

2024

Estudos em
Engenharia
& Inovação
Volume 9

Organizadores:

Thiago Santana de Oliveira
Mirian Nunes de Carvalho Nunes
Carolina Gomes Araújo Garreto
Ronaldo de Jesus Barros

Thiago Santana de Oliveira
Mirian Nunes de Carvalho Nunes
Carolina Gomes Araújo Garreto
Ronaldo de Jesus Barros
(Organizadores)

ESTUDOS EM ENGENHARIA & INOVAÇÃO

VOLUME 9

EDITORA PASCAL

2024

2024 - Copyright© da Editora Pascal

Editor Chefe: Patrício Moreira de Araújo Filho

Edição e Diagramação: Eduardo Mendonça Pinheiro

Edição de Arte: Marcos Clyver dos Santos Oliveira

Bibliotecária: Rayssa Cristhália Viana da Silva – CRB-13/904

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Dr. Will Ribamar Mendes Almeida

Dr. Elmo de Sena Ferreira Junior

Dr. Fabio Antonio da Silva Arruda

Dr^a. Sinara de Fátima Freire dos Santos

Dr. Raimundo Luna Neres

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O48c

Coletânea Estudos em engenharia e inovação / Thiago Santana de Oliveira, Mirian Nunes de Carvalho Nunes, Carolina Gomes Araújo Garreto e Ronaldo de Jesus Barros (Org). São Luís - Editora Pascal, 2024.

353 f. : il.: (Estudos em engenharia e inovação; v. 9)

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-6068-089-0

D.O.I.: 10.29327/5421756

1. Engenharia. 2. Tecnologia. 3. Inovação. 4. Miscelânea. I. Oliveira, Thiago Santana de. II. Nunes, Mirian Nunes de Carvalho. III. Garreto, Carolina Gomes Araújo. IV. Barros, Ronaldo de Jesus. V. Título.

CDU: 621.7::330.341.1

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2024

www.editorapascal.com.br

APRESENTAÇÃO

Nos últimos anos, os desafios dos engenheiros frente as mudanças tecnológicas no processo produtivo impõem operarem dentro dos conceitos da Indústria 4.0. O surgimento dos sistemas de digitalização nas operações produtivas, promoveu profunda mudança na realidade das manufaturas fazendo que o mercado de trabalho (empresas/indústrias) busquem por profissionais que estejam mais adaptados às conjunturas tecnológicas e nesse caso engenheiros que possuam competências técnicas, metodológicas, sociais e pessoais.

Como atualmente a produção mais autônoma, as fábricas possuem capacidade de prever erros, promover adaptações e mudanças rápidas, onde o engenheiro capacitado apontará às melhores tomadas de decisões que reduzirá os impactos no resultado final.

No Brasil, as mudanças da quarta revolução industrial têm ocorrido a passos lentos em relação ao resto do mundo, mas já é uma realidade bastante forte nas indústrias brasileiras. E o engenheiro tem o papel de fomentar esse desenvolvimento através da difusão de conhecimento, apresentando as melhores estratégias na alocação de investimentos, atualização de fornecedores, melhores layout na infraestrutura e principalmente, na implantação de metodologias de produção inteligente.

Um estudo realizado em 2017 pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) apontou que dos 24 setores industriais do Brasil, 14 estão atrasados na adoção de tecnologias digitais. Assim dados do IBGE mostra que, os 14 setores em situação de vulnerabilidade respondem por cerca de 40% da produção industrial e 38,9% do PIB industrial brasileiro. O que evidencia a necessidade de investimentos urgentes para manter-se sobrevivendo no mercado altamente competitivo. O papel do engenheiro na busca das melhores estratégias para elevar o grau de inovação com o objetivo de uma maior inserção das indústrias brasileiras no mercado global.

O desafio após a pandemia que estagnou a produtividade do trabalho, a ideia é trazer cada vez mais tecnologia no dia a dia para o ambiente dentro das fábricas, tornando-as mais inteligentes beneficiando as empresas, colaboradores e indústrias como um todo.

Este livro apresenta vários estudos das engenharias que corrobora com os conceitos da atualização tecnológica. A composição do livro é através de capítulos da engenharia ambiental, engenharia produção, engenharia mecânica, engenharia de controle e automação, engenharia elétrica e engenharia química, onde abordam temas sobre processo produtivo, manutenção industrial, computação, comunicação, redes, IoT, resíduos sólidos, segurança do trabalho, sustentabilidade, projeto etc.

Convido para essa atualização tecnológica!

Eduardo Mendonça Pinheiro

Doutor em Agroecologia, especialista em Engenharia de Produção e professor da Universidade Estadual do Maranhão

ORGANIZADORES

Thiago Santana de Oliveira

Bacharel em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal do Maranhão (2004), com mestrado em Engenharia de Materiais (2016), na mesma instituição. Atuou como profissional nas áreas de siderurgia e gerenciamento de frota de veículos e equipamentos a diesel, com bons conhecimentos nas ferramentas de gestão da manutenção e produção. Ministra aulas desde 2005, sendo a experiência inicial no ensino médio e técnico. Atualmente, trabalha no ensino superior, onde possui experiência de 10 anos, e técnico, ocupando os cargos de docente e coordenador de curso. Responsável pela organização de eventos na instituição e gestão de documentação dos cursos que coordeno. Possui importantes publicações na área.

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Graduada em Desenho Industrial pela Universidade Federal do Maranhão - UFMA. Graduada em Formação Pedagógica de Docentes para as áreas do Ensino Médio e Profissionalizante pela Universidade Estadual do Maranhão - UEMA. Pós-Graduada Gestão Educacional pela Faculdades Integradas Potencial - FIP - Cotias - SP; em Arte, Educação e Tecnologias Contemporâneas pela Universidade de Brasília - UnB e em Docência do Ensino Superior pela Universidade Candido Mendes RJ. Exerce cargo de Professora na Faculdade Anhanguera São Luís - MA, ministrando as disciplinas de Desenho Técnico, Desenho Técnico Mecânico no programa computacional Inventor da Autodesk, Desenho Técnico Projetivo no programa computacional AutoCAD da Autodesk e Orientação de TCC. Atuou como Professora EaD da disciplina de Desenho Técnico de 2013 a 2020 no Curso de Segurança do Trabalho pela UEMANET.

Carolina Gomes Araujo Garreto

Possui mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais, pela Universidade do Porto (2019), Especialização em Engenharia de segurança do trabalho, pela Universidade Estácio de Sá - Laboro (2015), Especialização em engenharia ferroviária, pela UnDB (2012) e graduação em Engenharia Elétrica Industrial pelo IFMA (2011).

Ronaldo de Jesus Barros

Possui formação técnica em Mecânica Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA (2012); Graduação em Engenharia Mecânica pela Faculdade Pitágoras de São Luís (2019); Especializações em Engenharia de Materiais (2021) e Docência do Ensino Superior (2021), ambas pela Universidade Norte do Paraná. Atualmente (2023), é professor no ensino superior de engenharia na Faculdade Anhanguera de São Luís e está cursando Mestrando em Engenharia Mecânica com ênfase em Processos de Fabricação Mecânica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA.

SUMÁRIO

SEÇÃO: ENGENHARIA MECÂNICA

CAPÍTULO 1	12
COMPONENTES E TIPOS DE MANUTENÇÃO EM TRANSPORTADORES DE CORREIA <i>Rayana Pinheiro Dutra</i>	
CAPÍTULO 2	19
GESTÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL <i>Mário Felipe Barbosa Pereira</i>	
CAPÍTULO 3	27
A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL <i>Daniel Freires da Silva</i>	
CAPÍTULO 4	36
PROCESSOS DE FABRICAÇÃO, GARANTIAS DE QUALIDADE E USINAGEM EM TORNO CNC <i>Rafael Mendes Cardoso</i>	
CAPÍTULO 5	48
A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA NOS APARELHOS CHILERS PARA APLICAÇÕES NAS EMPRESAS <i>Matheus Santos Silva Santana</i>	
CAPÍTULO 6	56
A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES <i>Tarcila Araújo Ribeiro</i> <i>Mirian Nunes de Carvalho Nunes</i>	
CAPÍTULO 7	65
ESTRUTURAÇÃO E APLICABILIDADE DA NORMA NR-12 NA PRESERVAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS NO RAMO DE PANIFICAÇÃO <i>Lourivan Souza Bezerra</i> <i>Mirian Nunes de Carvalho Nunes</i>	
CAPÍTULO 8	77
A ATUAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA E PREVENTIVA NA INDÚSTRIA 4.0: A INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO DA EMPRESA <i>Thiago Rodrigues Santos</i> <i>Paola Silva</i>	

CAPÍTULO 9.....	88
RELEVÂNCIA E ANÁLISE DO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO DE ULTRASSOM NA PRESERVAÇÃO DA JUNTA SOLDADA	
<i>Caroline Costa De Souza</i>	
<i>Rodrigo Bacarin</i>	
CAPÍTULO 10.....	99
CALOR E FLUIDOS DE FREIO	
<i>Aleksandro Cantanhêde Pires</i>	
<i>Paola Silva</i>	
CAPÍTULO 11.....	106
O IMPACTO DA GESTÃO DE MANUTENÇÃO NOS EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS	
<i>Clicenys Ruan Batista Santos</i>	
<i>Paola Silva</i>	
CAPÍTULO 12.....	120
GESTÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: UMA REVISÃO	
<i>Eraldo Ribeiro Santos</i>	
<i>Mirian Nunes de Carvalho Nunes</i>	
CAPÍTULO 13.....	128
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM CALDEIRAS DE VAPOR	
<i>Cristian Moacir Santos da Silva</i>	
CAPÍTULO 14.....	136
A LUBRIFICAÇÃO NOS PROCESSOS DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	
<i>Diones Ribeiro dos Santos</i>	
CAPÍTULO 15.....	145
GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO: REVISÃO INTEGRATIVA DE LITERATURA	
<i>Gustavo Bortolo Andreghetto</i>	
<i>Melany Stelle</i>	
CAPÍTULO 16.....	154
OS MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA: REVISÃO DA LITERATURA	
<i>Isaac Kainan Moraes Cunha</i>	
<i>Paola Silva</i>	

CAPÍTULO 17	163
MANUTENÇÃO PREDITIVA, ANÁLISE DE ÓLEO	
<i>Jhonata Caetano Verde</i>	
<i>Melany Stelle</i>	
CAPÍTULO 18	171
MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE MÁQUINAS	
<i>Raimundo Sousa Silva</i>	
<i>Mirian Nunes de Carvalho Nunes</i>	
CAPÍTULO 19	179
MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA: MOTORES E ALGUNS COMPONENTES	
<i>Leandro Maia Goncalves</i>	
<i>Michelle Suzane Pinheiro</i>	
CAPÍTULO 20	185
ESTRATÉGIAS PARA UMA GESTÃO DE MANUTENÇÃO EFICIENTE NA INDÚSTRIA	
<i>Valmir Maranhão Pereira</i>	
CAPÍTULO 21	193
BENEFÍCIOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA NA LINHA DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL	
<i>Orlanilson Sousa dos Santos</i>	
<i>Paola Silva</i>	
CAPÍTULO 22	201
SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO RESIDENCIAL: EVOLUÇÃO E IMPACTOS AMBIENTAIS	
<i>Milton André Ramos dos Santos</i>	
<i>Ronaldo de Jesus Barros</i>	
CAPÍTULO 23	215
PROCESSO MIG/MAG APLICADO À SOLDAGEM DISSIMILAR: COMPLEXIDADE DE JUNTAS DISSIMILARES E A INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM	
<i>Dayver Nascimento Barbosa</i>	
<i>Ronaldo de Jesus Barros</i>	
<i>Matheus Nascimento Barbosa</i>	
CAPÍTULO 24	227
GESTÃO DA MANUTENÇÃO: CENTRADA NA QUALIDADE	
<i>Clenio dos Santos Silva</i>	
<i>Mirian Nunes de Carvalho Nunes</i>	

CAPÍTULO 25	238
DESAFIOS DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO: ESTRATÉGIAS PARA UM MELHOR DESEMPENHO	
<i>Franciney Reis da Silva</i>	
<i>Mirian Nunes de Carvalho Nunes</i>	
CAPÍTULO 26	247
A UTILIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL COMO ABORDAGEM ESTRATÉGICA PARA A TRANSIÇÃO À INDÚSTRIA 4.0	
<i>Luana Cristina Dias Ferreira</i>	
<i>Paulo Jose Pinto Souza</i>	
<i>Ronaldo de Jesus Barros</i>	
CAPÍTULO 27	257
PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO	
<i>Elton John Da Costa Lopes</i>	
<i>Ronaldo de Jesus Barros</i>	
CAPÍTULO 28	266
MODELOS DE GESTÃO SEGURA DA VIA PERMANENTE	
<i>Anderson Valter da Silva</i>	
<i>Antônio Merval Machado Tavares</i>	
CAPÍTULO 29	275
ANÁLISE DA TERMODINÂMICA APLICADA AOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	
<i>Clarmiana Mourão de Freitas</i>	
<i>Paulo Jose Pinto Souza</i>	
CAPÍTULO 30	295
TECNOLOGIA DE MOTORES DOWNSIZING: SUSTENTABILIDADE E PERSPECTIVAS FUTURAS NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA	
<i>Diego Carvalho Melo</i>	
<i>Antônio Merval Mendes Tavares</i>	
CAPÍTULO 31	307
ESTUDO DE DESEMPENHO DO MOTOR TRÊS CILINDROS ALIMENTADO COM GNV COMO COMBUSTÍVEL	
<i>Mateus Silva Santos</i>	

CAPÍTULO 32	322
A IMPORTÂNCIA DA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE GESTÃO DE MANUTENÇÃO	
<i>Nilton Santos Silva</i>	
<i>Ronaldo de Jesus Barros</i>	
CAPÍTULO 33	333
A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA	
<i>Jaílton Rogerio Mendonça Privado</i>	
CAPÍTULO 34	342
GESTÃO DA MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITE-RATAURA	
<i>Jose Marcio Santos da Silva</i>	

ENGENHARIA MECÂNICA



1

COMPONENTES E TIPOS DE MANUTENÇÃO EM
TRANSPORTADORES DE CORREIA
COMPONENTES AND TYPES OF MAINTENANCE ON BELT
CONVEYORS

Rayana Pinheiro Dutra

Resumo

Os transportadores de correia são equipamentos fundamentais para o processo de movimentação de materiais a granel ou cargas pesadas de um ponto ao outro, geralmente são utilizados em diversas áreas no âmbito industrial. Eles podem transportar materiais em longas distâncias, em inclinações ou curvas, atendendo a diferentes exigências de transporte. O presente trabalho foi realizado através de uma revisão bibliográfica, com objetivo principal: Conhecer os principais componentes e os tipos de manutenção que são aplicadas para melhorar o desempenho de suas operações. E como objetivos específicos: Conceituar os principais componentes, descrever as principais falhas encontradas e descrever os tipos de manutenção que podem ajudar na detecção precoce de falhas. Por ser um equipamento de grande importância para o processo produtivo na indústria. A manutenção em transportadores de correia é crucial para garantir a segurança dos trabalhadores, a eficiência operacional e a vida útil do sistema, contribuindo com a confiabilidade dos equipamentos e o sucesso contínuo das operações industriais.

Palavras-chave: Transportadores de Correia, Manutenção, Correia Transportadora, Indústria, Componentes Mecânicos.

Abstract

Belt conveyors are fundamental equipment for the process of moving bulk materials or heavy loads from one point to another and are generally used in various industrial areas. They can transport materials over long distances, on inclines or curves, meeting different transport requirements. This work was carried out through a literature review, with the main objective: To understand the main components and the types of maintenance that are applied to improve the performance of its operations. And as specific objectives: Conceptualize the main components, describe the main failures found and describe the types of maintenance that can help in the early detection of failures. As it is a piece of equipment of great importance for the production process in industry. Maintenance on belt conveyors is crucial to ensuring worker safety, operational efficiency, and the useful life of the system, contributing to equipment reliability and the continued success of industrial operations.

Keywords: Belt Conveyors, Maintenance, Conveyor Belt, Industry, Mechanical Components.



1. INTRODUÇÃO

Os transportadores de correia desempenham um papel essencial em uma ampla gama de setores industriais, sendo amplamente utilizados para o transporte eficiente e confiável de materiais a granel. Esses sistemas robustos e versáteis são compostos por uma correia contínua, geralmente feita de borracha resistente, que é acionada por rolos ou tambores motorizados.

Inicialmente, as correias eram feitas de couro ou lona e eram movidas manualmente ou por meio de rolos acionados por força animal. No entanto, com os avanços tecnológicos e o surgimento de motores a vapor e motores elétricos, as correias começaram a ser acionadas mecanicamente, aumentando significativamente a capacidade de transporte e a eficiência dos sistemas.

São caracterizadas por sua versatilidade, podendo transportar diversos tipos de materiais (minérios, graneis, fertilizantes, materiais de construção civil etc.). Elas possuem grande vantagem econômica, pois apresentam baixo custo operacional, além de serem projetados para fornecerem um alto desempenho na produção e promover o fluxo contínuo de materiais. A pesquisa se norteou em trazer um entendimento mais aprofundado sobre tema, tanto para o meio acadêmico como para os profissionais da área. Vale salientar que saber o funcionamento de seus componentes principais ajudará a compreender melhor como é realizada o processo manutenção de cada ativo. A problemática que se dirigiu a pesquisa foi: Quais são os principais componentes e que tipos de falhas são encontradas em um transportador de correia?

O objetivo geral da pesquisa foi: Conhecer os principais componentes e os tipos de manutenção que são aplicadas para melhorar o desempenho de suas operações. E objetivos específicos: Conceituar os principais componentes, descrever as principais falhas encontradas e conceituar os tipos de manutenção que podem ajudar na detecção precoce de falhas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Foi realizada uma revisão de literatura sobre o tema, onde foram pesquisados livros e artigos científicos selecionados através das bases de dados eletrônicas Google Acadêmico. O período dos artigos e dissertações foram os trabalhos publicados nos últimos dez anos. As palavras-chave utilizadas na busca foram: “transportadores de correia”, “correia transportadora”, “componentes mecânicos”, “manutenção” e “indústria”.

2.2 Resultados e Discussão

Segundo a Norma Brasileira – NBR 6177, um transportador de correia é definido como um arranjo de vários componentes mecânicos, elétricos e estruturas metálicas destinado a movimentação de materiais a granel através de uma correia contínua que possuem a função de formar uma superfície de sustentação onde será colocado o material a ser transportador.

Os principais componentes de um transportador de correia são as correias, os role-

tes, tambores, conjunto de acionamento da correia, casa de transferências, dispositivos de segurança e o sistema de esticamento. Sendo que a correia uma das partes principais do sistema já que nela será transportado o material (Silva, 2018).

Já Rigolo (2018), afirma que os principais componentes de um transportador de correia são os roletes, correia, conjunto de acionamento, tambores, dispositivo de carregamento e descarregamento (chute) e dispositivos de limpeza.

A correia é composta por diferentes camadas, cada uma com uma função específica. A camada superior, conhecida como cobertura, é responsável por proteger a correia contra desgaste, abrasão e danos causados pelos materiais transportados (Gavi, 2001).

Segundo Silva (2018), as correias são compostas por cobertura, carcaça e emenda. Sendo a carcaça tendo a função de suportar as tensões proveniente da movimentação dos materiais que são transportados. Em sua composição podemos encontrar fibras têxteis (lonas) como também cabos de aço instalados em sua cobertura.

O acionamento é o sistema responsável por gerar de torque e promover a movimentação e velocidade do transportador. Se constituem em um motor, redutor, acoplamento hidráulico e em alguns casos podemos encontrar contra recuo, freios e inversores de frequência (Rigolo, 2018).

Ele pode ser posicionado na cabeceira, parte central do transportador e no retorno. Para a escolha adequada do conjunto de acionamento deverá ser levado em conta o perfil do transportador, a potência transmitida, a área disponível, sentido da correia (se ela é reversível ou não) e as tensões resultantes (Faço, 1996).

Rigolo (2018) define os roletes como um conjunto de rolos cilindros compostos com um eixo, rolamentos e vedações e suporte de sustentação chamado de cavaletes. Sendo usados para suportar e guiar a correia transportadora através da livre rotação em torno do seu eixo podendo ser classificados como roletes de carga, retorno, impacto, transição, espiral e auto-alinhantes.

Já Gavi (2001), divide os tipos de roletes em 8 tipos: Roletes de carga, utilizados em trechos que se carrega o material transportado. Roletes de retorno, localizados no trecho de retorno da correia. Roletes de impactos, sua função é absorver impacto do material sobre a correia, geralmente localizados nos pontos de carregamento. Roletes auto alinhadores, apresenta mecanismo giratório na qual tem a função de controlar o deslocamento lateral da correia, são utilizados tanto na região de carga, quanto no retorno. Roletes de transição, localizados próximo aos tambores terminais, tem a possibilidade de variação do ângulo de inclinação a fim de sustentar e auxiliar a transição da correia entre os rolos e tambores. Roletes de anéis, são constituídos de anéis e borracha espaçados, com o objetivo de evitar o acúmulo de material no rolete. Rolete espiral, são tipos de roletes de retorno, apresentam a forma de espiral destinado a realizar o desprendimento do material na correia. Roletes catenária, onde são conjuntos de rolos com interligações articuladas entre si.

Segundo Gavi (2001), os tambores são construídos com materiais robustos, como aço, para suportar as tensões e cargas do transporte, sendo classificados como tambor acionamento, retorno, esticamento, desvio, encosto, cabeça e descarga. Já Rigolo (2018), classifica os tambores em duas formas: Tambor motriz, sua principal função é receber o torque proveniente do conjunto de acionamento e posteriormente transmitindo para a correia. Tambor movido, tendo a função de desviar, dobrar e esticar a correia.

O sistema de esticamento tem a função de manter a correia tensionada, a fim de evitar qualquer tipo de desalinhamento na correia ou até mesmo ocorrer a fuga de materiais, podendo ser classificado como: esticador parafuso, funciona através de um parafuso fixa-

do nos mancais onde se tensiona a correia com o rosqueamento das porcas. Esticador por gravidade vertical, geralmente o mais utilizado, ele funciona através do contrapeso fixado nos mancais de um tambor de esticamento. Esticador por gravidade horizontal, sua principal diferença do horizontal é que os mancais são fixados no tambor de retorno (Faço,1996).

Gavi (2001), classifica o sistema de esticamento em: Manual por parafuso, onde ele afirma que só é recomendada sua utilização quando existir a limitação de espaço ou quando o transportador for pequeno, pois eles requerem maiores cuidados devido sua fragilidade durante ao tensionamento. Esticadores automáticos, são utilizados na maioria dos transportadores, sendo instalados de forma horizontal, vertical ou em posições inclinadas, podendo serem operados de forma mecânica, hidráulica ou pneumática.

Segundo Rigolo (2018), os dispositivos de carregamento e descarregamento, também chamados de chutes, são componentes que tem como função principal diminuir a velocidade e o impacto sobre a correia. Já Campelo (2019), descreve os chutes como uma espécie de funil gigante cuja sua principal função seria realocar o material para outro transportador. Os chutes precisam ser dimensionados de forma correta a fim de evitar a descentralização do material na correia de recebimento.

2.2.1 Principais falhas nos transportadores de correia

A correia transportadora além de ser responsável pelo transporte do material, ela é o componente com maior custo financeiro do conjunto e por esse o desalinhamento da correia é um dos principais modos de falhas de um transportador.

O desalinhamento é causado por diversos fatores na correia, sendo eles: Os danos nas bordas, desnivelamento dos tambores, empenos dos roletes, descentralização no fluxo do material e ou falha no tensionamento da correia. Este tipo falha é identificado através de um dispositivo elétrico chamado chave de desalinhamento, localizada ao lado externo da correia (Campelo, 2019).

Gavi (2001), exemplifica o desalinhamento de forma mais detalhada, sendo as principais causas: Roletes ou tambores fora de esquadro, a estrutura do transportador desalinhada ou empenada, rolos emperrados (travados), o material sem aderência aos rolos, estrutura desnivelada, emenda fora de esquadro, correia torta e carregamento fora do centro da correia.

A avaria em roletes são tipos de falhas bastantes comuns, geralmente ocasionados por acúmulo de material ao redor da sua carcaça que provoca sucessivas avarias, tais como desgaste no revestimento dos rolos, quebra do rolamento e principalmente o travamento do eixo. Após o eixo travar, os rolos em contato com a correia geram uma superfície cortante, ocasionando cortes longitudinais na correia. (Campelo, 2019).

O sistema de contrapeso também pode apresentar falhas sendo a mais destacada o alongamento excessivo da correia, ocasionados por tensões maiores que a permitida no projeto, excesso de contrapeso e instalação inadequada da correia com o contrapeso. (Gavi, 2001)

As falhas mais recorrentes nos dispositivos de carregamento e descarregamento (chutes) é a presença de furos em suas paredes devido ao grande impacto contínuo com o material, conseqüentemente causando queda das chapas internas e o entupimento do chute devido ao grande fluxo de material excedendo assim a capacidade dimensionada em projeto. (Campelo, 2019).

2.2.2 Tipos de manutenção aplicada

Segundo Viana (2002), os tipos de manutenção são aplicados de acordo com a forma que são encaminhadas as intervenções no instrumento de produção. Sendo classificadas como Manutenção Corretiva, Preventiva, Preditiva e Autônoma (TPM).

Manutenção Corretiva: Conforme a Norma NBR 6462, é a manutenção que ocorre após uma pane, ou seja, ela tem a finalidade de fazer com que um item seja realocado em condições de executar a sua função requerida. Já Viana (2002), afirma a manutenção corretiva é aquela cuja intervenção deve ser feita imediatamente, a fim de evitar graves consequências ao instrumento.

Manutenção Preventiva: A manutenção preventiva é um tipo de intervenção planejada com o objetivo de evitar falhas e garantir o funcionamento adequado ao longo do tempo. É uma estratégia proativa que visa reduzir o risco de ocorrência de problemas e maximizar a vida útil dos ativos. A Norma NBR 6462, define essa abordagem como uma intervenção realizada de forma sistemática, com base em critérios predefinidos, como tempo de operação, contagem de ciclos, idade, entre outros parâmetros.

Silva (2018), define manutenção por inspeção como um tipo de manutenção preventiva, sua função é identificar as anomalias através dos sentidos humanos e alguns instrumentos de medição seguindo um plano de inspeção.

Segundo Ericeira (2019), o processo de inspeção humana tem objetivo de buscar sinais sonoros, visuais e de temperatura excessiva em partes rolantes ao longo de transportadores de correia. Os inspetores utilizam sua parte sensitiva para identificar qual tipo de falha está ocorrendo, com esse tipo de inspeção pode-se identificar ruídos de abrasão para rolos travados atritando com a correia, motor superaquecido, ruído característico de contato metal com metal e ruídos característicos de danos no rolamento dos roletes.

Manutenção Preditiva: Segundo Viana (2002) é o tipo de manutenção que possui o objetivo de acompanhar as máquinas ou peças, através de medições, monitoramento ou controle estatístico. É um tipo de abordagem de manutenção que se baseia na monitorização e análise contínuas do estado dos equipamentos e sistemas, com o objetivo de prever a ocorrência de falhas e programar intervenções de manutenção antes que os problemas ocorram. Na manutenção preditiva podemos identificar de forma precoce o superaquecimento dos motores, roletes e tambores, além de utilizar as técnicas análise de vibrações de óleo, temperatura e ultrassom (Silva, 2018).

Manutenção Autônoma: Também conhecida como Manutenção Autônoma Produtiva (TPM - *Total Productive Maintenance*), é uma abordagem na qual os operadores e equipes de produção assumem a responsabilidade por atividades de manutenção de rotina em suas próprias máquinas. Muitos profissionais não consideram a manutenção autônoma como um tipo de manutenção, mas sim como um alicerce do TPM. Segundo Viana (2002), quando há um planejamento e programação para a realização dos serviços, pode-se dizer que já exista uma atividade mantenedora efetiva e por esse motivo ela é designada como um tipo de manutenção.

A necessidade de manutenção regular em transportadores de correia é justificada por diversos motivos. Primeiramente, esses sistemas são expostos a condições adversas, como cargas pesadas, abrasão, umidade e variações de temperatura. Esses fatores podem levar ao desgaste gradual das correias, roletes, tambores e outros componentes, resultando em falhas e paradas não programadas. Por esse motivo, é essencial a realização de manutenções para que se possa obter maior confiabilidade em seus componentes.



3. CONCLUSÃO

Diante do exposto, os resultados sobre a compreensão aprofundada dos principais componentes dos transportadores de correia permite aos profissionais da manutenção e operação, tomar decisões mais ágeis sobre inspeções, reparos, substituições e melhorias necessárias.

A familiaridade com os detalhes de cada componentes, capacita as equipes em identificar os principais problemas, como desgastes excessivo, desalinhamento ou tensões inadequadas. Essa identificação precoce de problemas contribui para a prevenção de falhas, minimizando paradas não planejadas e interrupções na produção.

Desta forma, após a realização de toda a pesquisa, sendo referenciada diversos autores especialistas no assunto. Os objetivos deste trabalho foram alcançados, tendo em vista que foi apresentada a importância de compreender os principais componentes de um transportador de correia e como aplicar adequadamente os tipos de manutenções para um gerenciamento eficiente do equipamento, assegurando sua confiabilidade, segurança e eficiência a longo prazo.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 6177**:1999. Transportadores contínuos - Transportadores de correia – Terminologia. São Paulo,1999.

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

CAMPELO, Lucas Sá Guimarães. **Técnicas de manutenção para aumento da confiabilidade de transportadores de correia**. 2019. 64f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.

GAVI, Jones. **Manual de inspeção e manutenção de correias transportadoras**. 4.ed. Vitória: Bios,2001.

RIGOLO, Leonardo Visentainer. **Estudo técnico de um transportador de correia**. 2018. 64 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá,2018.

SILVA, Paulo Melo. **Análise de confiabilidade da manutenção e dos principais modos de falhas em transportadores de correia**: Estudo de caso no Terminal Portuário Ponta da Madeira.2018. 58f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2002.



2

GESTÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL INDUSTRIAL MAINTENANCE MANAGEMENT

Mário Felipe Barbosa Pereira

Resumo

A gestão de manutenção industrial é um estudo de extrema importância, devido ao fato de tratar sobre a gestão de manutenção em si e as consequências da falta desse processo. Nos últimos anos, ocorreram diversas mudanças na área de manutenção devido ao aumento da complexidade dos projetos. As mudanças ocorreram devido ao crescimento tanto no número quanto na diversidade de equipamentos e instalações a serem mantidos. Além disso, o surgimento de novas técnicas também foi um fator contribuinte. É importante ressaltar também que os profissionais de manutenção estão cada vez mais cientes de sua função. Atualmente, está ocorrendo uma discussão mais intensa sobre a estrutura da atividade de manutenção e suas responsabilidades, além de considerar-se o impacto negativo que um fracasso nos equipamentos e instalações pode acarretar tanto para a execução das tarefas como para o meio ambiente. Além de reduzir os custos, também é reconhecida a relação entre a qualidade do produto e a manutenção. Diante desses fatores e debates, ressalta-se a necessidade de novas atitudes e aperfeiçoamento dos profissionais envolvidos na manutenção. Isso promove um avanço mais ágil e substancial nas práticas desse campo.

Palavras-chave: NR-12. Manutenção Industrial. Gerações.

Abstract

Industrial maintenance management is an extremely important study, due to the fact that it deals with maintenance management itself and the consequences of the lack of this process. In recent years, several changes have occurred in the maintenance area due to the increase in the complexity of projects. The changes occurred due to the growth in both the number and diversity of equipment and facilities to be maintained. In addition, the emergence of new techniques was also a contributing factor. It is also important to emphasize that maintenance professionals are increasingly aware of their role. Currently, there is a more intense discussion about the structure of the maintenance activity and its responsibilities, in addition to considering the negative impact that a failure in equipment and facilities can have on both the execution of tasks and the environment. In addition to reducing costs, the relationship between product quality and maintenance is also recognized. Given these factors and debates, the need for new attitudes and improvement of professionals involved in maintenance is highlighted. This promotes more agile and substantial advancement in practices in this field.

Keywords: NR-12. Industrial Maintenance. Generations.

1. INTRODUÇÃO

A presente tem como tema “gestão de manutenção industrial”, sendo importante este estudo por se tratar da gestão de manutenção e o que a falta desse processo pode ocasionar.

2. DESENVOLVIMENTO

Nos últimos anos, houve uma quantidade significativa de alterações na área de manutenção, principalmente devido ao aumento da complexidade dos projetos. Além disso, o crescimento tanto em número quanto em diversidade de equipamentos e instalações a serem mantidos também contribuiu para essas mudanças, assim como o surgimento de novas técnicas.

Além disso, é essencial destacar que os profissionais de manutenção estão cada vez mais conscientes de sua função. Atualmente, há um maior debate sobre a organização do trabalho de manutenção e suas obrigações, bem como sobre o impacto que uma falha nos ativos pode ter tanto no trabalho quanto no meio ambiente. Também se reconhece a relação entre a manutenção e a qualidade do produto, além da importância de reduzir os custos. A necessidade de novas atitudes e aperfeiçoamento dos profissionais envolvidos na manutenção é ressaltada diante desses fatores e discussões. Isso impulsiona uma evolução mais rápida e significativa nas práticas dessa área.

Agora que compreendemos as razões pelas quais a manutenção progrediu tanto ao longo dos anos, é igualmente essencial entender como isso se desenrolou. No início do século XX, é viável classificar o processo histórico de evolução da manutenção em quatro gerações ou fases.

1. Primeira geração: Antes da primeira e da segunda Guerra Mundial, as indústrias operavam com maquinários volumosos e menos complicados. Como resultado, as máquinas funcionavam de forma lenta e consumiam uma quantidade significativa de energia, além de causar frequentes interrupções não planejadas que prejudicavam a produção. No entanto, essas falhas não eram exclusivamente responsabilidade das máquinas. Nesse período, a manutenção era considerada uma questão secundária no processo produtivo, recebendo pouca atenção. Adicionalmente, a manutenção na primeira fase carecia de um sistema definido e os serviços eram registrados de forma manual, sem muitos critérios.
2. Segunda geração: Após a ocorrência da Segunda Guerra Mundial, houve uma grande necessidade de aumentar e acelerar a produção devido ao significativo crescimento na demanda por produtos. Durante o processo de expansão, as indústrias investiram na mecanização de seus métodos e elevaram sua complexidade visando satisfazer a demanda em constante aumento. Em razão disso, optaram por estabelecer setores de manutenção, com o objetivo não só de reparar eventuais danos, mas também de preveni-los, buscando maximizar a eficiência na produção. A busca por melhorias na produtividade foi o que motivou as equipes de manutenção a adotar uma abordagem mais padronizada e a não tolerar mais interrupções inesperadas nos ativos. Isso deu lugar ao surgimento do conceito de manutenção preventiva. Porém, nas indústrias, os custos com manutenção aumentaram significativamente devido à utilização de técnicas preventivas que incluíam paradas



programadas e substituições frequentemente incorretas de peças. Posteriormente, as equipes começaram a refletir sobre meios de diminuir os gastos e estender a durabilidade das peças e dos ativos.

3. Terceira geração: Durante as décadas de 1940 a 1970, época de crescimento da aviação comercial, os requisitos e procedimentos de manutenção preventiva se intensificaram em complexidade e estratégia. Isso porque tornou-se impraticável realizar reparos em aeronaves em pleno voo. Era imprescindível assegurar a ausência de qualquer interrupção não prevista durante um voo, fator que impulsionou a manutenção a se tornar, enfim, uma das áreas mais relevantes nas indústrias. Além das aeronaves, as fábricas de todas as categorias começaram a implementar o sistema “just-in-time”, uma estratégia projetada para melhorar a eficiência, reduzir custos e minimizar o desperdício de tempo e recursos durante o processo de produção. A partir disso, houve um impulso na mecanização e automação das máquinas, além de fortalecer o conceito de manutenção preditiva. Ao mesmo tempo em que os primeiros computadores surgiam, a internet começava a dar seus primeiros passos. Ao longo do tempo, tanto a manutenção quanto as técnicas preditivas se tornariam aliados poderosos, impulsionando-se mutuamente.
4. Quarta Geração: Essa fase teve início nos anos 70 e continua até os dias de hoje. A indústria expandiu-se ainda mais diante do processo de globalização, impulsionado pelo aprimoramento da internet e dos computadores, que oferecem softwares cada vez mais poderosos. Graças à sua colaboração, a manutenção agora faz parte de processos ainda mais avançados, como a análise e o monitoramento online de equipamentos no cotidiano. Isso é um excelente exemplo de técnica preditiva. O guia completo para o monitoramento online de ativos é um recurso essencial para empresas que desejam acompanhar e gerenciar seus ativos de forma eficiente e eficaz. Neste guia abrangente, você encontrará informações detalhadas sobre as melhores práticas para monitorar seus ativos online, incluindo equipamentos, veículos e outras propriedades. Ao utilizar o monitoramento online de ativos, as empresas podem obter uma visão em tempo real do status e da localização de seus ativos. Isso permite que eles identifiquem problemas rapidamente e tomem medidas corretivas proativas para evitar interrupções no negócio. Além disso, o monitoramento online de ativos oferece uma visão geral dos padrões de uso e desempenho dos ativos. Isso ajuda as empresas a otimizar a utilização de seus ativos, reduzir custos operacionais e estender a vida útil dos equipamentos. Neste guia, você também encontrará informações sobre as diferentes tecnologias e soluções disponíveis para o monitoramento online de ativos, como sensores, dispositivos de rastreamento GPS e plataformas de software. Exploraremos os benefícios e desafios de cada opção, para que você possa tomar uma decisão informada sobre qual solução é a mais adequada para suas necessidades. Além disso, discutiremos as considerações de segurança e privacidade envolvidas no monitoramento online de ativos e forneceremos orientações sobre como proteger seus dados e garantir a conformidade com regulamentos relevantes. Independentemente do setor em que sua empresa opera - seja transporte, logística, manufatura ou serviços - o monitoramento online de ativos pode ajudá-lo a otimizar suas operações, reduzir custos e melhorar a eficiência geral. Este guia completo para o monitoramento online de ativos é uma ferramenta indispensável para empresas que desejam aproveitar ao máximo seus ativos e se manter à frente da concorrência. Siga as orientações fornecidas neste guia e comece a monitorar seus ativos online hoje mesmo. Pode ser afirmado que os departamentos de manutenção progrediram ao longo

do tempo, focando no constante bom funcionamento dos ativos e assegurando processos produtivos superiores por meio da prevenção e predição. Hoje em dia, os equipamentos possuem um nível maior de confiabilidade, as peças têm uma vida útil mais longa e os custos de manutenção são mais baixos.

