para que o equipamento volte a operar.

Esse tipo de manutenção implica em altos custos, pois causa perdas de produção, e a extensão dos danos aos equipamentos é maior devido a possíveis erros durante a urgência de reparo. Além disso, as falhas inesperadas podem apresentar riscos de segurança tanto para os operadores quanto para o ambiente. Apesar das desvantagens, a manutenção corretiva não planejada é inevitável em alguns casos. No entanto, muitas organizações buscam minimizar a dependência desse tipo de manutenção.

2.3.2. Manutenção corretiva planejada

A manutenção corretiva consiste em um conceito onde ocorre uma falha e somente após a parada do maquinário é realizada a correção do problema. Na manutenção corretiva planejada, a máquina é monitorada constantemente, em geral pelo próprio operador para garantir que a esta não sofra paradas emergenciais em uma frequência tão grande, mesmo que ainda aconteça (BRANCO, 2008).

Como dito por Machado e Otani (2008), “A manutenção corretiva planejada é a correção que se faz em função de um acompanhamento preditivo, detectivo ou até mesmo pela decisão gerencial de se operar até ocorrer à falha”. A principal vantagem da manutenção corretiva é o baixo valor de investimento caso não seja necessária com frequência, pois quanto mais a manutenção corretiva é utilizada, o valor supera o dos outros métodos aqui apresentados. Outro ponto positivo é baixa necessidade de planejamento.

De acordo com Ramirez, Caldas e Santos (2002 apud MORAIS 2004, p. 22), “é a manutenção feita para restabelecer um sistema técnico, um bem ou um serviço cujo desempenho tenha sofrido uma queda depois deste ter saído de um estado específico”. Suas desvantagens consistem principalmente no valor excessivo quando utilizada com frequência e na perda de vida útil dos equipamentos devido à falta de manutenção até a necessidade com urgência (VIANA, 2002). A manutenção corretiva planejada ocorre quando a manutenção é preparada, por exemplo, pela decisão gerencial de operar até a falha ou em função de um acompanhamento preditivo (KARDEC & NASCIF, 2009, p.38). De forma onde tudo o que é planejado, tende a ter um custo menor, mais segurança e maior eficiência.

2.3.3. Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é o método de manutenção realizada em equipamentos ou sistemas com o objetivo de prevenir falhas e avarias antes que elas ocorram. Ela é baseada em inspeções regulares, ajustes, limpeza, lubrificação e substituição de peças desgastadas de acordo com um cronograma estabelecido, independentemente do estado atual do equipamento. Diferente da manutenção por correção, esta é planejada para sua execução antes da falha, através de um planejamento prévio, mas também se diferencia da manutenção corretiva planejada, uma vez que a manutenção preventiva ocorre com grande antecedência e de modo regular (OTANI, 2008).

Segundo Kardec & Nascif (2009, p.40) esse método leva à existência de duas possíveis situações, sendo a ocorrência de falha antes de completar o período estimado ou então a abertura do equipamento e reposição de componentes prematuramente. De acordo com Xavier (2003) um dos segredos de uma boa preventiva está na determinação dos intervalos de tempo. Como, na dúvida, temos a tendência de sermos mais conservadores, os intervalos normalmente são menores que o necessário, o que implicam paradas e troca de peças desnecessárias.

2.3.4. Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é uma estratégia de manutenção que utiliza técnicas de monitoramento e análise de dados para prever falhas em equipamentos antes que elas ocorram. O objetivo é maximizar a vida útil dos ativos e minimizar o tempo de inatividade, permitindo intervenções de manutenção apenas quando necessário. Para Borges et al (2009), a manutenção preditiva trata-se um conjunto de atividades de acompanhamento dos parâmetros que indicam a performance ou desempenho dos equipamentos, de modo sistemático, visando definir a necessidade ou não de intervenção, no qual se utiliza qualquer recurso de predição (Ex. vibração, ultrassom, termografia).

Conhecida como Manutenção Sob Condição, é a primeira quebra de paradigma acerca do tema manutenção. Segundo Kardec & Nascif (2009, p.42), a preditiva é definida pela atuação com base em parâmetros de condição ou desempenho por meio de equipamentos de análise, extraíndo o maior aproveitamento do ativo e aumentando o tempo produtivo, conseqüentemente reduzindo o custo de manutenção e identificando o momento certo para intervenção. A manutenção é realizada apenas quando os dados indicam que há um risco elevado de falha, ao contrário de uma abordagem baseada em tempo fixo.

Este método de manutenção pode ser considerado um dos mais baratos e eficazes, uma vez que garante um melhor desempenho que a manutenção corretiva tradicional, e ao mesmo tempo possui um custo menor ao relacionado a manutenção preventiva contínua (BRANCO, 2008). É o método que oferece os melhores resultados, pois intervém o mínimo possível. Porém para adoção desse plano são necessárias algumas condições.

- Equipamento deve permitir algum tipo de monitoramento e/ou medição contínua utilizando sensores para coletar dados sobre o desempenho e a condição atual;
- Equipamento deve merecer esse tipo de ação, devido aos altos custos de implementação;
- As falhas devem ser provenientes das causas que possam ser monitoradas e sua progressão acompanhada;

Com o uso da manutenção preditiva de forma correta pode-se minimizar os custos com as quebras de equipamentos, reposição de suas peças, HE (horas homens trabalhadas), parada da unidade de processo e perda da produtividade, além é claro de assegurar que os mesmos quando reparados estejam em plenas condições de uso evitando prejuízos com o uso excessivo indevido e fadiga.

Segundo Olmedo (1994), os custos de manutenção podem representar 15% a 30% dos bens produzidos dentro de uma indústria específica. A Figura 3 apresenta uma relação de custos de manutenção de acordo com o tipo de manutenção realizada, portanto é muito importante utilizar técnicas de monitoramento para reduzir os gastos em manutenção não programada e com isto automaticamente pode-se aumentar a lucratividade final, mantendo assim a empresa competitiva no mercado.

Figura 3. Relação de custos com tipos de manutenção.



Fonte: ABRAMAN.