A NR-12 e seus anexos definem princípios fundamentais, referências técnicas e medidas de proteção para resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais NRs aprovadas pela Portaria MTb n.º 3.214, de 8 de junho de 1978 (Portaria MTP n.º 806, de 13 de abril de 2022).

De acordo com a NBR 12.100, no documento da NR12 as apreciações de risco são definidas como “um processo completo de compreensão da análise e avaliação de risco”. Então, trata-se de uma etapa onde serão descritos todas as medidas e métodos, buscando a mitigação de riscos identificados de uma máquina. É nesta fase que encontramos uma vasta camada de formas, tais como desenhos técnicos, fotos ou até diagramas, ela é uma das mais importantes quando o assunto é a segurança de máquinas e equipamentos no setor industrial. Este relatório é importante pois com ele é possível identificar todos os riscos de uma máquina ou equipamento novos e dos que já existem. Com isso, é possível traçar estratégias para evitar que os possíveis danos apontados venham prejudicar a saúde e segurança dos colaboradores de uma empresa.

A ocorrência de defeitos nos equipamentos pode resultar em um considerável prejuízo em certas indústrias. Embora a máquina não pare totalmente de produzir, os danos podem ser consideráveis. Quando um determinado equipamento produz peças de qualidade insatisfatória, ocorre um desperdício não apenas de tempo, mas também de matéria-prima e outros insumos, como a energia. Em determinadas regiões, essa situação se torna ainda mais grave. Nos setores químico e farmacêutico, vazamentos de substâncias podem representar uma ameaça à saúde dos funcionários e até mesmo causar graves acidentes, resultando em danos para a saúde da população em geral. A atividade de gestão da manutenção industrial é responsável por evitar a ocorrência de todos esses episódios em uma empresa. É o departamento responsável pela manutenção industrial que assegura o bom funcionamento de todos os equipamentos, visando garantir a lucratividade da empresa e o bem-estar tanto das equipes de trabalho quanto da comunidade. A gestão da manutenção industrial vai além do simples conserto de equipamentos defeituosos, englobando uma ampla gama de atividades. Dentre todas essas opções, é possível destacar:

- Monitoramento dos equipamentos;
- Diagnóstico de problemas efetivos e, sobretudo, dos problemas em potencial;
- Prevenção de mau funcionamento das máquinas;
- Conserto ágil de qualquer tipo de defeito que possa surgir, minimizando as perdas.

Hoje em dia, há cursos disponíveis que têm como objetivo formar profissionais especializados na área de gestão da manutenção industrial. Esses profissionais não apenas aprendem a lidar com os equipamentos, mas também desenvolvem uma postura proativa que aborda os problemas antes mesmo de surgirem. Essa é a situação perfeita, uma vez que a prevenção impede perdas e danos.

Dentro da gestão da manutenção industrial, há diversas possibilidades de trabalhos a serem executados. Quem pensa que a manutenção deve ser feita somente quando algo já deu errado, está enganado. No entanto, em certas situações, a prevenção não é viável, e



o profissional de gestão da manutenção industrial deve agir prontamente, focando na minimização dos danos. Agora, iremos analisar os principais tipos de manutenção industrial.

A manutenção corretiva é realizada quando é necessário corrigir falhas ou defeitos encontrados em equipamentos ou sistemas. Essa prática tem como objetivo restabelecer o funcionamento adequado do equipamento o mais rápido possível, minimizando o impacto negativo das falhas na produtividade e evitando prejuízos maiores para a empresa. A manutenção corretiva pode ser planejada ou não planejada, dependendo do grau de urgência e da disponibilidade de recursos. No entanto, é importante ressaltar que a manutenção corretiva não é a forma mais eficiente de manutenção, uma vez que é reativa, ou seja, só ocorre após a ocorrência de uma falha. Por esse motivo, é essencial investir em manutenções preventivas e preditivas, a fim de evitar problemas futuros e maximizar a vida útil dos equipamentos. A manutenção corretiva pode ser classificada em duas outras subcategorias. Uma das principais preocupações são as manutenções imprevisíveis. Este texto aborda os reparos que precisam ser realizados de forma emergencial quando algo escapa do controle do gestor de manutenção industrial. Essa é a forma de manutenção que resulta em despesas mais elevadas e deve ser evitada. No entanto, imprevistos podem ocorrer até mesmo em fábricas altamente organizadas e com eficientes programas de gestão da manutenção industrial. Nos casos mencionados, é necessário que a manutenção seja realizada de maneira rápida e com o mínimo impacto para a empresa. É altamente recomendado que, sempre que viável, as atividades que não estão diretamente ligadas ao equipamento com defeito sejam mantidas o mais próximas possível de sua rotina normal.

As manutenções corretivas de segunda categoria referem-se àquelas que são previsíveis ou planejadas. Para realizar este tipo de manutenção, é necessário ter um plano de inspeção e monitoramento do maquinário previamente elaborado. Portanto, será viável detectar o momento propício para substituir certas peças ou componentes antes que a parte atinja o limite de sua vida útil.

A manutenção preventiva é uma ação planejada e sistemática de revisão, controle e monitoramento dos equipamentos. Ela é feita periodicamente, com o objetivo de reduzir ou impedir falhas do instrumento. Ela é feita periodicamente, com o objetivo de reduzir ou impedir falhas do instrumento.

Há uma série de vantagens em fazer a manutenção preventiva dos equipamentos como: Ao realizar uma revisão periódica programada, você será capaz de detectar falhas logo no início. Desse modo, é possível resolver prontamente qualquer problema sem causar alardes na organização. A capacidade produtiva não é prejudicada pela organização, pois o processo é programado. Além disso, caso haja um defeito em alguma área, a máquina precisará consumir uma quantidade adicional de energia para compensar essa falha. Isso implica dizer que a manutenção preventiva possibilita a otimização do consumo energético do equipamento. Quando uma máquina apresenta falhas e começa a operar de maneira problemática, ela tem uma tendência a sofrer maior desgaste. Dessa forma, todo o mecanismo interno é afetado negativamente. No caso de uma peça defeituosa, o componente conectado a ela pode ser sobrecarregado, levando a uma gradual deterioração do aparelho.

Através da realização da manutenção preventiva, é possível identificar de forma fácil os obstáculos em uma determinada parte do aparelho. Para solucionar essa questão prontamente, evitando assim qualquer impacto em outras partes da máquina. Isso resulta na extensão da durabilidade do equipamento, bem como na melhoria do seu desempenho operacional, o que se mostra tanto sustentável quanto lucrativo para a corporação.

Através da manutenção, é possível identificar a necessidade de substituição de peças.

Ao realizar a manutenção preventiva com antecedência e planejamento, você tem a oportunidade de pesquisar preços melhores no mercado e adquirir os itens em maior quantidade. Dessa forma, é possível negociar de maneira mais favorável.

Para garantir que a produção não seja afetada drasticamente, é necessário executar um planejamento eficiente para a realização da manutenção preventiva nas máquinas. Recomenda-se ponderar minuciosamente os procedimentos operacionais, a fim de evitar que qualquer interrupção no trabalho acarrete prejuízos ao ciclo produtivo como um todo.

A sua empresa também possui a opção de planejar os prazos, evitando assim que as manutenções causem atrasos nas entregas. Se a manutenção preventiva não for realizada, há uma maior probabilidade de ocorrer um acidente no local de trabalho, pois isso pode resultar em danos e mau funcionamento do maquinário. Isso expõe a equipe a riscos e causa uma série de danos à empresa. Existe a possibilidade de o aparelho estragar justamente durante um momento crucial da produção, causando a perda de toda a matéria-prima e dos recursos investidos até aquele ponto.

A manutenção preditiva está associada às práticas de manutenção com caráter preventivo e antecipado de todo o aparato físico utilizado nas operações. Na prática, a manutenção preditiva é uma metodologia de manutenção que tem um maior apelo para a prevenção de danos e previsibilidade de falhas.

Na indústria, a manutenção preditiva está ligada às práticas de manutenção que têm como objetivo prevenir e antecipar possíveis problemas no equipamento físico usado nas operações. Na prática, essa abordagem de manutenção tem um foco maior na prevenção de danos e na capacidade de prever falhas. A análise pode ser realizada periodicamente monitorando as vibrações, utilizando ultrassom, inspeção visual ou técnicas de análise que não causam danos. Em outras palavras, não é obrigatório estabelecer um calendário fixo para as inspeções.

A principal meta da manutenção preditiva é a previsão e identificação antecipada das causas dos problemas em máquinas e equipamentos. Em outras palavras, é importante tomar medidas preventivas ao identificar sintomas, antes mesmo de se tornarem problemas potenciais. Isso é possível graças ao modo como é aplicado, utilizando monitoramento constante.

A manutenção preditiva consiste em uma estratégia fundamentada na observação e monitoramento técnico do maquinário. Uma análise completa é realizada em relação ao equipamento, considerando suas condições, desempenho e os sinais que emite, sendo eles perceptíveis ou até mesmo imperceptíveis em alguns casos. Com essa finalidade, busca-se obter informações detalhadas sobre o estado da máquina. Para alcançar esse objetivo, são empregadas diversas técnicas que funcionam como uma lupa para que operadores e responsáveis possam identificar e classificar as ameaças, sintomas e possíveis problemas do equipamento.

Existem muitos exemplos claros de vantagens da prática da manutenção preditiva. Além de ser altamente alinhada aos padrões da indústria moderna, que exige agilidade, economia e eficiência, a prática em discussão também apresenta benefícios estratégicos adicionais, tais como:

A vida útil dos equipamentos é aumentada. Não é surpresa que um dos principais ganhos dessa estratégia seja sua habilidade em aumentar a vida útil dos equipamentos.

Otimiza a produtividade. Ao implementar a manutenção preditiva, sua empresa aumenta a produtividade das linhas de produção ao melhorar as condições de funcionamento do maquinário. Isso acontece pois o tempo de reparo das máquinas é reduzido. No



fim das contas, as intervenções têm uma abordagem mais simples, focalizando apenas a preservação do equipamento e não a reparação total ou substituição de peças. Essas características possibilitam uma melhor adequação do estoque da indústria de acordo com suas necessidades.

Previne falhas. A manutenção preditiva é especial devido ao potencial de analisar possíveis falhas desde o início. Com frequência, os sintomas são ligeiros, no entanto, eles podem indicar falhas significativas que ocorrerão posteriormente. Muitas vezes, as falhas passam despercebidas sem o uso de técnicas de inspeção específicas ou tecnologia para auxiliar no monitoramento e integração das informações.

Garante segurança dos profissionais. Ao implementar uma rotina de inspeções preditivas, a empresa busca aprimorar a segurança das operações no chão de fábrica. A adoção de uma postura preventiva e com foco na antecipação de erros possui o objetivo de diminuir os riscos de acidentes, garantindo a proteção e a segurança dos colaboradores.

Economia com consumo de energia. Certos defeitos imperceptíveis podem diminuir a eficiência de suas máquinas, resultando em cenários de consumo excessivo de energia. Por exemplo, uma máquina que está superaquecendo pode se encaixar nessa categoria. Isso também vale para um sistema de ar comprimido que apresenta vazamentos devido a fissuras na tubulação. Ao realizar uma análise detalhada das condições específicas de um sistema, máquina ou equipamento, é viável detectar falhas e procurar soluções para evitar desperdícios.

2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa a ser realizado neste trabalho, será uma revisão de literatura, por meio do método de sites, pesquisa bibliográfico. Será realizada pesquisas em artigos que abordem o tema, bem como trabalhos científicos como artigos publicados nos últimos anos. Serão também utilizadas base de dados como o Google acadêmico e as palavras chaves serão: gestão de manutenção; contribuições NR-12; tipos de manutenção.

3. CONCLUSÃO

Nesse artigo vimos a gestão de manutenção e o que a falta desse processo pode ocasionar, e como NR-12 auxilia na proteção para resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores para estabelecer requisitos mínimos para a prevenção de acidentes. Foi apresentado os tipos de manutenção e seus benefícios para a indústria.

Referências

MESQUITA, B; PEREIRA, C; FERNANDES, C. **Estudo da Manutenção Industrial com Base na Gestão de Processos**. 2021.

ALMEIDA, P. **MANUTENÇÃO MECÂNICA INDUSTRIAL**: Conceitos básicos e tecnologia aplicada. São Paulo: Érica Ltda, 2014.



3

A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL THE IMPORTANCE OF INDUSTRIAL MAINTENANCE MANAGEMENT

Daniel Freires da Silva

Resumo

O trabalho aqui empreendido consiste em uma pesquisa de cunho bibliográfico que tem como objetivo geral estudar a importância da gestão de manutenção para o bom funcionamento do maquinário industrial. Para isso, foram definidos objetivos específicos como estudar o histórico da gestão de manutenção, definir os tipos de manutenção e suas ferramentas para o setor industrial e abordar as vantagens e desvantagens da gestão de manutenção industrial para o setor. A metodologia empregada foi a leitura analítica e seletiva de publicações como livros, artigos e dissertações, com uso das bases de dados eletrônicas *SciELO* e *Google Scholar*. Os resultados foram apresentados em forma de revisão narrativa, destacando a importância da gestão de manutenção para a qualidade, segurança e competitividade da empresa. Inferiu-se, a partir dos resultados encontrados, que a gestão de manutenção é fundamental para garantir o bom funcionamento dos equipamentos e instalações no setor industrial, reduzindo custos e aumentando a produtividade.

Palavras-chave: Gestão, Manutenção Industrial, Importância.

Abstract

The work undertaken here consists of bibliographical research whose general objective is to study the importance of maintenance management for the proper functioning of industrial machinery. For this, specific objectives were defined such as studying the history of maintenance management, defining the types of maintenance and its tools for the industrial sector and addressing the advantages and disadvantages of industrial maintenance management for the sector. The methodology used was the analytical and selective reading of publications such as books, articles and dissertations, using the electronic databases *SciELO* and *Google Scholar*. The results were presented in the form of a narrative review, highlighting the importance of maintenance management for the company's quality, safety and competitiveness. It was inferred, from the results found, that maintenance management is essential to ensure the proper functioning of equipment and facilities in the industrial sector, reducing costs and increasing productivity.

Keywords: Management, Industrial Maintenance, Importance.

1. INTRODUÇÃO

A gestão de manutenção no setor industrial é um processo que visa garantir o bom funcionamento dos equipamentos, máquinas e instalações de uma empresa, reduzindo os custos, os riscos e as paradas produtivas. A manutenção pode ser classificada em diferentes tipos, como preventiva, preditiva, corretiva e proativa, dependendo dos objetivos e das estratégias adotadas.

Esse processo de gestão envolve o planejamento, a programação, a execução, o controle e a avaliação das atividades de manutenção, bem como a gestão de recursos humanos, materiais e financeiros. Dessa forma, a gestão de manutenção contribui para a melhoria da qualidade, da segurança, da produtividade e da competitividade das empresas industriais.

Diante disso, esta pesquisa é relevante para o meio acadêmico por discutir como a manutenção preventiva tem impactado positivamente nos processos produtivos das indústrias; é importante para a sociedade também, por disseminar entre as indústrias o conhecimento sobre as diretrizes e definições da Gestão de Manutenção. A correta manutenção dos equipamentos e instalações da indústria é fundamental para minimizar danos e maximizar a produção.

Dessa forma, o presente estudo está angariado no seguinte problema: Como a gestão de manutenção pode contribuir para evitar possíveis danos à indústria? Uma forma de garantir o bom funcionamento das máquinas e a produtividade das indústrias é realizar manutenções periódicas e adequadas. É importante dizer que há diferentes tipos de manutenção, como a preventiva e a corretiva, que visam evitar falhas, prolongar a vida útil dos equipamentos e otimizar os recursos.

Nessa perspectiva, a investigação aqui empreendida é bibliográfica e tem como objetivo geral, estudar a importância da gestão de manutenção para o bom funcionamento do maquinário industrial. Além disso, possui os objetivos de estudar o histórico da gestão de manutenção, definir os tipos de manutenção e suas ferramentas para o setor industrial e abordar as vantagens e desvantagens da gestão de manutenção industrial para o setor.

2. METODOLOGIA

O tipo de pesquisa adotada para a realização desta investigação é de cunho bibliográfico. No processo de coleta de dados, encontra-se o uso de publicações como livros, artigos e dissertações; priorizando uma leitura analítica e seletiva dos fatos, seguida de anotações e observações para melhor aproveitamento do estudo investigativo.

Para selecionar os estudos incluídos nesta revisão, utilizou-se as seguintes bases de dados eletrônicas: Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Scholar. Foram utilizadas as palavras-chave “Gestão”, “manutenção industrial”, “importância”. Selecionou-se pesquisas publicadas entre 2018 e 2023, em português, inglês ou espanhol, que demonstram a importância da gestão de manutenção para o setor industrial. Os artigos encontrados tiveram como critério de seleção ser de fontes confiáveis, que atenderam e se relacionaram com o tema e os objetivos propostos deste trabalho.

A síntese dos resultados foi apresentada em forma de revisão narrativa. Portanto, trata-se da discussão do tema sob ponto de vista teórico ou contextual, por meio da análise

da literatura publicada em livros, artigos de revistas eletrônicas na interpretação e análise crítica do autor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

É importante dizer, antes de tudo, que a gestão de manutenção consiste em uma ação que propicia o funcionamento eficaz do maquinário das indústrias acarretando diminuição de gastos, bem como aumentando a qualidade do que é produzido; além disso também beneficia a ação dos profissionais da área.

De acordo com Rezende (2021), a gestão de manutenção industrial é um processo que visa garantir o bom funcionamento dos equipamentos e máquinas, evitando paradas inesperadas e perdas de produção. Através de uma gestão eficaz, é possível reduzir custos, melhorar a qualidade dos produtos e serviços, e aumentar a segurança dos trabalhadores.

Desde o princípio da civilização, já eram realizadas formas simples de manutenção, como a conservação de ferramentas de trabalho e pequenas atividades de reparo. No entanto, no século XVIII, com a primeira Revolução Industrial, a necessidade de conservação e reparo de ferramentas tornou-se muito maior. Com o avanço tecnológico crescente nesse período, em que surgiam novas indústrias a todo momento, a função da manutenção emergiu para garantir a continuidade da produção. Nesse contexto, o próprio operador era encarregado de realizar os reparos nas máquinas (Sanitá; Campos, 2020).

Assim sendo, importa mencionar o contexto histórico da gestão de manutenção nas indústrias e sua evolução, que pode ser dividido em três fases principais, a fase da manutenção corretiva, a fase da manutenção preventiva e a fase da manutenção preditiva, que serão detalhadas a seguir.

A primeira fase se estendeu até o século XIX, fase da manutenção corretiva. Esse período foi caracterizado pela realização de reparos apenas após a ocorrência de falha nos equipamentos. Como não se trabalhava com a manutenção no sentido prévio, mas apenas quando surgia algum problema, tal ação resultava em perda de produtividade e de eficiência, visto que muitas vezes os equipamentos ficavam parados por longos períodos (Dantas, 2019).

A segunda fase por sua vez, fase da manutenção preventiva, foi iniciada no século XX, com o desenvolvimento de técnicas que visam evitar falhas antes que elas ocorram. Essas técnicas são baseadas na inspeção, na lubrificação e na substituição de componentes com desgaste programado (Sanitá; Campos, 2020).

O objetivo da manutenção preventiva é reduzir as falhas inesperadas, que podem causar paradas na produção e perda de produtividade. A manutenção preventiva também pode ajudar a aumentar a vida útil dos equipamentos e reduzir os custos de manutenção.

Já a terceira fase, a da manutenção preditiva, foi iniciada na segunda metade do século XX, com o desenvolvimento de técnicas que visam identificar falhas potenciais antes que elas ocorram. Essas técnicas são baseadas na análise de dados para identificar padrões de desgaste ou outros indicadores de problemas (Dantas, 2019).

O objetivo da manutenção preditiva é evitar que as falhas ocorram, ou seja, é uma abordagem proativa para a manutenção. A manutenção preditiva pode ajudar a reduzir as falhas inesperadas, que podem causar paradas na produção e perda de produtividade também pode ajudar a aumentar a vida útil dos equipamentos e reduzir os custos de manutenção (Sanitá; Campos, 2020).

Ressalta-se que a partir da década de 1980, as organizações passaram a ter maior acesso a microcomputadores, o que representou um grande avanço para a manutenção industrial. Com isso, as equipes de manutenção passaram a ter maior autonomia para criar seus próprios programas de controle e análise de dados produtivos e de manutenção. Essa autonomia possibilitou otimizar a produtividade e a qualidade, pois as equipes passaram a ter mais informações e ferramentas para tomar decisões mais assertivas (Dantas, 2019).

De acordo com Dantas (2019), os avanços na manutenção resultaram em uma grande dependência do setor em criar respostas para as exigências de um mercado cada vez mais competitivo. Isso levou à obsolescência dos sistemas de gestão, que precisam ser constantemente aprimorados.

Diante disso, a necessidade de inovação passa a demandar a criação de equipes multidisciplinares para interagir nas fases de projeto, fabricação e manutenção de equipamentos e máquinas. Isso gera resultados ainda melhores em termos de produtividade e eficiência de custos (Dantas, 2019).

Como resultado, a manutenção passa a ter um desempenho cada vez maior, diminuindo falhas e atendendo às exigências do consumidor, que busca produtos de melhor qualidade. Diante de tantas exigências, a manutenção assume uma função estratégica nas organizações (Sanitá; Campos, 2020).

Ditas as fases da manutenção industrial, é válido mencionar que dentre os tipos de manutenção estão a corretiva, preventiva, preditiva e proativa. Para definir o tipo de manutenção, deve-se considerar as formas das intervenções e como é o processo de execução nos equipamentos de produção (Sanitá; Campos, 2020).

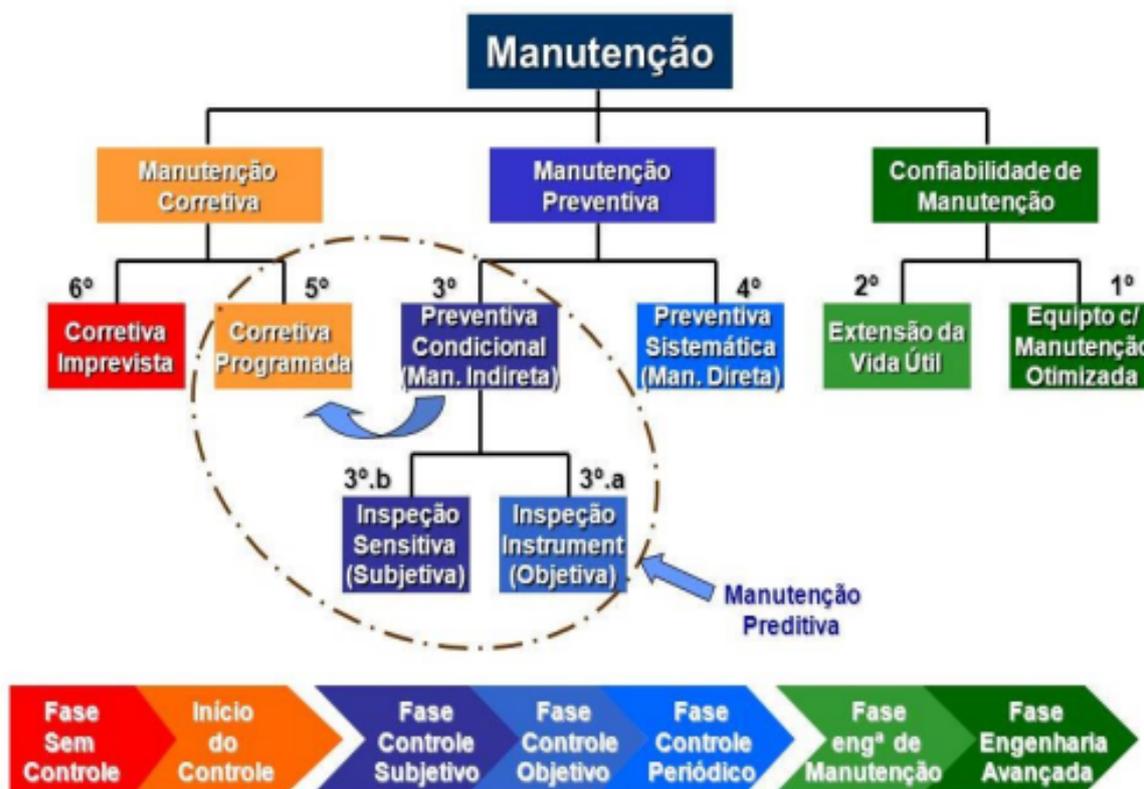


Figura 1. Tipos de manutenção

Fonte: Dantas (2019, p. 14)

A análise dos tipos de manutenção revela que cada um apresenta características pró-

prias, vantagens e desvantagens. Assim, é imprescindível que cada caso seja analisado para se determinar qual é o tipo de manutenção mais adequado. Isso porque cada tipo de manutenção tem custos e resultados distintos (Sanitá; Campos, 2020).

A Figura 1, acima, mostra a importância e a transição de uma fase de manutenção para outra. À medida que é implantado um tipo de manutenção com maior recurso tecnológico, o nível de controle e confiabilidade aumenta.

Dessa maneira, entende-se por manutenção corretiva aquela que é realizada após a ocorrência de uma falha, com o objetivo de restaurar a capacidade de um equipamento de cumprir sua função. Torna-se necessária para evitar graves consequências, como danos aos maquinários, acidentes de trabalho ou impactos ambientais (Sanitá; Campos, 2020).

Sanitá e Campos (2020) apontam que a manutenção corretiva pode ser planejada ou não. Definem então a manutenção planejada como aquela que corrige falhas de forma planejada, especialmente quando as máquinas começam a apresentar baixo desempenho. Enquanto a manutenção corretiva não planejada, por outro lado, ocorre apenas após a confirmação de uma quebra ou falha, que não são esperadas.

Por outro lado, a manutenção preventiva é a manutenção realizada em intervalos de tempo definidos ou conforme critérios prescritos, com o objetivo de reduzir a probabilidade de falhas ou degradações. Esse tipo de manutenção pode ser definido como a prática de tarefas que visam prolongar a vida útil dos equipamentos e máquinas, evitando quebras e observando o equipamento com diversos métodos e análises (Dantas, 2019).

Segundo Dantas (2019), a manutenção preventiva é utilizada para substituir peças ou componentes de máquinas ou equipamentos antes que eles falhem ou mediante uma recomendação do fabricante. Ela apresenta algumas vantagens, como a continuidade do funcionamento do equipamento, que só é interrompido para consertos em horários programados. Outra grande vantagem é a continuidade da produção, pois os equipamentos têm muita confiabilidade, o que permite que a empresa atinja suas metas de prazo de entrega e qualidade.

Um dos segredos de uma boa manutenção preventiva é determinar os intervalos de tempo de forma precisa. No entanto, na dúvida, a tendência é aplicar o conservadorismo definindo intervalos menores do que o necessário. Isso pode levar a paradas e troca de peças desnecessárias (Rezende, 2021).

Por sua vez, a manutenção preditiva é um tipo de manutenção que usa dados para prever falhas nos equipamentos. Ela é realizada monitorando o desempenho dos equipamentos e identificando sinais de desgaste ou problemas potenciais (Dantas, 2019).

A manutenção preditiva mostra-se como uma alternativa à manutenção corretiva, que é realizada apenas quando o equipamento já está com defeito. A manutenção preditiva permite que os equipamentos operem por mais tempo e com maior confiabilidade (Dantas, 2019).

É importante mencionar ainda, a manutenção proativa que é uma estratégia que visa prevenir falhas e defeitos nos equipamentos e sistemas industriais, antes que eles ocorram ou se agravem. Essa abordagem traz diversos benefícios, como redução de custos, aumento da produtividade, melhoria da qualidade, segurança e sustentabilidade (Espindula, 2021).

Para implementar a manutenção industrial proativa, é preciso realizar inspeções periódicas, monitorar as condições operacionais, aplicar técnicas de análise preditiva, utilizar ferramentas e tecnologias adequadas, capacitar os profissionais envolvidos e estabelecer indicadores de desempenho. A manutenção industrial proativa é um diferencial compe-

titivo para as empresas que buscam otimizar seus processos e garantir a satisfação dos clientes (Espindula, 2021).

Tendo em vista o que já foi exposto em relação à manutenção no setor industrial, é possível inferir que os processos industriais têm como objetivo garantir a qualidade do produto e a demanda necessária, com controle financeiro para investir o mínimo possível. Isso permite que as empresas mantenham o funcionamento desejado de suas instalações, máquinas, equipamentos e pessoal (Espindula, 2021).

Para isso, é necessário um movimento inteligente para garantir que a empresa continue seguindo os modelos de negócios mais eficazes e lucrativos. Desse modo, a manutenção é o processo de manter equipamentos e instalações em bom estado de funcionamento. Ela inclui uma variedade de atividades, como reparos em máquinas, inspeções, manutenção preventiva, troca de peças e componentes, troca de óleo, troca de tintas, troca de peças defeituosas, compra ou fabricação de peças de reposição, entre outros (Espindula, 2021).

Assim sendo, a gestão de manutenção torna-se imprescindível no setor industrial, visto que é uma atividade estratégica que busca otimizar os recursos disponíveis e maximizar os benefícios obtidos com a operação dos equipamentos. Para isso, é fundamental que as decisões de manutenção sejam baseadas em critérios técnicos e econômicos, levando em conta o custo-benefício de cada ação (Espindula, 2021).

As compras relacionadas à manutenção, como reparos, produção de peças de reposição, paradas de produção para inspeções e outros itens, devem ser planejadas e executadas com eficiência e qualidade, visando reduzir os custos e aumentar a lucratividade da empresa. Nesse sentido, a gestão de manutenção pode encontrar o ponto de equilíbrio entre benefício e custo para que tudo contribua de forma positiva e lucrativa (Espindula, 2021).

Calache *et al.* (2019) apresentam um modelo abrangente e integrado de gestão da manutenção, que aborda os diversos aspectos envolvidos na manutenção de sistemas complexos. O modelo inclui funções de manutenção como sistemas técnicos, recursos internos e externos, planejamento e controle de manutenção, controle de áreas de armazenamento para reduzir a indisponibilidade de peças, avaliação e feedback, entre outros.

Dantas (2019) conclui que a gestão da manutenção é um ponto de equilíbrio entre o conjunto de ações destinadas a identificar e situar o nível de manutenção desejado e necessário. Esse modelo é útil e relevante para a melhoria da eficiência e da qualidade da manutenção, pois considera as diferentes dimensões e fatores que influenciam o desempenho dos sistemas técnicos (Calache *et al.*, 2019).

Uma forma de aprimorar um sistema de gerenciamento de manutenção é considerar os requisitos, serviços e processos do cliente como base para o planejamento e a execução das atividades. Isso implica em assumir responsabilidades de gerenciamento de recursos, planejamento de manutenção, execução de manutenção e análise de medição e melhoria (Freitas, 2020).

Dessa forma, a gestão de manutenção deve ser orientada para o cliente, pois é ele quem define as necessidades e expectativas dos serviços de manutenção. Ao considerar os requisitos do cliente, a empresa pode garantir que as atividades de manutenção sejam realizadas de forma a atender às suas necessidades e expectativas, o que resultará em maior satisfação do cliente (Calache *et al.*, 2019).

Além disso, é importante avaliar o desempenho do processo, o desempenho do cliente e a satisfação do cliente para a melhoria contínua. A avaliação do desempenho permite



identificar oportunidades de melhoria e implementar ações para corrigir as falhas e melhorar os resultados.

Ressalta-se que uma das vantagens da gestão de manutenção está relacionada ao aumento da disponibilidade dos equipamentos, em que uma gestão de manutenção bem planejada e executada é capaz de reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos, aumentando sua disponibilidade para a produção (Freitas, 2020).

Além disso, pode-se mencionar também a redução de custos nas manutenções, a melhoria da qualidade dos produtos e serviços, bem como o aumento da segurança das pessoas e do meio ambiente. Portanto, tais benefícios são significativos tanto para o setor industrial quanto para sociedade em geral (Dantas, 2019).

Por outro lado, para a implantação de uma boa gestão de manutenção pode haver alguns desafios, como a exigência de custos iniciais para a aquisição de softwares e equipamentos; recursos humanos qualificados e ainda pode ser uma atividade complexa, o que requer um planejamento e execução cuidadoso (Calache *et al.*, 2019).

Assim sendo, de acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, compreende-se que gestão de manutenção é uma atividade essencial para o bom funcionamento e a competitividade do setor industrial. A manutenção visa garantir a disponibilidade, a confiabilidade e a segurança dos equipamentos, máquinas e instalações industriais, bem como reduzir os custos operacionais e os riscos de falhas, acidentes e paradas não programadas.

Contudo para que haja eficácia no setor supracitado é necessário haver planejamento, organização, controle e avaliação das atividades de manutenção, bem como a coordenação dos recursos humanos, materiais e financeiros necessários para sua execução.

Conforme as discussões, foi possível perceber a importância da gestão de manutenção no setor industrial, evidenciada por meio de diversos benefícios, tais como: aumento da produtividade e da qualidade dos produtos; redução do consumo de energia e de matérias-primas; otimização do uso dos ativos e do espaço físico; melhoria da satisfação dos clientes e dos funcionários; cumprimento das normas técnicas, ambientais e de segurança; e aumento da lucratividade e da competitividade da empresa.

Além disso, a gestão de manutenção contribui para a sustentabilidade do setor industrial, pois promove a preservação dos recursos naturais, a minimização dos impactos ambientais e a geração de valor social. Portanto, a gestão de manutenção é um fator estratégico para o sucesso e a sobrevivência das organizações industriais no cenário atual.

4. CONCLUSÃO

A gestão de manutenção é um tema relevante para a indústria, uma vez que pode contribuir significativamente para a qualidade, segurança e competitividade do negócio. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo geral estudar a importância da gestão de manutenção para o bom funcionamento do maquinário industrial. Portanto, por meio da pesquisa bibliográfica, foi possível definir os tipos de manutenção e suas ferramentas para o setor industrial, bem como abordar as vantagens e desvantagens da gestão de manutenção industrial para o setor.

Os resultados indicam que a gestão de manutenção é imprescindível no que refere à garantia do bom funcionamento dos equipamentos e instalações industriais, reduzindo custos e aumentando a produtividade. A revisão narrativa realizada nesta investigação permitiu responder o questionamento inicial da pesquisa, demonstrando que uma boa

gestão de manutenção é capaz de prever possíveis danos e evitá-los.

Recomenda-se que futuros estudos possam abordar a gestão de manutenção em outros setores além do industrial, bem como aprofundar a análise dos tipos de manutenção e suas ferramentas. Em suma, a gestão de manutenção é uma questão pertinente e que merece atenção por parte das empresas, uma vez que pode contribuir significativamente para a qualidade, segurança e competitividade do negócio.

Referências

CALACHE, L. D. D. R. et al. Proposta de um modelo de avaliação e de seleção de fornecedores de manutenção industrial utilizando Fuzzy-TOPSIS. **Gestão & Produção**, v. 26, n. 2, p. e3565, 2019.

DANTAS, I.S.S. **Importância e benefícios do planejamento de gestão de manutenção**. 2019. 31 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2019.

ESPINDULA, L.G. **Manutenção preditiva e a indústria 4.0: um estudo de caso da implementação de um sistema de monitoramento on-line de ativos**.TCC (Graduação) - Curso Engenharia mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2021.

FREITAS, C.A. et al. A evolução da segurança no trabalho aplicada na manutenção industrial 4.0. **Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec**, Osasco,v.6,n2,p.,2020.

REZENDE,J.M.O.; et al. Rumo à indústria 4.0: aprendizado de máquina para apoio no planejamento e controle de manutenção equipamentos industriais. **Brazilian Journal of Development**, v7, n5,p.,2021.

SANITÁ, W. M.; CAMPOS, R. R. de. PCM: planejamento e controle de manutenção. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 673–685, 2020.





4

PROCESSOS DE FABRICAÇÃO, GARANTIAS DE QUALIDADE E
USINAGEM EM TORNO CNC
MANUFACTURING PROCESSES, QUALITY ASSURANCE AND
CNC LATHE MACHINING

Rafael Mendes Cardoso

Resumo

O Comando Numérico Computadorizado (CNC) é controlado por um computador. O nome vem das instruções que são organizadas numericamente. Usinagem CNC é quando uma peça é produzida por uma máquina conectada ao computador. O operador CNC prepara e opera a máquina para tarefas como furação, retificação e fresagem. A Empresa atua na área de Manufatura. Ela desenvolve, controla e gerencia diversos processos, como o forjamento, laminação, extrusão, trefilação, estampagem, usinagem, conformação, soldagem e montagem. Além disso, ela também trabalha com o desenvolvimento e melhoria de produtos. O objetivo geral para o desenvolvimento desse trabalho é compreender o verdadeiro significado do torneamento CNC no setor industrial e seu impacto na produtividade das empresas. A metodologia utilizada no trabalho se baseia em uma revisão de literatura. Conclui-se que, o processo é muito importante pois, trabalhando sob Controle Numérico Computadorizado (CNC), onde suporta processos industriais realizando múltiplas operações sem ter que trocar peças ou ferramentas durante a operação.

Palavras-chave: Processo. CNC. Usinagem. Processos. Qualidade.

Abstract

Computer Numerical Control (CNC) is controlled by a computer. The name comes from the instructions that are organized numerically. CNC machining is when a part is produced by a machine connected to the computer. The CNC operator prepares and operates the machine for tasks such as drilling, grinding and milling. The Company operates in the Manufacturing area. It develops, controls and manages several processes, such as forging, rolling, extrusion, drawing, stamping, machining, forming, welding and assembly. In addition, it also works with product development and improvement. The general objective for the development of this work is to understand the true meaning of CNC turning in the industrial sector and its impact on the productivity of companies. The methodology used in the work is based on a literature review. It is concluded that the process is very important because, working under Computer Numerical Control (CNC), it supports industrial processes by performing multiple operations without having to change parts or tools during the operation.

Keywords: Process. CNC. Machining. Processes. Quality.



1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste artigo é demonstrar o processo de fabricação em torno CNC, e tentar entender como o processo de fabricação afeta o fluxo produtivo, a garantia e a melhoria da produtividade da empresa. Além disso, o objetivo é comprovar da forma mais objetiva possível o sistema de fixação, ferramenta a ser utilizada além do quebra-cavacos, parâmetros de corte e saber o que existe e o que é para cada tipo de material. Estratégia de processo de usinagem utilizada para garantir a máxima conformidade com a ação necessária.

Assim fica claro que esta pesquisa é relevante por se tratar de um assunto bastante amplo quando se trata de indústrias e através de técnicas de usinagem, parâmetros de corte e investimentos em ferramentas um ganho de produtividade e, portanto, uma melhoria na qualidade do produto pode ser demonstrada. Novos investimentos e expansão dos negócios por meio de maiores lucros. Esta pesquisa é relevante porque é um assunto muito amplo quando se trata de indústrias e através de técnicas de usinagem, parâmetros de corte e investimento em ferramentas adequadas, é possível demonstrar um ganho de produtividade e assim também uma melhoria na qualidade do produto. Novos investimentos e expansão dos negócios por meio de maiores lucros. Nesse sentido, considerando que o processo produtivo relacionado ao planejamento tem grande influência no desempenho de uma empresa e tem efeito satisfatório, surgem os seguintes problemas. Qual a importância da usinagem em tornos CNC para o setor industrial em relação à alta demanda dos serviços solicitados e o curto prazo de tempo para entrega do produto?