• Objetivos manutenção preditiva

Sabendo que a manutenção preditiva realiza acompanhamento de variáveis e parâmetros do desempenho dos equipamentos em tempo real, os objetivos da manutenção preditiva se resumem em:

- Determinar, antecipadamente, a necessidade de serviços de manutenção de um equipamento, auxiliando no planejamento de parada da linha de produção;
- Eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção numa peça específica de um equipamento, aumentando assim, o tempo de disponibilidade dos equipamentos;
- Reduzir o trabalho de emergência não planejado, auxiliando no controle de gastos e impedindo o aumento de danos;
- Aproveitar ao máximo a vida útil dos componentes de um equipamento;
- Aumentar o grau de confiança no desempenho de um equipamento ou linha de produção;

Kardec e Nascif (2009, p. 45) explicam os objetivos da manutenção preditiva em:

“Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade, o termo associado à Manutenção Preventiva é o de prever as condições dos equipamentos. Ou seja, a Manutenção Preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.”

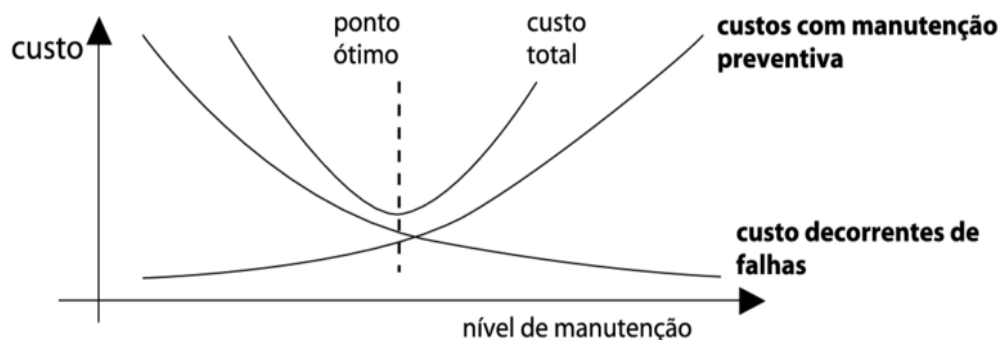
Para a realização do acompanhamento preditivo nos equipamentos, deve ser feita a medição e acompanhamento de parâmetros previamente estabelecidos. Esse acompanhamento pode ser feito de três formas:

- Monitoramento subjetivo, aquele exercido pelo próprio operador ou equipe de manutenção utilizando os sentidos físicos, ou seja, tato, olfato, audição e visão (Machado & Otani, 2008). Quando o operador coloca a palma da mão sobre uma caixa de mancal e percebe a temperatura e a vibração diferentes do comum é dado um diagnóstico subjetivo.
- Monitoramento objetivo, o acompanhamento feito através de equipamentos ou instrumentos específicos. É denominada objetiva, pois fornece um valor absoluto do parâmetro medido.
- Monitoramento contínuo, o acompanhamento instantâneo dos parâmetros pré-selecionados dos equipamentos através dos instrumentos (sensores) instalados neles.

• **Técnicas de manutenção preditiva**

A partir de um ponto de vista econômico, parar uma máquina ou equipamento e desmontá-lo para verificação se o mesmo apresenta condições de operar com desempenho satisfatório durante o tempo determinado (manutenção preventiva) é um procedimento totalmente inadmissível. Por outro lado, esperar que a máquina ou equipamento entre em pane para então repará-lo (manutenção corretiva) pode dar origem a um procedimento economicamente catastrófico. Existe um ponto ideal para que se realize a manutenção em um equipamento, onde é combinado o tempo máximo de produção com o menor custo de reparo como mostra Figura 4.

Figura 4. Custo por nível de manutenção.

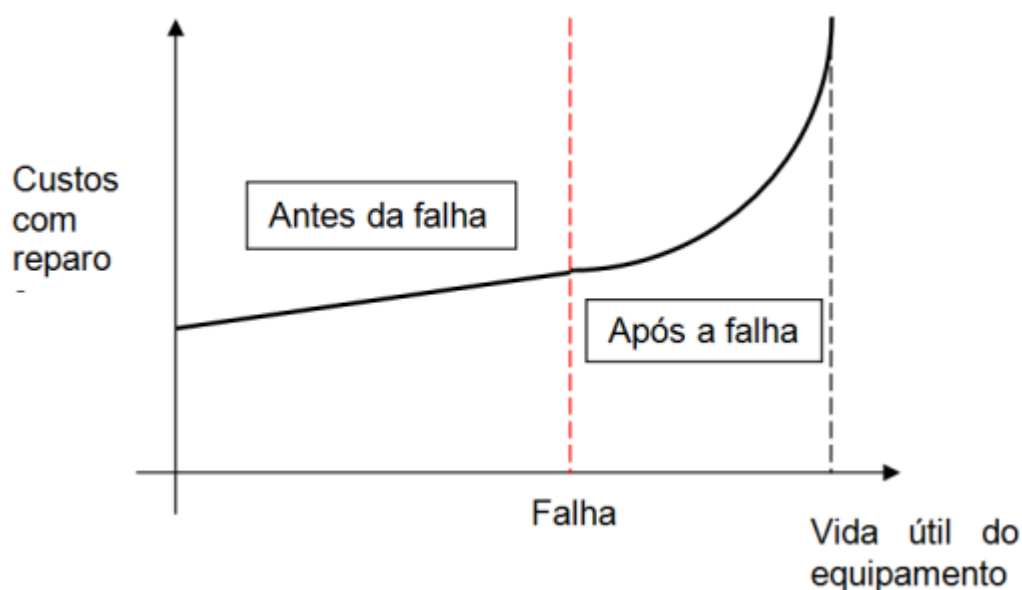


Fonte: Adaptado de Mirshawa & Olmedo 1993.

A escolha do momento correto para intervenção, ou ponto ótimo, deve ser baseada em critérios muito bem estudados e avaliados para conseguir mensurar o real desempenho do equipamento, para com isso ser possível prever a falha ao invés de presumi-la ou admiti-la como algo inesperado.

Para Abreu (2010), a manutenção preditiva indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação, e assim prediz o tempo de vida útil. Esse método de manutenção consiste na coleta de dados em função do tempo de funcionamento para interpretar as variações visando intervir no momento adequado para evitar uma possível parada inesperada. Com o acompanhamento preditivo, a manutenção normalmente só é realizada próxima da falha, otimizando o tempo de máquina.

Figura 5. Custo de manutenção em relação a vida útil.



Fonte: ABRAMAN.

Siqueira (2005) deixa bem claro que manutenção deve ter o foco para manter a função do equipamento e não para manter o estado do equipamento. Dessa forma, todos os componentes possuirão sua curva característica de desempenho e assim a manutenção deve atuar no sentido de identificar esta respectiva curva e monitorar seu desempenho, de forma a atender atuação esperada. Daí a importância do uso de técnicas preditivas e de ferramentas da confiabilidade no planejamento, execução e controle das atividades de manutenção.

Para execução de tal ação é importante saber como e quais são os parâmetros operacionais a serem monitorados, para assim estabelecer quais as variáveis que interessam para o acompanhamento da manutenção preditiva. Dentre as principais variáveis podemos citar neste trabalho a temperatura e vibração, lembrando que há diversos outros parâmetros como mostra Tabela 1.

Tabela 1: Principais técnicas preditivas

Radiações ionizantes Raios X Gama grafia	Energia acústica Ultra-som, emissão acústica
Energia eletromagnética Partículas magnéticas Correntes parasíticas	Fenômenos de viscosidade (Líquidos penetrantes)
Inspeção visual Endoscopia ou boroscopia Detecção de vazamentos	Análise de vibrações Nível global, espectro de vibrações Pulso de choque
Análise de Óleos lubrificantes ou isolantes Viscosidade, número de neutralização acidez ou basicidade, teor de água insolúvel, contagem de partículas metais por espectrometria por infravermelha cromatografia gasosa, tensão interfacial, rigidez dielétrica, ponto de fulgor.	Análise de temperatura – termometria Termometria convencional Indicadores de temperatura Pirometria de radiação Termografia
Ferrografia Ferrografia quantitativa Ferrografia analítica	Verificações de geometria Metrologia convencional Alinhamento de máquinas rotativas
Ensaio elétrico Corrente, tensão, isolamento perdas dielétricas, rigidez dielétrica, espectro de corrente ou tensão.	Forças Célula de carga teste de pressão, teste hidrostático, teste de vácuo, detecção de trincas.

Fonte: Kardec e Nascif apud Machado e Otani, 2008.

• Técnicas de manutenção preditiva – Acompanhamento por vibração

A grande maioria dos equipamentos utilizados na produção industrial acaba gerando algum tipo de vibração, seja pelo funcionamento de um motor a combustão, um motor elétrico, o atrito de peças mecânicas, ou até mesmo pela movimentação de

uma prensa. Independentemente do tipo de operação, as máquinas produzem uma vibração que pode ser monitorada, uma vez que as alterações em seu comportamento podem demonstrar um funcionamento inadequado do equipamento (BRANCO, 2008).

A verificação das vibrações de um equipamento pode ser avaliada pelo próprio operador do equipamento de uma forma mais simples, utilizando-se do monitoramento subjetivo, porém é imprescindível realizar o acompanhamento através da utilização do equipamento correto (medidor de vibração). A utilização dos captadores de vibrações permite que o profissional da manutenção realize um acompanhamento preciso das vibrações de um equipamento, permitindo a comparação de diferentes períodos e verificando as mudanças nestas vibrações.

Este método de análise e acompanhamento da vibração nos equipamentos vem sendo usados com eficiência e sucesso desde o início da década de 70 principalmente em indústrias que possuem processos contínuos de produção. Segundo Abreu (2010), esse sucesso é devido a resultados econômicos obtidos em curto prazo, pela redução de intervenções de manutenção em até 70%.

A grande vantagem da monitoração de vibração para diagnóstico de defeitos está na quantidade de informações que podem ser extraídas a partir de uma análise de vibrações em máquinas rotativas, que constituem a grande maioria do parque de máquinas das indústrias. Na manutenção preditiva via acompanhamento de vibração, a condição de operação da máquina é avaliada contínua ou periodicamente e a parada para revisão da máquina é determinada quando se prevê que níveis inaceitáveis de vibração serão atingidos.

O funcionamento do sistema é simples, uma fonte qualquer de vibração na máquina dá origem a uma perturbação que se propaga pela estrutura da máquina até o ponto de detecção. “todas as máquinas em funcionamento produzem vibrações que, aos poucos, levam-nas a um processo de deterioração.” (Abreu e Bandeira, 2010). Transdutores detectam a perturbação sob forma de sinal elétrico que é coletado e armazenado. Técnicas de análise e processamento de dados fornecem o diagnóstico do defeito por análise direta de comparação com valores admissíveis, apresentando então subsídios para que uma decisão possa ser tomada quanto à continuidade de operação da máquina.

Ainda como Abreu, Bandeira e Gianelli (2010), o ensaio para vibrações mecânicas, em muitas indústrias, é um método indispensável na detecção prematura de anomalias de operação em virtude de problemas, tais como falta de balanceamento, desalinhamento de juntas e rolamentos, excentricidade, interferência, erosão localizada, abrasão e ressonância.

O método é particularmente útil na monitoração da operação mecânica de máquinas rotativas (ventiladores, compressores, bombas, turbinas, etc.) e na detecção e reconhecimento do desgaste em maquinário com regime cíclico de trabalho. De acordo com Nepomuceno (1989), com este procedimento, o responsável pela manutenção mecânica fica sabendo sobre a evolução das vibrações, assim como em que nível devem ser tomadas as devidas providencias, visando sanar eventuais paradas. Isto porque a velocidade da alteração dos níveis de vibração é um fator fundamental para análise de interrupção.

Figura 6: Analisador de vibração Fluke 805



Fonte: Análise de vibrações - Fluke.

- **Técnicas de manutenção preditiva – Acompanhamento por temperatura**

Esta técnica se baseia na premissa de que a maioria das falhas mecânicas e elétricas é precedida por uma elevação anormal da temperatura. A grande maioria das máquinas utilizadas no ambiente industrial possuem funcionamento através de energia elétrica ou a combustão. Nestas duas formas, o consumo de energia pelos motores acaba gerando calor como reação ao trabalho, sendo relevante a realização de análises da temperatura de trabalho destes equipamentos, buscando mantê-los próximos a temperatura de trabalho indicada pelo fabricante.