O objetivo geral de escrever este artigo é compreender o verdadeiro significado do torneamento CNC no setor industrial e seu impacto na produtividade das empresas. Isso exigiu a identificação de objetivos específicos, como: Ou seja, ver como os parâmetros de corte de cada modelo de material podem afetar as diferenças de processamento e requisitos de cada produto, além disso, entender o melhor plano de trabalho para reduzir o tempo de usinagem, por fim, ressaltar os as vantagens dos métodos de usinagem.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa utilizada nesse trabalho foi uma revisão de literatura, onde foram pesquisados livros, dissertações e artigos científicos selecionados através de busca nas seguintes bases de dados (livros, etc.), baseado nas publicações dos autores - Bonacini (2020), Luz (2020) e Silva (2019) entre outras. O período dos artigos pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos 5 (cinco) anos. As palavras-chave utilizadas na busca foram fabricação, usinagem e CNC.

2.2 Resultados e Discussão

Dada a grande variedade de produtos e peças que são fabricadas com usinagem convencional, existem certas situações em que o equipamento precisa realizar processos de alta precisão para garantir a qualidade e o funcionamento ideal da peça. Nesses casos, o processo ideal é a usinagem em torno CNC, processo que fornece peças de qualidade e é realizado de forma prática e ágil (Silva, 2019).

Além disso, é Silva (2019). também vale a pena notar que, para muitos produtos e peças fabricados utilizando usinagem tradicional, há certas circunstâncias em que o equipamento deve executar processos de alta precisão para garantir a qualidade da peça e o desempenho ideal. Nestes casos, o torneamento CNC é um processo ideal que produz peças de alta qualidade e é realizado de forma prática e flexível, como mostra a figura 1.

Figura 1. Usinagem em torno CNC



Fonte: Benevenuto (2019, p. 32).

Isto é possível graças a um sistema que permite o controle simultâneo de diferentes eixos. Cada eixo segue um código específico que determina o que a máquina faz para atingir a precisão ideal. Os materiais usados para peças usinadas CNC e peças torneadas podem diferir devido a diferentes modelos e especificações. A tecnologia de torneamento CNC pode fornecer aos clientes resultados perfeitos para os projetos pretendidos (Benevenuto, 2019).

Segundo Poveda (2018), ao contrário dos processos manuais, o torneamento CNC ajuda os fabricantes de componentes a realizar o seu trabalho, fornecendo manutenção prática e eficiente para máquinas de alta precisão. Além disso, na usinagem de produtos complexos, o torneamento CNC é necessário para reduzir a necessidade de intervenção, realizando a usinagem em máquinas equipadas com sistemas de controle numérico computadorizado. Uma pessoa que garante o rigor e a qualidade das peças fabricadas torna industrial é um dos equipamentos utilizados durante a fabricação e acabamento de peças como eixos, cones, pinos, esferas, etc. O principal objetivo do torno é desenvolver um movimento de torneamento preciso e eficiente com ferramenta de corte (OLIVEIRA, 2019).

Figura 2. Torno Mecânico

Fonte: Benevenuto (2019, p. 41).

Além disso, a agilidade na preparação dos equipamentos facilita o processo, aumenta a produção e reduz o tempo de parada. Além da produtividade superior em relação ao torno. O torno CNC também é mais flexível e conveniente para o operador em relação ao torno (BONACINI, 2020).

Segundo Luz (2020), de acordo com os parâmetros de corte otimizados e ao desempenho característico, os tornos CNC são facilmente adaptáveis a uma variedade de projetos exigidos pela indústria. Torna-se um equipamento importante no complexo industrial de qualquer empresa.

O desempenho é evidente devido à excelência eletrônica e mecânica do torno CNC. Tornos CNC têm altas velocidades de fuso e deslocamento rápido. Além de usar ferramentas de corte de alto desempenho (SILVA, 2018).

Desta forma, pela experiência de um profissional deste segmento, a ocorrência de quebra é possível quando se utiliza um torno convencional. À medida que o torneamento CNC se torna automatizado, a eficiência e a produtividade aumentarão significativamente e a necessidade de retrabalho e manutenção das peças diminuirá drasticamente (SILVA, 2018).

Observa-se também que os métodos de usinagem, métodos e processos de produção se destacam nas empresas de máquinas metálicas por uma série de razões e, portanto, desempenham um papel decisivo na sua capacidade de produção. Vários tipos de usinagem são usados na indústria. Tudo isso envolve a remoção de material de uma peça de trabalho. Esses métodos podem ser divididos em três grupos principais: corte com ferramentas de perfuração, ferramentas de fresagem ou ferramentas de torneamento. Processo de moagem; A retificação é mais conhecida junto com o corte, separação e polimento. É um processo especial que utiliza vários produtos químicos ou eletricidade para remover substâncias. (BENEVENUTO, 2019).

Processos de usinagem que envolvem a remoção de cavacos, como B. corte, fresamento, retificação e outros tipos de processos mecânicos são desejáveis ou mesmo necessário pelas seguintes razões principais: (a) tolerâncias dimensionais, rugosidade da super-

fície usinada, propriedades de acabamento superficial obtidas nos processos de fundição, conformação e metalurgia do pó; (b) As geometrias das peças podem ser muito complexas ou muito caras para serem feitas por outros processos. A produtividade de peças complexas requer processos mais elaborados para evitar desperdícios e atender a demanda e o desempenho das peças. (BENEVENUTO, 2019).

Além disso, Bonacini (2020) os processos de usinagem tradicionais consistem em torneamento, furação, alargamento, rosqueamento, fresamento, conformação, aplainamento e brochamento, além de processos abrasivos como retificação, sonicação e lapidação. e afiação. Métodos avançados incluem remoção elétrica e química, bem como o uso de jateamento abrasivo, jatos de água, lasers e feixes de elétrons. Assim, Bonacini (2020), isto significa que entre os processos de fabricação existentes, os processos de usinagem que utilizam materiais mais duros do que peças como ferramentas são os mais comuns. O surgimento de novos materiais com excelentes propriedades de resistência mecânica e elevada dureza baseados no princípio da dureza relativa contribui para o desenvolvimento e surgimento de materiais mais resistentes às operações de usinagem. Por outro lado, operações de corte intermitente, como usinagem e/ou fresamento de materiais frágeis, requerem ferramentas feitas de materiais com resistência suficiente para suportar os choques e impactos inerentes ao próprio processo. Como dureza e tenacidade são duas propriedades que muitas vezes se contradizem - alta dureza geralmente significa baixa tenacidade e vice-versa, combinar as propriedades dos materiais de corte tornou-se um desafio para os fabricantes. Segundo Bonacini (2020), a ferramenta de corte ideal deve ter as seguintes características:

Ser quimicamente inerte com o material a ser usinado e resistir em altas temperaturas ao desgaste por oxidação e difusão (craterização);

- Ter alta dureza, resistência ao desgaste de flanco e deformações plásticas;
- Ter alta tenacidade para resistir a choques e quebras;
- Ter boa resistência a choques térmicos, (BONACINI, 2020).

A característica da ferramenta escolhida influenciará diretamente na vida útil, na escolha da máquina, tempo de fabricação, custo do operador, entre outros fatores (BONACINI, 2020).

Os materiais para ferramentas, mais utilizadas nas operações de usinagem não apresentam uma classificação geral (GALVÃO, 2019). Entretanto, com base nas características químicas, elas podem ser agrupadas da seguinte maneira: Aços rápidos, metal duro, nitreto de boro cúbico e diamante.

Ademais, segundo Galvão (2019), Apesar de muita pesquisa e desenvolvimento tecnológico, o controle do processo ainda é limitado, tanto em termos de seleção de parâmetros com base no conhecimento quanto em nível automatizado. Isso se aplica principalmente ao definir extremos em termos de velocidade, materiais ou geometria do produto. Tal limitação ou risco geralmente leva a uma escolha conservadora (segura) de parâmetros ou desenvolvimentos para evitar falhas de máquinas, ferramentas ou produtos. Por outro lado, entender como melhorar e desenvolver processos de monitoramento avançados e confiáveis pode melhorar a produtividade, mas também acelerar o desenvolvimento do produto.

Definir uma estratégia de usinagem para uma determinada condição e também caracterizar os resultados da superfície são de enorme importância para estabelecer a fabricação processo da peça. As análises e a escolha adequada da estratégia exercem influência qualitativa e financeira nos resultados encontrados (GALVÃO, 2019).



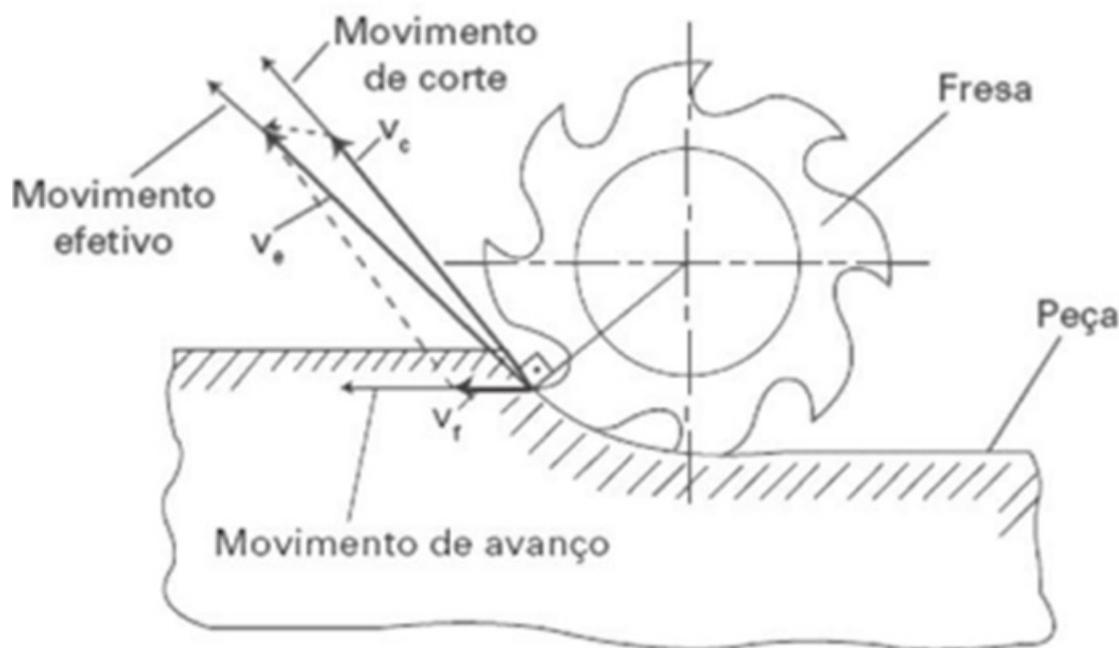
Muitas variáveis do processo precisam ser avaliadas, desde componentes simples até peças mais complexas, para alcançar resultados mais produtivos. Muitas das variáveis do processo de usinagem, como profundidade de corte radial e axial, taxa de avanço, velocidade de corte e diâmetro da ferramenta, podem ser manipuladas para encontrar condições de usinagem adequadas (GALVÃO, 2019).

A qualidade superficial de superfícies complexas requer pesquisas para melhorar os parâmetros de corte. O acabamento superficial proporcionado pelas peças fresadas não é satisfatório para o uso funcional de moldes e matrizes. Portanto, operações adicionais, como polimento, são frequentemente necessárias após a usinagem. Essas ações manuais podem afetar a precisão dimensional de uma peça, aumentando o custo e o tempo final de produção. Portanto, é necessário estudar os melhores parâmetros de processo para garantir a qualidade superficial das peças, a fim de evitar ou reduzir processos posteriores de pós-processamento (GALVÃO, 2019).

Os processos manuais de pós-usinagem após a usinagem têm um impacto significativo no segmento de matrizes e matrizes, variando de 12% a 15% no custo e de 30% a 50% no tempo total do processo da peça acabada. Estima-se, assim, que avanços nos estudos de qualidade de superfície, como rugosidade e textura, podem levar a aumentos significativos de produtividade, qualidade e custos (GALVÃO, 2019).

A usinagem é um processo mecânico de fabricação que ocorre por meio de movimentos relativos entre ferramentas e componente, onde este último é submetido a um processo de remoção de material. Para fins de pesquisa, o processo de usinagem sempre ocorre com a suposição de que a peça está parada e a ferramenta é movida (LUZ, 2020).

Figura 3. Direção dos movimentos de corte, de avanço e efetivo no fresamento



Fonte: Luz (2020, p. 456).

Os processos de usinagem podem ser divididos em duas grandes categorias: tradicionais e não tradicionais. No primeiro caso, as operações de corte utilizam energia mecânica para remover material, principalmente por forças de cisalhamento, enquanto a ferramenta está em contato físico com a peça. Em segundo lugar, a operação utiliza diferentes tipos de energia de processamento (por exemplo, termoelétrica), não forma marcas padronizadas

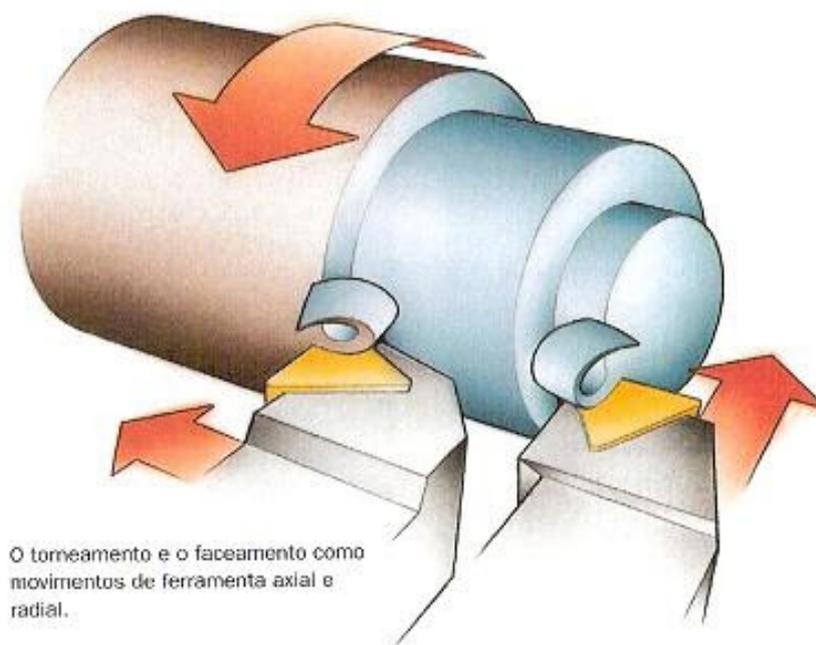
na superfície da peça e a taxa de remoção de material volumétrico é muito menor do que quando se utilizam métodos convencionais, como laser (radiação), descarga (eletrônico) e plasma (gás quente) (LUZ, 2020).

Os processos convencionais de usinagem podem ainda ser subdividido em duas classes: usinagem com ferramentas de corte com geometria definida – exemplo: torneamento, fresamento, furação; e usinagem com ferramentas de corte com geometria não-definida – exemplo: retificação, brunimento, lapidação (LUZ, 2020).

Vale ressaltar também que o processamento de materiais dentro dos diversos processos de fabricação conhecidos é um dos mais difundidos na indústria mecânica. Devido às características de processo intimamente ligadas ao homem e à máquina, são muito suscetíveis a perdas por erro humano. A busca pelo aumento de produtividade ou qualidade em qualquer sistema ou processo com essas características tem levado ao aumento da automação (LUZ, 2020).

O torneamento é uma combinação de duas ações: rotação da peça e movimento de avanço da ferramenta. Em alguns casos, a peça de trabalho fica estacionária e a ferramenta de corte pode girar em torno dela, mas o princípio é basicamente o mesmo. A ferramenta pode avançar ao longo da peça, reduzindo o diâmetro da peça. Alternativamente, a ferramenta pode ser avançada em direção ao centro da extremidade da peça para usinar a peça. Frequentemente, a combinação dessas duas direções resulta em uma superfície cônica ou curva que os modernos sistemas de controle de torno CNC podem manipular por meio de uma variedade de opções de programação (LUZ, 2020).

Figura 4. Torneamento



Fonte: (Luz, 2020, p. 23).

O torneamento pode ser dividido em vários cortes básicos para selecionar tipos de ferramentas e dados de corte e também para programar operações específicas. Basicamente, o torneamento cria formas cilíndricas com uma operação de ferramenta de corte de aresta única e, na maioria dos casos, a ferramenta é estacionária e a peça gira. De muitas maneiras, é o método de corte de metal, onde a ferramenta avança em uma direção linear, criando formas não muito complexas. Por outro lado, o torneamento, como o processo mais comum e fácil de desenvolver, é um processo altamente otimizado que requer

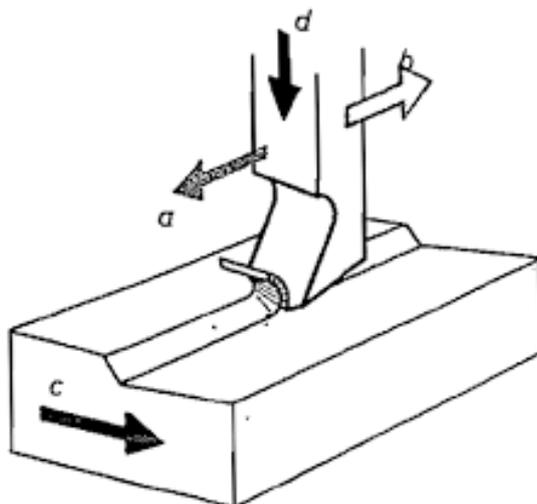
consideração cuidadosa dos vários fatores de aplicação (LUZ, 2020).

A fresagem também é um processo muito importante. Em particular, este é um processo de usinagem para a fabricação de engrenagens, estrias, árvores de cames, etc. usando uma fresadora sem-fim, um tipo especial de fresadora. Um dente, ranhura ou filete corta progressivamente uma peça de trabalho por meio de uma série de cortes feitos com uma ferramenta de corte chamada trado. É relativamente mais barato em comparação com outros processos de formação de engrenagens, mas ainda assim preciso porque pode ser usado para muitos outros tipos de peças. Este é o método de corte de engrenagens mais comum para a produção de engrenagens retas e engrenagens retas helicoidais (LUZ, 2020).

Assim, Oliveira (2019) apresenta outro modelo, o aplainamento, operação de usinagem que utiliza uma plaina, equipamento que corta o material com uma ferramenta de corte recíproca montada em um torpedo. Sua principal função é remover irregularidades da superfície plana. Com a plaina de lima, a ferramenta faz o curso de corte e a peça de trabalho tem apenas avanços transversais baixos. Essa mudança é chamada de pitch.

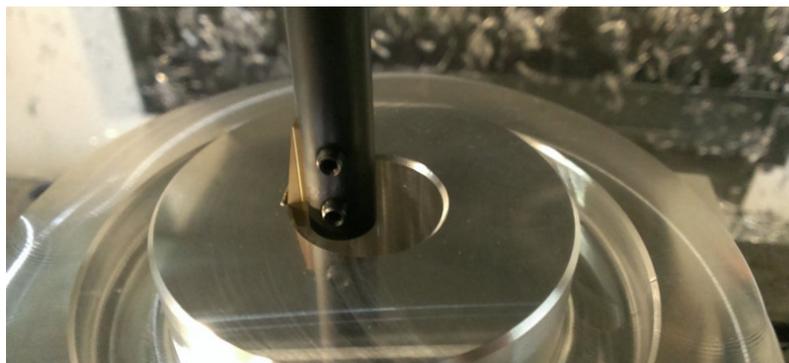
O curso máximo do plano da lima é geralmente em torno de 900 mm. Por esta razão, regras de ajuste podem ser utilizadas para que apenas peças médias ou pequenas possam ser processadas. Em termos de usinagem, o plano da lima pode fazer ranhuras, ranhuras, entalhes, chanfros e cortar roscas em peças longas. Isto é possível porque o conjunto que contém o porta-ferramenta pode ser girado e fixado em qualquer ângulo. A ferramenta exerce muita pressão sobre a peça de trabalho e deve ser fixada na mesa da máquina. Se a peça for pequena, ela é fixada em uma morsa com cunhas e arruelas. Peças maiores são fixadas diretamente na mesa por meio de grampos, grampos e arruelas (SILVA, 2019).

Figura 6. Aplainamento



Fonte: (Silva, 2019, p. 17).

O brochamento é, portanto, um processo de usinagem em que o movimento de corte é linear. A ferramenta possui vários dentes que aumentam de altura (os chamados incrementais) e são dispostos em sequência de acordo com a profundidade de corte (π). Como a ferramenta é longa, ela pode ser inserida ou removida da peça de trabalho puxando ou empurrando. O processo de remoção de cavacos de um material para formar uma superfície plana ou recurso interno ou externo. A velocidade de corte do brochamento é determinada por vários fatores, como B. Formato da aresta de corte, ângulo de corte, material da peça, profundidade de corte, material da broca, etc. (UEKANE, 2022).

Figura 7. Brochamento

Fonte: (Silva, 2018, p.32)

Sendo assim, o brochamento pode ser externo ou interno. Em ambos os casos, o movimento de corte é retilíneo, realizado mecânica ou hidraulicamente. A ferramenta pode trabalhar à tração ou à compressão. Geralmente as brochadeiras verticais trabalham à compressão enquanto as brochadeiras horizontais podem trabalhar à tração ou à compressão (UEKANE, 2022).

Quadro 1. Gastos na produção de 100 peças

Atividades/Máquina	Tempo (horas) lote 100 peças	Valor do custo por lote (R\$)
Hora máquina processo de rosqueamento CNC	25 horas (15 minutos peça)	1.625,00
Hora máquina processo de torneamento CNC sem fim	15,99 horas	1.039,35
Consumo de ferramenta	50 %	51,00
Hora máquina processo de acabamento torno convencional	1,66 horas	58,33
Tempo de troca de peças	1,66 horas	107,90
Valor do custo total de atividades		2.881,58

Fonte: Uekane (2022, p. 342).

De acordo com a Quadro 1, O processo proposto é um processo automatizado que proporciona maior precisão de processamento, qualidade do produto, flexibilidade, segurança e confiabilidade. Porém, as roscas não possuem propriedades geométricas precisas, tornando essa usinagem mais complexa e difícil de desenvolver. Esses processos não exigem apenas pessoal especializado, resultando em um preço mais elevado, mas também se referem à própria máquina, uma estrutura robusta contendo diversos componentes eletrônicos, elétricos e mecânicos com significativo valor agregado. Isso o torna um método mais caro que o atual, o que deve reduzir significativamente o tempo de rosqueamento em questão, deixando o método proposto com custos de produção iguais ao atual. O caracol mencionado neste artigo pode ser editado em duas etapas. O primeiro deve aplicar a medição do comprimento do mesmo. A segunda etapa pode concluir o processo de edição de uma única maneira. Execução da aplicação de cotas de rosca, rosqueamento e acabamento onde a vedação sem-fim é posicionada no redutor (UEKANE, 2022).

Quadro 2. Comparação entre os processos

Processo	Preço de usinagem 100 peças (R\$)	Preço por peça (R\$)	Tempo rosca (min)	Tempo por peça sem fim (min)	Rugosidade média superficial
Fresagem de roscas	3.278,01	32,78	27	44,3	0,8123
Rosqueamento CNC	2.881,58	28,81	15	25,59	0,4350
Melhorias do processo (%)	396,43 (12,1%)	3,96 (12,1%)	44,4 %	42,25 %	46,44 %

Fonte: Uekane (2022, p. 78).

Oliveira (2019), com a nova proposta, notou-se uma redução nos custos de produção de 12,1, ou seja, lucro de R\$ 396,43 para uma produção de 100 peças por lote. Observe também um tempo de enfiamento 44,4% mais rápido. Todos os processos analisados neste artigo reduziram a produção de hélices em 42,25%. A qualidade da rosca apresentou uma diminuição na rugosidade para 46,44. De acordo com o departamento de vendas da empresa, as estimativas de vendas para esta caixa de câmbio específica giram em torno de 100 por mês, ou 1.200 caixas de câmbio por ano. Ressalta-se que cada modelo de redutor citado possui um eixo sem-fim com a rosca citada no artigo. A reunião de todos esses dados permitiu avaliar o investimento e avaliar o tempo que levaria para retornar aos investidores. As tabelas a seguir mostram o tempo de retorno do recebimento de cada suporte.

3. CONCLUSÃO

Um computador controla uma máquina para criar uma peça. No fresamento, uma ferramenta de corte gira rapidamente e se move para dentro ou através da peça para remover material. O Controle Numérico Computadorizado ou Controle Numérico Computadorizado (CNC, *Computer Numeric Control*) é um sistema que permite o controle de máquinas e é utilizado principalmente em tornos e centros de usinagem. Ou seja, estão presentes em todos os setores industriais e econômicos, daí sua importância.

Além disso, foi possível responder a situação problema: Qual a importância da usinagem em tornos CNC para o setor industrial em relação à alta demanda dos serviços solicitados e o curto prazo de tempo para entrega do produto? A indústria é importante porque fornece uma grande procura por um componente específico para um produto específico que pode ser fabricado em grandes quantidades. Ela também pode atender pedidos específicos com menos quantidade, mas com qualidade consistente.

Com base no exposto, a usinagem de peças é importante para a indústria. Ela permite que se produzam muitas peças do mesmo produto com rapidez e qualidade. É possível também atender pedidos específicos, mas com menos produção. Ter um processo industrial bem estabelecido é fundamental para que os produtos sejam entregues rapidamente e sem custos extras.

Neste artigo, percebe-se a importância do trabalho concluído para a sociedade e para a comunidade acadêmica. O trabalho fornece informações importantes e pode ser usado como base para trabalhos futuros. Isso é importante, pois o tema é cada vez mais relevante.

Referências

BENEVENUTO, Pedro Augusto Pavani; CLEMENTE, Pedro Henrique Malandrino; SILVA, Rodolfo Moino Gomes da. **Mini torno CNC controlado por arduino como projeto integrador no curso de engenharia**. 2019.32 p.

BONACINI, Leonardo et al. **Sistema dedicado de aquisição de dados para obtenção de assinaturas de processo em torno CNC.** 2020. 101 p.

GALVÃO, João Marcos Calixto. **Elaboração de um manual de procedimentos para os processos de torneamento e fresamento em torno CNC.** 2019.

LUZ, Filipe YG et al. **Comparação das Características Físico-Químicas do Fluido de Corte Aplicado no Torno CNC Utilizado em Laboratório Didático–Estudo de Caso.** Revista Processos Químicos, v. 14, n. 28, p. 61-74, 2020. 93 p.

OLIVEIRA, Hiago Câmara de. **Retrofit de um Torno CNC do Tipo Bancada.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

POVEDA, Pedro Fernando. **Determinação da potência de corte instantânea em torno CNC por meio do monitoramento da demanda de potência elétrica.** 2018. 32 p.

SILVA, Bruna Giovana Cunha da et al. **Estudo de materiais compósitos híbridos na indústria aeronáutica e aeroespacial e avaliação de argila organofílica e resina epóxi para aplicação em usinagem no torno CNC.** 2019. 51 p.

SILVA, Leonardo Bernardo; AUGUSTO, Marlon Teófilo. **AVALIAÇÃO DO TORNEAMENTO DO AÇO ABNT 1020 EM DIFERENTES AMBIENTES DE LUBRIFRIGERAÇÃO.** 2018. 11 p.

UEKANE, Luiz Gustavo. **Análise da capacidade para o processo de torneamento cilíndrico externo de um torno CNC: uma abordagem detalhada utilizando Controle Estatístico de Processo.** 2022. 96 p.



5

A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA NOS
APARELHOS CHILERS PARA APLICAÇÕES NAS EMPRESAS
THE IMPORTANCE OF PREVENTIVE MAINTENANCE ON
CHILLER UNITS FOR USE IN BUSINESSES

Matheus Santos Silva Santana

Resumo

O avanço da tecnologia e integração dos mais variados mercados torna a concorrência entre empresas cada vez mais acirrada. Nesse aspecto, desenvolver soluções para otimizar a produtividade, reduzir custos e inibir a interrupção das atividades faz-se essencial. Visando alcançar esse objetivo, a manutenção de equipamentos de controle de temperatura, os Chillers, principalmente em ambientes com grandes maquinários industriais, colaboram significativamente para o funcionamento contínuo e adequado de tais ferramentas. O trabalho explora os componentes e sistemas presentes nos aparelhos Chillers e aborda a importância de manter a verificação e conservação destes em dia, demonstrando a vantagem significativa em investir na manutenção preventiva desses equipamentos em contrapartida a possibilidade de interrupção emergencial do setor produtivo e consequente manutenção corretiva. O desenvolvimento do trabalho teve como objetivo norteador ampliar o conhecimento acerca dos benefícios da manutenção preventiva em equipamentos de grande porte, como os “Chillers”, e o posicionar como fator essencial para a otimização de custos e o alcance da excelência nas operações. Para isso, fundamentou os processos referentes à manutenção preventiva de maquinário industrial e abordou os sistemas pertinentes aos aparelhos Chillers, facilitando a compreensão de sua estrutura de funcionamento e direcionando a assistência ao mesmo. Adotou-se o modelo de revisão integrativa de literatura, utilizando trabalhos disponíveis nas principais bases de dados, tal como Scielo e Google Acadêmico, selecionando os materiais recentes e relevantes que exploram o tema.

Palavras-chave: Conservação. Produtividade. Indústria. Resfriamento. Planejamento.

Abstract

The advancement of technology and the integration of various markets make competition between companies increasingly fierce. In this regard, developing solutions to optimize productivity, reduce costs, and prevent disruptions in operations is essential. In order to achieve this goal, the maintenance of temperature control equipment, particularly Chillers, in environments with large industrial machinery, significantly contributes to the continuous and proper functioning of such tools. The work explores the components and systems present in Chiller units and addresses the importance of keeping their inspection and maintenance up to date, demonstrating the significant advantage of investing in the preventive maintenance of these equipment as opposed to the possibility of emergency interruptions in the production sector and subsequent corrective maintenance. The development of the work aimed to expand knowledge about the benefits of preventive maintenance on large-scale equipment like Chillers, positioning it as an essential factor for cost optimization and achieving operational excellence. To this end, it established the processes related to preventive maintenance of industrial machinery and addressed the systems relevant to Chiller units, facilitating understanding of their operational structure and guiding assistance to them. The integrative literature review model was adopted, using works available in major databases such as Scielo and Google Scholar, selecting recent and relevant materials that explore the topic.

Keywords: Conservation. Productivity. Industry. Cooling. Planning.



1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por eficiência operacional e competitividade impulsiona organizações de diversos setores a otimizarem suas práticas de gestão. Nesse contexto, a manutenção preventiva em equipamentos de grande porte, como os sistemas de resfriamento conhecidos como “Chillers”, emerge como um elemento-chave para garantir o desempenho sustentável e a continuidade das atividades.

No cenário industrial e comercial, os equipamentos de refrigeração, como os “Chillers”, desempenham um papel vital, especialmente em ambientes que demandam controle rigoroso de temperatura e umidade. No entanto, a sua operação eficaz exige não apenas a escolha adequada, mas também a implementação de práticas de manutenção preventiva bem estruturadas. Tal abordagem transcende o conceito de mera correção de falhas, inserindo-se como parte integrante do planejamento estratégico das empresas, alicerçando-se na antecipação de problemas futuros.

No atual panorama empresarial, onde a eficiência é um diferencial competitivo crucial, a manutenção preventiva destaca-se como uma ferramenta estratégica para aprimorar o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos industriais. Diante da dinâmica do mercado, ações reativas podem acarretar paradas não programadas, gerando prejuízos significativos em termos de tempo, custos e reputação. Portanto, a escolha de adotar uma abordagem proativa, como a manutenção preventiva, assume um caráter imperativo para manter as operações ininterruptas e alinhadas aos objetivos organizacionais.

No âmbito das organizações modernas, onde a busca por eficiência e competitividade é incessante, a manutenção preventiva em equipamentos industriais de grande porte ganha destaque como um dos pilares para a otimização dos processos produtivos. A abordagem proativa, baseada na antecipação de problemas, não apenas estende a vida útil dos equipamentos, mas também confere uma vantagem competitiva valiosa. Dessa maneira, a problemática do estudo se sintetiza na seguinte pergunta: Qual a relevância da estruturação, correção e antecipação de futuros problemas nos equipamentos mecânicos industriais?

Este estudo tem como objetivo geral aprofundar a compreensão dos benefícios da manutenção preventiva em equipamentos de grande porte, como os “Chillers”, como elemento crucial para a otimização de custos e o alcance da excelência operacional. Objetivando especificamente: Analisar de maneira abrangente os fundamentos e práticas da manutenção preventiva em equipamentos industriais, com ênfase nos “Chillers”; Conceituar os principais elementos que compõem a manutenção preventiva, considerando sua aplicação como estratégia de diferenciação e controle de custos; Expor os impactos positivos da implementação efetiva da manutenção preventiva, demonstrando como a antecipação de problemas contribui para a maximização da vida útil dos equipamentos e a minimização das paradas não planejadas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O trabalho consiste em uma revisão integrativa de literatura, com buscas em artigos científicos, teses, monografias e revistas veiculadas nas bases de dados do Google acadêmico, Scielo e Biblioteca Digital. A busca dos estudos foi realizada no período entre agosto

e outubro de 2023 e, para isso, foram utilizadas palavras-chaves ou descritores na língua portuguesa: Aparelhos Chiller, Manutenção, Reexame de Maquinário.

A análise dos estudos seguiu critérios de elegibilidade previamente determinados, sendo eles: (1) estudos recentes para executar a escolha da temática, garantindo maior fidedignidade; (2) manuscrito em português; (3) estudos publicados nos últimos 36 anos; (4) estudos que apresentassem dados acerca do tema em questão.

Assim, foram adotados os seguintes critérios de exclusão: (1) estudos que não exibiram resultados pertinentes a manutenção preventiva nos aparelhos Chillers (2) estudos que limitaram o acesso; (3) estudos que para ter acesso na íntegra, tinham que ser pagos.

2.2 Resultados e Discussão

A manutenção preventiva é um pilar essencial no funcionamento eficaz de sistemas e equipamentos industriais, desempenhando um papel crítico na maximização da vida útil e no desempenho contínuo das operações. No contexto específico dos aparelhos “Chillers”, projetados para a climatização e resfriamento de ambientes e equipamentos em ambientes industriais, sua importância é ainda mais acentuada (Wagner, 2019).

A aplicação adequada da manutenção preventiva em Chillers não apenas contribui para o prolongamento da vida útil desses equipamentos, mas também assegura a operação eficiente, evita paradas não programadas e promove a economia de custos significativa (Oliveira, 2019).

O termo “Chiller” refere-se a sistemas de resfriamento complexos, projetados para atender a uma ampla variedade de necessidades industriais. São frequentemente encontrados em ambientes com grande circulação de pessoas, hospitais, setores de transporte público e uma ampla gama de indústrias, como a petroquímica, farmacêutica e alimentícia, entre outras. O papel vital desses sistemas para garantir o resfriamento adequado em ambientes críticos destaca a importância da manutenção preventiva como parte integrante das operações diárias (Barandier, 2020).

A manutenção preventiva em Chillers envolve uma série de atividades planejadas, como inspeções regulares, lubrificação, limpeza e substituição de peças desgastadas. A abordagem proativa permite identificar potenciais problemas antes que eles se transformem em falhas críticas, evitando paradas não programadas que podem ter um impacto significativo nas operações da empresa. Além disso, a manutenção preventiva garante que os sistemas operem com eficiência máxima, otimizando o consumo de energia e reduzindo os custos operacionais (Kriek, 2020).

Ao considerar a importância da manutenção preventiva em Chillers, é crucial destacar a necessidade de aderir às recomendações dos fabricantes e seguir diretrizes específicas. A execução adequada da manutenção preventiva requer conhecimento técnico especializado e a utilização de ferramentas apropriadas para garantir que as atividades sejam realizadas de maneira precisa e eficaz. Além disso, a manutenção preventiva pode ser considerada como um investimento estratégico, uma vez que os custos associados à paralisação não planejada e à correção de problemas graves superam significativamente os custos de manutenção planejada (Barandier, 2020).

Em suma, Sousa (2020) disserta que a aplicação adequada da manutenção preventiva em Chillers desempenha um papel crucial na garantia de um ambiente de trabalho seguro, eficiente e produtivo. Essa prática não apenas prolonga a vida útil dos equipamentos, mas também contribui para a redução de custos operacionais e para a confiabilidade con-



tínua das operações empresariais. Compreender e priorizar a importância da manutenção preventiva em Chillers é fundamental para empresas que buscam operar de maneira sustentável e competitiva em um cenário industrial dinâmico.

Os sistemas de climatização, como os “Chillers”, desempenham um papel crucial ao refrescar o ar, produtos e equipamentos, controlando a temperatura e a umidade relativa em ambientes de grande porte. Sua utilização abrange espaços com alta circulação de pessoas e locais que demandam resfriamento adequado para garantir o bom funcionamento de maquinários sensíveis. Conforme Oliveira (2019), os “Chillers” são empregados em diversos setores, incluindo espaços de eventos, hospitais, transporte público e indústrias petroquímicas, farmacêuticas, alimentícias, mineração e telecomunicações.

Oliveira (2019) comenta que os sistemas de “Chillers” podem manter a água em uma temperatura média de 12°C, podendo variar conforme os aditivos utilizados. A capacidade de refrigeração, expressa em BTUs/h, pode abranger uma ampla faixa, geralmente variando de 12.000 a 60.000 BTUs/h, dependendo do equipamento. A manutenção adequada desempenha um papel crucial no funcionamento desses sistemas, com os modos preventivo e corretivo desempenhando papéis complementares. A manutenção preventiva, realizada em intervalos determinados pelo fabricante, evita a ocorrência de avarias e é fundamental para manter o desempenho eficiente dos equipamentos.

Conforme Santana (2020) ressalta, peças essenciais requerem atenção especial. Filtros, serpentinas, palhetas, ventiladores, bombas e motores são componentes que demandam cuidados específicos. Filtros precisam ser trocados periodicamente para garantir a qualidade do ar e do sistema.

A limpeza das serpentinas é vital para manter a eficiência, enquanto as palhetas devem ser mantidas sem amassados e limpas. Ventiladores necessitam de lubrificação e limpeza, considerando o estado das pás e correias. Bombas, por sua vez, requerem atenção para evitar cavitação. Motores também necessitam de limpeza e lubrificação para seu desempenho ótimo. Além de assegurar o funcionamento eficiente, a manutenção adequada também contribui para um ambiente mais saudável, evitando que sistemas de refrigeração se tornem fontes de disseminação de doenças (Santos, 2020).

No contexto atual de produção, a ênfase na qualidade e eficiência é inegável. Empresas não podem focar apenas nos resultados, mas também na qualidade do processo e na otimização dos recursos. Nesse cenário, a manutenção assume um papel crucial, permitindo a intervenção mecânica para revisar maquinários, prevenir danos e evitar imprevistos na produção. Quando realizada de forma planejada e previsível, a manutenção contribui para a estabilidade e segurança do desempenho de produção (Ferreira, 2009).

A escolha do método de manutenção mais adequado pode variar conforme as necessidades de cada empresa. A adoção do tipo certo de conservação alinha-se com o foco na produtividade e no melhoramento geral dos processos operacionais. Compreender a importância da manutenção preventiva e sua aplicação direcionada pode aprimorar a capacidade produtiva das organizações, assegurando resultados consistentes e eficientes (Lemos, 2011).

Para Tavares (2005, p. 20):

Os gestores de manutenção devem ter ampla visão e atuação sistêmica dentro de suas organizações, de tal forma que a diversidade de modelos e fundamentações do planejamento e controle da manutenção, plenamente consolidados, sejam úteis à maximização dos equipamentos, assim como os lucros da organização.

Ferreira (2009), cita que para obter um produto final rentável, é necessário que os fatores da segurança melhorada, confiabilidade aumentada, maior qualidade, custos de operações mais baixos que possam gerar um tempo de vida mais longo visto que a preservação do equipamento surte efeitos direto em todo o procedimento, portanto, é indispensável a boa relação entre estes princípios para uma harmonia geral durante todo o método de formulação do produto.

É imprescindível, para Kardec e Nascif (2009), planejar a manutenção, de maneira correta, visando as mais distintas variáveis que possam estar envolvidas. Com um estudo metucioso de cada área e cada ativo físico, tendo em vista os impactos de uma possível falha, promovendo arduamente um plano de manutenção que beneficie a empresa, gera a redução de custos, aumentando a vida útil de equipamentos.

De acordo com Kardec e Nascif (2009, p. 11):

A atividade de manutenção precisa deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz; ou seja, não basta, apenas, reparar o equipamento ou instalação tão rápido quanto possível, mas, principalmente, é preciso manter a função do equipamento disponível para a operação, evitar a falha do equipamento e reduzir os riscos de uma parada de produção não planejada

A manutenção, vista como função estratégica, rebate pela disponibilidade e confiabilidade dos ativos físicos e propriedade dos produtos finais, representando a importância do capital nos resultados da empresa, já que a iniciativa privada tem como necessidade a de lucro para todo o processo no qual ela atua. Portanto, todas as motivações que possam atrasar e encarecer a produção, visto a possibilidade de contorno preventivo destas situações, devem possuir a atenção e prioridade para uma boa gestão de produtividade (Melo-ni, 2019).

Mantovani e Gonçalves (2004, p. 31) destacam ainda:

Que paradas inesperadas de máquinas e equipamentos podem gerar efeitos que prejudicam o processo produtivo. Desse modo, a utilização de conceitos e métodos de manutenção na filosofia e processo de trabalho dos operários, podem conquistar ganhos significativos e redução dos custos de produção.

Nesse sentido é importante que as empresas programem com eficiência seus processos de manutenção para que seja aceitável alcançar de suas máquinas e equipamentos a maior produtividade possível e ainda minimizar os custos e gastos com reparos e consertos caso a máquina ou equipamento de fato venha a exibir problemas graves. O emprego de sistemas de gestão que potencializam o uso de recursos dentro dos procedimentos de produção é cada vez mais imprescindível para a sobrevivência das companhias nesse ambiente de jogo e no mundo globalizado (Otani; Machado, 2008).

Em relação a possibilidade de aumento no produto final devido a imprevistos durante o procedimento de produção, destacam Mantovani e Gonçalves (2004, p. 36) que “os custos inerentes da manutenção de máquinas e equipamentos afetam diretamente os custos de produção”. Portanto, deve ser levado com grande atenção, por parte da equipe organizacional, que a manutenção seja sempre efetuada e não perca os prazos estabelecidos, para que não haja interferências no produto final.

Otani e Machado (2008, p. 14) afirmam que:

A manutenção, como função estratégica das organizações é responsável direta pela disponibilidade dos ativos, tem importância capital nos resultados da empresa. Esses resultados serão tanto melhores quanto mais eficaz for a gestão da manutenção.

Neste panorama, a manutenção se integra de maneira eficaz ao processo produtivo, colaborando para que a empresa ande rumo à excelência. A união do setor de manutenção com o de produção, influenciando abertamente a qualidade e produtividade, faz com que o mesmo exerça um papel estratégico na melhoria dos resultados operacionais e financeiros dos negócios (Santos, 2020).

3. CONCLUSÃO

A pesquisa realizada proporcionou uma compreensão aprofundada sobre a importância da manutenção preventiva em equipamentos de grande porte, com foco nos sistemas de resfriamento “Chillers”. Ficou claro ao longo do estudo que a implementação efetiva da manutenção preventiva não apenas estende a vida útil dos equipamentos, mas também confere uma vantagem competitiva valiosa, garantindo a continuidade das operações empresariais.

A relevância da manutenção preventiva em Chillers foi destacada ao considerar o cenário atual de produção, onde a eficiência e a competitividade são cruciais. A abordagem proativa, baseada na antecipação de problemas, torna-se imperativa para manter as operações ininterruptas e alinhadas aos objetivos organizacionais. Dessa forma, a pesquisa atingiu com sucesso o objetivo de analisar de maneira abrangente os fundamentos e práticas da manutenção preventiva, proporcionando um entendimento claro de como esta estratégia contribui para a otimização de custos e a busca pela excelência operacional.

Os resultados obtidos corroboraram a importância da manutenção preventiva em Chillers, demonstrando que essa prática não apenas prolonga a vida útil dos equipamentos, mas também contribui para a redução de custos operacionais e para a confiabilidade contínua das operações empresariais. Ficou evidente que a escolha do método de manutenção mais adequado pode variar conforme as necessidades de cada empresa, e a adoção da manutenção preventiva pode aprimorar significativamente a capacidade produtiva das organizações.

Diante disso, é fundamental que as organizações priorizem a manutenção preventiva em seus equipamentos industriais, reconhecendo-a como uma função estratégica que impacta diretamente nos resultados da empresa. A integração eficaz do setor de manutenção com o de produção promove a excelência operacional e contribui para a melhoria dos resultados operacionais e financeiros. Para além dos benefícios imediatos, a manutenção preventiva em Chillers representa um investimento estratégico, uma vez que os custos associados à paralisação não planejada e à correção de problemas graves superam significativamente os custos de manutenção planejada.

Como propostas para trabalhos futuros, sugere-se a investigação de técnicas avançadas de manutenção preventiva, bem como a avaliação dos impactos econômicos e ambientais da implementação efetiva dessa prática. Além disso, estudos comparativos entre diferentes setores industriais podem fornecer insights valiosos sobre as melhores práticas de manutenção preventiva em equipamentos de grande porte.

Referências

- BARANDIER, Pedro Henrique Nunes Caldas Wermelinger. **O Controle da Qualidade e Manutenção na Gestão Energética Associada à Redução de Custos Mediante a Implementação de Princípios Lean e Ferramentas da Qualidade**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade da Beira Interior (Portugal).
- CHRISTOPHER, Martin. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. São Paulo: Pioneira, 2009.
- FERREIRA, L. L. **Implementação da Central de Ativos para melhor desempenho do setor de manutenção: um estudo de caso Votorantim Metais**. 2009. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.
- KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.
- KRIECK, Gabriela Alice et al. **Eficiência energética em bombas de água gelada de um sistema de climatização com chillers**. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Blumenau. Engenharia de Controle e Automação. 2020.
- LEMONS, Carlos Miguel Rodrigues de et al. **Métodos expeditos indirectos de análise de eficiência de equipamentos de produção de energia térmica, nomeadamente Chillers**. Tese de Doutorado. Universidade do Porto (Portugal) ProQuest Dissertations Publishing, 2011.
- MELONI, Bruno David Bevilaqua; SOUSA, Lucas Gabriel Lopes de. Proposta de metodologia preditiva para otimização da limpeza de trocadores de calor resfriado a água. 2019. xiii, 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)—Universidade de Brasília, Brasília, 2019.
- MONCHY, F. **A Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 1987.
- OLIVEIRA, Halleson Ney Gomes et al. **INSTALAÇÃO ELÉTRICA E SUAS PROTEÇÕES EM UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE RESFRIAMENTO (CHILLER)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Paraná. 2019.
- OTANI, Mário; MACHADO, Waltair Vieira. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Campus Ponta Grossa - Paraná – Brasil, 2008.
- ROSSETTO, Carlos R. **Adaptação Estratégica Organizacional: Um Estudo Multi-Caso na Indústria da Construção Civil - Setor de Edificações**. Florianópolis, 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina.
- SANTANA, Caio Carvalho et al. **ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSTAS DE MELHORIAS NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO DAS INSTALAÇÕES QUE CONDUZEM O FUNCIONAMENTO DA CENTRAL DE ÁGUA GELADA EM UM SHOPPING CENTER NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO**. 2020.
- SANTOS, Evanilson. Eliminação da insalubridade pelo método de refrigeração Chiller no setor de metalurgia. **Segurança e Gestão: A multidisciplinaridade e os avanços tecnológicos Volume**, p. 35. 2020.
- SOUSA, Larissa Moura et al. **Análise comparativa entre chiller de compressor parafuso e chiller de compressor centrífugo em aplicação de termoacumulação**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia de Produção. Universidade de Uberaba. 2020.
- SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica**. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.
- TAVARES, L. A. **Manutenção centrada no negócio**. 1ª edição. Rio de Janeiro: NAT, 2005.
- WAGNER, Leandro. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO NO CONTROLE DE FUNCIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS**. Revista Brasileira de Mecatrônica, v. 1, n. 4, p. 11-22, 2019



6

A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO
INDUSTRIAL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

THE DIGITAL TRANSFORMATION IN INDUSTRIAL
MAINTENANCE MANAGEMENT: CHALLENGES AND
OPPORTUNITIES

Tarcila Araújo Ribeiro
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Resumo

A transformação digital (TD) está remodelando radicalmente a forma como as empresas gerenciam a manutenção de ativos industriais. Este artigo explora essa revolução tecnológica, destacando o impacto da Internet das Coisas (IoT), da manutenção preditiva, da análise de dados avançada e da realidade aumentada na gestão da manutenção. Além disso, são discutidos os benefícios da redução de custos operacionais, minimização do tempo de inatividade não planejado e aumento da eficiência operacional. No entanto, são também abordados os desafios, como custos iniciais, treinamento de equipe e segurança cibernética. O artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os impactos digitais em empresas e quais os benefícios na implementação de soluções digitais no processo de manutenção e explora as tendências futuras, como a automação avançada e a manutenção autônoma. Em suma, este artigo oferece uma visão abrangente da transformação digital na gestão da manutenção e fornece recomendações para empresas que buscam aproveitar as oportunidades dessa revolução tecnológica.

Palavras-chave: Tecnologia. Digital. Manutenção. Benefício.

Abstract

Digital Transformation (DT) is radically reshaping the way companies manage industrial asset maintenance. This article explores this technological revolution, highlighting the impact of the Internet of Things (IoT), predictive maintenance, advanced data analytics, and augmented reality in maintenance management. Additionally, it discusses the benefits of reducing operational costs, minimizing unplanned downtime, and increasing operational efficiency. However, it also addresses challenges such as initial costs, team training, and cybersecurity. The article provides a literature review on digital impacts in companies and the benefits of implementing digital solutions in the maintenance process, as well as exploring future trends like advanced automation and autonomous maintenance. In summary, this article offers a comprehensive view of digital transformation in maintenance management and provides recommendations for companies seeking to leverage the opportunities of this technological revolution.

Keywords: Technology. Digital. Maintenance. Benefit.



1. INTRODUÇÃO

A transformação digital é uma revolução que está moldando profundamente a forma como as empresas operam e interagem com seus clientes e parceiros em uma economia cada vez mais conectada e baseada em dados. Essa transformação abrange uma variedade de tecnologias e estratégias que permitem a digitalização de processos, a coleta e análise de dados em tempo real e a adoção de soluções tecnológicas inovadoras. O impacto da transformação digital se estende por vários setores da economia, e a gestão da manutenção industrial não é exceção.

A transformação digital (TD) está afetando a manutenção industrial de várias maneiras significativas. Tradicionalmente, a manutenção era muitas vezes reativa, baseada em inspeções periódicas e manutenções preventivas agendadas. No entanto, com o advento da Internet das Coisas (IoT), sensores, análise avançada de dados e computação em nuvem, as empresas agora têm a capacidade de coletar dados em tempo real a partir de ativos industriais. Esses dados podem fornecer informações detalhadas sobre o desempenho e o estado de equipamentos e máquinas. A TD também pode melhorar a segurança no local de trabalho, prevendo e evitando falhas que possam representar riscos para a saúde dos trabalhadores envolvidos nos processos de manutenção.

Esse tema se torna extremamente relevante e atual em diversos setores industriais. A gestão da manutenção está passando por mudanças significativas devido à aplicação de tecnologias digitais, e é importante explorar essa tendência para manter as empresas atualizadas com as melhores práticas. A incorporação de tecnologias digitais na gestão da manutenção pode ter um impacto substancial nos resultados financeiros das empresas. Isso inclui a redução de custos operacionais, a minimização de paradas não planejadas e o aumento da eficiência, o que justifica a investigação sobre como essas tecnologias podem ser aplicadas de maneira eficaz. Diante disso, esse trabalho estabelece a seguinte pergunta problema: Como as empresas podem superar os desafios da transformação digital para otimizar a gestão da manutenção e aproveitar ao máximo as oportunidades oferecidas pelas tecnologias emergentes?

Esse artigo tem como objetivo analisar o impacto da transformação digital na gestão da manutenção industrial, identificando os desafios e oportunidades associados à adoção de tecnologias digitais e explorar as melhores práticas para maximizar os benefícios dessa transformação. Esse trabalho também visa discorrer sobre a transformação digital e como afeta os setores da manutenção, destacar os principais impactos da transformação digital nos processos de manutenção, além de descrever as principais tecnologias utilizadas e como elas funcionam, facilitando assim o entendimento das mesmas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa realizada neste trabalho foi uma Revisão de Literatura, na qual foram realizadas consultas a livros, dissertações e artigos científicos selecionados através de busca nas seguintes bases de dados (livros, sites de banco de dados, etc...). Esse trabalho é baseado em livros e publicações de profissionais da área de Engenharia Mecânica e Gestão da Manutenção, sobre a transformação digital na gestão da manutenção industrial. O trabalho discorre sobre os desafios e oportunidades que a tecnologia pode trazer para

todo o processo de manutenção, destacando os principais benefícios das tecnologias nos mais variados processos de manutenção.

As pesquisas bibliográficas foram feitas em sites de pesquisas e em artigos publicados em revistas nos últimos 5 anos, sempre buscando informações relacionadas a gestão da manutenção. Foram utilizadas palavras chaves como base para a pesquisa como: (tecnologia, digital, manutenção, benefício, internet das coisas.).

2.2 Resultados e Discussão

2.2.1 A transformação Digital (TD)

A transformação digital é um processo abrangente de adoção e integração de tecnologias digitais em todos os aspectos de uma organização. Isso inclui a reestruturação de processos, a coleta e análise de dados em tempo real, a automação de tarefas e a incorporação de inovações tecnológicas para melhorar a eficiência, a produtividade e a tomada de decisões. Em essência, a transformação digital capacita as organizações a se tornarem mais ágeis, orientadas por dados e preparadas para o futuro.

Para entender melhor o processo da transformação digital, é importante conhecer as mudanças sofridas pela indústria. De acordo com Santos Neto, Leite e Nascimento (2018), ao longo do tempo, a indústria passou por significativas transformações, influenciadas pela demanda por novos produtos, a busca por maior produtividade e os avanços tecnológicos. Essas mudanças têm delineado as quatro eras industriais, como ilustrado na Figura 1.

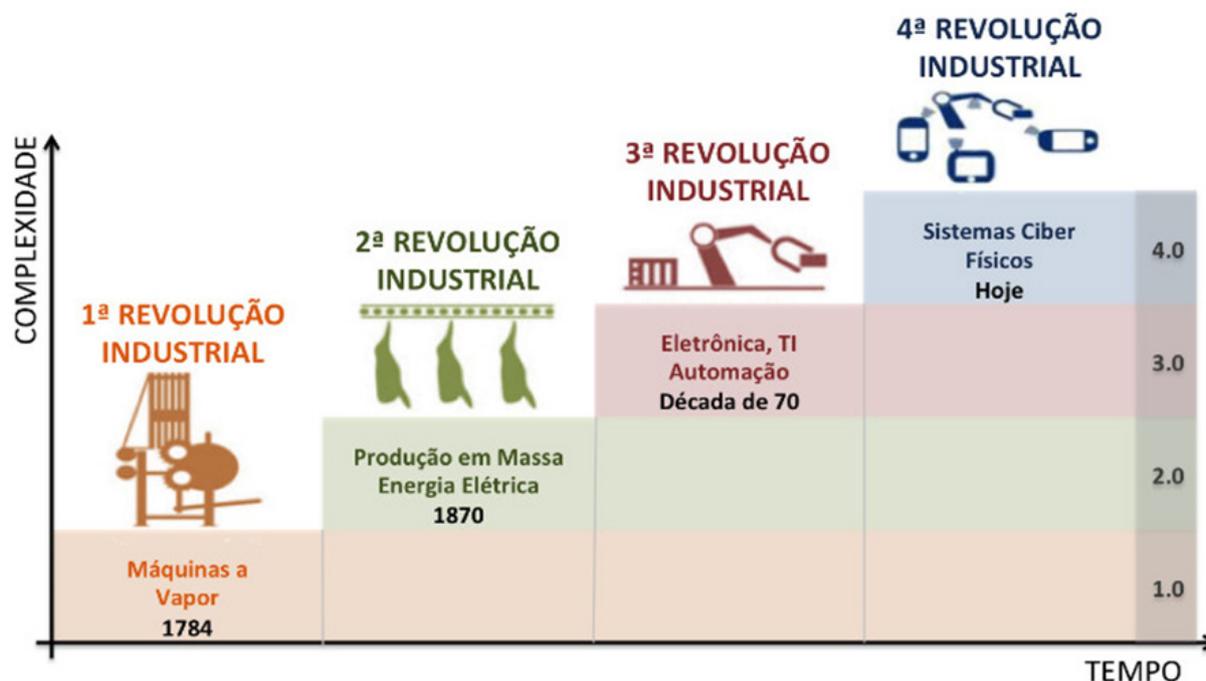


Figura 1. Os quatro estágios da revolução industrial

Fonte: Santos Neto, Leite e Nascimento (2018, apud Kagermann et al. 2013)

A primeira revolução industrial, caracterizada pelo surgimento das máquinas a vapor no final do século XVIII, marcou o início da modernização da indústria. Nesse estágio, a manutenção corretiva era a abordagem predominante. Posteriormente, a segunda revolução industrial, que ocorreu no final do século XIX com a introdução da produção em massa e da eletricidade nas fábricas, viu um avanço significativo na manutenção, com o

surgimento do conceito de manutenção preventiva. A terceira revolução industrial trouxe a eletricidade e, com ela, a integração de sistemas de informação e eletrônica na indústria, visando otimizar a produção e reduzir desperdícios. Nesse contexto, o modelo de manutenção preditiva emergiu como uma abordagem eficaz. A quarta revolução industrial é caracterizada pela convergência de tecnologias e pela integração de robôs em sistemas ciberfísicos, promovendo uma transformação radical na indústria (BORLIDO *et al.*, 2017 *apud* SANTOS NETO; LEITE; NASCIMENTO, 2018).

De acordo com Diogo, Kolbe Junior e Santos (2019), o termo Transformação Digital, adotado pelo governo brasileiro em 2017, teve suas raízes no “Plano Estratégico Alemão de Alta Tecnologia” que começou a ser elaborado em 2006. Quatro anos depois, esse plano evoluiu para a “Iniciativa Estratégica de Alta Tecnologia para 2020”, com o objetivo de criar uma visão integrada da indústria, aproveitando os avanços em sistemas computacionais e tecnologias para Internet. Como parte dessa iniciativa, foi gerado um relatório intitulado “Recomendações para Implementação da Iniciativa Estratégica Indústria 4.0”. Entre as orientações contidas no documento, destaca-se o desenvolvimento de tecnologias relacionadas à Internet das Coisas (IoT), comunicações e serviços web para a manufatura. Além disso, o relatório enfatiza a necessidade de modernização das fábricas para torná-las inteligentes, por meio da adoção da automação em todas as suas dimensões.

A TD, também conhecida como Indústria 4.0, tem se tornado viável devido à constante incorporação de tecnologias inovadoras em diversos setores econômicos. Esse fenômeno é reconhecido como a Quarta Revolução Industrial e utiliza sistemas ciberfísicos (CPS) para modernizar a indústria, buscando uma automação abrangente que integra as operações de produção e aspectos comerciais (DIOGO; KOLBE JUNIOR; SANTOS, 2019).

Para Bonnet, McAfee e Westerman (2014), a transformação digital pode ser entendida como a utilização estratégica da tecnologia para repensar os modelos de negócios e os processos operacionais, visando melhorar a eficiência, a competitividade e a criação de valor para os clientes.

Segundo Hays (2023), graças ao suporte de programas de computador, sistemas automatizados e tecnologia computacional, a indústria alcançou um significativo progresso na integração de suas operações. A automação das linhas de fabricação, juntamente com conceitos como a Internet das Coisas (IoT), possibilitou aos gestores e líderes a capacidade de monitorar de maneira centralizada todas as fases do processo produtivo, coletando dados e informações em tempo real.

2.2.2 A TD na Gestão da Manutenção

Para Santos Neto, Leite e Nascimento (2018), a transformação digital na gestão da manutenção tem o objetivo de juntar o homem a máquina com o intuito de otimizar os processos de manutenção uma forma mais segura, reduzindo os custos operacionais ocasionados por possíveis paradas indesejadas.

Além de facilitar a vida do homem e aumentar de forma significativa a produtividade, a TD possibilita a redução significativa de possíveis erros dos produtos a serem produzidos. De acordo com Santos Neto, Leite e Nascimento (2018 *apud* COELHO 2016), os fundamentos da indústria 4.0 são compostos por três tecnologias centrais: a Internet das Coisas (IoT), sistemas ciberfísicos e a análise de grandes volumes de dados. Essas categorias são destacadas na Figura 2, que ilustra os princípios fundamentais da indústria 4.0.

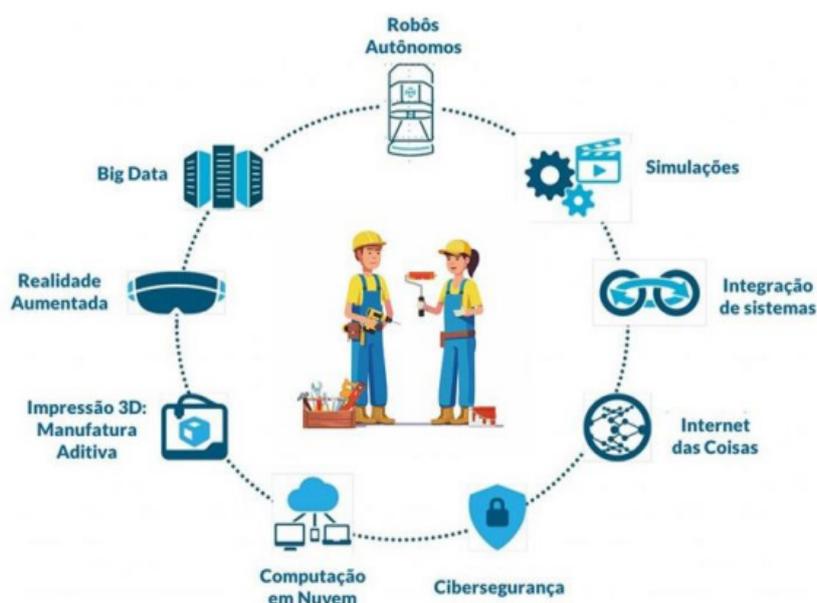


Figura 2. Os pilares da indústria 4.0

Fonte: O futuro das coisas (2018)

Segundo Fractal (2023), a evolução digital na área de manutenção resultou na criação de sistemas informatizados com a capacidade de capturar informações dos equipamentos, automatizar tarefas, gerenciar o estoque de peças, programar as atividades de manutenção e produzir relatórios para análise, entre outras funções essenciais para garantir uma gestão eficaz.

De acordo com Aoad Neto *et al.* (2022), uma gestão eficaz das operações de manutenção exerce um impacto direto nos resultados da indústria, contribuindo para a redução de perdas decorrentes de paralisações na produção, baixa produtividade e despesas adicionais associadas à sua recuperação. Entre os fatores que contribuem para essa influência, a manutenção se destaca como uma das atividades mais significativas, influenciando tanto a produtividade quanto os custos operacionais controláveis nas empresas industriais.

Para Hays (2023), em um ambiente industrial, assegurar que as máquinas funcionem conforme o planejado e realizar a manutenção adequada é essencial para o êxito das operações. No entanto, não é sempre uma tarefa simples manter todas as máquinas operando em sua capacidade máxima. Com a transição para a manufatura digital, a tarefa de monitorar o desempenho das máquinas tornou-se substancialmente mais acessível. Isso se deve ao fato de que as atividades de manutenção agora contam com o suporte de ferramentas inovadoras que têm a capacidade de detectar falhas e prever erros futuros na linha de produção - o que é conhecido como manutenção preditiva.

Segundo Hays (2023), na implementação da manutenção preditiva em uma plataforma inteligente, ocorre o seguinte: quando a confiabilidade de um dispositivo conectado começa a diminuir, ele envia um aviso aos trabalhadores para realizar o reparo necessário. Essa abordagem também tem como resultado a redução da necessidade de manter uma equipe de manutenção de plantão, uma vez que os equipamentos da manufatura digital funcionarão por períodos mais longos com menos interrupções não programadas.

Segundo Aoad Neto *et al.* (2022), a Transformação Digital está se tornando uma realidade nas novas gerações de ambientes industriais, o que resulta em melhorias significativas na produtividade, qualidade e integração entre diferentes setores. A colaboração entre seres humanos, máquinas e sistemas se destaca, pois amplia os esforços para alcançar decisões precisas, tornando-as mais exploráveis e confiáveis. A aplicação desse conceito na

indústria aborda muitos dos desafios enfrentados na gestão da manutenção. Ela viabiliza a implementação de tecnologias que fornecem informações em tempo real, permitem o acesso remoto a dados e automatizam a análise estatística por meio do uso de ferramentas de Machine Learning (ML). Isso envolve a adoção de tecnologias anteriormente desconhecidas para as equipes industriais.

Além disso, a manutenção desempenha um papel crítico no contexto empresarial, afetando o risco comercial, a produtividade, a qualidade do produto, os custos de produção, a segurança no local de trabalho e o desempenho ambiental. Por essa razão, a manutenção é considerada uma prática fundamental na indústria, não sendo apenas percebida como um custo a ser minimizado, mas sim como uma função de negócio altamente estratégica, especialmente quando combinada com a engenharia de confiabilidade e a aplicação de tecnologias digitais. Esses elementos juntos representam uma alavanca significativa para o sucesso operacional (AOAD NETO *et al.*, 2022).

De acordo com ABC Ferraz (2023), a TD na manutenção possibilita ao gestor, ter informações corretas e em tempo real sobre o estado dos ativos disponíveis. Além disso, a implementação da TD na gestão da manutenção trouxe uma série de benefícios significativos como: aumento na produtividade das equipes, maior precisão na análise de falhas, redução de custos etc. Protelar a adoção da transformação digital na gestão de manutenção pode resultar em diversas desvantagens para sua organização. Isso se deve ao fato de que as tecnologias atuais capacitam sua empresa a administrar os processos de forma consideravelmente mais eficiente, o que, por sua vez, contribui para um desempenho econômico mais favorável em suas operações.

2.2.3 Desafios e Barreiras da TD na Gestão da Manutenção

A implementação da transformação digital na manutenção pode ser repleta de desafios e barreiras. Alguns dos principais incluem: custos iniciais elevados, falta de conhecimento e habilidades, segurança cibernética, integração de sistemas, cultura organizacional, gestão de dados, manutenção de tecnologia, seleção de tecnologia adequada, mudança de cultura, entre outros. Lidar com esses desafios requer um planejamento cuidadoso, investimento estratégico e compromisso da liderança organizacional para superar as barreiras e colher os benefícios da transformação digital na manutenção.

De acordo com Maestri (2018), embora a Indústria 4.0 ofereça benefícios notáveis, como a capacidade de sistemas interagirem entre si, análise de dados instantânea e assistência de robôs nas operações de fabricação, ainda existem obstáculos a serem superados em sua adoção. Isso ocorre porque os princípios subjacentes à Indústria 4.0 não estão completamente estabelecidos e claros na literatura, o que impacta a implementação efetiva dessa abordagem no setor produtivo.

Diversos desafios dificultam a introdução da transformação digital em instalações industriais, incluindo os custos iniciais, a necessidade de pessoal qualificado, a necessidade de promover uma mudança cultural e a resistência à adoção de novas abordagens. Segundo Rodrigues (2017), a maioria das tecnologias resultantes da transformação digital são relativamente novas e têm pouca experiência em um mercado amplo. Empresas tradicionais e consolidadas geralmente adotam uma postura cautelosa em relação a novas tecnologias, ou seja, elas tendem a evitar investimentos em inovações até que essas tecnologias tenham sido amplamente testadas e utilizadas por outras organizações.

São vários os desafios da TD na Gestão da Manutenção, entre eles se destacam, os

custos de implantação, mão de obra qualificada, mudança cultural e a resistência a transformação. Para Rodrigues (2023), os desafios também se estendem a falta de visão, diversidade tecnológica, sigilos organizacionais e geográficos. Com isso, é perceptível que por mais que a TD traga benefícios diversos para a manutenção industrial a falta de informação, o custo elevado para a instalação e falta de mão de obra qualificada, são barreiras que precisam ser superadas. Para superar essas barreiras, requer uma abordagem estratégica e cuidadosa, pois, os benefícios que a TD traz para a Gestão da Manutenção superam todos os desafios.

3. CONCLUSÃO

A transformação digital na gestão da manutenção industrial é um tópico de extrema relevância e complexidade, que envolve uma série de desafios e oportunidades. Este artigo buscou analisar o impacto da transformação digital na gestão da manutenção e identificar os obstáculos que as empresas podem enfrentar ao adotar tecnologias digitais. Além disso, destacou as principais tecnologias utilizadas e como elas funcionam, proporcionando uma visão abrangente do cenário atual.

Conforme discutido ao longo deste trabalho, a transformação digital oferece a promessa de melhorias substanciais na eficiência, na confiabilidade e na produtividade da gestão da manutenção. No entanto, os desafios são inegáveis, incluindo a necessidade de investimentos significativos, questões de segurança cibernética e a adaptação de uma cultura organizacional para abraçar as mudanças.

Para maximizar as oportunidades oferecidas pelas tecnologias emergentes, as empresas precisam adotar uma abordagem estratégica que inclua a definição de metas claras, a seleção das tecnologias adequadas, a capacitação da equipe e a implementação de medidas de segurança. Além disso, é essencial manter um compromisso contínuo com a inovação e a adaptação às mudanças tecnológicas em constante evolução.

Em última análise, a transformação digital na gestão da manutenção é uma jornada que exige planejamento, investimento e uma visão a longo prazo. As empresas que conseguem superar os desafios e abraçar plenamente as oportunidades oferecidas pelas tecnologias emergentes estão bem posicionadas para obter benefícios significativos em termos de eficiência operacional, economia de custos e satisfação do cliente. A transformação digital é um catalisador para o progresso e a inovação, e as empresas que a abraçam de forma estratégica têm o potencial de liderar seus setores e alcançar níveis mais altos de sucesso a longo prazo.

Referências

AOAD NETO, Elias et al. O Impacto Das Tecnologias Digitais Na Eficácia Da Manutenção Preditiva Industrial. **Revista Científica Senai-SP** –Tecnologia, Inovação & Educação, São Paulo, SP, v. 1, n. 2, p.59-83, nov.2022-jan. 2023. Disponível em:< <https://periodicos.sp.senai.br/index.php/rcsenaisp/article/view/26/14>>. Acesso em: 25 de set. de 2023.

ABC FERRAZ. **Transformação Digital Na Manutenção Preditiva**. Disponível em:< <https://abcferraz.com.br/transformacao-digital-na-manutencao-preditiva/>>. Acesso em: 25 de set. de 2023.

BONNET, Didier; MCAFEE, Andrew; WESTERMAN, George. **Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation**. HBR Press, 2014.

DIOGO, Ricardo Alexandre; KOLBE JUNIOR, Armando; SANTOS, Neri dos. **A Transformação Digital E A Gestão Do Conhecimento: Contribuições Para A Melhorias Dos Processos Produtivos E Organizacionais**. P2P &



INOVAÇÃO, Rio de Janeiro, v. 5 n. 2, p.154-175, Mar./Ago. 2019. Disponível em:< <https://revista.ibict.br/p2p/article/view/4384/4018>>. Acesso em: 25 de set. de 2023.

FRACTTAL. **A transformação digital na manutenção**. Disponível em:< <https://www.fractal.com/pt-br/blog/transformacao-digital-na-manutencao>>. Acesso em 26 de set. de 2023.

HAYS. **Um olhar sobre a Transformação Digital na indústria**. Disponível em:< <https://www.hays.com.br/insights-de-mercado/artigo/um-olhar-sobre-a-transformacao-digital-na-industria>>. Acesso em: 25 de set. de 2023.

MAESTRI, Gabriela. **Indústria 4.0 No Setor Têxtil: Diagnóstico Atual, Desafios E Oportunidades Para O Futuro Digital**. Trabalho de conclusão de curso – UFSC. Disponível em:< https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/193235/TCC_Gabriela_Maestri.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 de set. de 2023.

RODRIGUES, Mauricio de Paula. **Transformação Digital**. Trabalho apresentado ao curso MBA em Gestão Estratégica de TI – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:< <https://www15.fgv.br/network/tcchandler.axd?TCCID=6903>>. Acesso em: 25 de set. de 2023.

SANTOS NETO, Manoel Ferreira; LEITE, Denisson Santana; NASCIMENTO, Willem Vieira. **Revisão bibliográfica da manutenção preditiva e seus conceitos de tecnologia atrelados a Indústria 4.0**. Disponível em: <<https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10428/2/RevisaoBibliograficaManutencao.pdf>>. Acesso em: 25 de set. de 2023.



7

ESTRUTURAÇÃO E APLICABILIDADE DA NORMA NR-12 NA
PRESERVAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS NO RAMO DE
PANIFICAÇÃO

STRUCTURING AND APPLICABILITY OF STANDARD NR-12 IN
THE PRESERVATION OF MACHINES AND EQUIPMENT IN THE
BAKERY BUSINESS

Lourivan Souza Bezerra
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Resumo

Nas últimas décadas, houve uma problemática envolvendo de forma exponencial os acidentes de trabalho com máquinas e equipamentos que geralmente são causados por suas más condições, baixo investimento em prevenção, instalação ineficaz dos dispositivos de proteção e/ou segurança necessários exigidos pela NR-12 e preparo insuficiente da máquina e funcionários despreparados para operar tais máquinas e equipamentos. O presente trabalho tem o propósito de estabelecer os princípios norteadores e medidas de proteção pautados na normativa NR-12 para garantir o bem-estar e a integridade física do colaborador para prevenir acidentes laborais durante a operação de máquinas e equipamentos de panificação. O modelo de trabalho a ser demonstrado foi fundamentado numa revisão de literatura, onde foram pesquisados inúmeros livros, dissertações e artigos científicos selecionados por meio de busca nas seguintes bases de dados (livros que discutem o assunto selecionado, sites acadêmicos e banco de dados). As bases definidas foram: *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), periódicos Capes e *Microsoft Academic Search*. O período dos artigos investigados foram as pesquisas publicadas nos últimos 10 anos. As palavras-chave empregadas na busca foram: norma NR-12, máquinas e panificação. A sistematização e os fundamentos da norma regulamentadora NR-12 descritos neste projeto de pesquisa podem ser úteis para a proteção dos colaboradores que operam o maquinário de panificadoras, atendendo os requisitos estipulados nos projetos de máquinas e equipamentos.

Palavras-chave: Panificação, NR-12, Acidentes laborais, Análise de riscos.

Abstract

In recent decades, there has been a problem involving an exponential increase in work accidents with machines and equipment, which are generally caused by poor conditions, low investment in prevention, ineffective installation of the necessary protection and/or safety devices required by NR-12 and insufficient preparation of the machine and employees unprepared to operate such machines and equipment. The purpose of this work is to establish the guiding principles and protection measures based on the NR-12 regulation to guarantee the well-being and physical integrity of employees to prevent workplace accidents during the operation of bakery machines and equipment. The work model to be demonstrated was based on a literature review, where numerous books, dissertations and scientific articles were researched, selected through a search in the following databases (books that discuss the selected subject, academic websites and databases). The bases defined were: *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Capes journals and *Microsoft Academic Search*. The period of the articles investigated were research published in the last 10 years. The keywords used in the search were: NR-12 standard, machines and bakery. The systematization and foundations of the NR-12 regulatory standard described in this research project can be useful for the protection of employees who operate bakery machinery, meeting the requirements stipulated in the machinery and equipment projects.

Keywords: Bakery, NR-12, Occupational accidents, Risk analysis.

1. INTRODUÇÃO

O setor de panificação e confeitaria é uma das maiores indústrias do país, com mais de 63.000 padarias e um faturamento anual de mais de 70 bilhões de reais. Tem 44 milhões de clientes e 779 mil empregos diretos, mantendo um crescimento anual de seis dígitos nos últimos seis anos.

Este setor vive momentos de mudança após a entrada em vigor da Portaria nº 12 do Ministério do Trabalho (dezembro de 2010), que altera o ambiente produtivo das panificadoras com o objetivo de aumentar a segurança dos trabalhadores. A NR-12 especifica que padarias, supermercados com padarias e açougues tenham equipamentos de segurança aprimorados e treinamentos para os operadores.

Apesar de representarem a economia nacional, a maioria das panificadoras são empresas familiares (micro, pequenas e médias empresas) com poucos funcionários e sem foco em inovação tecnológica. Isso significa que a introdução da NR-12 trará estabilidade aos operadores industriais que precisam modernizar seus negócios.