De acordo com Kardec e Nascif (2002), a temperatura é um dos parâmetros de mais fácil compreensão e o acompanhamento de sua variação permite constatar alterações na condição dos equipamentos, componentes e do próprio processo produtivo. Este tipo de análise, assim como a análise por vibração, pode ser realizado periodicamente ou de forma contínua, onde a temperatura é medida continuamente e o equipamento pode ser parado caso fique acima ou abaixo da temperatura definida como referência de trabalho (MELLO, 2004).

A termometria pode ser dividida em dois tipos: a medição convencional e a infravermelho. Segundo Brito et al (2005), “no método de medição convencional o termômetro é instalado de modo que seu elemento sensor entre em contato físico com meio cuja temperatura se quer determinar”. A troca térmica entre os corpos (sensor e equipamento) se dá principalmente através do fenômeno de condução térmica. O monitoramento por medição convencional é excelente quando usado em meios líquidos e gasosos, sendo restritos na medição de temperatura de corpos sólidos pois o termômetro e o meio devem estar em equilíbrio térmico no momento da medição da temperatura

Ainda segundo Brito et al (2005), “no método de medição de infravermelho a transmissão de energia entre o termômetro e o meio dá-se por radiação. São indicados para a determinação superficial da temperatura quando o sensor não deve entrar em contato com o dispositivo”. Um termômetro de radiação (radiômetro) indica a temperatura de um objeto medindo a radiação eletromagnética que o objeto emite, sendo ideal para uso de superfícies solidas.

Figura 6: Câmera térmica Fluke TiS60



Fonte: Thermal cameras – Fluke

3 METODOLOGIA

O estudo refere-se à viabilidade de implementação da manutenção preditiva em uma indústria frigorífica. A metodologia adotada abrange várias etapas essenciais para avaliar os benefícios, custos, e desafios associados à adoção dessa abordagem de manutenção. O primeiro passo para o desenvolvimento deste trabalho foi a pesquisa por referenciais teóricos que envolvessem a manutenção, o seu histórico de nascimento, evolução e sua contextualização dentro do problema proposto.

Diante de tais informações, foi descrito o histórico das teorias desenvolvidas sobre a manutenção com enfoque maior na manutenção preditiva mais especificamente. Posteriormente, entrando no estudo de caso, realizou-se uma análise no setor de manutenção mecânica da indústria frigorífica, mais especificamente no frigorífico da JBS, unidade de Goiânia - GO com a intenção de avaliar a viabilidade de inserir a manutenção preditiva em seus equipamentos.

A fase prática inicial do estudo de caso, envolveu a realização de um diagnóstico detalhado da situação atual da manutenção na indústria, que identificou os equipamentos críticos que possuem maior impacto na produção e que apresentam histórico de falhas frequentes ou graves. Critérios como custo de substituição, tempo de inatividade, e impacto na qualidade do produto foram considerados.

Foi selecionado um equipamento específico como piloto para implementação da manutenção preditiva, sendo uma máquina de raspar tripas bovinas. Durante o período de dois meses, foram coletados dados de forma periódica e como instrumentos para essa pesquisa foram utilizados procedimentos operacionais com medição de dimensões e temperatura, literatura específica e observação. Todos os dados foram analisados quanto a ocorrência e consequência, e como o comportamento e variação deles evolui de forma temporal.

Para finalizar, a última etapa, com base na análise e comparação de dados, foi realizada também uma análise relacional, que costuma estar correlacionada a resultados mais concretos, em que se avaliam as ocorrências em presença ou ausência de determinado elemento, que neste caso específico é a aplicação da manutenção preditiva na empresa alvo do estudo.

4 ANÁLISE DAS ROTINAS E PROCEDIMENTOS

Com base na análise de criticidade, prioridade, histórico e frequência de falha juntamente com custo de reparo, foi selecionada a raspadeira de tripas bovinas como o equipamento piloto para análise da viabilidade de implementação da manutenção preditiva. É um equipamento simples que está presente em todas as unidades de processamento de carne bovina, especificamente no processamento secundário de tripas e intestino, os quais são utilizados para fabricação de embutidos em geral como salsichas, linguiças e salames.

O propósito principal do maquinário é retirar a mucosa e gordura presentes na parte interna da tripa, limpando-a e preparando-a para consumo. As tripas são inseridas dentro do equipamento onde são raspadas mecanicamente através do atrito entre rolos de lâmina ou escovas emborrachadas. Juntamente ao processo citado, é realizado também a limpeza através de um sistema de lavagem com água sob pressão para auxiliar na retirada de material.

A parada deste equipamento compromete toda a linha de produção uma vez que é uma etapa indispensável do processo de preparação de tripas. Caso ocorra uma falha inesperada, por se tratar de um produto alimentício e perecível, toda a produção é destinada ao descarte.

Figura 7. Modelo de raspadeira de tripas bovinas



Fonte: Abategil equipamentos industriais

4.1. Operação da máquina de raspar tripas

Uma máquina de raspar tripas bovinas é projetada para automatizar o processo de limpeza das tripas (intestinos) bovinas, removendo o conteúdo interno, mucosas e gorduras, e preparando-as para uso na fabricação de embutidos. A máquina proporciona uma limpeza uniforme e consistente das tripas com uma redução de tempo considerável quando comparada a limpeza manual e além disso garante uma qualidade do produto final em quesito higiênico.

O equipamento possui uma área de alimentação onde as tripas são inseridas e puxadas para dentro por um rolo de tração que mantém a tripa tensionada durante todo o momento enquanto os rolos de lâmina ficam responsáveis por raspar o material orgânico da tripa. Durante todo o processo, bicos pulverizadores despejam água com pressão nas tripas, auxiliando o processo de remoção da mucosa e limpeza da tripa. A tripa costuma ser previamente lavada para remoção de todo material fecal após abate, ou seja, nenhum material fecal entra em contato com este equipamento.