Os acidentes de trabalho com máquinas e equipamentos geralmente são causados por suas más condições, baixo investimento em prevenção, instalação ineficiente dos dispositivos de proteção e/ou segurança necessários exigidos pela norma normativa NR-12 e preparo insuficiente dos funcionários para operar tais máquinas e equipamentos. Nesse sentido, são apresentados novos critérios da nova NR 12 - Segurança do trabalho de máquinas e equipamentos, que foi reformulada no final de 2010, bem como uma revisão bibliográfica dos acidentes de trabalho mais importantes nos últimos anos.

Quando se tenta adequar máquinas e equipamentos inseguros e/ou obsoletos às novas exigências da NR-12, muitas dessas máquinas são condenadas, pois sua construção é antiga e ultrapassada. Redutores inadequados ou desgastados e outras deficiências muitas vezes as inviabilizam. Portanto, conhecer e investigar os riscos associados ao uso deste dispositivo é de extrema importância.

O acidente começa muito antes do processo de produção da empresa e do planejamento das instalações. O projeto escolhido, as máquinas disponíveis e outras escolhas anteriores já afetam a probabilidade de acidentes de trabalho. Nesse sentido, a nova NR-12 estabeleceu que dispositivos de segurança para máquinas e equipamentos fabricados não podem ser opcionais. Isso garantiu uma competição igualitária para os fabricantes, a empresa ganha ou perde com base no conhecimento adquirido na fabricação do equipamento, não na remoção ou instalação de um sistema de segurança. Finalmente, o trabalho preventivo ocorre e começa já na fase de projeto de máquinas e equipamentos.

Este estudo inclui uma compreensão mais ampla dos problemas das máquinas inseguras e obsoletas, porque grande parte das máquinas usadas no país ainda está em uso, mas seu principal objetivo é focar em duas coisas: a presença e uso de máquinas inseguras por falta de dispositivos de proteção ou segurança, pelo uso de máquinas e técnicas obsoletas que contribuam, agravem ou desencadeiem uma situação de risco. Grampos excêntricos ou freios controlados por pedais mecânicos são um exemplo de uma combinação complexa desses dois fatores de risco.

Por muito tempo a NR-12 gerou divergências entre peritos, fiscais do trabalho, fabricantes de máquinas e usuários (donos de máquinas e envolvidos na operação), pois era pouco abrangente, ou seja, gerava muitas dúvidas. Dispositivos de proteção e/ou segurança a serem implantados e outros aspectos (responsabilidades, treinamento etc.) relacio-



nados a todos os profissionais relevantes. A elaboração da norma levou em consideração toda a vida útil da máquina ou equipamento, desde o projeto até a desmontagem, incluindo etapas de documentação, medidas de segurança e manutenção.

Nas últimas décadas, houve uma problemática envolvendo de forma exponencial os acidentes de trabalho com máquinas e equipamentos que geralmente são causados por suas más condições, baixo investimento em prevenção, instalação ineficaz dos dispositivos de proteção e/ou segurança necessários exigidos pela normativa NR-12 e preparo insuficiente da máquina e funcionários despreparados para operar tais máquinas e equipamentos.

Tendo em vista esse cenário, uma justificativa para essa pesquisa foi evitar e mitigar acidentes que são causados por máquinas em padarias. As adaptações que serão feitas de acordo com a norma NR-12 no maquinário serão essenciais no combate aos inúmeros acidentes de trabalho que acometem esse setor, e acabam por acarretar danos irreversíveis no colaborador, gerando um ônus para a rede de saúde e um transtorno para toda a família. A morte, lesões e mutilações de trabalhadores podem ser evitadas com uma simples modificação na estrutura de máquinas e no próprio layout da padaria. Por isso a grande importância de se exigir que a norma regulamentadora NR-12 seja implementada no setor de panificação.

O presente trabalho tem o propósito de definir os princípios norteadores e medidas de proteção pautados na normativa NR-12 para garantir o bem-estar e a integridade física do colaborador para prevenir acidentes laborais durante a operação de máquinas e equipamentos de panificação.

Já os objetivos específicos desse trabalho têm como responsabilidade: analisar procedimentos e métodos da NR-12 para a implementação da mesma em máquinas e equipamentos; investigar proposta de adequação do layout em ambientes de trabalho do setor de panificação; e propor as adequações necessárias em máquinas e equipamentos, melhorando assim, as condições de trabalho na indústria de panificação.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O modelo de trabalho a ser demonstrado foi fundamentado numa revisão de literatura, onde foram pesquisados inúmeros livros, dissertações e artigos de natureza científica selecionados por meio de busca nas seguintes bases de dados (livros que discutem sobre o assunto selecionado, sites acadêmicos e banco de dados). As bases definidas foram: *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*, periódicos Capes e o *Microsoft Academic Search*. O período dos artigos investigados foram as pesquisas publicadas nos últimos 10 anos. As palavras-chave empregadas na busca foram: norma NR-12, máquinas e panificação.

2.2 Resultados e discussão

2.2.1 Procedimentos de segurança em panificadoras

Uma das principais preocupações do Ministério do Trabalho e Emprego é prevenir, evitar ou eliminar a possibilidade de acidentes de trabalho. Os acidentes de trabalho causam sofrimento familiar, danos aos negócios e uma tensão imensurável nas nações. Os acidentes começam muito antes do projeto do processo fabril e da instalação da empresa,

por isso a prevenção é fundamental. Uma vez estabelecidas e iniciadas na fase de projeto de máquinas, plantas e processos de produção, as medidas preventivas fluem com muito mais facilidade e os acidentes são mais improváveis de ocorrer (Mendes, 2001, p. 9).

Quando se trata de prevenir acidentes de trabalho e doenças ocupacionais no trabalho com máquinas, o principal objetivo é dotá-las de dispositivos para preveni-los. Observe que as salvaguardas são apenas parte de uma série de medidas. Muitos passos devem ser tomados para preparar adequadamente a máquina antes da compra, durante a instalação, durante a operação, ao longo de sua vida útil e para todos que entram em contato com a máquina (Zocchio, 2002). Os procedimentos de precaução são:

- a) seleção e compra de máquinas e equipamentos adequados para a obra. Equipado com equipamentos essenciais para a segurança do operador e demais pessoas;
- b) a adaptação técnica desses dispositivos de segurança a peças de máquinas que por qualquer motivo são utilizadas sem medidas básicas de prevenção de acidentes e doenças ocupacionais.

Em relação as instalações do maquinário e das ferramentas, podemos citar determinados procedimentos e normas a serem seguidos para que o local que as mesmas ficarão alojadas se torne mais seguro:

- a) a posição da máquina durante a operação ou em oficinas de manutenção ou outros locais de uso não deve afetar as operações adjacentes;
- b) deve haver espaço suficiente para colocar e mover o material que está sendo processado ou processado;
- c) o nível de iluminação natural ou artificial deve ser compatível com o tipo de trabalho a ser executado (vide: Norma Regulamentadora NR-17 - “Ergonomia” do MTE (BRASIL, 2022), e Norma NBR-5413 - “Iluminação de Interiores”). Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (ABNT, 1992);
- d) a distância mínima entre as máquinas está especificada na NR-12 e corresponde a um espaço livre entre 0,60m e 0,80m (BRASIL, 2022);
- e) a fonte de alimentação que energiza o aparelho deve ser instalada de acordo com as normas técnicas específicas existentes além de atender a NR-10 - “Instalações e Serviços Elétricos” do MTE (BRASIL, 2019).

Os modos de operação, planilhas ou processos das máquinas e o envolvimento nas operações devem ser claramente definidos e divulgados por escrito aos operadores para evitar:

- a) sobrecargas de tensão para a máquina e perigos para o usuário;
- b) desvios do modo de operação também são prejudiciais ao equipamento e para o operador;
- c) improvisações, como tentativas de aumentar a produção, muitas vezes dão errado bem-sucedido;
- d) uso indevido ou inadequado de equipamentos de segurança (Zocchio, 2002). Por mais simples que seja a máquina, ela deve estar pronta para garantir uma atividade segura, de alta qualidade e, portanto, mais produtiva;
- e) conhecer a finalidade das máquinas, mecanismos e pontos que podem produzir acidentes de trabalho ou doenças profissionais;
- f) ter as habilidades e condições físicas que atendem aos requisitos funcionais da

máquina;

- g) identificação dos dispositivos de segurança existentes, sua finalidade e familiaridade como lidar com eles se a segurança depender de sua participação;
- h) gerenciar sistemas de controle e outros sistemas necessários segurança e operações;
- i) sabe identificar problemas ou apenas indícios de problemas na máquina, como sons estranhos, vibração incomum, superaquecimento e se o colaborador é capaz de notar alguma dessas anomalias, denunciar imediatamente supervisor (Zocchio, 2002).

Os melhores índices de segurança operacional, produtividade e qualidade do produto dos equipamentos dependem dos mencionados e são necessários bons serviços de manutenção. Existem diversas formas de proteger uma máquina, mecanismos ou equipamento para que partes potencialmente perigosas não prejudiquem as pessoas, principalmente se o projeto de construção não contemplar a segurança. Essa situação é muito comum em máquinas mais antigas e até mesmo em equipamentos mais novos onde seus dispositivos de segurança são removidos para aumentar a produtividade ou reduzir custos com manutenção (Dragoni, 2011).

A instalação de equipamentos de proteção nas máquinas é fundamental para reduzir ou mitigar os riscos aos trabalhadores. Vários dispositivos podem fazer esse trabalho, como: véu de luz; scanner a laser; bloqueio ótico; controle bi manual; relé de segurança; botão de controle; botoeira; chave de fim de curso.

Um exemplo de proteção muito eficaz são os bloqueios. Essa proteção impede o funcionamento da máquina, mesmo aberta, enquanto ela permanecer aberta. Além dessas salvaguardas, existem muitos cuidados que devem ser tomados dependendo do risco. Existem parâmetros técnicos que dependem dos requisitos de segurança da máquina ou sistema. Escolher a categoria certa mostrará a melhor forma de proteção para seu dispositivo específico (Dragoni, 2011).

2.2.2 Norma Regulamentadora NR-12

A norma NR-12 - “Segurança ocupacional de máquinas e equipamentos” - busca: definir referenciais técnicos, princípios básicos e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos colaboradores; e estabelecer requisitos mínimos para a mitigação de acidentes e doenças ocupacionais no projeto e operação de todos os tipos de máquinas e equipamentos, bem como em sua fabricação, importação, distribuição, apresentação e transferência em qualquer atividade econômica (Brasil, 2022).

No início dos anos 2000, a NR-12 teve que ser rapidamente alterada com requisitos de segurança mais amplos voltados para mais tipos de máquinas e equipamentos para garantir a segurança mesmo em caso de falha. As questões mais importantes que promoveram a mudança foram: desatualização no texto de 1978, ênfase em máquinas e equipamentos; mudança de formato: ênfase na segurança do colaborador; desenvolvimento tecnológico natural (risco x ameaça); desenvolvimento tecnológico em proteção de máquinas (conceito de falha segura); novos regulamentos (nacionais e da OIT); consenso sobre a necessidade de revisão.

Em 2008, o MTE criou um grupo de trabalho de fiscais do trabalho e engenheiros da Fundacentro para discutir alterações na NR-12. Após a redação, o texto-base foi submetido

do à consulta pública por 60 dias. Foi então constituído um grupo de trabalho tripartido com representantes dos empregadores e dos trabalhadores, quatro auditores fiscais e um técnico da Fundacentro. A proposta foi bem acolhida e, após longa discussão, chegou ao documento final publicado pelo Decreto nº 197/2010 (Botelho, 2013) de 24 de dezembro de 2010.

A principal alteração realizada na NR-12 (Portaria SIT nº 197) foi o acréscimo do Anexo VI - “Máquinas para panificação e confeitaria”. Estabelece requisitos específicos de segurança para máquinas de panificação e confeitaria, ou seja, amassadeiras, misturadores, cilindros e máquinas de moldagem, laminador, fatiador de pão, moinho de migalhas.

2.2.3 Acidentes atrelados ao maquinário

Os acidentes de trabalho são ocorrências inusitadas durante a operação deste equipamento, causadas por erros na própria máquina, operadores ou processos. As consequências dos acidentes levam a lesões de trabalhadores, danos a equipamentos, paralisações de produção e perdas humanas, materiais e econômicas para empresas e o país. Pode-se dizer que trabalhar com máquinas tem riscos de acidentes inerentes e não inerentes (Zocchio, 2002). Os perigos inerentes estão associados às características do equipamento, tais como: o prensamento, o agarramento, o atrito, o corte e o perfurante.

Devem ser implementadas salvaguardas adequadas para essas propriedades para eliminar os indicadores de risco ou, se isso não for possível, elevá-los a níveis aceitáveis. Sujeito à lei ou regulamentação aplicável. Existem alguns perigos que não são inerentes ao equipamento. Dispõe-se: ausência de ordem no ambiente laboral; intervenção de terceiros; jornada de trabalho intensa; improvisos; insubordinação do trabalhador.

A ocorrência de acidentes perigosos se deve à falta de gestão da empresa. Existem muitos procedimentos, documentos e instruções. Como gestoras de recursos humanos e físicos, as empresas devem estar envolvidas na criação, adaptação, divulgação, gestão e solicitação de cumprimento. Existem documentos formais que estabelecem as regras que todos devem seguir. É importante enfatizar a importância desses documentos serem verificáveis, confiáveis para garantir que os procedimentos de segurança sejam seguidos (Dragoni, 2011). Empresas que possuem sistemas de gestão da qualidade implantados como a ISO 31.000 e sistemas de segurança como a OHSAS 18.001 podem utilizar com mais facilidade as Instruções de Segurança do Trabalho - IST ou documentos similares.

2.2.4 Efeitos dos acidentes ocasionados no ambiente laboral

A Figura 1 abaixo ilustra resumidamente os custos diretos dos acidentes de trabalho que são de responsabilidade da empresa e do Instituto Nacional do Seguro Social (INSS). Responsável pela saúde dos colaboradores.

Acidentes de trabalho geram danos para o INSS e para a vítima, ocasionando possível lesão física/incapacidade, agitação emocional relativa aos empregadores, gerando paradas de produção, baixa na moral dos funcionários, contas médicas e possíveis processos judiciais.

Os acidentes e os danos catastróficos que eles causam deveriam ser um problema para as empresas há muito tempo, e não há redução de custos quando se trata de segurança do trabalho. Uma política de segurança e saúde ocupacional bem implementada e

uma conscientização corporativa atualizada para a prevenção são fatores decisivos para um empreendimento saudável e economicamente viável. As empresas são construídas para gerar lucro, não perdas, mas o lucro nunca deve superar a vida humana. Para equilibrar capital e trabalho, as empresas devem proteger seu bem mais valioso, seus trabalhadores (Ribeiro, 2023). Um panorama bibliográfico sobre acidentes de trabalho destaca a importância das medidas de segurança destacadas pela norma regulamentadora NR-12. Essa metodologia também descreve várias formas de avaliar o risco de máquinas e equipamentos.

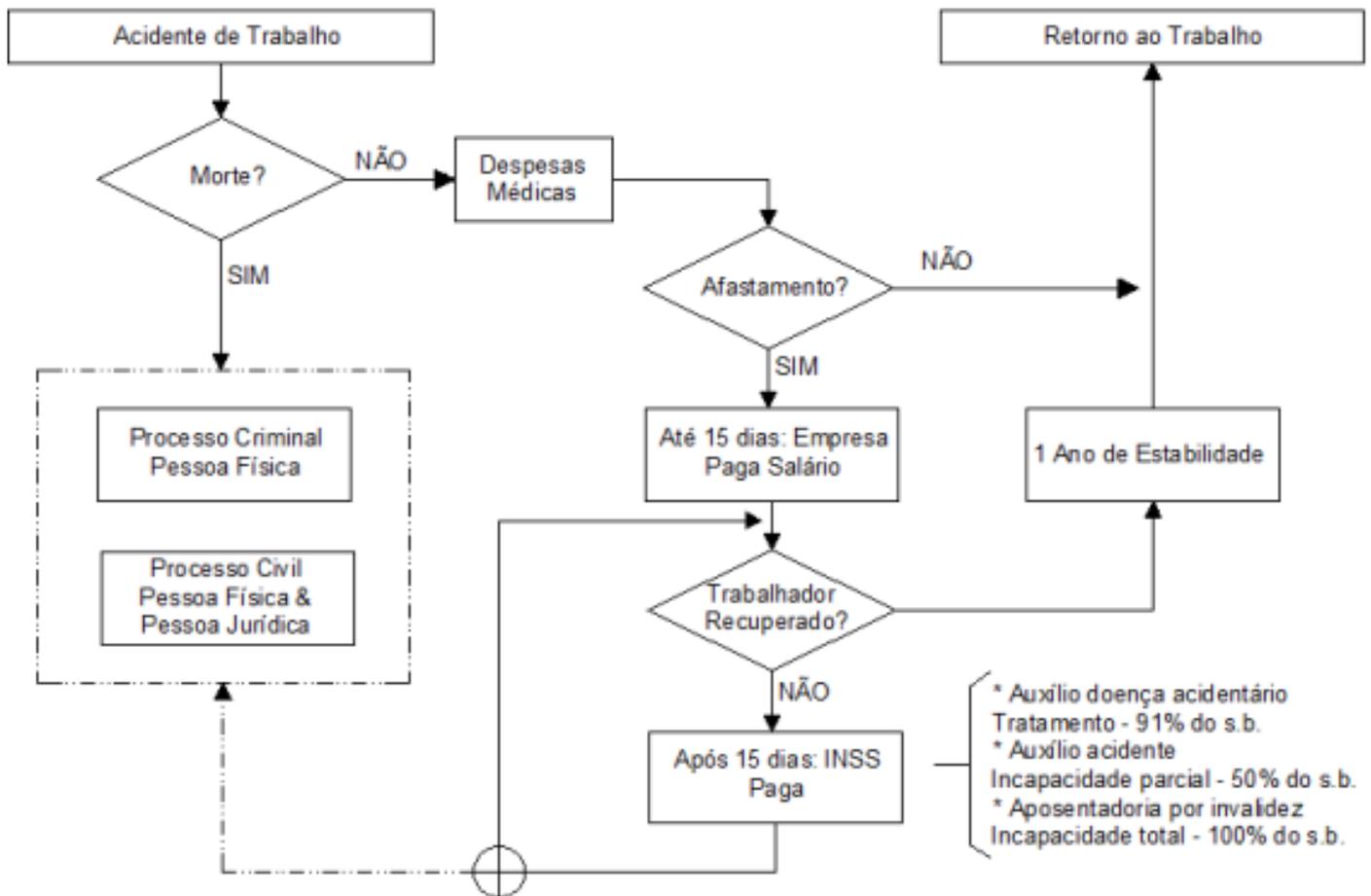


Figura 1. Fluxograma dos custos decorrente dos acidentes laborais

Fonte: Fundacentro (2017)

2.2.5 Layout e ambiente laboral

Dentre as diversas partes da Norma Regulamentadora NR-12 está o tópico “Layout Físico e Instalação”, que regulamenta as normas de instalação de máquinas e equipamentos. A organização física da atividade produtiva diz respeito ao arranjo físico dos recursos transformacionais. Definir o *layout* físico é decidir onde todos os elementos, maquinário, equipamentos e colaboradores da planta estarão localizados dentro da produção (Slack et al., 2009, p. 200).

O layout do setor é um fator determinante na economia e na segurança de uma planta de processos. Algumas das maneiras pelas quais o projeto das instalações promove a segurança e a prevenção de lesões incluem:

- separação dos riscos de acordo com sua categoria;

- b) minimização de estruturas vulneráveis;
- c) prevenção de acidentes;
- d) controle de exposição do colaborador;
- e) construção resguardada e eficaz;
- f) trabalho que proporcione mais segurança e seja eficiente;
- g) procedimentos de manutenção seguros e eficientes;
- h) protocolos no gerenciamento de emergência;
- i) extintores de incêndio de fácil acesso;
- j) acesso rápido a serviços de emergência;
- k) segurança.

Uma abordagem para projetar um layout de fábrica, indústria ou empresa é seguir uma abordagem estruturada para se criar um *layout* em quatro etapas. Que se baseia em uma modelagem tridimensional; fluxo relacionamentos e equipes (Lees Frank; Mannan, 2004, p. 492).

O primeiro passo é criar uma modelagem 3D do espaço que será utilizado por cada dispositivo, equipamento ou máquina. Este modelo também deve incluir instalações adequadas para o acesso amplo do colaborador, acesso para a manutenção e conexões tubulares. O fluxo é então delineado como tendo dois significados: o movimento de materiais em direção a alta prontidão e o fluxo de processos ou materiais de trabalho. Então se tem que definir os relacionamentos. Existe um relacionamento entre dois objetos quando eles compartilham algum fator comum. Estes podem ser identificados observando a planta sob diferentes perspectivas, como processo, operação, mecânica, elétrica, estrutura e segurança. Por fim, é necessário escolher qual das relações identificadas exigem maior prioridade. Depois é possível organizar os itens em grupos (Ali Naqvi, 2016, p. 3).

No ambiente físico, a ligação entre a ameaça e o objeto potencialmente ameaçador é particularmente importante. A minimização do risco alvo é feita separando a ameaça do alvo. Assim, a exigência de separação impõe limites a composição. Aplicar a abordagem descrita anteriormente ou qualquer outra abordagem com o objetivo de efetivar o planejamento do layout da planta pode reduzir o risco real (Slack *et al.*, 2009, p. 216). Algumas abordagens existentes incluem:

- a) categorização, análise e ranking;
- b) estudo global e crítico;
- c) avaliação minuciosa de risco;
- d) otimização financeira.

Para atingir os requisitos de segurança e prevenção de danos de um arranjo físico, é necessário passar pelas fases de projeto e desenvolvimento do arranjo. Essas etapas são necessárias para reduzir o risco de problemas de posicionamento e estão divididas nas seguintes partes:

- a) primeiro nível;
- b) segundo nível;
- c) organização final.

Na primeira etapa são realizadas análises preliminares e fluxo com os principais equi-

pamentos, maquinário, dispositivos e dutos. Uma visão geral do arranjo físico será desenvolvida usando o princípio de controles de fluxo e batentes de distâncias iniciais de partição. Logo após, são considerados elementos secundários, como o armazenamento, os terminais, as utilidades, etc. Na segunda etapa, devem ser consideradas as especificidades da instalação, como requisitos legais, solo e drenagem, condições climáticas, meio ambiente, aspectos ambientais e outros serviços. É basicamente uma repetição da etapa anterior, porém com mais detalhes (Lees Frank; Mannan, 2004, p. 497).

Na última etapa, é o arranjo final onde é desempenhada a análise dos perigos e problemas ecossistêmicos. A permissão de planejamento detalhado é obtida através desta análise.

2.2.6 Método de identificação do risco

Para compreender melhor os conceitos e aplicações das técnicas de detecção de ameaças, é necessário conhecer algumas definições importantes. Um risco é qualquer atividade que possa causar danos. Define-se risco como: “uma situação que pode causar lesão corporal ou danos à saúde, ao meio ambiente ou à propriedade, ou uma combinação deles (ABNT, 2006).

Destes, “Um risco é uma condição ou conjunto de condições que podem causar ou contribuir para lesões ou morte” (Stanton, 2013, p. 145). Um risco é uma propriedade química ou física inerente que pode prejudicar pessoas, propriedades ou o próprio meio ambiente (Hyatt, 2004). No contexto da segurança, o risco também pode ser entendido como uma fonte de perigo iminente. Conforme a ISO Guide 73, uma fonte de risco é um elemento que sozinho ou em conjunto pode proporcionar uma cadeia de eventos perigosos (ISO, 2009).

De acordo com a norma, risco é “uma característica de perigo que contribui para a ocorrência de dano, que, pela combinação da frequência esperada e das consequências desses danos, pode causar danos humanos, ambientais, materiais e/ou danos econômicos” (ABNT, 2006). O risco é definido como o resultado medido de um possível ameaça (consequência) multiplicado pela sua probabilidade de ocorrência (Hyatt, 2004). Risco é a combinação da probabilidade (frequência) de um evento e suas consequências. Este termo é geralmente usado quando há pelo menos uma opção de desencadear consequências negativas. Em alguns casos, o risco surge de um possível desvio de um evento ou resultado esperado (ISO, 2009).

A identificação de risco é denominada como uma lista de características de materiais, sistemas, processos e instalações que podem levar a consequências indesejáveis no caso de um incidente. As corporações devem sempre gerenciar os riscos para evitar acidentes. Os riscos devem primeiro ser identificados e depois os mesmos devem ser avaliados e determinados se são toleráveis ou não. O estabelecimento de funções de gestão de segurança na maioria das outras organizações baseia-se na compreensão dos riscos decorrentes de uma análise de risco eficaz. Uma percepção incorreta de uma ameaça a qualquer instante pode levar à ineficácia de recursos limitados ou o consentimento inconsciente de riscos que ultrapassem a verdadeira tolerância de uma organização ou comunidade (AI-CHE - *American Institute Of Chemical Engineers*, 2023).

A identificação de riscos aponta cenários específicos e os examina detalhadamente (Hyatt, 2004):

- a) Como o acidente pôde acontecer?
- b) Quais são as razões?

- c) O que pode ocorrer?
- d) Quais são os resultados?
- e) Como está a proteção atual contra acidentes e suas consequências?
- f) Quais são as salvaguardas?
- g) Como proceder se alguém não estiver suficientemente protegido?
- h) Que medidas são necessárias?

Análises incorretas podem levar a decisões erradas, e análises excessivas desperdiçam recursos. Diversas ferramentas permitem o nível de análise necessário para a tomada de decisão, tais como:

- a) diagnóstico do instrumento de Perigos e Usabilidade (HAZOP);
- b) diagnóstico da ferramenta “E se”;
- c) diagnóstico da metodologia de Modos e Efeitos de Falha (FMEA);
- d) diagnóstico de verificação (checklists);
- e) diagnóstico do procedimento Inicial de Perigos (APP).

3. CONCLUSÃO

A ausência de formação de muitos colaboradores para manusearem maquinários, a comercialização e emprego de máquinas obsoletas e precárias e a evidenciação de diversos perigos relacionados com o trabalho constituem o descuido e a negligência das empresas relativo a manutenção e a preservação da integridade física dos colaboradores. Nesse aspecto, a NR-12 possibilitou progressos substanciais em termos de requisitos para máquinas e equipamentos abrangendo toda a sua vida útil, desde o projeto até o descarte.

É de suma relevância desenvolver a compreensão dos perigos decorrentes da utilização, e em muitas circunstâncias, a venda destas máquinas inseguras, cuja utilização está atrelada a acidentes laborais graves e incapacitantes com efeitos evidentes para a saúde dos funcionários. Contudo, o que é mais notório destes problemas é a comprovação de que a maioria dos acidentes de trabalho podem ser evitados, minimizados ou completamente eliminados.

A análise de acidentes com o intuito de precaver novos acontecimentos semelhantes foca em identificar as alterações que devem ser efetuadas nos sistemas vinculados à cenários com incidência de acidentes e de forma concomitante detectar as condições do ambiente laboral que admitem o advento desses eventos nocivos. As análises desempenhadas pelas empresas ainda são deficientes e muitas vezes se referem apenas às falhas humanas, uma vez que os fatores mais relevantes estão atrelados a ocorrência de acidentes que não foram identificados, portanto perdurando a frequência elevada desses eventos, causando inúmeros perdas econômicas e sociais.

Compreender todos os riscos presentes e por seguinte mitigá-los é um suporte importante para conferir confiabilidade as máquinas e equipamentos. Procedimentos empregados na análise de risco são realizados após os ajustes dos sistemas de segurança, para assim aferir os riscos residuais existentes. A sistematização e os fundamentos da norma regulamentadora NR-12 descritos neste projeto de pesquisa podem ser úteis para a proteção dos colaboradores que operam o maquinário de panificadoras, atendendo os requisitos estipulados nos projetos de máquinas e equipamentos.



Como propostas futuras, pode-se desenvolver guias práticos para a adaptação de determinados maquinários da indústria de panificação, manuais que permitam uma fácil compreensão e apresentem sem dúvidas os principais acidentes ocasionados por essas máquinas.

Referências

AICHe - AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. **Hazard Identification. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers.** Disponível em: <https://www.aiche.org/topics/understand-hazard-risk/hazard-identification-and-risk-analysis>. Acesso em 15 jul. 2023.

ALI NAQVI, Syed Asad et al. **Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning.** Cogent Engineering, v. 3, n. 1, p. 1207296, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Brigada de incêndio.** Especificação. NBR 14726. Rio de Janeiro, ABNT. 2006. Disponível em: <https://www.inbraseg.com.br/centro-de-treinamento-de-combate-incendio-em-jundiai/nbr-14276-brigada-de-incendio/>. Acesso em 19 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Iluminância de Interiores.** Especificação. NBR 5413. Rio de Janeiro, ABNT. 1992. Disponível em: https://www.academia.edu/14929311/ABNT_NBR_5413_1992_Ilumin%C3%A2ncia_de_interiores. Acesso em 12 jul. 2023.

BOTELHO, M. R. **NR-12: considerações sobre a nova Norma de Segurança.** Revista Proteção, 2013. Disponível em: <https://protecao.com.br/geral/nr-12-consideracoes-sobre-a-nova-norma-de-seguranca/>. Acesso em 20 jul. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-10-nr-10>. Acesso em 13 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-12-nr-12>. Acesso em 14 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 17 - Ergonomia.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-17-nr-17>. Acesso em 18 jun. 2023.

DRADONI, J. F. **Proteção de máquinas, equipamentos, mecanismos e cadeado de segurança.** São Paulo: LTR, v. 8, 2011.

FUNDACENTRO. **Normas de Higiene Ocupacional - NHO06 Procedimentos Técnicos, Avaliação da Exposição Ocupacional ao Calor.** Ministério do Trabalho e Emprego, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/centrais-de-conteudo/biblioteca/nhos>. Acesso em 21 ago. 2023.

HYATT, Nigel. **Guidelines for Process Hazards Analysis,** Hazards Identification & Risk Analysis, 2004.

ISO, I. et al. **Risk management—Principles and guidelines.** International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2009. Disponível em: <https://parsegroup.ir/wp-content/uploads/2021/07/BSI-SO-31000-2009.pdf>. Acesso em 24 jul. 2023.

LEES FRANK, P.; MANNAN, Sam. **Lees Loss Prevention in the Process Industries.** 2004.

MENDES, René et al. **Máquinas e acidentes de trabalho.** Brasília, Brasil: MTE/SIT, 2001.

RIBEIRO, V. T. **O ambiente de trabalho e as perdas materiais.** Disponível em: http://www.liveseg.com/artigos_acid_trab_perd_mat.html. Acesso em: 12 abr. 2023.

SLACK, Nigel et al. **Administração da produção.** São Paulo: Atlas, 2009.

STANTON, Neville A. et al. **Human factors methods: a practical guide for engineering and design.** CRC Press, 2013.

ZÓCCHIO, Alvaro; PEDRO, Luiz Carlos Ferreira. **Segurança em trabalhos com maquinaria.** Editora LTR, 2002.



8

A ATUAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA E PREVENTIVA NA
INDÚSTRIA 4.0: A INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO DA EMPRESA
THE PERFORMANCE OF PREDICTIVE AND PREVENTIVE
MAINTENANCE IN INDUSTRY 4.0: THE INFLUENCE ON THE
COMPANY'S PRODUCTION

Thiago Rodrigues Santos
Paola Silva

Resumo

Os grupos de manutenção no momento que dispõem da cooperação e desempenho dos mantenedores no que tange a exposição dos sintomas observados nas máquinas, executam suas atividades com eficiência, planejando suas tarefas com antecedência para mitigar perdas com as manutenções corretivas, mantendo elevados graus de organização e proteção da continuidade da cadeia produtiva. Na atualidade, se permitiu descobrir e inovar dispositivos que facilitam o trabalho diário na indústria, e os investimentos em manutenção preventiva e preditiva visam reduzir custos de produção e acelerar todo o sistema produtivo. O objetivo geral da pesquisa é fornecer um aprendizado sobre a relevância da manutenção preventiva e preditiva na indústria 4.0 e como o gerenciamento e planejamento desses modelos de gestão participativa visam reduzir os riscos de paradas no chão de fábrica e seus impactos na disponibilidade do maquinário. A manutenção assegura não só a gestão criativa dos procedimentos de manutenibilidade e das tecnologias existentes, mas sobretudo a atitude dos colaboradores face aos problemas e às possibilidades oferecidas pelo maquinário e processos, a que chamamos gestão da qualidade. É uma evolução da concepção de manutenção, que visa maximizar o emprego de ativos industriais suprimindo todas as falhas ou prejuízos, sejam permanentes ou eventuais, detectadas, assimiladas ou não.

Palavras-chave: Gestão industrial, Manutenção preventiva, Manutenção preditiva, Indústria 4.0.

Abstract

Maintenance groups, when they have the cooperation and performance of maintainers with regard to the exposure of symptoms observed in machines, carry out their activities efficiently, planning their tasks in advance to mitigate losses from corrective maintenance, maintaining high levels of organization and protection of the continuity of the production chain. Currently, it has been possible to discover and innovate devices that facilitate daily work in the industry, and investments in preventive and predictive maintenance aim to reduce production costs and accelerate the entire production system. The general objective of the research is to provide learning about the relevance of preventive and predictive maintenance in industry 4.0 and how the management and planning of these participatory management models aim to reduce the risks of downtime on the factory floor and their impacts on the availability of machinery. Maintenance ensures not only the creative management of maintainability procedures and existing technologies, but above all the attitude of employees towards the problems and possibilities offered by the machinery and processes, which we call quality management. It is an evolution of the maintenance concept, which aims to maximize the use of industrial assets by eliminating all failures or losses, whether permanent or occasional, detected, assimilated or not.

Keywords: Industrial management, Preventive maintenance, Predictive maintenance, Industry 4.0.

1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 tem uma relação intrínseca com as revoluções industrial anteriores. A primeira revolução industrial, no final do século XVIII, foi marcada pela transição da produção manual para a mecanização, com a introdução de máquinas a vapor e a fabricação em massa. A segunda revolução industrial ocorreu no final do século XIX e início do século XX, com a eletrificação e a produção em larga escala. A terceira revolução industrial, conhecida como a era da automação, aconteceu a partir da década de 1970, com o surgimento de sistemas de controle computadorizados e a automação de processos industriais. A Indústria 4.0 está construindo sobre essas revoluções anteriores, combinando tecnologias digitais avançadas para criar uma onda de transformação.

Além disso, a Indústria enfatiza a flexibilidade e a personalização na produção, permitindo que as fábricas se adaptem rapidamente às demandas do mercado e produzam bens sob medida. A automação avançada, a robótica colaborativa e a interconexão dos sistemas de produção são aspectos-chave dessa revolução industrial. Em resumo, a Indústria de quarta geração representa uma nova fase de evolução industrial, impulsionada pela convergência de tecnologias digitais e físicas. Ela incorpora os aprendizados e avanços das revoluções industrial anteriores, mas vai além, criando uma forma de produção inteligente, conectada e adaptável.

A problemática que as indústrias enfrentam perante a crescente globalização e competição acirrada, impeliu as mesmas a se capacitarem e optaram por adequar seus processos produtivos em prol da demanda mundial, sendo moldadas de acordo com o período histórico presente. Nesse vigente cenário, os consumidores estão sempre buscando por produtos de alta qualidade e de baixo custo. Considerando as informações citadas no parágrafo acima, ações planejadas e sistemáticas no chão de fábrica, como a implementação de manutenções preventivas e preditivas podem influenciar de forma positiva os sistemas produtivos da indústria 4.0?

Levando-se em consideração esse panorama, uma justificativa para essa pesquisa envolve a análise da utilização de tecnologias de manutenção preventiva e preditiva para que as indústrias e o chão de fábrica se tornem mais competitivos. Utilizando-se estratégias inovadoras para aperfeiçoar a eficiência e o desempenho dos processos de manutenção nas indústrias, é possível fornecer informações cotidianas que estarão presentes nas ordens de serviço (OS) e isso vai se refletir no tempo de execução, nos componentes defeituosos, nos sintomas apresentados, nas causas do defeito, nos serviços realizados e no planejamento do técnico responsável, entre outras informações que serão coletadas e trabalhadas pelo setor com o intuito de melhorar a gestão da empresa.

A indústria é caracterizada pela digitalização, automação e interconexão de sistemas de produção. A gestão da manutenção desempenha um papel fundamental com intuito de garantir a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos e máquinas envolvidas nesse contexto. Utilizando-se ferramentas para monitoramento em tempo real, é possível coletar informações instantâneas dos equipamentos e máquinas através de sensores e dispositivos conectados. Isso permite o monitoramento constante do desempenho e das condições dos ativos, facilitando a detecção precoce de falhas e a tomada de ações corretivas de forma proativa, evitando assim prejuízos e danos a produção de empresa que fazem uso dessa otimização em sua linha de processamento.

A presente pesquisa tem o objetivo de apresentar informações de diversos autores sobre a manutenção preventiva e preditiva visando a otimização dos processos produtivos



nas indústrias 4.0 e assim, compreender todo horizonte de possibilidades envolvidas nesse contexto.

Já os objetivos específicos dessa pesquisa têm como atribuições: descrever os conceitos da indústria 4.0; analisar e apresentar metodologias de manutenções preventivas e preditivas aplicadas na produção de sistemas da 4ª geração industrial; compreender o desenvolvimento e o funcionamento da 4ª geração industrial; e apresentar vantagens e desvantagens da indústria 4.0.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Este estudo será baseado no método descritivo e qualitativo, uma vez que se observou a necessidade de compreensão do sistema de manutenções preditivas e preventivas aplicadas na indústria 4.0, assim como a contribuição dessas para otimização da produção, com base em periódicos técnicos, bibliográficos e documentais já existentes. Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o funcionamento da indústria 4.0 e suas propriedades, assim como pesa manutenção 4.0 e suas ferramentas com intuito de facilitar a compreensão, e apresentar as ideias de forma clara e objetiva sobre o tema neste trabalho apresentado.

Visando compreender como as medidas preventivas e preditivas podem influenciar na otimização da produção dessa geração industrial foi usado importantes plataformas como base de dados e revisão bibliográfica, as normas técnicas, periódicos, notícias e publicações, por eles veiculadas e revisadas. Palavras-chave: Indústria 4.0, Manutenção 4.0, Sistema de Produção.

2.2 Resultados e discussão

2.2.1 Primeira Revolução Industrial

Segundo Allen (2006), as transformações industriais ocorridas desde o século XIX, foram oriundas da primeira revolução industrial ocorrida na Inglaterra, como citado anteriormente nesse trabalho, ela gerou consequências sociais e econômicas devido ao início do processo de mecanização da produção das indústrias têxtil e de outros produtos consumidos, entre eles: vidro, papel, couro, tijolos, entre outros.