Todo o funcionamento da máquina é de caráter rotativo, tracionado por um motor ligado a polias e engrenagens que permitem a rotação de todos os rolos supracitados. Este detalhamento mostra como a máquina de raspar tripas bovinas automatiza e otimiza o processo de limpeza, proporcionando eficiência, consistência e segurança no processamento de alimentos.

Figura 8. Máquina raspadeira aberta



Fonte: Autor (Equipamento Primitiva Ind.)

4.1.1. Componentes de desgaste

O maquinário para raspagem de tripa, assim como qualquer outro é composto por diversos componentes, sendo necessário uma análise precisa de quais devem ser medidos como parâmetro para manutenção. A estrutura principal do equipamento é composta por uma carcaça robusta que permite a alimentação e retirada de material, mas o ponto crítico de manutenção definido por uma seleção baseada em uma análise criteriosa que levou em consideração diversos fatores, como criticidade dos componentes, histórico de falhas, custos associados e impacto na operação foi o sistema de raspagem.

O sistema de raspagem é composto principalmente por rolos de tração, lâminas ou escovas de raspagem e buchas de rolagem para rotação do mesmo. Todo esse sistema é ainda ligado a um sistema de tração composto por um motor elétrico, polias e correias e a eficiência do equipamento está diretamente ligada a condição destes componentes como um todo. A máquina requer manutenção regularmente para garantir seu funcionamento adequado. Isso inclui a limpeza dos componentes, lubrificação das partes móveis e inspeção das lâminas e escovas.

Figura 9. Rolo de tração



Fonte: Autor (Equipamento Primitiva Ind.)

Figura 10. Rolos de lâmina



Fonte: Autor (Equipamento Primitiva Ind.)

Figura 11. Buchas de rolagem



Fonte: Autor (Equipamento Primitiva Ind.)

4.2. Estudo de caso

O frigorífico da JBS, unidade de Goiânia - Goiás, é conhecido a nível nacional e internacional como um dos maiores produtores de carne bovina, principalmente por suas grandes marcas como Friboi e Swift. A gestão da manutenção interna ainda é arcaica, possuindo um plano de gestão de ativos ultrapassado que opera em manutenções corretivas planejadas e preventivas baseadas no tempo de uso recomendado pelo fabricante. Este método preventivo é totalmente cauteloso devido ao risco de parada de um equipamento crítico na produção, mas conforme supracitado, é possivelmente um gasto desnecessário.

Dentro do frigorífico da JBS são definidos como equipamentos críticos aqueles passíveis de manutenção, inspeção e/ou calibração cuja falha possa impactar na qualidade dos produtos, perdas de produção, danos ao meio ambiente, na segurança das instalações próprias e/ou de terceiros e na saúde e segurança da força de trabalho e/ou vizinhança. Também são considerados equipamentos e instrumentos críticos os que são citados como sendo obrigatoriamente controlados em legislação, norma técnica citada em legislação ou requisito corporativo, como caldeiras, vasos de pressão e sistema de refrigeração por amônia.

O estudo de caso então, visa analisar a possibilidade e viabilidade para implementação da manutenção preditiva na planta industrial de forma rentável e segura. A manutenção preditiva mecânica terá como função, fazer o levantamento das necessidades de manutenção em equipamentos mecânicos rotativos, de forma a garantir uma disponibilidade planejada aos menores custos. Atualmente está sendo realizado o acompanhamento em apenas um modelo de equipamento (raspadeira de tripas bovinas) em 22 unidades diferentes, com piloto inicial na unidade de Goiânia onde consta os dados neste trabalho.

4.2.1. Medição dos componentes

Um dos técnicos responsáveis pela manutenção mecânica da unidade deve deslocar-se até o equipamento para efetuar a medição dos parâmetros pré-definidos, sendo eles níveis de vibração, temperatura e dimensões de componentes. Esses dados devem ser armazenados em um banco de dados público. Esses dados são posteriormente descarregados em um software (Excel), para que o engenheiro responsável pela equipe de manutenção, através dos espectros de vibração, temperatura e diagnósticos colhidos do equipamento, compare os resultados obtidos com valores de referência e defina quais as prováveis causas desses desvios.

- **Parâmetros de acompanhamento**

A definição dos parâmetros de medição é um dos principais pontos a serem analisados. Como dito, foram selecionados os parâmetros de vibração, temperatura e dimensões de componentes, onde o monitoramento por vibração é realizado por sensores que medem o deslocamento axial de eixos em velocidade “mm/s” RMS (eficaz) nas carcaças dos mancais dos equipamentos rotativos e deslocamento “mícrons” (pico a pico) nos mancais das máquinas de grande porte.

O monitoramento por temperatura é realizado com sensores infravermelhos para medição voltada a superfícies solidas, focado nos componentes com maior taxa de atrito e geração de calor, como as buchas de rolamento. A temperatura é mensurada em “°C” a partir do período de 1 hora de funcionamento do equipamento devido a condição de equilíbrio térmico. Por fim as medições e monitoramento por dimensões de componentes é realizada com auxílio de um paquímetro, onde é mensurado em “mm” o desgaste dos componentes.

- **Periodicidade de medição**

Para cada método de acompanhamento preditivo deve-se ter uma rotina específica para medições. No caso em questão, não foi possível realizar medições de vibração a tempo hábil para coletar dados concretos e confiáveis, mas a rotina de medições de vibração é periódica, sendo realizada de forma mensal. As medições de temperatura e dimensões se assemelham ao acompanhamento preditivo por vibração, neste caso as medições são realizadas de forma periódica em caráter semanal.

Devem ser considerados os equipamentos que estão em operação, entretanto, o equipamento que estiver na "reserva" não deve exceder o limite de 90 (noventa) dias sem medições. O mesmo deverá ser colocado para operar em meio de rodízio para avaliação da preditiva de desgaste natural. Além das medições de rotina, são realizadas medições adicionais após cada manutenção dos equipamentos, como lubrificação e troca de correias a fim de assegurar a qualidade dos serviços realizados. Essas medições são realizadas antes do fechamento da RMM (Recomendação de Manutenção Mecânica).