O principal resultado foi o desenvolvimento de produtos mais uniformes, com maior durabilidade e a produção em grande escala. Nesse período foram usados conhecimentos pragmáticos e específicos, o que resultou em invenções diversificadas envolvendo a ciência e o mercado ao movimento industrial. Segundo Mokyr e Strotz (1998) as inovações geradas seriam consideradas primárias e sujeitas a aprimoramento tecnológico.

2.2.2 Segunda Revolução Industrial

A segunda revolução industrial foi marcada pelo desenvolvimento das macros invenções da primeira, isto é, houve o aprimoramento das tecnologias, pesquisas científicas e conhecimento prático obtido anteriormente. Algumas áreas tiveram crescimento significativo na sua evolução, entre elas: engenharia de produção, elétrica, química, biologia,

agricultura e transportes.

As microinvenções, assim chamadas, foram resultantes de implementações, ajustes graduais, adições e melhorias. Para Mokyr e Strotz (1998) a lâmpada é exemplo de objeto, sendo ela elétrica incandescente com filamento de carvão criada por Tomas Edison, através de propriedades baseadas na eletricidade. Atualmente existem lâmpadas de diferentes tipos, eletrônicas, alógenas, fluorescentes entre outras, todos resultados de adições tecnológicas e ajustes de acordo com a o mercado e suas necessidades.

Com base em Coelho (2016), o avanço da propriedade da eletricidade, e da criação de máquinas movidas a energia elétrica, serviram para o desenvolvimento industrial mundial, pois gerou avanços econômicos e o desenvolvimento de métodos produtivos. Nesse período facilitou-se o acesso aos produtos, pois antes eles possuíam um alto valor de comercialização ou eram apenas usados em setores industriais. Iniciou-se uma busca pela liderança tecnológica entres os países industrializados, o que antes era presente somente na Inglaterra expandiu-se dispersando o foco científico e tecnológico. Os artesãos, as pequenas fábricas e os criadores serviram de base para aprimoramento das invenções oriundas do seu conhecimento pragmático (Mokyr; Strotz, 1998).

2.2.3 Terceira Revolução Industrial

Conhecida pelo processamento e armazenamento de informações em meio digital e otimização dos meios de comunicação, a terceira revolução industrial é marcada pela revolução digital, pela utilização de semicondutores, automação, computadores e robotização das linhas de produção. Segundo Coelho (2016) os principais exemplos desse avanço foi o desenvolvimento e a disseminação da internet e da telefonia móvel. Ainda na década de 1990 formou-se um complexo industrial formado por alguns segmentos do polo mecânico industrial, o qual estava direcionando demandas para um estágio avançado de integração e automação, visando uma indústria mais programável e flexível, por meio da fusão da mecânica, automação industrial e da computação.

Entre todos os resultados e contribuições desse período Coutinho (2016) destaca o “peso crescente do complexo eletrônico e o novo paradigma de produção - a automação flexível” como os principais fatores para a transformação na área industrial. Segundo ele a indústria eletrônica ganhou frente nesse desenvolvimento, aumentando o número de empregos, formando renda e elevando a participação no valor agregado do produto.

Quando ele relata a automação flexível como um novo paradigma de produção, refere-se à tendência tecnológica voltada a microeletrônica a qual foi impactada. A automação utilizada nesse contexto seria de base eletromecânica e não programável vindas dos contadores, chaves ou relés, tornando-os foco de novas melhorias e aprimoramentos. Esse foi o principal passo para a substituição da eletromecânica pela eletrônica, como principal base de automação. Com isso os conjuntos de processadores e computadores tornaram-se capazes monitorar e guiar um sistema de máquinas ou parte sistema pertencente.

Segundo Coutinho (2016) o sistema de produção passou a funcionar de forma integrada através do uso de: “controladores lógicos programáveis, sensores, medidores digitais, controlados, podendo ser de forma distribuída ou centralizada”. Ele ainda citou diversas melhorias no sistema entre elas:

- a) controle dos processos;
- b) otimização dos fluxos de produção;



- c) melhorias total e parcial de diversos sistemas;
- d) controle em tempo real.

2.2.4 Quarta Revolução Industrial

A quarta revolução industrial é representada pela interconexão de dados, integração e inovação. Espera-se que essa apresente melhorias em processos industriais desde a operação, engenharia, planejamento, controle de produção logística e análise contínua durante o ciclo de vida de produtos e serviços (Qin; Liu; Grosvenor, 2016).

Conforme Menelau *et al.* (2019) a Indústria 4.0 surge subsequente à terceira revolução industrial, na qual as máquinas ainda necessitavam de profissionais específicos para notificarem e corrigirem seus erros ou até mesmo para serem ligadas. Conhecida também como indústria 4.0, termo originado na Alemanha em 2011, referindo-se a uma estratégia que se utiliza do alto crescimento tecnológico e transformam de forma radical a meio de produção da indústria tradicional.

Ela está diretamente ligada a tecnologias de automação industrial e aplicação da inteligência artificial, sendo encontrados também em sistemas de big data, internet das coisas, entre outros. Através do sistema cibernético-físico (CPS) e da internet das coisas (IOT), a indústria alcançará um nível mais elevado de produção, pois o primeiro citado possui uma base dinâmica da manufatura, isto é, acrescenta ao sistema a possibilidade de alterar o projeto inicial do objeto ou produto a qualquer momento.

Para Campos (2020) esse novo sistema a finalidade de proporcionar aos maquinários e sistemas industriais ferramentas e procedimentos de gestão visando a análise e solução de problemas em ambiente fabril, enfatizando dessa as informações relatadas no parágrafo anterior.

Segundo Filho (2008) caracteriza o PCM como “conjunto de ações para preparar, programar, verificar o resultado da execução das tarefas de manutenção contravalores preestabelecidos e adotar medidas de correção de desvios para a consecução dos objetivos e da missão da empresa, usando os meios disponíveis.”

Campos (2020) segue afirmando que o PCM tem por responsabilidade definir a periodicidade dos planos de manutenção bem como os procedimentos existentes nas OS's (Ordens de Serviços), citados anteriormente na introdução desse trabalho.

Esses devem ser verificados pelos técnicos de campo durante a realização do serviço. Sempre operando em alinhamento com a gerência e a disponibilidade do setor de PCP (Planejamento de controle de produção) na criação e revisão da programação das manutenções, visando a menor perda de produtividade por conta de tempo de máquina parada. Segundo Rubmann *et al.* (2015), essa geração industrial é baseada em nove pilares e eles serão fontes para o desenvolvimento tecnológico no setor industrial, são estes:

- a) segurança cibernética;
- b) realidade virtual;
- c) big data;
- d) computação em nuvem;
- e) internet industrial das coisas;
- f) robôs autônomos;

- g) inteligência artificial;
- h) integração do sistema vertical e horizontal;
- i) simulação e impressão 3D.

Conforme Silva (2018) “a manutenção industrial tem avançado na aplicação de ferramentas de gestão de suas operações.” Para o funcionamento das operações e aplicação dos nove pilares citados acima, a manutenção industrial 4.0 permite maior otimização dos resultados e aplicação dos recursos através da manutenção preventiva e preditiva, essa por último citada possui mais ênfase nesse contexto.

2.2.5 Manutenção Preventiva

Segundo A NBR 5462 a qual especifica os tipos de manutenções, no item 2.8.7 da página 7, define-se manutenção preventiva como: “manutenção realizada em intervalos pre-determinados, ou de acordo com algum critério prescrito, destinada a reduzir a probabilidade de falhas ou a degradação do funcionamento de um item. Portanto qualquer ação realizada de forma prévia, com intuito de evitar falhas durante o processo de produção se enquadram como manutenções preventivas.

A manutenção preventiva industrial é uma forma de garantia do aumento da vida útil e da eficiência dos equipamentos. Atualmente essa prática está sendo aperfeiçoada com base na indústria 4.0, a qual prevê o uso de inteligência artificial e outras tecnologias para coletar dados e tomar decisões mais precisas.

O método preventivo é considerado um dos mais importantes, ele consiste no planejamento e na sistemática de revisão, controle e acompanhamento da vida útil dos equipamentos. Sua frequência é periódica e tem o propósito de diminuir ou evitar falhas nas máquinas. O mesmo possui vantagens como:

- a) identificação antecipada de problemas e defeitos para garantir a integridade dos equipamentos;
- b) prolongamento do ciclo de vida útil das máquinas;
- c) aumento da disponibilidade de tempo para pesquisar e analisar novas peças;
- d) redução dos gastos com manutenção, já que a resolução de imprevistos gera mais custos para o negócio.

A manutenção preventiva industrial sofre vários impactos derivados da indústria 4.0. Apesar de muitas fábricas no Brasil ainda estarem iniciando o processo de automação, torna-se imprescindível acelerar o progresso e implementar as novas tecnologias. Dessa forma as empresas conquistarão vantagem competitiva e melhorará seu fluxo de trabalho.

2.2.6 Manutenção Preditiva

Segundo A NBR 5462 a qual especifica os tipos de manutenções, no item 2.8.9 da página 7, define-se manutenção preditiva como: “manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Esse tipo de manutenção tem como função predizer a situação do equipamento e



encontrar falhas no estágio inicial, nessa fase elas ainda não são consideradas prejudiciais ao equipamento ou ao processo de produção, possibilitando o planejamento e programação da eliminação dessa falha. Pougando o tempo e o custo se comparado aos outros tipos de manutenção, porém o investimento inicial é maior. Entre suas principais vantagens e benefícios estão:

- a) antecipar a necessidade de serviços de manutenção do equipamento;
- b) eliminar a chance de desmontagem desnecessária;
- c) aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos;
- d) reduzir as paradas de emergência;
- e) aumentar o aproveitamento da vida útil dos equipamentos e a confiabilidade do desempenho;
- f) determinar previamente interrupções de fabricação.

A diferença entre manutenção preditiva e manutenção preventiva está no conceito de “prever” ao invés de “prevenir”. Quando se previne uma situação, evita-se ao máximo que ela aconteça, mas quando é previsto uma situação, possibilita-se a preparação para ela, sem perdas ou prejuízos na fabricação ou produção.

2.2.7 Manutenção 4.0

A manutenção industrial está em constante transformação, devido às novas tecnologias, com intuito de otimizar cada vez mais os processos produtivos são importantes investir em sistemas que vão auxiliar a indústria a passar por esta transição. Segundo Silva (2016) “objetivo da manutenção é prevenir todas as perdas causadas por problemas nos equipamentos e a equipe de manutenção devem assegurar que todos os equipamentos estejam em boas condições de operação.” A Figura 1 abaixo apresenta as principais vantagens.

BENEFÍCIO DA MANUTENÇÃO 4.0
Redução do custo de manutenção do ativo com peças sobressalentes, materiais e horas extras
Redução nos custos de armazenamento, conservação, preservação e aquisição de peças e materiais;
Melhora na utilização da Mão-de-Obra;
Redução da manutenção preventiva não necessária;
Melhora nos planos de trabalho e manutenções planejadas.

Figura 1. Principais vantagens da manutenção 4.0

Fonte: Silva (2016)

A manutenção industrial 4.0 também apresenta vantagens importantes para a empresa que investe nessas tecnologias e no novo modelo, com base em uma pesquisa desenvolvida pela Maxinst, empresa referência de Tecnologia da Informação (TI), entre essas vantagens pode-se citar:

- a) redução do tempo desde o evento de falha até a tomada de ação, dessa forma é reduzido o impacto na disponibilidade, no custo de manutenção e operação dos ativos e cadeias produtivas;

b) vantagem estratégica sobre o seu concorrente, uma vez que terá capacidade de produção, com qualidade, baixo custo e prazo de entrega.

Segundo Borlindo (2017) uma fábrica inteligente define-se como aquela que “trabalha na máxima eficiência enquanto as máquinas inteligentes interligadas entre si, colaboram entre elas, com os trabalhadores, com os fornecedores e clientes e com a cadeia analítica e dinâmica criada para se autocontrolar.”

A Figura 2 a seguir ilustra um comparativo com relação à Internet das coisas, exemplificando o sistema que Borlindo (2017) se referia. A gestão da manutenção na indústria 4.0 vem para auxiliar de maneira dinâmica o funcionamento contínuo do setor secundário.

A internet das coisas (IoT) é uma inovação tecnológica que ofertou elementos eletrônicos munidos com inteligência onipresente cada vez mais presente em nossas vidas diárias. Com essa progressiva imersão tecnológica, parece cada vez mais perspicaz investir em segurança da informação, pois dados de cunho confidencial circulam pela rede sem a devida proteção adequada e sua possível violação pode ocorrer a danos de forma irreparável (Grüdtner, 2017).

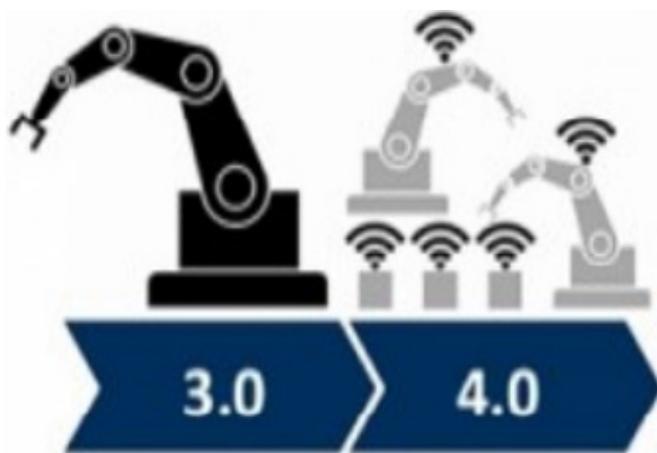


Figura 2. Comparativo com relação à Internet das Coisas

Fonte: Editora Ciência Moderna Ltda. (2008)

Tudo se torna ainda mais atraente devido à convergência de duas esferas tecnológicas distintas: a tecnologia da informação (TI) e a tecnologia operacional (OT) para uma indústria digital altamente interconectada, vinculando sistemas de fabricação cibernética e a cadeia de suprimentos com aplicações industriais de IoT habilitada por plataformas industriais. A computação em nuvem atrelada à internet das coisas mudará a forma como armazenamos e transmitimos volumosas quantidades de dados tanto na indústria quanto no âmbito doméstico (Blanchet *et al.*, 2014).

2.2.8 Sistemas informatizados de comunicação

As redes de comunicação industriais são um modelo de automação que consiste em protocolos informatizados utilizados para monitorar e controlar cadeias produtivas como ocorre em processos de gerenciamento de manutenção. A manutenção preventiva e preditiva são procedimentos que possibilitam prevenir potenciais incidentes ou falhas em ativos e sistemas produtivos utilizando diversas ferramentas. As novas tecnologias instaladas para implementar estes processos incluem a internet das coisas, análises avançadas e inteligência artificial. Estas tecnologias proporcionam medir, analisar e mensurar parâmetros de monitoramento que permite uma tomada de decisão mais assertiva em

relação aos ativos e ao ambiente de chão de fábrica. O prognóstico e a prevenção precoce de falhas ou avarias de infraestruturas, ativos ou maquinários asseguram uma intervenção imediata e conseqüentemente uma retenção de gastos, tornando as atividades laborais da indústria mais eficientes (Da Silva, 2018).

A intercomunicação das manutenções preventiva e preditiva voltadas para a indústria 4.0 devem ter algumas funções peculiares para atender às necessidades de comunicação em tempo real. Além do mais, devem suportar ambientes agressivos com muito ruído eletromagnético e fatores ambientais adversos. Ao se empregar a comunicação informatizada no chão de fábrica, dois setores principais podem ser desassociados: comunicação em nível de campo e comunicação com SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Em ambas as situações, a transferência de dados ocorre em tempo real, ou no mínimo com um atraso que não é expressivo em comparação com os tempos de processo, com possibilidade de se tornar crítico no nível de campo. De acordo com o ambiente industrial em que tais estruturas estejam alocadas, serão exigidos diversos modelos de redes (Wollschlaeger; Sauter; Jasperneite, 2017).

3. CONCLUSÃO

A manutenção se sustenta numa abordagem de extrema relevância na gestão de ativos industriais, ponderando suas limitações sistêmicas e gerenciando os maquinários e equipamentos e para tal, se utiliza de metodologias refinadas. A coleta e exame de dados reduzem os custos, aumentam a confiabilidade e melhoram o gerenciamento no chão de fábrica. Diante de um cenário cada vez mais desafiador, a indústria 4.0 se mostra notoriamente mais relevante, permitindo identificar limitações até outrora indetectáveis, com o intuito de reduzir despesas e elevar a confiabilidade do maquinário industrial, pois a tecnologia informatizada empregada na cadeia produtiva está intimamente envolvida com esse desenvolvimento.

A manutenção preventiva e preditiva demonstra ser mais eficazes para conduzir os ativos industriais. A manutenção preventiva é realizada de acordo com um cronograma pré-determinado, cujo objetivo é prevenir o surgimento de falhas por meio de inspeções regulares. A manutenção preditiva emprega metodologias de análise de dados que visam identificar potenciais erros e eliminá-los antes mesmo que ocorram, permitindo a realização de operações planejadas. Com a utilização de indicadores, que detêm função primordial na manutenção, avaliam a disponibilidade da máquina, as despesas de manutenção, o tempo médio entre falhas, o tempo médio de reparo, a confiabilidade, a taxa de produtividade, e o tempo médio de produção.

Essas ferramentas ajudam a monitorar o desempenho de máquinas e equipamentos, avaliar possíveis manutenções e buscar melhorias. O estudo e o entendimento de tais indicadores é de suma importância para avaliar a eficácia dos processos de manutenção preventiva e preditiva. A incorporação da Indústria 4.0 atrelada a tecnologia de conectividade é um grande avanço neste tipo de pesquisa e desempenha um papel fundamental na análise de dados e na tomada de decisões assertivas. Graças a esta revolução tecnológica, novos métodos foram e estão sendo desenvolvidos na industrial.

De forma geral, existem vários efeitos positivos quando se atrela conectividade aos modelos de manutenção preventiva e preditiva vigentes na indústria 4.0, como o aumento da disponibilidade e confiabilidade do maquinário, redução de gastos, prorrogação da vida útil dos ativos do chão de fábrica, aprimoramento da segurança, otimização de recursos, satisfação do consumidor e apoio à tomada de decisões estratégicas. Estes benefí-

cios contribuem para o êxito operacional e financeiro de uma indústria e tornam a gestão eficaz na manutenção uma peça fundamental da estratégia corporativa.

Referências

- ALLEN, Robert C. **The British Industrial Revolution in Global Perspective: How Commerce Created the Industrial Revolution and Modern Economic Growth**, forthcoming, April 2009. 2006.
- BLANCHET, Max et al. **Industry 4.0: the new industrial revolution. How Europe will succeed**. Munique: Roland Berger Strategy Consultants GmbH, 2014.
- BORLINDO, David José Araújo, **Indústria 4.0 - Aplicação a Sistemas de Manutenção**. Porto, Portugal, 2017 (Dissertação de mestrado, Faculdade de engenharia, Universidade do Porto). CAMPOS, Ronaldo Ribeiro de; SANITÁ, William Matheus, **PCM, planejamento e controle da manutenção**. 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/791/505>. Acesso em: 15 maio 2023.
- COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Rumo à Indústria 4.0**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016.
- COUTINHO, Luciano. **A terceira revolução industrial e tecnológica. As grandes tendências das mudanças**. Economia e Sociedade, Campinas, SP, v. 1, n. 1, p. 69–87, 2016. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ecos/article/view/8643306>. Acesso em: 12 jul. 2023.
- DA SILVA, EDSON PEREIRA. **A TRANSIÇÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL PARA O MODELO DO NOVO PARADIGMA DA INDÚSTRIA 4.0**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Paulista.
- DIAS, Ana Valéria Carneiro; SILVA, Pedro Paulo; TROPIA, Célio Eduardo Zacharias, **INDÚSTRIA 4.0: UMA CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317475373_Industria_40_um_a_caracterizacao_do_sistema_de_producao. Acesso em: 10 maio 2023.
- FILHO, G. B. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna Ltda. 2008.
- GRÜDTNER, Lukas Derner. **Segurança no contexto de IoT e Fog Computing**. Depto. de Informática e Estatística da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2017.
- KON, Anita. NOVA ECONOMIA POLÍTICA DOS SERVIÇOS. São Paulo, Brasil, 2015 (Livro). LIMA, Elon Vieira; SILVA, Daniela dos Santos da, **O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0**. Ponta Grossa, 2019. Disponível em: http://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/09302019_100936_5d920250791a4.pdf. Acesso em: 25 out. 2020.
- MENELAU, Sueli; MACEDO, Francisco Guilherme Lima; CARVALHO, Patrícia Lacerda de; NASCIMENTO, Thiago Gomes; JÚNIOR, Antônio Deusany de Carvalho. **Mapeamento da produção científica da Indústria 4.0 no contexto dos BRICS: reflexões e interfaces**. Cadernos EBAPE.BR. 2019, (FGV, Fundação Getúlio Vargas).
- MOKYR, Joel; STROTZ, Robert H. **The second industrial revolution, 1870-1914**. Storia dell'economia Mondiale, v. 21945, n. 1, 1998.
- Norma NBR 5462/2014. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/eavargas2512/nbr-5462-2>. Acesso em: 26 out. 2020.
- QIN, Jian; LIU, Ying; GROSVENOR, Roger. **A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond**. Procedia cirp, v. 52, p. 173-178, 2016.
- SILVA, Maria Inês Tavares, **Melhoria de processos e manutenção inteligente de ferramentas no âmbito da indústria 4.0**. Porto, Portugal, 2016 (Dissertação de mestrado, Faculdade de engenharia, Universidade do Porto). SILVA, Edson Pereira da, **A TRANSIÇÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL PARA O MODELO DO NOVO PARADIGMA DA INDÚSTRIA 4.0**. São Paulo, 2018 (Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em engenharia de produção, Universidade Paulista-UNIP).
- WOLLSCHLAEGER, Martin; SAUTER, Thilo; JASPERNEITE, Juergen. **The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0**. IEEE industrial electronics magazine, v. 11, n. 1, p. 17-27, 2017.



9

RELEVÂNCIA E ANÁLISE DO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO DE
ULTRASSOM NA PRESERVAÇÃO DA JUNTA SOLDADA
RELEVANCE AND ANALYSIS OF NON-DESTRUCTIVE
ULTRASOUND TEST IN THE PRESERVATION OF WELDED JOINTS

Caroline Costa De Souza
Rodrigo Bacarin

Resumo

A problemática que mais afeta as juntas soldadas são as discontinuidades. Esses defeitos são sempre indesejáveis porque ameaçam a integridade estrutural, o desempenho, a competitividade, a qualidade do projeto e dos componentes, uma vez que os defeitos estruturais podem surgir de defeitos como a fadiga induzida por trincas. O objetivo deste artigo é argumentar em relação a confiabilidade do ensaio ultrassônico e mostrar porque este ensaio é o mais adequado especificamente para a inspeção de juntas soldadas, pois pode facilmente detectar imperfeições nas mais diferentes posições e direções, superando assim as limitações das juntas soldadas e de alguns outros ensaios, como o de raios-x. O modelo de pesquisa a ser apresentado foi baseado em revisão de literatura, onde foram pesquisados livros, dissertações e artigos escolhidos por meio de busca nas bases de dados: *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*, periódicos *Capes*, *Microsoft Academic Search* e o *HighBeam*. O exame de ultrassom supera limitações evidenciadas por outros ensaios porque esse método, quando bem adaptado, é capaz de detectar discontinuidades em muitas posições e orientações com muito mais facilidade se comparado a outros ensaios. Esta pesquisa permitiu aprofundar a compreensão técnica e teórica em relação ao ensaio de ultrassom aplicado a juntas soldadas, o que é relevante para a rotina de um engenheiro mecânico ou de materiais, levando em consideração que os campos mais atuantes de um engenheiro é a caracterização e análise de materiais, controle de qualidade e a manutenção de ativos.

Palavras-chave: Soldagem, Ultrassom, Propriedades dos materiais, Indústria.

Abstract

The problem that most affects welded joints are discontinuities. These defects are always undesirable because they threaten structural integrity, performance, competitiveness, design and component quality, as structural defects can arise from defects such as crack-induced fatigue. The objective of this article is to argue regarding the reliability of the ultrasonic test and show why this test is the most suitable specifically for the inspection of welded joints, as it can easily detect imperfections in the most different positions and directions, thus overcoming the limitations of welded joints and of some other tests, such as x-rays. The research model to be presented was based on a literature review, where books, dissertations and articles were researched, chosen through a search in the following databases: *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*, *Capes journals*, *Microsoft Academic Search* and *HighBeam*. Ultrasound examination overcomes limitations highlighted by other tests because this method, when well adapted, is capable of detecting discontinuities in many positions and orientations much more easily compared to other tests. This research allowed us to deepen the technical and theoretical understanding in relation to the ultrasound test applied to welded joints, which is relevant to the routine of a mechanical or materials engineer, taking into account that the most active fields of an engineer are the characterization and material analysis, quality control and asset maintenance.

Keywords: Welding, Ultrasound, Material properties, Industry.



1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as organizações intensificaram a busca por soluções para assegurar a integridade e confiabilidade de seus materiais e maquinário. Durante a produção, especialmente em processos de soldagem, deve-se ter cuidado porque esta operação elenca muitos fenômenos físicos e metalúrgicos, tais como, fusão, solidificação e deformação, que podem causar sérios problemas.

Os procedimentos de ensaios não destrutivos desempenham um papel importante na apreciação da integridade de produtos e maquinário em áreas tão diversas como Marinha, Petroquímica, Siderúrgica, Aeroespacial, entre outras. As mais relevantes razões para usar ensaios não destrutivos são proporcionar a qualidade do produto, evitar acidentes e perda de vidas e elevar os ganhos dos fabricantes. Os testes não destrutivos mais importantes são, por exemplo, ultrassom, líquido penetrante, corrente parasita, radiografia, partículas magnéticas e teste visual. A confiabilidade dos ensaios está atrelada a correlação entre a característica de interesse e a propriedade realmente mensurada e para tanto, é necessário levar em consideração o material, o método de produção e o modo de utilização do dispositivo.

A soldagem é o principal método de ligação permanente de equipamentos na indústria, também é feita na restauração de estruturas, cujo objetivo é garantir a continuidade das propriedades físicas, químicas e metalúrgicas quando ele conecta componentes. Portanto, deve haver uma junta soldada confiável, livre de defeitos comuns como trincas, mordedura, falta de depósito, falta de fusão, inclusões de escória, porosidade, garganta insuficiente, etc. O objetivo dos testes não destrutivos é revelar descontinuidades internas, subterrâneas e superficiais, localizar dimensões de possíveis defeitos em diferentes classes de materiais, metálicos e não metálicos, desde que não comprometa seu uso diário e futuro.

Tendo em vista essa conjuntura, uma justificativa para essa pesquisa é possibilitar uma compreensão sobre defeitos estruturais que acometem as juntas soldadas e demonstrar como a utilização da inspeção ultrassônica é uma ferramenta de suma importância para a inspeção industrial, se mostrando um método necessário para o controle de qualidade do produto final. Capaz de identificar descontinuidades cada vez com dimensões menores, a inspeção ultrassônica ganhou credibilidade no controle de qualidade industrial, fornecendo um teste de alto rendimento, alta sensibilidade e confiabilidade assertiva para se detectar e analisar os resultados. Por ser uma técnica amplamente utilizada no chão de fábrica, tal conhecimento é de vital relevância para engenheiros e comunidade acadêmica, pois proporciona conhecer as influências do processo de soldagem e como o ensaio de ultrassom pode ser um forte aliado na localização de defeitos de soldagem, garantindo maior confiabilidade dos elementos soldados.

A principal problemática que acometem as juntas soldadas são as descontinuidades, que são uma quebra na normalidade esperada da peça, essa imperfeição não é necessariamente um defeito, mas com os critérios de aceitação, essas quebras podem ser chamadas nessa classificação. Esses defeitos são sempre indesejáveis e perigosos porque ameaçam a integridade estrutural, o desempenho, a competitividade, a qualidade do projeto e dos componentes, uma vez que os defeitos estruturais podem surgir de defeitos como a fadiga induzida por trincas. Em vista disso, indaga-se: Como o ensaio de ultrassom poderia se mostrar uma ferramenta superior na detecção de defeitos estruturais das juntas soldadas?

O objetivo deste artigo é argumentar em relação a confiabilidade do ensaio ultrassô-

nico e mostrar porque este ensaio é o mais adequado especificamente para a averiguação de juntas soldadas, pois pode facilmente detectar quebras planas nas mais diferentes posições e direções, sobrepujando assim as restrições das juntas soldadas e de alguns outros métodos de ensaios, tais como, o de raios-x. Já os objetivos específicos dessa pesquisa são: descrever os métodos de ensaio não destrutivos mais comumente usados e as vantagens e desvantagens de cada método; estudar e compreender os fundamentos do teste de ultrassom.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O modelo de pesquisa a ser apresentado foi baseado numa revisão de literatura, onde foram pesquisados vários livros, dissertações e artigos de caráter científico escolhidos por meio de busca nas seguintes bases de dados (livros que tratam do assunto específico, sites acadêmicos e banco de dados). As bases escolhidas foram: *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Periódicos Capes, *Microsoft Academic Search* e o *HighBeam*. O intervalo dos artigos pesquisados foram as pesquisas publicadas nos últimos 10 anos. As palavras-chave empregadas na busca foram: ensaios não destrutivos, ultrassom e soldagem.

2.2 Resultados e discussão

2.2.1 O processo de soldagem

A soldagem é definida como a técnica de junção de dois ou mais componentes para formar um todo, garantindo a continuidade dos materiais e suas propriedades mecânicas e químicas. A soldagem ocupa um lugar importante no processo de junção de componentes devido ao seu amplo uso e alta atividade (Führ, 2012). O processo de soldagem deve atender aos seguintes requisitos: remover a contaminação das superfícies a serem unidas; garantir o controle da transformação de fase para que a solda atinja as características físicas, químicas ou mecânicas desejadas (Houldcroft, 1977).

A soldagem tem muitas vantagens, incluindo: grande economia de tempo e materiais, articulações mais fortes e muito mais, mas ela também tem as seguintes desvantagens: potencial para tensões e deformações. Afirmam que a energia de soldagem é importante no processo de soldagem quando a transferência de calor para a peça é muito alta. Um componente não pode suportar condições metalúrgicas que alterem suas propriedades. No entanto, se a energia for muito baixa, a taxa de resfriamento será muito lenta para ajudar a unir a junta (Modenesi *et al.*, 2012).

2.2.2 Defeitos relacionados a soldagem

Um fenômeno de defeito ou descontinuidade é uma falha estrutural típica de um elemento soldado. Caracterizada por falta de uniformidade nas propriedades físicas, mecânicas ou metalúrgicas dos materiais. Essa condição depende da aplicação pela qual o componente passa e geralmente é designado pela comparação de descontinuidades verificadas ou características medidas com níveis declarados em especificações ou projetos (Modenesi, 2001). O principal problema frequentemente enfrentado é ocorrência de condições adversas imprevistas, como erros nos procedimentos de soldagem, que não têm



efeito óbvio, mas criam descontinuidades, como concentrações de tensão que, em última análise, reduzem a vida útil dos componentes (Sanches, 2010). Os defeitos são categorizados da seguinte forma:

- a) ausência de fusão: os defeitos de fusão (FF's) são considerados uma poderosa fonte de concentradores de tensões que provocam a iniciação e propagação de áreas de falha (trincas) nos materiais, além de reduzir a área efetiva da seção transversal das juntas soldadas. Ocorre quando a ligação entre o metal depositado e o metal base é insuficiente. Pode ocorrer em paredes chanfradas, chanfros próximos à raiz ou entre caminhos em zonas fundidas (Brandi, 1997);
- b) ausência de penetração: a falta de descontinuidade de penetração (PF) indica um erro na obturação articular. Essa natureza de descontinuidade reduzem a seção utilizável da junta de solda e criam concentrações de tensão (Marques *et al.*, 1991);
- c) porosidade: impurezas presentes na área da junta (umidade, óleo, graxa, etc.) bem como correntes de ar durante a soldagem também podem aprisionar bolhas de ar no metal de solda durante o processo de solidificação. Essa descontinuidade pode ser uniformemente distribuída, agrupada, alinhada ou semelhante a um verme. A porosidade até o tamanho e distribuição especificados é aceita por soldadores e padrões de qualificação (Marques *et al.*, 2016);
- d) trincas: O termo trinca refere-se a uma ruptura localizada da estrutura interna de um material que pode não atender ou ser causada pelas exigências causadas pela concentração local de tensões causadas pelo processo de soldagem (Wainer *et al.*, 1992). Pode ocorrer quando o material solidifica, quando a junta de solda esfria, durante o tratamento térmico para alívio de tensões ou meses após a soldagem (Marques *et al.*, 2016);
- e) mordedura: O rebaixo ocorre perto da borda da solda e é evidente quando a superfície da placa se funde no metal base. A mordedura às vezes é permitida, mas essa é uma descontinuidade perigosa. Além dessas descontinuidades, eles reduzem a área útil da estrutura, levando a concentrações de tensões que podem levar à perda de resistência às demandas cíclicas (fadiga) (Brandão, 2021);
- f) inclusão por escória: A contaminação por escória ocorre devido à presença de partículas metálicas ou não metálicas provenientes dos eletrodos ou do fluxo retido na zona de alto ponto de fusão. À medida que ocorre a solidificação, as inclusões são retidas na zona fundida. Esse tipo de descontinuidade é considerado tão prejudicial quanto a porosidade, no momento que se encontra acima dos valores padrão da norma, de acordo com o *American Society of Mechanical Engineers (ASME)/ American National Standards Institute (ANSI) B 313/1987*.

2.2.3 Ensaios não destrutivos

De acordo com a Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos (ABENDI, 2018) trata dos ensaios não destrutivos como uma técnica utilizada na inspeção de componentes e dispositivos para detectar defeitos e descontinuidades com o objetivo de melhorar a indústria e a sociedade e prevenir acidentes. Defeito é apenas aquele que torna uma peça inutilizável devido à sua natureza, tipo, tamanho, localização ou efeito cumulativo, por não atender aos requisitos mínimos de aquisição da norma aplicável. Já a descontinuidade é uma quebra na estrutura típica da estrutura em termos de uniformidade de propriedades físicas, mecânicas ou metalúrgicas (Andreucci, 2018).

O ensaio não destrutivo é uma técnica de análise de falhas amplamente utilizada na indústria para identificação e verificação funcional da natureza mecânica. Apesar das muitas vantagens dos ensaios não destrutivos, seu investimento é caro, muitos utilizam consumíveis e são manuseados apenas por profissionais certificados (Leite, 2014). Os ensaios não destrutivos incluem métodos que podem fornecer informações sobre a natureza dos defeitos em um determinado produto, propriedades técnicas dos materiais e métodos que podem monitorar a degradação de componentes, dispositivos e estruturas em serviço. Eles são amplamente utilizados nos setores de petróleo/petroquímica, química, aeroespacial, siderúrgica, construção naval, máquinas elétricas e outras indústrias (Santos, 1999).

Selecionar as técnicas e métodos de teste não destrutivos mais adequados requer um conhecimento geral dos métodos mais comumente usados na indústria e vários parâmetros de materiais ou produtos para analisar. Por exemplo: propriedades esperadas do defeito (morfologia, tamanho, localização), tipo de material a ser testado (condutor, isolante, homogêneo ou poroso), acessibilidade e condições de teste (ou seja, possibilidade de encaixe de sondas, temperatura operacional do material sendo testado acessibilidade da área inspecionada) (Meyendorf, 2022).

É enorme o número de métodos de ensaios não destrutivos que possuem aplicabilidade na inspeção e até mesmo realizar medições em distintos modelos de materiais e dispositivos. É grande e continua a crescer à medida que os pesquisadores continuam a encontrar novas maneiras de aplicar a física e outras disciplinas científicas para desenvolver métodos de ensaios cada vez mais sofisticados. Os testes não destrutivos mais comumente usados são inspeção visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrassom, radiografia industrial e correntes parasitas (Meyendorf, 2022).

2.2.4 Ensaio por ultrassom

Detectores de falhas ultrassônicos foram usados na indústria por volta da década de 1960, mas desde a década de 1930, as investigações de fenômenos de onda em materiais sólidos se aprofundaram para incluir rachaduras, fendas, porosidade, descontinuidades internas, medições de espessura e agora detectam análises de propriedades de materiais. A evolução da tecnologia do ultrassom como ensaio não destrutivo é acompanhada principalmente pelo desenvolvimento da eletrônica e posteriormente dos computadores (Silva, 2022).

Os primeiros trabalhos com ultrassom foram desenvolvidos em países da Europa e nos Estados Unidos, e tem sido utilizado com sucesso em diversas áreas para testes e levantamentos de diversas estruturas. Seus principais usos são: medição de distância, espessura, verificação de defeitos no material e corrosão, identifica erros na geometria do objeto e muito mais. Quando as ondas ultrassônicas encontram descontinuidades ou defeitos internos em meios elásticos, elas são refletidas. As ondas refletidas do interior da peça sob investigação são detectadas pelo transdutor, permitindo a localização e/ou profundidade das descontinuidades, conforme mostra a Figura 1 (Andreucci, 2018).

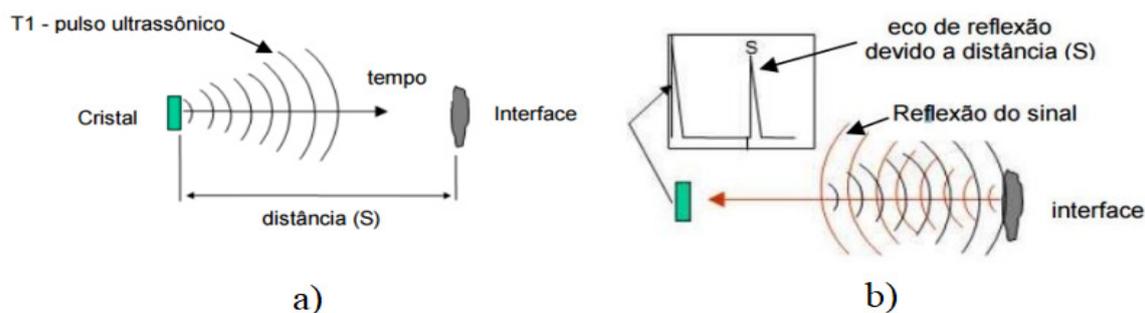


Figura 1. Vistoria do material por ultrassom. a) propagação da onda b) sua recepção

Fonte: Andreucci (2018, p. 39)

A inspeção ultrassônica é superior a outros métodos não destrutivos, como alta penetração, permitindo detectar defeitos em grandes profundidades. Alta precisão na determinação da posição e dimensões das discontinuidades e alta portabilidade (Santin, 2003).

2.2.5 Modelos de ondas ultrassônicas

Uma onda se caracteriza como longitudinal quando as partículas que se encontram no meio à qual ela se propaga vibram na mesma direção que a onda se propaga nesse meio. Esse modelo de onda é capaz de se propagar em meios sólidos, líquidos e gasosos. É a onda que apresenta maior velocidade de propagação (Andreucci, 2022).