Semanalmente deve ser emitido um relatório com resumo do número de equipamentos e suas medições. Poderão ocorrer atrasos nas medições de alguns equipamentos, se durante a inspeção de rotina esses estiverem parados por motivos operacionais ou possíveis paradas corretivas. As unidades operacionais devem continuar a operar os equipamentos, mantendo o fluxo de desgaste para regularização do estudo e avaliação do equipamento.

4.2.2. Análise e avaliação do equipamento

Quando o equipamento apresenta parâmetros de medição muito distantes dos parâmetros pré-definidos como padrão de uso, o engenheiro responsável pela manutenção estuda a viabilidade do equipamento se manter disponível, fazendo um acompanhamento mais rigoroso. O diagnóstico realizado pela preditiva é baseado nas ferramentas de acompanhamento, onde, de acordo com os resultados deste diagnóstico, poderá ser gerada uma RMM (Recomendação de Manutenção Mecânica).

Em função dos parâmetros de acompanhamento, o técnico de manutenção da preditiva avalia a condição do equipamento e após a conclusão do serviço de manutenção no equipamento, o supervisor de mecânica envia a RMM para a preditiva, e esta faz as medições e análises devidas. Se os parâmetros estiverem normais é encerrada a RMM pela Preditiva. Se os parâmetros pré-definidos não estiverem normais, é registrada as observações e enviada ao técnico de planejamento responsável para reprogramação da manutenção. O supervisor de mecânica deve comunicar a preditiva quanto a partida do equipamento para que as medições sejam realizadas em tempo suficiente para a análise dos parâmetros. Recomenda-se que o equipamento opere por no mínimo uma hora para a realização das medições.

Na impossibilidade de testar o equipamento por questões operacionais, após conclusão pela manutenção, a ordem será encerrada mantendo a RMM pendente de fechamento até que seja possível a medição pela preditiva. No caso de equipamentos que são testados sem o acompanhamento da preditiva e que venham a apresentar novamente problemas, o estudo deste equipamento é desconsiderado do monte geral.

Em certos casos a equipe de preditiva avisa a operação que o equipamento se encontra disponível apesar dos níveis de vibração do equipamento estarem fora da normalidade, o mesmo pode continuar operando porque permanecerá em acompanhamento pela preditiva. Pode também ocorrer casos mais críticos, onde a equipe deixará o equipamento disponível, porém sugere que ele fique na reserva e só opere em situação emergencial devido aos parâmetros coletados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo de caso abordou a aplicação de manutenção preditiva em máquinas de raspar tripas bovinas utilizando técnicas de termografia e medição de dimensões para monitorar o desgaste mecânico dos principais componentes críticos como supracitado. Os resultados obtidos foram analisados para avaliar a eficácia dessas técnicas na identificação precoce de falhas e na prevenção de paradas não planejadas.

A termografia nas buchas e eixos foi usada justamente para acompanhar a temperatura da superfície, a fim de que elas indiquem o grau de atrito e desgaste mecânico que ocorre no maquinário. As Tabelas 2, 3 e 4 mostram os dados obtidos ao longo do período de 2 meses de medições a partir da termografia e dimensões dos eixos e buchas de rolamento em bronze grafitado. Estes dados foram retirados de 3 maquinários do mesmo modelo com tempo de uso diferente.

Os maquinários analisados são de uso contínuo da unidade de Goiânia, a qual possui diversas linhas de produção com equipamentos que possuem diferentes horas de uso, sendo denominados neste trabalho da seguinte forma:

- maquinário “1”: Equipamento novo, colocado em linha no dia da primeira medição.
- maquinário “2”: Equipamento com 1 mês de uso, totalizado em 331 horas de uso no dia da primeira medição.
- maquinário “3”: Equipamento novo, com 3 meses de uso, totalizado em 1027 horas de uso no dia da primeira medição.

Tabela 2. Dados de medições em maquinário 1

Semana	Diâmetro eixo 1 (mm)	Diâmetro eixo 2 (mm)	Diâmetro eixo 3 (mm)	Espessura bucha (mm)	Temperatura bucha (°C)
1	28,05	28,05	30,15	8,15	82,3
2	28,05	28,05	30,15	7,9	83,5
3	28,05	28	30,15	7,65	82,7
4	28,05	28	30,15	7,6	82,3
5	28,05	28	30,15	7,55	82,6
6	28	28	30,15	7,5	80,3
7	28	28	30,15	7,5	82,5
8	28	28	30,05	7,5	82,3
9	28	28	30	7,45	80,8

Fonte: Autor

Tabela 3. Dados de medições em maquinário 2

Semana	Diâmetro eixo 1 (mm)	Diâmetro eixo 2 (mm)	Diâmetro eixo 3 (mm)	Espessura bucha (mm)	Temperatura bucha (°C)
1	28,25	28,05	30,05	6,95	80,7
2	28,25	28,05	30,05	6,85	81,3
3	28,25	28,05	30,05	6,85	81,9
4	28,25	28,05	30,05	6,8	81,0
5	28,25	28,05	30,05	6,7	82,1
6	28,25	28,05	30,05	6,7	79,9
7	28,2	28,05	30,05	6,55	79,5
8	28,2	28,05	30,05	6,5	81,1
9	28,2	28	30,05	6,35	80,3

Fonte: Autor

Tabela 4. Dados de medições em maquinário 3

Semana	Diâmetro eixo 1 (mm)	Diâmetro eixo 2 (mm)	Diâmetro eixo 3 (mm)	Espessura bucha (mm)	Temperatura bucha (°C)
1	27,95	28,05	29,25	5,85	82,3
2	27,95	28,05	29,25	5,85	83,5
3	27,90	28,05	29,25	5,85	82,7
4	27,90	28,05	29,25	5,75	82,3
5	27,90	28,00	29,25	5,75	82,6
6	27,90	28,00	29,25	5,70	80,3
7	27,90	28,00	29,25	5,70	79,5

Fonte: Autor

É necessário dizer que os dados do maquinário 3 foram interrompidos após a semana 7 devido a uma intervenção corretiva que ocorreu devido a um empenamento do eixo de tração, que impossibilita o funcionamento adequado como mostra Figura 12. Como este componente foi totalmente substituído devido urgência de produção, as medições nele foram interrompidas.