Uma onda se caracteriza como transversal quando as partículas do meio circundante à qual ela se propaga oscilam de forma perpendicular à direção de propagação da onda. Diante disso, os planos das partículas que se encontram no meio da propagação preservam a mesma distância entre si. Não são capazes de se propagarem em meios líquidos e gasosos porque não existem ligações mecânicas nesses ambientes. Sua velocidade de propagação é de cerca de metade da velocidade de uma onda longitudinal. Este modelo de onda é empregado em experimentos com transdutores angulares (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Uma onda se caracteriza como de superfície quando possuem propriedades de se propagar em uma superfície. Decorrente do complexo movimento vibracional das partículas na superfície, a velocidade de propagação de uma onda superficial entre duas fases distintas é de aproximadamente até 10% menor que a de uma onda de característica transversal. Uma onda que não tem componente normal e se propaga paralelamente à superfície e transversal à direção de propagação da onda é denominada de ondas *Love*. Esse modelo de onda é usado para avaliar camadas finas e revestimentos (Andreucci, 2022).

Uma onda se caracteriza como *Lamb* quando se propagam de forma paralela à superfície da amostra e têm um movimento especificamente elíptico. Ocorrem quando o comprimento de onda está adjacente a espessura da amostra e podem ocorrer em placas, tubos e fios (Hellier, 2013).

2.2.6 Processo de ultrassom *Phased Array*

A tecnologia não destrutiva de ultrassom *Phased Array* usa os mesmos preceitos do ultrassom tradicional para detectar discontinuidades internas em uma ampla variedade de materiais em substituição ao método de ultrassom manual e a radiografia, com registro de 100% do setor inspecionado. Essa tecnologia contemporânea de ultrassom nasceu

na área médica e foi trazida no começo da década de 1980 para a área industrial, em especial no ramo da soldagem, trazendo enormes avanços na área de inspeção. Ao mesmo tempo, ocorreu o progresso de materiais piezo compósitos, que possibilitaram a fabricação de sensores *Phased Array* com formatos complexos (Olympus, 2023). Alguns atributos atraentes para a soldagem estão diretamente relacionados às características de exame do ultrassom *Phased Array*, que são (Martin, 2012):

- a) velocidade: a inspeção ultrassônica *Phased Array* permite que se faça a varredura eletrônica com velocidades de varredura muito mais rápidas do que a varredura no modelo mecânico e ainda mais rápidas do que a varredura no estilo manual;
- b) flexibilidade: um cabeçote de modelo *Phased Array* pode abranger uma ampla gama de aplicações, ao contrário de cabeçotes ultrassônicos convencionais;
- c) regulagem eletrônica: a calibração é feita simplesmente baixando-se um arquivo. Diferentes variáveis de configuração são possíveis com distintos tipos de arquivos;
- d) cabeçotes pequenos: em algumas aplicações, o acesso é o maior problema e um cabeçote *Phased Array* detém dimensões reduzidas e pode equiparar-se a vários cabeçotes convencionais individuais.

2.2.7 Métodos de inspeção

Para detectar uma descontinuidade no material, o inspetor responsável deve dominar diversas técnicas. Essas técnicas são fornecidas logo abaixo:

- a) modulação da frequência: é o antecessor do método de eco de pulso. Neste procedimento, os pulsos de ultrassom são enviados como pacotes de ondas, cuja frequência muda linearmente ao longo do intervalo de tempo. A oscilação de frequência é repetida como “pacotes” de ondas sucessivas, de modo que o diagrama de frequência versus tempo forneça um aspecto dente de serra. Existe um atraso entre pacotes sucessivos. Os ecos aparecem na tela do aparelho somente se possuírem determinadas características de acordo com os protocolos dos circuitos eletrônicos do aparelho. Apesar de não ser tão amplamente utilizado quanto o procedimento de eco de pulso, dispõe uma relação sinal-ruído menor e, portanto, uma resolução um pouco maior (Hellier, 2013);
- b) pulso de eco: nessa metodologia, apenas um sensor é designado por enviar e receber ondas ultrassônicas que se espalham pelo material. Quando o pulso encontra uma superfície com característica reflexiva, toda ou uma fração da energia é refletida. A energia do feixe de onda refletido é simétrica ao tamanho da descontinuidade e à direção de seu feixe (eco) e depende da direção da superfície refletora. O sensor converte o pulso de tensão em um pulso de vibração de natureza mecânica com uma frequência quase igual à tensão alternada especificada. Uma oscilação mecânica é inserida no material e percorre a amostra com a velocidade do som, que se modifica de acordo com o modelo de material. Quando o pulso ultrassônico atinge uma superfície reflexiva perpendicular à direção de deslocamento, a energia ultrassônica é refletida e devolvida ao sensor ao longo do mesmo percurso e na mesma velocidade que o pulso emitido. Passando pela chave até o sensor, o pulso de retorno obriga o elemento do sensor a oscilar, o que induz uma tensão elétrica variável através do transdutor, que por sua vez é amplificado e viaja até o mecanismo de exibição. Este processo é repetido para cada pulso de transmissão e recepção (Handbook, 2021);

- c) processo de transparência: dois sensores separados são usados, um enviando e outro recebendo ondas ultrassônicas. Os sensores devem ser fixados em ambos os lados da peça em linha perfeita. Este teste não permite a localização, extensão ou localização da ruptura na peça, mas apenas determina se a ruptura está presente ou não. Pode ser implementado em placas, soldas ou barras. A espessura da descontinuidade não pode ser determinada, mas pode ser usada como método de referência porque a altura do sinal recebido se modifica conforme o tamanho e número de descontinuidades. Portanto, o inspetor não pode analisar as particularidades das indicações, mas relaciona a queda do eco com um material sem descontinuidades e define os modos de aceitação (Andreucci, 2023);
- d) processo de imersão: os procedimentos de varredura por contato são utilizados em especial para varrer pequenos setores de dispositivos para inspeção residencial e elementos grandes que não podem ser testados em imersão. Os procedimentos de imersão são muito mais rápidos e apropriados do que a varredura de grandes setores de chapas metálicas, tubulações e materiais forjados durante o processo de fabricação. As técnicas evoluíram para formas automatizadas que atribuem vantagens em relação aos testes manuais, incluindo melhores condições no acoplamento, ângulos de feixe variáveis, desvio de interface e superioridade na resolução para aplicações de frequência mais alta. A desvantagem desta técnica é que a instalação do sistema de teste é mais difícil e a formação de bolhas de ar dificulta o processo (Andreucci, 2023; Hellier, 2013).

2.2.8 Vantagens do processo de ultrassom

O método de ensaio por ultrassom desenvolve uma tarefa relevante na preservação e controle de qualidade da junta soldada. Dentre as vantagens do ensaio não destrutivo utilizando o método por ultrassom, podemos caracterizar alguns (Pereira, 2013):

- a) a inspeção pode ser feita dando-se início na superfície e as descontinuidades dentro do material podem ser detectadas e medidas;
- b) ele pode ser usado para identificar descontinuidades internas de materiais e descontinuidades superficiais;
- c) pode ser utilizado para medir a espessura de diversos materiais e verificar o desgaste natural ou a corrosão do material;
- d) descontinuidades de tamanho reduzido podem ser detectadas;
- e) existem inúmeras técnicas de inspeção que permitem examinar uma gama mais ampla de dimensões e materiais;
- f) permite testes em dispositivos de difícil acesso;
- g) o ensaio pode ser feito em altas temperaturas se for utilizado equipamento específico;
- h) o dispositivo é portátil, leve e simples de se manusear.

3. CONCLUSÃO

O processo industrial mais importante para reparo e fabricação de dispositivos metálicas pode ser considerado a soldagem, que é um procedimento muito versátil que permi-

te unir diferentes ligas metálicas nas mais diferentes espessuras. O processo de soldagem é adequado tanto para ambientes de chão de fábrica quanto para diferentes ambientes, a título de exemplo, a soldagem subaquática. Finalmente, a soldagem pode ter um preço competitivo e ser muito lucrativa para as indústrias.

Por contemplar um processo que abrange aquecimento acentuado e localizado na área a ser unida, ocorrem tensões residuais e distorções ao decorrer da junta. Estes resultados, em conjunto com a geração de descontinuidades, podem degradar a qualidade dos elementos soldados e até originar a sua falha prematura. As descontinuidades produzidas no processo de soldagem são capazes de ser superficiais, subsuperficiais e internas, podendo ser de diferentes tamanhos e orientações. Os testes não destrutivos têm sido amplamente utilizados em processos industriais para atender aos requisitos de alta qualidade e confiabilidade das juntas soldadas.

O exame de ultrassom supera limitações evidenciadas por outros ensaios porque esse método, quando bem adaptado, é capaz de detectar descontinuidades em muitas posições e orientações com muito mais facilidade do que em outros ensaios. Esta pesquisa permitiu aprofundar a compreensão técnica e teórica em relação ao ensaio não destrutivo de ultrassom aplicado a juntas soldadas, o que é relevante para a rotina de um engenheiro mecânico ou de materiais, levando em consideração que os campos mais atuantes de um engenheiro é a caracterização e análise de materiais, a área de controle de qualidade e a manutenção de ativos.

Para trabalhos futuros, pretende-se abordar outros tópicos com estudo de caso atrelado aos procedimentos desenvolvidos, investigando com maior sofisticação esse ensaio em elementos com junta soldada. E elaborar outro projeto bibliográfico sobre ensaios de ultrassom em conciliação com outros ensaios no campo industrial.

Referências

- ANDREUCCI, Ricardo. **Aplicação industrial:** ensaio por ultrassom. São Paulo: Abendi, 2018.
- ANDREUCCI, Ricardo. **Aplicação industrial:** ensaio por ultrassom. São Paulo: Abendi, 2022. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1_TeIVCJMUCm0V_gDnWHhQOpAaDjYsZta/view. Acesso em: 23 ago. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO- ABENDI. **Guia ABENDI 2018:** Ensaios Não Destrutivos e Inspeção, 2018.
- BRANDÃO, José Eduardo S. A. **Tecnologia da Soldagem.** Belo Horizonte: PUC Minas, 2021.
- BRANDI, Sérgio Duarte. **Metalurgia da soldagem:** descontinuidades. Soldagem, 1997.
- FÜHR, Tiago Alexandre. **Reconhecimento e avaliação dos riscos ambientais gerados nos processos de soldagem de uma empresa do segmento metal mecânico.** 2012.
- HANDBOOK, A. S. M. **Nondestructive evaluation and quality control.** American Society of Metals, Metals Park, Ohio, USA, v. 17, 2021.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física.** Vol. 2. Grupo Gen-LTC, 2016.
- HELLIER, Charles J. **Handbook of nondestructive evaluation.** McGraw-Hill Education, 2013.
- HOULDCROFT, Peter Thomas. **Welding process technology.** Cambridge University Press, 1977.
- LEITE, João Pereira et al. **Técnica não destrutiva para análise da interação de linhas de campo magnético e material.** 2014.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem:** fundamentos e tecnologia. 3ª Edição. Editora UFMG, 2016.
- MARQUES, Paulo Villani et al. **Tecnologia da soldagem.** Belo Horizonte: ESAB, 1991.



- MARTIN, C. C. **Ultrassom**. São Paulo: Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção - ABENDI, 2012.
- MEYENDORF, Norbert. **Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0**. Springer, 2022.
- MODENESI, Paulo J. **Descontinuidade e inspeção em juntas de solda**. Apostila. Belo Horizonte: UFMG, 2001.
- MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo V.; SANTOS, Dagoberto B. **Introdução à metalurgia da soldagem**. Belo Horizonte: UFMG, 2012.
- OLYMPUS. **Tutorial do Phased Array**, 2023. Disponível em: <https://www.olympus-ims.com/pt/ndt-tutorials/phased-array/>. Acesso em: 15 set. 2023.
- PEREIRA, João Adriano Vieira. **Estudo e Aplicação de Ensaios Não Destrutivos. Líquidos penetrantes, Ultrasons, Radiografia digital-Técnica tangencial medição de espessuras**. 2013.
- SANCHES, R. A. **Defeitos em solda detectáveis através de inspeção visual**. 63p. Monografia. Centro Universitário Luterano de Manaus-CEULM, Manaus, 2010.
- SANTIN, J. L.; **Ultrassom: Técnica e Aplicação**, 2ª ed, LTDA, Curitiba, 2003.
- SANTOS, J.F. Oliveira. **Ensaio Não Destrutivos**. Portugal, Lisboa, 1999.
- SILVA, Igor Abraão de Abreu Ribeiro. **Métodos de inspeção por ensaios não destrutivos: treinamento e capacitação interna para uma empresa**. 2022.
- WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; DE MELLO, Fabio Decourt Homem. **Soldagem: processos e metalurgia**. Editora Blucher, 1992.



10

CALOR E FLUIDOS DE FREIO HEAT AND BRAKE FLUIDS

Aleksandro Cantanhêde Pires
Paola Silva

Resumo

Quando os freios são usados, calor é gerado pelo atrito entre as peças. Parte desse calor vai para o fluido de freio. Se o fluido é aquecido acima de seu ponto de ebulição, o vapor pode danificar o freio. O fluido de freio é feito de material sintético ou semissintético. Ele tem 3 características importantes: não se comprimir, resistir a altas temperaturas e absorver água. Diante disso, surgiu a necessidade de discorrer sobre o tema, tendo em vista que o mesmo se tem tornado cada vez mais recorrente. Além disso, o objetivo geral para o desenvolvimento desse trabalho é compreender a real importância dos fluidos de freio e as consequências geradas por não o utilizar demonstrando suas vantagens e desvantagens. A metodologia utilizada foi por meio de uma revisão de literatura. Logo, com os resultados obtidos conclui-se que o desenvolvimento desse trabalho tente o sistema de freio de um carro é projetado para funcionar mesmo em condições adversas. Ele usa inibidores de corrosão para evitar que as partes metálicas se desgastem. A força aplicada no pedal do carro é transmitida para as pastilhas e pastilhas do sistema, permitindo que o carro freie.

Palavras-chave: Fluido. Calor. Atrito. Freio. Hidráulico.

Abstract

When brakes are used, heat is generated by friction between the parts. Some of this heat goes to the brake fluid. If the fluid is heated above its boiling point, the vapor can damage the brake. Brake fluid is made of synthetic or semi-synthetic material. It has 3 important characteristics: it does not compress, it resists high temperatures and it absorbs water. In view of this, the need arose to discuss the subject, considering that it has become increasingly recurrent. In addition, the general objective for the development of this work is to understand the real importance of brake fluids and the consequences generated by not using them, demonstrating their advantages and disadvantages. The methodology used was through a literature review. Therefore, with the results obtained, it is concluded that the development of this work tries to the brake system of a car is designed to work even in adverse conditions. It uses corrosion inhibitors to prevent metal parts from wearing out. The force applied to the car's pedal is transmitted to the pads and pads of the system, allowing the car to brake.

Keywords: Fluid. Heat. Friction. Brake. Hydraulic.

1. INTRODUÇÃO

A indústria automobilística tornou-se popular a partir de 1914, quando os automóveis foram produzidos em massa. A Adler Standard foi uma das pioneiras na utilização de óleo hidráulico em sistemas de freios de automóveis, pois os sistemas de freio originalmente utilizados não eram eficientes.

Os sistemas de freio hidráulico provaram ser tão eficazes que ainda hoje são usados. A tecnologia dos sistemas de freio hidráulico permanece praticamente a mesma até hoje, mas os fluidos são tecnologicamente mais avançados. Vale ressaltar também que ele desempenha o papel de transmitir a pressão aplicada ao pedal do freio para a pastilha e a pastilha do freio, e atua em conjunto com o disco e o tambor para a frenagem. Também serve como lubrificante do sistema.

Diante dessa perspectiva, fica claro o quão importante é o estudo sobre o tema, tendo em vista que ele vem ocupando cada vez mais espaço na sociedade e dessa forma sua discussão permite que a sociedade tenha maior conhecimento sobre. Além disso, é importante destacar os aspectos positivos que fornece a comunidade científica, pois seu estudo permite e abre portas para desenvolvimento de trabalhos futuros.

Com isso, nota-se que o fluido de freio atua transferindo a pressão exercida no pedal do freio para as pastilhas e sapatas de freio, e atua em conjunto com os discos e tambores para frenagem. Além disso, também atua como lubrificante do sistema. Desse modo, surge a seguinte problemática quais os benefícios gerados por meio da utilização de fluidos de freio?

O objetivo geral para o desenvolvimento desse trabalho é compreender a real importância dos fluidos de freio e as consequências geradas por não utilizá-lo demonstrando suas vantagens e desvantagens. Para isso foi necessário traçar os seguintes objetivos específicos identificar os principais conceitos relacionados a calor e fluido, além disso, entender a atuação dos fluidos nos freios, por fim, compreender as principais vantagens e desvantagens da utilização dele.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa utilizada nesse trabalho foi uma revisão de literatura, onde foram pesquisados livros, dissertações e artigos científicos selecionados através de busca nas seguintes bases de dados (livros, sites de banco de dados etc.). Análise numérica da influência de defletores de ar no resfriamento de freios à tambor (AMARAL, 2018), da distribuição da temperatura em um disco de freio utilizando pastilhas de freio de diferentes materiais (TORRES, 2020) e Comparativo Automobilístico: Manutenção Preventiva e Corretiva (OLIVEIRA, 2020), entre outras. O período dos artigos pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos 5 (cinco) anos. As palavras-chave utilizadas na busca são: Freio, calor e fluido.



2.2 Resultados e Discussão

De acordo com Torres (2020), calor e fluido estão amplamente relacionados. Isso ocorre porque os fluidos são substâncias continuamente deformáveis que fluem sob a ação de forças tangenciais que sofrem alterações de temperatura durante a execução do trabalho, principalmente quando utilizados na engenharia de sistemas de freios hidráulicos. Ao estudar esse assunto, o mais importante é a segurança das pessoas no uso do automóvel.

O fluido para o freio é o sangue vital de qualquer sistema de freio hidráulico e é o que faz o sistema operar adequadamente”, o sistema de freios automotivo funciona baseado na incompressibilidade dos líquidos onde todo o conjunto mecânico recebe pressão por meio do sistema hidráulico por um líquido (fluido de freio) quando o pedal de freio do veículo é acionado (JANK, 2018).

Além disso, Amaral (2018), nos automóveis, o sistema de freio é muito importante e serve para desacelerar ou parar o veículo, fazendo com que a energia cinética do veículo seja convertida em calor devido ao atrito entre o mecanismo de freio e as rodas. Para que isso seja eficaz, a força gerada pelo mecanismo de freio deve atuar no sentido oposto ao das rodas, fazendo com que o veículo pare devido ao atrito entre os pneus e o solo.

A função de um pedal de freio é transmitir a pressão exercida sobre o pedal para o hidroavião que aproveita também a pressão gerada pelo trabalho do motor por esse motivo quando o motor do veículo não está em funcionamento o pedal do freio fica mais pesado. Atendendo as solicitações mecânicas e térmicas do sistema eles devem atender diversas exigências; fluir livremente em temperaturas superiores a 200°C mantendo resistência a evaporação, fluir livremente a -40°C (sem congelar), evitar corrosão das partes metálicas do sistema e não agredir as partes de borracha pertencentes ao cilindro mestre pois estarão em contato direto (BOTELHO, 2016).

Dessa forma, Souza (2017), destaca que no princípio os primeiros fluidos eram a base de óleos minerais e vegetais, mas com aumento da necessidade de rendimento nas frenagens era preciso aumentar o investimento em novas tecnologias para poder suportar a altas temperaturas surgiu-se a necessidade de desenvolver fluidos com maiores características.

Outro ponto que faz a diferença é a versão com fluido de freio. Cada carro, dependendo do design e da proposta, requer um tipo específico de fluido. Existem três tipos no mercado: DOT 3, DOT 4 e DOT 5. O primeiro é utilizado em automóveis de passageiros e veículos leves. No entanto, segundo Mário Augusto Martins Kunigk, proprietário de uma das lojas Varga especializadas em freios, os carros 0 km já saem de fábrica com DOT 4, que é mais seguro por ter uma temperatura de ebulição mais alta (ALMEIDA, 2015).

Moraes (2019), destaca que o Nível DOT 5 Ideal para veículos de alto desempenho, como SUVs e carros de corrida. Em outras palavras, se você não souber escolher o aditivo certo a usar, a eficiência da frenagem poderá ser prejudicada. Outro problema comumente encontrado é o superaquecimento do sistema de freio. Isto é resultado da inclinação. Nessas condições, o sistema de freio fica sob muito estresse e o fluido ferve. “Isso cria bolhas de ar”, explica Mario. Portanto, quando você pressiona o pedal do freio, as bolhas de ar são comprimidas, reduzindo a pressão da pastilha no disco do freio e diminuindo a eficiência da frenagem. Portanto, quanto maior o ponto de ebulição do fluido de freio, mais eficiente ele será.

O fluido de freio tem papel fundamental no sistema de frenagem dos veículos e é responsável por sua eficiência. Tem a função de transmitir a pressão exercida no pedal do freio para acionar as pastilhas. Em contato com os discos, estes criam um atrito que reduz a rotação das rodas e faz com que o veículo freie. Além disso, o líquido lubrifica e evita a

corrosões das peças (OLIVEIRA, 2020).

Dessa forma, Dantas (2019), isso indica que, em nível nacional, o fluido de freio hidráulico atende à norma NBR 9292 do Instituto Brasileiro de Normas Técnicas (ABNT). Esta norma especifica como o fluido de freio pode ser analisado adequadamente, levando em consideração sua viscosidade, ponto de ebulição e alcalinidade. ; Silicone e óleo mineral para freios hidráulicos

(DOT5.1), (DOT4), (DOT3) todos para uso não abaixo de -40°C levando em consideração que não se tem nenhum local em nosso continente que registre temperatura abaixo disso.

Os fluidos atuais são produzidos a partir de combustíveis fosseis utilizando-se de glicólicos, éteres e ésteres junto com ácido bórico. A combinação se faz essencial no controle da alcalinidade para não ocorrer a corrosão do sistema por onde flui o fluido até a parte mecânica se sofrera ação do calor. O único tipo de fluido que atualmente não passa pela NBR 9292 é o (DOT5.2) base de silicone por se tratar de algo recém-lançado (BARBOSA, 2017).

De fato, os estudos redigidos por Chaves (2019) os grupos hidroxila presentes nas moléculas do fluido de freio hidráulico permitem a formação de ligações de hidrogênio que são responsáveis pela natureza específica dessas mudanças térmicas. Especificamente, os poliglicóis são álcoois poli-hídricos porque possuem dois grupos hidroxila na mesma molécula. Mais um momento para formar ligações de hidrogênio dentro da molécula.

É importante citar que, essas ligações podem ser detectadas e posteriormente usadas no desenvolvimento de uma ferramenta capaz de fazer a leitura dessas ligações e assim determinar se o fluido está com sua capacidade térmica comprometida afim de gerar um rápido diagnóstico

Ademais, segundo Chaves (2019) a manutenção de troca de fluido de freio hidráulico nunca deve exceder 60 mil km rodados ou 2 anos. Mas esse número pode variar conforme cada fabricante e/ou veículo. A maneira mais eficaz de saber quando fazer a troca do fluido de freio hidráulico é levar o veículo para fazer uma inspeção de troca do fluido.

Produtos de baixa qualidade absorvem mais água, o que pode causar a formação de muitas bolhas. Eles também podem causar oxidação em peças metálicas que contaminam o fluido e encurtam sua vida útil. Produtos com alta compatibilidade de materiais e tecnologias diferenciadas garantem a proteção do sistema hidráulico de freio e embreamento contra depósitos e corrosão (BARBOSA, 2017).

De acordo com Jank (2018), a indústria automobilística tornou-se popular a partir de 1914, quando os automóveis foram produzidos em massa. A Adler Standard foi uma das pioneiras na utilização de óleo hidráulico em sistemas de freios de automóveis, pois os sistemas de freio originalmente utilizados não eram eficientes.

Os sistemas de frenagem hidráulicos provaram ser tão eficientes que ainda hoje aparecem, a tecnologia do sistema de freio hidráulico permanece praticamente a mesma até hoje, mas os fluidos estão se tornando cada vez mais tecnológicos. Vale pontuar que ele serve para transferir a pressão exercida no pedal do freio para as pastilhas e sapatas de freio, e atua em conjunto com os discos e tambores para frenagem. Além disso, também atua como lubrificante do sistema (ALMEIDA, 2015).

O trabalho atual neste sentido consiste em compreender quais as precauções que devem ser tomadas para garantir a eficácia dos travões, identificar as melhores tecnologias desenvolvidas até à data e compreender se os fluidos do sistema de travagem hidráulico

sofrem aquecimento devido à fricção do sistema. resolver apenas por pesquisa (BARBOSA, 2017).

Discorrer sobre esse tema é mais que necessário pois, os fluidos de freio, é algo que deve ter uma atenção redobrada para o mesmo, pois, caso o fluido de freio tenha expirado, uma das possíveis consequências é a absorção de umidade no fluido, o que cria uma espécie de ar e compressão no sistema. É normal que o pedal abaixe também, pois fica difícil bombear o material para as rodas na quantidade ideal (ALMEIDA, 2015).

Também é importante notar que as preocupações com a segurança dos fabricantes de automóveis aumentam a cada ano, à medida que os usuários finais de seus produtos consideram testar antes da compra. Por exemplo, bons freios são muito importantes. Então, essa é a pesquisa que está acontecendo aqui. Ao mesmo tempo, podemos constatar a grande relevância deste trabalho, pois permite-nos compreender melhor todo o sistema, que sofre muito com os efeitos do tempo e do calor gerados pelo atrito entre as partes mecânicas de todo o sistema de frenagem, que, conseqüentemente, pode ferver e causar grandes danos não só às próprias peças, mas também às cada um individualmente. Lidar com um dos aspectos mais importantes da segurança do veículo (TORRES, 2020).

O sistema de frenagem, responsável pela redução da velocidade, é o principal mecanismo de desaceleração de um veículo. O correto funcionamento do kit é fundamental para a segurança do motorista, passageiros e terceiros para evitar acidentes por mau desempenho de frenagem (ALMEIDA, 2015).

Além disso, Amaral (2018), ele diz que o sistema pode contar com vários mecanismos para otimizar o desempenho da frenagem. Porém, em automóveis de passeio, funciona com base no atrito entre peças, como o contato entre pastilhas e discos de freio, uso de óleo hidráulico e princípio de Pascal. Este princípio basicamente significa que a pressão aplicada ao ponto de equilíbrio do fluido é completamente transmitida a todos os pontos.

Quando o fluido atingir o nível mínimo indicado em seu recipiente, é aconselhável realizar as seguintes verificações: espessura da pastilha, espessura do disco de freio e possíveis vazamentos no circuito (tubulação, cilindro mestre e pinça). O fabricante TRW, por exemplo, recomenda uma troca a cada 12 meses ou a cada reparo (BARBOSA, 2017).

3. CONCLUSÃO

O fluido de freio é um líquido hidráulico que liga o motorista aos discos de freio. É usado para garantir a segurança e estabilidade do veículo. É geralmente pequeno, de cor clara com uma tampa escura, e se localiza na parte do motorista do carro. O reservatório de fluido de freio está conectado ao cilindro mestre, que parece um pequeno bloco de metal ou um tubo atrás do motor.

Com isso, percebe-se que foi possível responder ao problema da pesquisa: Quais os benefícios gerados por meio da utilização de fluidos de freio automotivos? a grande importância desse processo onde o sistema de freios é um dos componentes de segurança mais importantes de qualquer veículo. Manter os freios regulares é importante para a segurança. Freios têm propriedades absorventes que podem absorver umidade do ar. A umidade pode suavizar o líquido no freio com o tempo. Para garantir segurança e proteção, é importante fazer substituição completa dos freios.

Somado a isso, os fluidos de freio são importantes para a segurança ao dirigir. Eles têm vantagens e desvantagens. O calor e os fluidos desempenham um papel importante. Se não forem usados, isso pode causar problemas. Esta é a importância dos fluidos de freio.

Entender os principais conceitos relacionados ao calor e aos fluidos, bem como a atuação dos fluidos nos freios e suas vantagens e desvantagens, é essencial para alcançar os objetivos.

Além disso, é necessário destacar que quando os freios são acionados, o calor é gerado pelo atrito entre as peças do freio e parte desse calor é transferido para o fluido de freio. Se o fluido for exposto a temperaturas acima de seu ponto de ebulição, ocorrerá vaporização dentro do tubo, o que pode resultar em falha parcial ou total da frenagem. O nível de fluido de freio não deve cair muito quando o veículo está parado. Se isso acontecer, pode indicar desgaste ou, em casos piores, um vazamento. Se o nível estiver baixo, isso pode exigir o uso de peças e sistemas do veículo, o que resulta em queda de desempenho e desgaste desnecessário do motor.

Diante do que foi apresentado, aponta-se que o estudo desse tema é importante, pois ocupa cada vez mais espaço na sociedade e sua discussão permite que a sociedade conheça mais sobre o tema. Além disso, é importante destacar os aspectos positivos que oferece à comunidade científica, pois seu estudo permite e abre portas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

Referências

- ALMEIDA, Douglas Santos; SILVA, Juliano Domingues; SOUZA, Adalberto Dias. **Análise da Gestão de Estoque de uma micro empresa de autopeças de Campo Mourão-PR: uso da classificação ABC dos materiais.** Revista Foco, v. 8, n. 1, p. 21-38, 2015. 113 p.
- AMARAL, Lucas do et al. **Análise numérica da influência de defletores de ar no resfriamento de freios à tambor.** 2018. 145 p.
- BARBOSA, Victor Almeida Cotta et al. **A influência do processo produtivo na qualidade final de pastilhas de freio automotiva.** 2017. Dissertação de Mestrado. 190 p.
- BOTELHO, Lucas Nascimento. **Projeto básico de um dinamômetro de baixo custo.** 2016. 10 p.
- CHAVES, Débora Ferreira. **Perícia em incêndio veicular: análise dos elementos técnicos do Manual de Perícia em Incêndios e Explosões do CBMDF.** 2019. 234 p.
- DANTAS, Kainã Vieira et al. **Dimensionamento de freios para veículos baja SAE: estudo de caso cactus baja.** 2019. 113 p.
- JANK, Alisson et al. **ANÁLISES E VALIDAÇÕES TÉRMICAS DO SISTEMA DE FREIO DE UM VEÍCULO OFF-ROAD DO TIPO BAJA.** Anais do Salão de Ensino e de Extensão, p. 268, 2018. 345 p.
- MORAES, Izak Max da Costa. **Análise de manutenção de uma frota numa empresa de locação de máquinas de estética.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 98 p.
- OLIVEIRA, Matheus Nepomuceno; CINTRA, Nathália Cedro; GOMES, Fábio Souza. **Comparativo Automobilístico: Manutenção Preventiva e Corretiva.** Anais do SIMPÓSIO NACIONAL DE CIÊNCIAS E ENGENHARIAS (SINACEN), v. 5, n. 1, p. 1-10, 2020. 87 p.
- SOUZA, Marco Antonio Santos de. **Desenvolvimento de um dinamômetro de fricção de baixo custo para motores de Baja SAE.** 2017. 123 p.
- TORRES, Felipe de Paula. **Análise da distribuição da temperatura em um disco de freio utilizando pastilhas de freio de diferentes materiais.** 2020. 155 p.





11

O IMPACTO DA GESTÃO DE MANUTENÇÃO NOS
EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS
THE IMPACT OF MAINTENANCE MANAGEMENT ON
INDUSTRIAL EQUIPMENT

Clicenys Ruan Batista Santos
Paola Silva

Resumo

A uma problemática envolvendo a gestão ineficiente da manutenção em maquinários industriais e tem cada vez mais se tornado um problema sistêmico, alcançando de forma vertiginosa toda a cadeia produtiva de uma organização. Indústrias, fábricas executam atividades, muitas vezes sem nenhuma gestão ou padronização em seus meios de produção. Uma empresa, visa realizar e estruturar estratégias que irão garantir um bom funcionamento de todos os equipamentos em manuseio, além de assegurar a lucratividade e o bem-estar dos funcionários e comunidades. O objetivo deste artigo é apresentar a importância do uso da gestão da manutenção nas empresas, seu impacto nos equipamentos industriais e informar os efeitos que essa manutenção provocou no sistema de produção. A revisão bibliográfica, ou revisão da literatura, é a análise crítica, metódica e ampla das publicações correntes em uma determinada área do conhecimento. O tipo de pesquisa realizada, foi a pesquisa bibliográfica onde foram utilizados artigos científicos, dissertações, livros e busca de dados na plataforma da *Scielo*. Os períodos das pesquisas foram dos últimos 10 anos, com os descritores: “Manutenção”, “Indústria”, “Gestão de Manutenção”, e “Impacto”. Portanto, o desenvolvimento de equipamentos, da automação de processos, da integração e conectividade das linhas de produção leva à necessidade de promover novas políticas de gestão no setor de manutenção. Estruturando não só o progresso da manutenção, mas também a promoção de um novo know-how das cadeias produtivas relativo à utilização de equipamentos que demandam alta tecnologia, legitimando com a qualificação dos colaboradores e a reconhecimento do serviço prestado.

Palavras-chave: Gestão, Manutenção, Indústria, Confiabilidade.

Abstract

A problem involving the inefficient management of maintenance in industrial machinery has increasingly become a systemic problem, reaching a dizzying extent across the entire production chain of an organization. Industries and factories carry out activities, often without any management or standardization in their means of production. A company aims to carry out and structure strategies that will guarantee the proper functioning of all equipment in use, in addition to ensuring the profitability and well-being of employees and communities. The objective of this article is to present the importance of using maintenance management in companies, its impact on industrial equipment and inform the effects that this maintenance has had on the production system. The bibliographic review, or literature review, is the critical, meticulous and broad analysis of current publications in a given area of knowledge. The type of research carried out was bibliographical research using scientific articles, dissertations, books and data searches on the Scielo platform. The research periods were the last 10 years, with the following described: “Maintenance”, “Industry”, “Maintenance Management”, and “Impact”. Therefore, the development of equipment, process automation, integration and connectivity of production lines leads to the need to promote new management policies in the maintenance sector. Structuring not only the progress of maintenance, but also the promotion of new know-how in production chains regarding the use of equipment that requires high technology, legitimizing the qualification of employees and recognition of the service provided

Keywords: Management, Maintenance, Industry, Reliability.



1. INTRODUÇÃO

Durante a Revolução Industrial (séc. XVIII a XIX) com o crescimento e inserção das máquinas para a manufatura dos bens de consumo, surgem os primeiros passos da manutenção industrial. No início do século XX a manutenção era realizada em segundo plano, e executada pelo profissional que trabalhava na própria máquina que poderia inclusive apresentar defeitos. Atualmente, a manutenção é vista como parte de grande importância do sistema produtivo, mediante à necessidade da produção constante onde tenta-se ao máximo evitar e prevenir paradas e consequentes perdas de produção das máquinas e equipamento (Wanis *et al.*, 2018).

Diante do aumento da mecanização e automação da produção, a indústria se torna cada vez mais dependente da disponibilidade e confiabilidades de seus equipamentos, desse modo, uma das atividades que mais sofreu mudanças na gestão de produção nos últimos trinta anos, correspondem as técnicas e estratégias de manutenção nos equipamentos industriais (Pires, 2018).

Segundo Macedo (2011) o impacto da função de manutenção e sua gestão no equipamento, apresentando confiabilidade nos sistemas produtivos e segurança do manuseio do mesmo. Assim as características dos processos são fundamentais para elaborar as estratégias de cada setor, podendo ser específicas a um equipamento, ou como um todo.

No processo de manutenção de equipamentos industriais, o uso recorrente da mesma máquina sem as medidas corretas de limpezas e manutenções, se tornam propensos as várias falhas. Por isso o impacto da gestão de manutenções em equipamentos industriais, destaca a grande importância da estabilidade dos equipamentos e das estratégias dos profissionais mediante as máquinas (Mesquita *et al.*, 2021).

Tendo em vista essa conjuntura, uma justificativa para essa pesquisa é propiciar um entendimento das ferramentas de gestão e dos modelos de manutenção que são adequadas para a indústria e que tal conhecimento torne a mesma mais competitiva no cenário vigente. Para tal, é necessário a compreensão de estratégias arrojadas de gestão, onde torna os processos preventivos mais eficientes, fornecendo maquinários e equipamentos com uma segurança adicional e promovendo redução de custos. Por isso, essencialmente, atividades relacionadas as manutenções existem para evitar a deterioração dos equipamentos e mitigar gastos na indústria. A gestão de ativos se torna de suma importância para a sobrevivência de uma corporação e assim se evitar falhas e eventos inesperados.

A uma problemática envolvendo a gestão ineficiente da manutenção em equipamentos e maquinários industriais e tem cada vez mais se tornado um problema sistêmico, alcançando de forma vertiginosa toda a cadeia produtiva de uma organização. Indústrias, fábricas executam atividades, muitas vezes sem nenhuma gestão ou padronização em seus meios de produção. Uma empresa, visa realizar e estruturar estratégias que irão garantir um bom funcionamento de todos os equipamentos em manuseio, além de assegurar a lucratividade e o bem-estar dos funcionários e comunidades. Diante disso, questiona-se: “Qual seria o impacto da falta de gestão de manutenção em equipamento industriais?”

O objetivo deste artigo é apresentar a importância do uso da gestão da manutenção nas empresas, seu impacto nos equipamentos industriais e informar os efeitos que essa manutenção provocou no sistema de produção.

Já os objetivos específicos se propõem a apresentar a gestão da manutenção nas organizações industriais; mostrar como cada tipo de manutenção funciona e seus efeitos

nos equipamentos industriais; apresentar a gestão da manutenção como forma de garantir segurança, qualidade e eficiência no sistema de produção.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A revisão bibliográfica, ou revisão da literatura, é a análise crítica, meticulosa e ampla das publicações correntes em uma determinada área do conhecimento. O tipo de pesquisa realizada, foi a pesquisa bibliográfica onde foram utilizados artigos científicos, dissertações, livros e busca de dados na plataforma da Scielo (*Scientific Electronic Library Online*). Os períodos dos artigos pesquisados foram dos últimos 10 anos, com os descritores “Manutenção”, “Indústrias”, “Gestão de Manutenção”, e “Impacto”.

2.2 Resultados e discussão

2.2.1 Manutenção

A história da manutenção vem à tona desde o fim do século XIX, com a mecanização surgindo na humanidade se houve necessário os reparos de equipamentos. Entretanto no início, a manutenção tinha um papel secundário e era realizada os reparos pela própria pessoa que manuseava, a partir daí, com as consequências geradas pela guerra mundial, se tornou essencial a formação de equipes específica para executar os reparos, seja em equipamentos de consumo pequeno a produção em grande massa, como no caso das industriais (Santos, 2018).