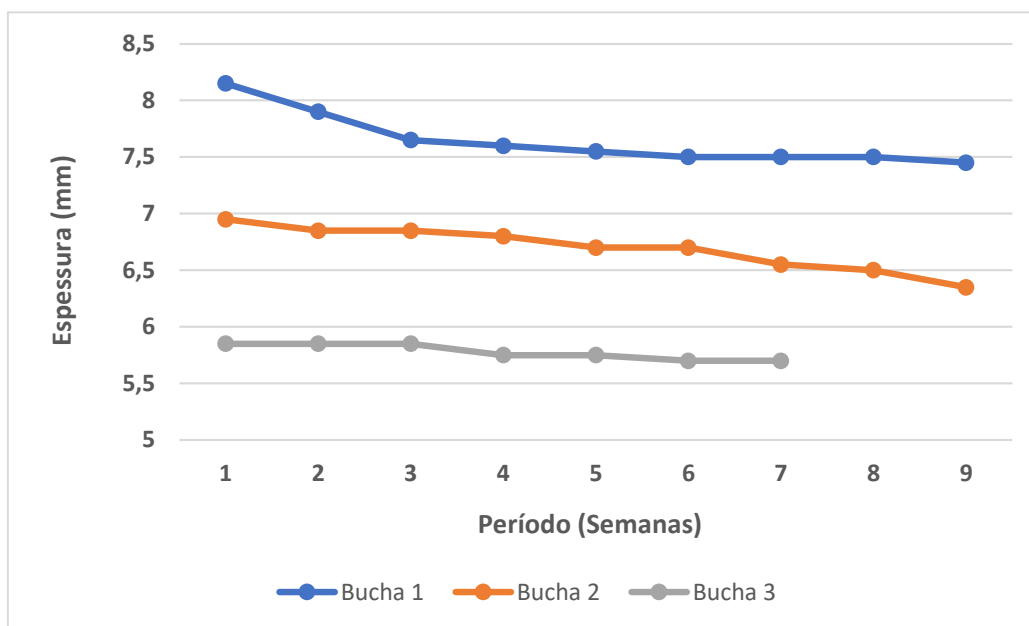
Figura 12. Eixo empenado devido esforços e aquecimento



Fonte: Autor (Equipamento Primitiva Ind.)

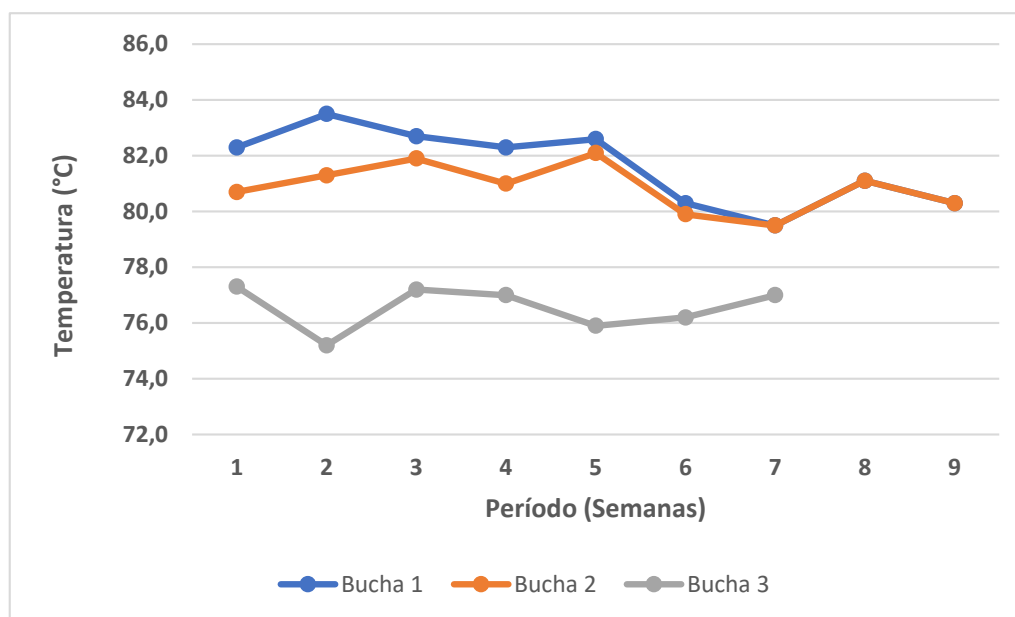
Foram identificados os pontos de maior desgaste e feito uma correlação entre temperatura e dimensões dos componentes, onde percebe-se que a temperatura na superfície da bucha tende a diminuir conforme o material se desgasta, como pode ser constatado na Figura 13 e 14. Esse processo ocorre pois o atrito entre bucha e eixo diminuem consideravelmente com o desgaste, porém aumentando a vibração do sistema. Não foi possível realizar os testes de vibração para correlaciona-los.

Figura 13. Gráfico de comparação do desgaste em dimensões



Fonte: Autor

Figura 14. Gráfico de comparação do desgaste em temperatura



Fonte: Autor

Realizada análise comparativa entre valores obtidos durante o período de aquisição de dados e os parâmetros pré-definidos foi possível chegar a um padrão de desgaste do maquinário de acordo com o tempo de uso com muito mais precisão que o tempo de reparo solicitado na manutenção preventiva. O fornecedor do equipamento recomenda o uso máximo do maquinário até um desgaste de 3mm do embuchamento.

Os parâmetros padrões foram definidos em uma faixa entre 5 e 8mm de espessura para as buchas de bronze grafitado, desvio máximo de 1mm para diâmetro dos eixos e uma faixa de 70 a 90°C para temperatura das buchas. Dessa forma durante o período de 2 semanas de aquisições de dados, todos os equipamentos permaneceram em funcionamento adequado. A previsão de parada para o equipamento 3 é em 312 horas, aproximadamente 1 mês, mas deve ser confirmada com as próximas medições.

Figura 14. Eixo desgastado por rolagem



Fonte: Autor (Equipamento Primitiva Ind.)

Outros defeitos também foram presenciados durante a coleta de dados, como o desgaste nas engrenagens de nylon que tracionam os eixos, porém estes componentes não foram contemplados no teste piloto para análise preditiva. Dessa forma, o componente foi substituído em uma intervenção corretiva e a análise permaneceu inalterada.

Figura 15. Desgaste engrenagens devido aquecimento



Fonte: Autor (Equipamento Primitiva Ind.)

Com a utilização das técnicas de manutenção preditiva, foi possível também perceber melhorias no índice TMEP (Tempo médio entre paradas) dos equipamentos analisados. O aumento deste índice pode ser correlacionado com o aumento da confiabilidade, disponibilidade e eficiência nos processos produtivos. O aumento do TMEP ocorre com o uso das técnicas preditivas, pois torna-se desnecessário a parada de máquina para realizar manutenção preventiva como troca de buchas ou rolamentos. Em caso de necessidade de intervenção, é realizada de forma planejada.

Em uma estimativa de custos e prejuízos evitados com a manutenção preditiva na unidade analisada, temos que o estudo de caso foi realizado em equipamentos críticos, onde uma parada repentina acarretaria em parada geral da produção de tripa. Com o preço médio atual da barrigada bovina que seria descartada caso a máquina estivesse em interrupção, estima-se que a unidade perderia diariamente em torno de R\$98.000,00 considerando produto e mão de obra em cada linha de produção. Dessa forma é bem claro que a principal vantagem do uso da manutenção preditiva é evitar paradas desnecessárias, sendo completamente viável sua implementação para evitar possíveis prejuízos.

6 CONCLUSÃO

A partir dos objetivos apresentados neste trabalho, foi possível realizar parte dos testes propostos, com excludente dos testes de vibração, devido aos custos de realiza-lo. As medições realizadas (termografia e dimensões), apesar de simples e de baixo custo, atenderam às expectativas. Confirmou-se parâmetros para o desgaste mecânico e a partir da análise de relação entre as medidas, foi possível realizar uma predição de parada da máquina para manutenção no melhor tempo possível.

O frigorífico de Goiânia obteve benefícios notórios com a utilização e o aperfeiçoamento da manutenção preditiva em sua planta industrial. Devido ao curto período de amostragem, fica difícil determinar com exatidão valores que comprovem o quanto a manutenção preditiva é economicamente rentável para o negócio, mas obteve-se resultados indiretos como reduções nos custos de manutenção, aumento na eficiência das intervenções em equipamentos, aumento da disponibilidade dos equipamentos e ganho de confiabilidade operacional.

Apesar dos problemas enfrentados durante as medições, considera-se que os objetivos deste trabalho foram alcançados, pois estes ganhos de confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos são a principal vantagem do uso da manutenção preditiva, viabilizando assim o uso para o equipamento testado. Portanto, a manutenção preditiva, é uma das técnicas de manutenção que com certeza estará presente na empresa para garantir os melhores resultados e competitividade no mercado atual.

6.1. Sugestão Para Trabalhos Futuros

Como sugestão para trabalhos e pesquisas futuras, é de extremo interesse aprofundar a análise do método de manutenção preditiva em outros equipamentos de caráter crítico, onde espera-se um ganho positivo também. É crucial agir com cuidado para não viabilizar de forma genérica o uso da manutenção preditiva em todo e qualquer equipamento pois têm-se como objetivo também, a análise do custo de implementação da manutenção preditiva em equipamentos de baixa criticidade, entendendo até onde é possível realiza-la garantindo aumento de eficiência dos equipamentos

Uma área rica para investigação é a integração de tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e machine learning (ML), nos sistemas de manutenção preditiva, principalmente envolvendo medições futuras de vibração que poderão fornecer resultados mais concretos sem a possível interferência de um erro humano durante a medição.

Futuros estudos de caso podem focar em como essas tecnologias podem ser aplicadas para melhorar a precisão das previsões de falhas e a eficiência das operações de manutenção em tempo real. Além disso, seria valioso explorar o estudo quantificado dos benefícios econômicos da implementação de programas de manutenção preditiva, incluindo a análise de retorno sobre investimento (ROI), redução de custos operacionais, e aumento da vida útil dos equipamentos.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO (ABRAMAN). **Documento Nacional de 2011. Situação da manutenção no Brasil.** 2011 Disponível de em: <<https://abramanoficial.org.br/>>. Acesso em 22 abr. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Confiabilidade e manutenibilidade - terminologia - NBR 5462.** Rio de Janeiro, 1994.

BORGES, M. C. et al. **Implantação de Sistema Informatizado para Planejamento e Controle da Manutenção.** Universidade Vale do Rio Doce, 2009.

BRANCO FILHO, G. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2008.

BRITO, J. N.; et al. **Implantação do programa de manutenção preditiva de painéis elétricos através da análise termométrica.** 11º Seminário Brasileiro de Manutenção Preditiva e Inspeção de Equipamentos, São Paulo, 2005.

CASCONE, R. N. **Metodologia para análise e otimização da confiabilidade, da manutenibilidade e da disponibilidade de um processo contínuo de produção.** Universidade Estadual de Campinas, 1992.

FILHO, O. R. **Aplicações termográficas na manutenção.** São Paulo, 2013.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção Função Estratégica.** 2ªed. Rio de Janeiro: Editora Quality Mark, 2004.

MACHADO, W. V.; OTANI, M. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial.** Revista Gestão Industrial. Paraná, 2008.

MONCHY, F. A. **Função Manutenção.** São Paulo: Editora Durban, 2007.

NASCIF, J.; DORIGO, L. C. **Manutenção orientada para resultados.** Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2013.

NEPONUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva.** São Paulo: Edegard Blücher, 1989.

OLIVEIRA, F. P. **Gestão Estratégica da Manutenção.** Poços de Caldas, 2010

OLMEDO, N. **TPM à moda brasileira**. São Paulo: Editora Mcgraw-Hil Ltda., 1994.

RAMIREZ, E. F.F. & CALDAS, E. C. & SANTOS, P. R. **Manual de Manutenção Preventiva**. Editora da Universidade Estadual de Londrina, 2002.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2002.

XAVIER, J. N. **Manutenção Preditiva Caminho para a excelência**. 2007 apud MACHADO, W. V.; OTANI, M. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. Revista Gestão Industrial. Paraná, 2008.