A manutenção é definida pela atividade que tem o objetivo de prevenir e ou evitar, a degradação de sistema produtivo, equipamentos e até instalações que sofrem ação mediante a desgastes naturais de equipamentos e equipamentos. A deterioração pode ser observada por meio da aparência das máquinas, sua funcionalidade que diminuem seu desempenho durante o processo, como por exemplo, entregas de produtos de má qualidade, perdas de produção, ocasionando prejuízo no setor econômicos (Sellitto; Fachin, 2014).

De um modo mais simples, a manutenção pode ser entendida como uma combinação entre ações técnicas e administrativas que tem o objetivo de reparar algo que foi danificado ou manter o equipamento funcionando de modo que possa realizar sua função corretamente. Dessa forma a manutenção trabalha seguindo uma combinação de princípios para a organização e execução, como: programar, controlar e monitorar (NBR 5462, 1994).

2.2.2 A história da manutenção industrial

Com a chegada dos instrumentos de produção durante a revolução industrial, que se iniciava em meados do século XVIII, nasceu o conceito da manutenção industrial em que no latim se chamava *'manus tenere'*, que significa manter o que se tem, durante esse processo de inovações ocorria o treinamento para os operadores executarem a manutenção e manterem suas máquinas em serviço (Paula, 2011).

Com o desenvolvimento dos equipamentos industriais, tornou-se evidente a necessidade de mão de obra especializadas, para realizar as manutenções, seja por quebra de

equipamentos e até baixa no desempenho das máquinas. A manutenção industrial teve um desenvolvimento gradativo de acordo com a eras que se tornou uma base para o crescimento das industriais e seus serviços, por isso, durante a segunda guerra mundial as industriais eram, mas mecanizadas onde seus trabalhos de manutenções eram mais simples, se resumindo ela troca de óleo, limpeza e concertos ou trocas de peças quebradas, enquanto que no decorrer dos anos após a segunda guerra mundial, a demanda foi aumentada pela procura de diversos produto o que gerou aumento da mecanização, assim como instalações complexas de novos equipamentos, com a situação em vista houve preocupação de perdas em sua produção por defeitos e falhas, e que deveriam ser evitadas, evidenciando cada vez mais a importância de revisões em suas maquinas (Neto, 2018).

Durante a terceira geração, que ocorreu na década de 1970, houve um aumento muito importante de mudanças nas industriais, devido ao receio de falhas que causarias paralisação na produção e conseqüentemente resultados negativos na qualidade dos produtos e setor econômicos. Por isso durante todo o processo de desenvolvimento da manutenção industrial no decorrer dos anos, só evidenciou a necessidade do projeto para garantir confiabilidade e disponibilidades em seus serviços (Neto, 2018).

2.2.3 Tipos de manutenção industrial

A gestão da manutenção se tornou algo essencial para garantir a durabilidade, disponibilidade e segurança dos ativos de uma empresa. A gestão de manutenção procede de forma a agir antecipadamente a uma falha, posteriormente ou de forma a monitorá-la. Desse modo, a utilização dos diferentes tipos de manutenção se tornou cada vez mais comum de serem vistas nas indústrias.

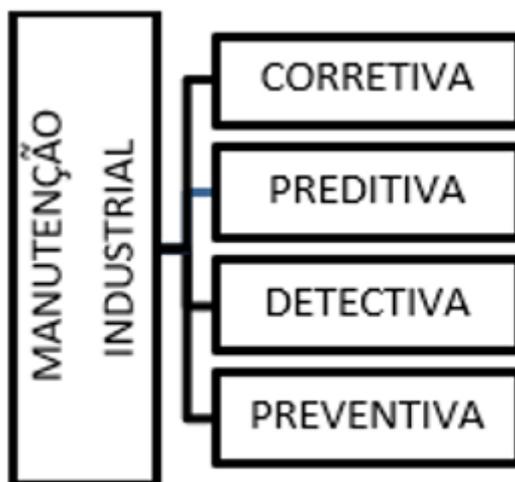


Figura 1. Diagrama da Manutenção

Fonte: De autoria própria (2023)

A manutenção é classificada em várias formas de acordo com sua relevância, apresentando suas características sobre cada reparo estabelecido como corretiva, preditiva, detectiva e preventiva, onde serão abordadas cada uma delas. A Figura 1 acima demonstra o diagrama da manutenção industrial.

2.2.4 Manutenção Corretiva

De acordo com a NBR 5462 (1994), a manutenção corretiva é realizada após um incidente de pane, em que se torna necessário a realocação da máquina até que ela volte ao seu funcionamento eficaz.

A mesma pode ser nomeada como planejada ou não planejada, onde se diferem em que a não planejada gera custos maiores devido à perda e qualidade de produtos, enquanto que a planejada é realizada após a verificação do equipamento não está em sua função adequada, assim como existem dois tipos de manutenções corretiva por exemplo a curativa que tem o propósito de efetivar os reparos por definitivo, e há a paliativa, que tem caráter temporário, executando atividade para resolução temporariamente (Paula, 2011).

No setor manufatureiro a manutenção corretiva é muito conhecida como a forma mais comum para reparo de uma máquina ou equipamento, ou seja, só são consertados quando apresentam defeitos, falhas ou quebras (Dantas, 2019). Dessa forma, essa manutenção passa a ser reconhecida como aquela que só é utilizada para corrigir falhas que já tenham acontecido (Siqueira, 2005).

2.2.5 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é baseada na situação do equipamento, e a garantia de qualidade do serviço prestado, com a característica da aplicação sistemática das análises com o objetivo de verificação para prever possíveis falhas, funcionalidades dos instrumentos além e evitar incidentes. Portanto a manutenção preditiva tem uma grande ampliação na questão sistema, onde consegue sua função investigando como um todo como a vibração, ferrografia e análise de pressões (Santos, 2019).

A manutenção preditiva é realizada de acordo com os dados coletados das variáveis e parâmetros de desempenho de equipamentos e máquinas, dessa forma é possível definir o tempo apropriado para a realização da intervenção, com o intuito de maximizar o aproveitamento da máquina ou equipamento, dessa forma, a manutenção preditiva diminui a necessidade de uso de outros tipos de manutenções. Seu nome vem do fato de poder prever as condições dos equipamentos (Otami; Machado, 2008).

Segundo Tavares (1999), para que a manutenção preditiva seja eficiente é necessário que a mesma possa detectar qualquer significativa variação dos parâmetros o mais rápido possível. De acordo com essa variação detectada, se faz necessário calcular a possibilidade de acontecer uma falha no equipamento em um razoável intervalo de tempo. Se essa possibilidade for alta, deve ser programada uma intervenção.

2.2.6 Manutenção Detectiva

Com o avanço tecnológico as indústrias seguiram o mesmo passo, como é o caso da manutenção detectiva que por ser ainda um setor recente de conhecimento. Seu destaque começou em 1990 e é conceituada pela literatura por ser uma atividade realizada nos setores sistemáticos como controle e comando das máquinas, seu sistema operacional, verificação de falhas ocultas. Esse método operacional de manutenção tem se desenvolvendo cada vez mais no decorrer dos anos, favorecendo cada vez mais as industriais, com sua segurança e confiabilidades em seus produtos (Bento, 2012).



2.2.7 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é descrita como uma manutenção realizada em intervalos de tempos determinados, com a finalidade de evitar as falhas de equipamentos durante o processo de produção. Ou seja, essa manutenção tem como objetivo identificar falhas, panes e quebras antes que elas aconteçam. Dessa forma, durante esses intervalos predeterminados é feito uma inspeção para a reparação de componentes que já não estão funcionando corretamente, substituição de itens desgastados, lubrificação, limpeza, ajustes, além de outros procedimentos necessários para o funcionamento correto do equipamento, a fim de reduzir a queda no desempenho, falhas ou quebras (NBR 5462, 1994).

De acordo com Trojan, *et al.* (2013) a manutenção preventiva foi uma descoberta fundamental para grandes resoluções no setor industrial, desde seu destaque no decorrer das décadas tem sido a forma de evitar falhas em suas máquinas. Esse processo é realizado por meio de duas vias, a primeira é a desativação do equipamento em perfeito estado, para análise e possível diagnóstico de falhas existente, enquanto a outra forma seria a paralisação do equipamento por falha, que foi resultado de cálculos de tempos errados.

2.2.8 Gestão da manutenção industrial

Com os constantes desenvolvimentos tecnológicos e econômicos no decorrer das décadas, a evolução industrial apresentar várias formas diferentes de máquinas com componentes eletrônicos como sensores, resposta automática sistematizados e placas de circuito impressos. Com o movimento de modernização nas indústrias, a gestão de manutenção e seus gerenciamentos sofrem grandes impactos, apresentando mudanças tais como crescimento na automação industrial e otimização de produção entre outros. Por isso a não adesão a manutenção industrial se torna suscetível a risco em seus equipamentos, com séries de problemas relacionado a durabilidade desenvolvida durante o projeto. Portanto, o gerenciamento da manutenção impacta as indústrias garantido confiabilidade, qualidade a seus clientes e credibilidade a seus fornecedores (Costi, 2020).

A gestão de manutenção é composta pelo gerenciamento de manutenção e produção, utilizando ferramentas específicas com o intuito de garantir maior disponibilidade, melhor retorno e resultados positivos no desempenho do equipamento. Antes o objetivo da manutenção era de corrigir e restaurar o estado padrão desde sua vinda da fábrica, atualmente o objetivo é favorecer a viabilidade dos equipamentos e o sistema de forma que atendessem os critérios do processo produtivo com custo baixo, além de gerar confiabilidade, segurança e preservação ambiental, sem uso de toxinas (Goncalves *et al.*, 2017).

Atualmente nota-se que a gestão de manutenção impacta diretamente na produção industrial, pois a mesma busca controlar e monitorar o funcionamento dos equipamentos e máquinas de produção. Devido a isso, a manutenção acaba influenciando diretamente na qualidade dos produtos produzidos, além disso, a manutenção tenta evitar que aconteçam quebras ou falhas que não estavam previstas dos equipamentos durante o processo de produção. Dessa forma, a gestão da manutenção visa não só a melhor maneira de execução, mas também o menor custo possível (Mouta, 2011).

Segundo Wanis *et al.* (2018) para realizar a gestão de manutenção, é necessário estabelecer novos métodos e padrões, ou seja, evidenciar mudanças ou cumpri-las, mediante a isso, a parte principal para uma boa gestão é a padronização das atividades executadas na manutenção para alcançar competitividade, metas e excelência industrial.

2.2.9 Confiabilidade

Uma vez listados os tipos de manutenção, podemos ver a sequência de ações e ajustes estratégicos da manutenção. Assim, trazemos três conceitos muito importantes para os processos industriais, que são confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade. Três conceitos diferentes, mas que detêm objetivos convergentes (De Almeida, 2018). A manutenção deve abranger o ativo durante o seu ciclo de vida, definido como o período entre a detecção e a desativação. A confiabilidade significa a probabilidade de o sistema executar sua tarefa da forma mais estável possível; disponibilidade é a percentagem de tempo que o dispositivo fica em modo de produção; e manutenibilidade é a permanência e extensão da confiabilidade e usabilidade do equipamento e maquinário (Gregório; Silveira, 2018).

No contexto da gestão, por outro lado, o objetivo da confiabilidade é um programa integrado que se estende desde o estabelecimento de políticas e procedimentos de projeto, fabricação, operação, manutenção, instalação até o descarte de equipamentos. Em outras palavras: “o planejamento de confiabilidade determina a configuração da organização, responsabilidades, metodologia, processos e patrimônios utilizados na gestão da confiabilidade” (Fogliatto; Ribeiro, 2009).

Além disso, é preciso considerar que tipo de organização que a área de manutenção irá se distinguir. Distinguem-se três tipos: centralizado, descentralizado e misto/híbrido. A manutenção terceirizada também é uma forma de manutenção distribuída. Eles geralmente têm uma mão de obra profissional correspondentes a serviços intrínsecos (Gregório, 2018).

Comparativamente ao tipo de gestão/organização do sector da manutenção, o objetivo centralizado é integrar serviços para o corpo técnico próprio da empresa. Geralmente esse tipo de organização vem de pequenas e médias empresas que o sistema de produção elabora o produto em um sistema de abastecimento contínuo. Suas vantagens permitem um controle de linha mais eficiente e uma capacitação profissional com melhores resultados. No entanto, a desvantagem são os custos mais elevados decorrente do traslado devido à oficina mecânica centralizada e à redução da supervisão de manutenção e ao fraco desenvolvimento dos trabalhadores em diversas tecnologias (Seleme, 2015).

No modelo de manutenção descentralizada, os serviços são distribuídos para áreas ou unidades específicas. A flexibilidade do sistema de cuidados diminui quando a quantidade de conhecimentos especializados diminui e a utilização de recursos humanos é geralmente ineficiente. E finalmente há o sistema híbrido que organiza o atendimento em áreas correspondentes a cada habilidade. Dessa forma, evita-se o compartilhamento de tarefas excessivas e as necessidades de cuidados especiais são sempre direcionadas para uma unidade centralizada (Seleme, 2015).

Por fim, dependendo do porte da empresa e do tipo de processo produtivo, a gestão do setor de manutenção pode ou não ser centralizada. Na gestão da confiabilidade, onde a previsibilidade dos equipamentos ou máquinas ainda é crucial para o perfeito funcionamento das linhas de produção, o foco deve estar em iniciativas planejadas e controladas. Eles vêm do setor de planejamento, controle, produção e manutenção. Bem, mesmo com o corpo técnico altamente experiente e habilidoso, deve compreender quais procedimentos de manutenção devem ser realizados para reduzir ações corretivas não planejadas (Seleme, 2015).



2.2.10 Indicadores relevantes na manutenção

Indicadores de manutenção atua como traduções referentes ao comportamento dos equipamentos e maquinários, o que permitem o monitoramento das operações, número de paradas e tempos de reparo (Megiolaro, 2015). Neste contexto, explica-se que vigora indicadores relacionados ao tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo e também referente a disponibilidade (Baldisarelli; Fabro, 2019).

O tempo médio entre falhas (TMEF) corresponde à média aritmética entre as falhas, levando em consideração o tempo operacional da máquina (Baldisarelli; Fabro, 2019), conforme mostra a Equação 1 abaixo.

$$TMEF = \frac{\text{(Tempo Médio Operacional Total)}}{\text{(Número de Falhas)}} \quad (1)$$

Para calcular o tempo médio de reparo das máquinas e equipamentos (TMPR), é aferido a média dos tempos de manutenção desempenhada dividida pelo número total de procedimentos de manutenção (Baldisarelli; Fabro, 2019), conforme mostra a equação 2 abaixo.

$$TMPR = \frac{\text{(Tempo de Parada para Reparos)}}{\text{(Número de Reparos)}} \quad (2)$$

A disponibilidade aponta o percentual de equipamentos e maquinários disponíveis para o processo produtivo e depende do TMEF e do TMPR (Baldisarelli; Fabro, 2019). Isso pode ser observado na Equação 3 abaixo.

$$DISPONIBILIDADE = \frac{TMEF}{(TMEF + TMPR)} \quad (3)$$

Também denominados como KPI's (*Key Performance Indicators*), os indicadores-chave permitem que os processos sejam expressos como valores numéricos através de fórmulas adequadas, o que leva a avaliar e comparar o seu desempenho, identificar os seus pontos fortes e fracos e gerir os processos referente a progressão das mudanças no decorrer do tempo (Ferreira, 2020).

2.2.11 Manutenção fundamentada na condição

Manutenção baseada na condição (MBC ou CBM) é um subconjunto da manutenção preventiva, cuja finalidade mais relevante é obter os parâmetros necessários para a tomada de decisão na manutenção através de um correto histórico de manutenções (Teixeira; Lopes; Braga, 2020). Afirma-se que as técnicas disponíveis para implementação do MBC incluem:

- a) diagnóstico: o processo de encontrar falhas ou mau funcionamento em um sistema. Exemplos de diagnósticos reativos que incluem componentes elétricos, vibração, lubrificação, óleo do motor e análise ultrassônica;
- b) previsão: o processo de prever a falha futura de um sistema através da análise de falhas passadas e presentes nas condições operacionais;
- c) aplicação de técnicas de modelagem baseadas no uso de dispositivos, tais como: modelos feitos usando-se algoritmos para prever a vida útil restante dos componentes. Geralmente, de acordo com a mineração de dados anterior, cujo objetivo é refinar e preparar os dados obtidos (Prajapati; Bechtel; Ganesan, 2012).

2.2.12 Manutenção fundamentada na confiabilidade

A manutenção centrada na confiabilidade (MCC ou RCM) pode ser classificada como um bloco de técnicas de projeto que garantem o funcionamento contínuo dos equipamentos. O MCC deve se encarregar sistematicamente das atribuições dos sistemas e maquinários, analisando suas falhas e desenvolvendo critérios de desempenho para os mesmos através de uma visão econômica, efetiva e que forneça padrões de segurança (Flemming; Silva; França, 1999). As fases de implantação do MCC podem ser estabelecidas a partir do alinhamento de etapas estratégicas, que se encadeiam da seguinte forma:

- a) preparativos iniciais: objetivos, definição de equipes de trabalho e formação técnica do MCC;
- b) definir critérios de confiabilidade: mitigar acidentes laborais e materiais; definição de dispositivos gargalo;
- c) criação de banco de dados: informações necessárias como rotinas/sub-rotinas/dispositivos e históricos de falhas;
- d) análise de modo de falha e efeito (FMEA): examinar os modos de falha de cada dispositivo de um sistema para determinar graus de critérios como sendo crítico, não crítico e com potencial de criticidade;
- e) determinação da frequência de trabalhos preventivos e de manutenção: escolha da manutenção dos componentes e do intervalo mais viável (Fogliatto; Ribeiro, 2009).

A Figura 2 a seguir demonstra as fases referente a implantação do modelo de manutenção centrada em confiabilidade.



Figura 2. Fases da implementação da MCC

Fonte: Tractian (2023)

A Figura 2 acima mostra as etapas desde a implementação do MCC até um plano de manutenção bem desenvolvido. Estes, incluem a seleção dos equipamentos e maquinário e o uso de ferramentas como Análise do Modo de Falha e seus Efeitos (traduzido da sigla FMEA), que é uma ferramenta de análise funcional, envolvendo documentações de avaliações de possíveis defeitos e suas descrições, frequências, gravidade, simplicidade na detecção e atribuição de um Número de Prioridade de Risco (NPR) para cada classe (Kardec; Nascif, 2009).

2.2.13 Sistemas informatizados

Sistemas informatizados de gerenciamento de manutenção são softwares projetados para auxiliar e simplificar o gerenciamento da manutenção (Silva; Melo, 2017). Numa perspectiva utilitária, os CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) já estão a atingir todas as camadas da estrutura de uma empresa ou indústria. A utilização de softwares de gestão de manutenção leva a menos manutenções corretivas devido ao crescimento em cuidados preventivos na própria cadeia de manutenção (Reis; Costa; Almeida, 2013).

A falha mais crítica referente ao CMMS em uma indústria ou chão de fábrica pode ser devido aos seguintes motivos: infraestrutura de TI inadequada (por exemplo, baixa conectividade à Internet), falta de compreensão das necessidades de mudança estratégicas na gestão e falta de percepção dos benefícios latentes da ferramenta CMMS na governança da empresa e, portanto, não obter o apoio adequado (Wienker; Henderson; Volkerts, 2016).

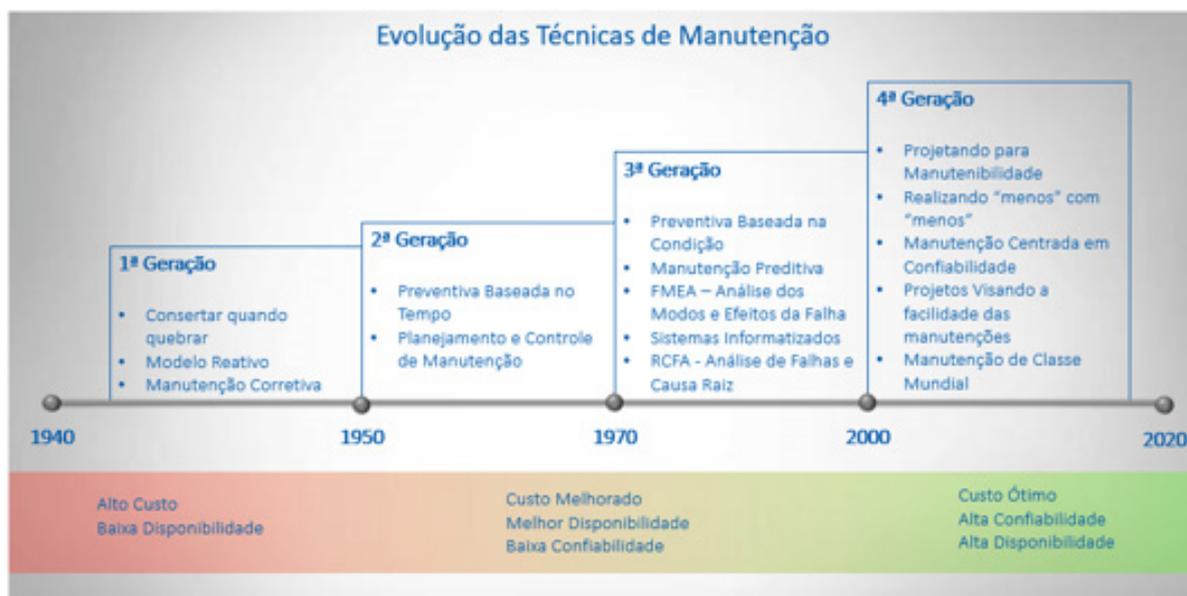


Figura 3. Progresso dos métodos de manutenção e confiabilidade

Fonte: Engeteles (2023)

Afirma-se que a indústria também deve saber a oportunidade certa para adotar o CMMS, passando de uma cultura reativa para um comportamento mais aberto e proativo para a implementação dessa ferramenta de forma sistêmica em toda a cadeia produtiva da organização (Wienker; Henderson; Volkerts, 2016). A Figura 3 acima mostra o progresso dos métodos de manutenção e confiabilidade.

Os seguintes fundamentos na seleção de um CMMS para uma indústria são: disponibilidade de suporte técnico do fornecedor, sistemas que contemplem multiusuários, programação automática de calendários, interface de usuário para outras aplicações como Word e Excel, ferramentas para adicionar fotos e vídeos alocados em documentos, utilização e controle de materiais sobre-excedente, emissão de relatórios e acompanhamento de indicadores de desempenho e cadastro de ocorrências (Kardec; Nascif, 2009).

3. CONCLUSÃO

Ao compreender melhor a dinâmica da manutenção, esta pesquisa conseguiu explicar sobre como os modelos de manutenção podem ser categorizados em áreas, políticas e ferramentas de gestão. Evidente que a elaboração do campo de planejamento da manu-

tenção deve trabalhar aliada aos meios de produção e à qualidade. O setor de manutenção não funciona apenas com base em indicadores, mas sim, com políticas estratégicas que apoiam e definem a melhor forma de atribuir tarefas/serviços aos seus colaboradores, promovendo a expansão de conhecimentos e processos.

O conhecimento dos eventos históricos e o desenvolvimento da manutenção também são relevantes, pois eles carregam consigo as características de cada geração. Independentemente das circunstâncias expostas, cada geração da manutenção possui características próprias e esses elementos específicos continuam influenciando as atuais técnicas de manutenção, montagem e fabricação.

As expressões como confiabilidade de ativos, gestão de qualidade, proteção responsável e manutenibilidade de processos também estão se tornando sistemas que integram a cadeia da gestão de manutenção. Em que seu fortalecimento acompanha projetos de adequação contínua e revitalização de equipamentos e maquinários. Assumisse com isso a necessidade inerente de atualização e formação especializada de técnicos, mantenedores e gestores de manutenção.

Portanto, o desenvolvimento de equipamentos, da automação de processos, da integração e conectividade das linhas de produção leva à necessidade de promover novas políticas de gestão no setor de manutenção. Estruturando não só o progresso da manutenção, mas também a promoção de um novo know-how das cadeias produtivas relativo à utilização de equipamentos que demandam alta tecnologia, legitimando com a qualificação dos colaboradores e a reconhecimento do serviço prestado.

Como sugestões de pesquisas futuras, sugere-se a efetivação de análises presenciais no chão de fábrica, com a aplicação de gestão de manutenção customizada para cada tipo de maquinário em específico. Formulações de modelos de prognósticos assertivos para aplicação nas máquinas industriais também seriam uma boa escolha nas linhas de produção. Implementar a integração entre o setor industrial e pesquisadores seria de suma relevância para a própria indústria, independentemente de haver publicação ou não dos resultados.

Referências

BALDISSARELLI, Luciano; FABRO, Elton. **Manutenção Preditiva na indústria 4.0**. Scientia cum industria, v. 7, n. 2, p. 12-22, 2019.

BENTO, Fabiano. **O uso da manutenção preditiva como subsídio à manutenção preventiva**. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/2223/1/FSB18092017.pdf>. Acesso em: 24 de março de 2023.

COSTI, Gustavo. **O impacto da manutenção preventiva na produção industrial**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.pgsskroton.com/bitstream/123456789/32269/1/TCC%2BATIVIDADE%2B3%2Bfinal.pdf>. Acesso em: 26 de março de 2023.

DANTAS, Igor Dos Santos. **Importância e benefícios do planejamento de gestão de manutenção**. Departamento de engenharia mecânica. João Pessoa-PB, Universidade Federal da Paraíba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/17108>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

DE ALMEIDA, Paulo Samuel. **Manutenção Mecânica Industrial Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. Saraiva Educação SA, 2018.

FACCHINI, Silmar José; SELLITTO, Miguel Afonso. **Análise estratégica da gestão da manutenção industrial de uma empresa de metal mecânica**. Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade IndustrialIS-SN-1983-1838, v. 7, n. 1, p. 49-66, 2014. Acesso em: 22 de março de 2023.

FERREIRA, Henrique da Cunha. **Indicadores de desempenho da manutenção dos navios da Marinha**. 2020.



Tese de Doutorado.

FLEMING, Paulo Victor; SILVA, MF da; FRANÇA, S. R. R. O. **Aplicando manutenção centrada em confiabilidade (MCC) em indústrias brasileiras: lições aprendidas.** Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 19, 1999.

FOGLIATO, Flávio; RIBEIRO, José Luís Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial.** Elsevier Brasil, 2009.

GONÇALVES, Giseli; GONÇALVES, Lucas William; CARVALHO, Cleginaldo. **Gestão da manutenção de forma estratégica em uma empresa metal-mecânica.** 2017. XXXVII encontro nacional de engenharia de produção. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_244_413_32273.pdf. Acesso em: 25 de março de 2023.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Parreira; SILVEIRA, Aline Moraes da. **Manutenção industrial.** Porto Alegre: SAGAH, 2018.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. **Manutenção**-função estratégica. Qualitymark Editora Ltda, 2009.

MACEDO, Marco Antonio Subtil. **Contribuição metodológica para a determinação da Criticidade de equipamentos na gestão da manutenção.** Dissertação para obtenção de título em Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. 2011. MANUTENCAO. Manutenção em Foco. Classificação ABC de Máquinas e Equipamentos. Disponível em: [file:///C:/Users/SAMSUNG/Downloads/silo.tips_contribuicao-metodologica-para-a-determinacao-da-criticidade-de-equipamentos-na-gestao-da-manutencao%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/SAMSUNG/Downloads/silo.tips_contribuicao-metodologica-para-a-determinacao-da-criticidade-de-equipamentos-na-gestao-da-manutencao%20(1).pdf). Acesso em: 21 de março de 2023.

MEGIOLARO, Marcello Rodrigo de Oliveira. **Indicadores de manutenção industrial relacionados à eficiência global de equipamentos.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MESQUITA, Bruno; PEREIRA, Cláudio; FERNANDES, Daniele; JUDICE, Gustavo. **Estudo da Manutenção Industrial com base na Gestão de Processos.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/18853/1/Estudo%20da%20Manuten%C3%A7%C3%A3o%20Industrial%20com%20Base%20na%20Gest%C3%A3o%20de%20Processos%20.pdf>. Acesso em: 21 de março de 2023.

MOUTA, Carla Sofia Pereira. **Gestão da manutenção.** Tese de doutorado. Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2011. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/3810>. Acesso em: 21 de maio de 2023.

NBR-5462. **Confiabilidade e Manutenibilidade.** Associação brasileira de normas técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. Publicada confirmação da norma em jun.2020

NETTO, Alfredo Pieritz. **Manutenção Industrial.** Uniasselvi.2018. Disponível em: <https://www.uniasselvi.com.br/extranet/layout/request/trilha/materiais/livro/livro.php?codigo=35623>. Acesso em: 23 de março de 2023.

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

PAULA, Débora. **Pesquisa-ação sobre o uso de indicadores de desempenho do equipamento em uma fábrica de geradores.** 2011. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/120433/paula_dc_tcc_guara.pdf?sequence=1. Acesso em: 23 de março de 2023.

PIRES, Cinthia; JUSTO, Diego Augusto; SANTOS, Janderson; GOÉS, Mateus; GONÇALVES, Paulo; JUNIOR, Rodrigo; DONATO, Thaylan. **Importância da criticidade de equipamentos na gestão de manutenção.** 2018. Disponível em: <https://pmkb.com.br/wp-content/uploads/2018/07/Criticidade-de-Equipamentos-Gestao-da-Manutencao.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2023.

PRAJAPATI, Ashok; BECHTEL, James; GANESAN, Subramaniam. **Condition based maintenance: a survey.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 18, n. 4, p. 384-400, 2012.

REIS, Ana Carla Bittencourt; COSTA, Ana Paula Cabral Seixas; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. **Diagnóstico da gestão da manutenção em indústrias de médio e grande porte da região metropolitana de Recife.** Production, v. 23, p. 226-240, 2013.

SANTOS, Clenilson. **Gestão de manutenção: planejamento, gerenciamento, e organização dentro da indústria.** 2018. Disponível em: https://repositorio.pgsskroton.com/bitstream/123456789/25264/1/CLENILSON_SANTOS_ATIVIDADE4.pdf. Acesso em: 22 de março de 2023.

SANTOS, Luís Marcio Alves. et al. **A Importância da manutenção industrial e seus indicadores.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed 11, Vol. 01, pp. 108-128. 2019. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wpcontent/uploads/2019/12/manutencao-industrial.pdf>. Acesso em: 24 de março de 2023.

SELEME, Robson. **Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. Curitiba: Intersaberes, 2015.

SILVA, Ana Carolina Lopes da; MELO, Paulo Henrique Bernardo. **Proposta de um CMMS para manutenção de equipamentos na Universidade de Brasília**. 2017.

SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2005.

TAVARES, L. A. **Administração Moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Novo Polo Publicações, 1999.

TEIXEIRA, Humberto Nuno; LOPES, Isabel; BRAGA, Ana Cristina. **Condition-based maintenance implementation: a literature review**. Procedia Manufacturing, v. 51, p. 228-235, 2020.

TELES, Jhonata. Engeteles, 2023. **O Planejamento e Controle da Manutenção na Indústria 4.0**. Disponível em: <https://engeteles.com.br/pcm-na-industria-4-0/>. Acesso em: 28 out. 2023.

TROJAN, Fábio; MARÇAL, Rui Francisco; BARAN, Leandro Roberto. **Classificação dos tipos de manutenção pelo método de análise multicritério electre tri**. 2013. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0338.pdf>. Acesso em: 25 de março de 2023.

WANIS, Ariel; PESSIN, Bruno; BOLZAN, Elan; BARBOSA, Mateus; JACOMELLI, Tiago. **Aplicabilidade da gestão da manutenção nos processos industriais**. 2018. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/08/aplicabilidade-da-gestao-da-manutencao-nos-processos-industriais.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2023.

WIENKER, Michael; HENDERSON, Ken; VOLKERTS, Jacques. **The computerized maintenance management system an essential tool for world class maintenance**. Procedia Engineering, v. 138, p. 413-420, 2016.

ZINETTI, Tamires. Tractian, 2023. **Principais ferramentas de gestão de ativos na manutenção industrial**. Disponível em: <https://tractian.com/blog/manutencao-industrial-conheca-as-principais-ferramentas-de-gestao-de-ativos>. Acesso em: 15 out. 2023.



12

GESTÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: UMA REVISÃO INDUSTRIAL MAINTENANCE MANAGEMENT: A REVIEW

Eraldo Ribeiro Santos
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Resumo

O estudo “Gestão de Manutenção Industrial” realizou uma revisão bibliográfica sobre a relevância da gestão de manutenção para as organizações. A metodologia empregada foi uma pesquisa bibliográfica descritiva e qualitativa, com referências a livros, artigos e sites confiáveis publicados na última década. O objetivo principal do estudo foi demonstrar práticas eficazes de gestão de manutenção para diminuir custos e ampliar a margem de lucro da empresa. As principais conclusões ressaltaram que a manutenção deixou de ser considerada uma tarefa desnecessária e passou a ser vista como um elemento crucial para a eficiência da produção, o crescimento da empresa e a saúde de sua economia. O estudo enfatizou a importância de estabelecer uma estrutura de gestão sólida e implementar práticas de manutenção bem definidas para garantir resultados e metas.

Palavras-chave: Gestão da Manutenção. Manutenção. Indústria. Produção.

Abstract

The study “Industrial Maintenance Management” carried out a literature review on the relevance of maintenance management for organizations. The methodology used was descriptive and qualitative bibliographical research, with references to reliable books, articles and websites published in the last decade. The main objective of the study was to demonstrate effective maintenance management practices to reduce costs and increase the company’s profit margin. The main conclusions highlighted that maintenance is no longer considered an unnecessary task and is now seen as a crucial element for production efficiency, company growth and the health of its economy. The study emphasized the importance of establishing a solid management structure and implementing well-defined maintenance practices to ensure results and goals.

Key-words: Maintenance Management. Industry. Production.



1. INTRODUÇÃO

A gestão da manutenção é uma área à qual as empresas prestam cada vez mais atenção. À medida que a competição se torna mais acirrada, é essencial que todos permaneçam focados no objetivo da empresa e se esforcem para alcançá-lo. Para que isso aconteça, é fundamental que o setor de manutenção tenha uma estrutura de gestão construída sobre um conjunto de práticas de manutenção bem definidas, sólidas e amplamente aplicadas, que garantam resultados e objetivos.

Existe uma grande preocupação com o ciclo de manutenção dos equipamentos e custos associados, tornando este um dos pilares da estratégia para se destacar no mercado, obtendo custos cada vez menores e, conseqüentemente, aumentando a margem de lucro da empresa. O processo de gestão envolve o desenvolvimento de um conjunto de ações com o objetivo de manter as instalações e equipamentos em condições adequadas para o bom funcionamento.

A gestão da manutenção deve funcionar em conjunto com as outras funções da indústria. Qualquer tipo de processo produtivo requer a adoção de medidas adequadas para garantir o bom funcionamento dos equipamentos, buscando reduzir falhas de processo e paradas involuntárias da produção. Isso porque paralisações de processo resultam em perda de produção, o que afeta negativamente o produto final. Nesse contexto nasce uma problemática a ser analisada: Qual a importância da Gestão de Manutenção para a prevenção do maquinário industrial?

A escolha desta temática busca estudar a gestão de manutenção nas indústrias, onde a manutenção inadequada de equipamentos e máquinas anula o valor de se concentrar no aumento da produtividade. A preservação das máquinas e equipamentos, bem como a capacidade de identificar problemas por meio da observação contínua, competem nesse setor. Em virtude da operação contínua das máquinas, o planejamento e a execução das manutenções garantem a redução das paradas de produção e um fluxo consistente de mercadorias.

O presente artigo buscou compreender como a manutenção está sendo usada para melhorar a qualidade do produto, velocidade de entrega, custo e impactos ambientais. As diversas ferramentas que auxiliam no gerenciamento da manutenção são apresentadas neste contexto. Aliado aos objetivos específicos que compreendem em: estudar gestão da manutenção, abordando sua evolução histórica; Abordar os principais tipos de manutenção utilizados em indústrias; Compreender a utilização da Manutenção corretiva não planejada e manutenção planejada nas indústrias.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A metodologia adotada nesta pesquisa será uma revisão de literatura com método de pesquisa bibliográfica descritiva e qualitativa por meio de consultas a livros, artigos, sites confiáveis publicados nos últimos 10 anos. Os critérios de exclusão se basearam no descarte de artigos sem teor científico. Serão utilizadas as seguintes palavras-chave: Gestão da Manutenção, Manutenção, Indústria, Prevenção e Produção.

2.2 Resultados e Discussão

Nas últimas décadas, a manutenção sofreu mudanças significativas e tornou-se mais complexa, o que fez com que as organizações deixassem de vê-la como uma tarefa desnecessária e esbanjadora e passassem a vê-la como um fator crucial para a eficiência da produção, o crescimento da empresa, e a saúde de sua economia (AMORIM, 2021).

Na prática, questões atuais como economia de energia, proteção ambiental, conservação de materiais, possibilidades de renovação de plantas e equipamentos, otimização de processos industriais, crescente preocupação com os requisitos de qualidade e a necessidade contínua de treinamento e avaliação de recursos humanos estão relacionadas às questões de manutenção. Quando um item é comprado, a organização também “compra” custos de manutenção futuros que devem ser incorridos durante o uso do item (VERRI, 2007).

Alguns estudos realizados no passado mostram que os pontos de falha do equipamento podem resultar em custos significativamente superior ao valor do próprio equipamento. Uma grande parte desses custos poderia ser evitada se apenas uma pequena parte deles fosse usada para analisar e prevenir pontos fraturados (ALMEIDA, 2014). Existe uma competição global crescente, o que significa que a capacidade de uma organização de manter a eficiência pode determinar sua capacidade de sobrevivência. Buscam alcançar níveis cada vez mais elevados de inovação, diversidade e melhoria contínua por meio de processos cada vez mais flexíveis e eficientes, visando a qualidade do produto e a satisfação do cliente (FARIA, 2013).

A manutenção é um conceito que tem se transformado significativamente, especialmente com a Indústria 4.0 e suas ferramentas. No entanto, é preciso preservar os conceitos de prognóstico e de diagnóstico que são fundamentais para o setor. Segundo Sobreira (2018), o diagnóstico é a avaliação dos sistemas baseada nos sinais vitais, com o objetivo de identificar a causa raiz de um problema e definir um plano de ação eficaz para realizar o conserto. Esse conceito pode ser aplicado aos sistemas que monitoram os pontos críticos da cadeia produtiva, para alertar sobre sintomas ou erros indesejáveis.

Os prognósticos, por outro lado, são vistos como a evolução do diagnóstico, pois envolvem o monitoramento sistemático da operação da cadeia produtiva ou de um equipamento individual, permitindo entender comportamentos e fatos, e assim prever as falhas e agir antecipadamente para evitar danos. Desse modo, os equipamentos podem ter um nível de disponibilidade operacional mais alto, interrompendo seu funcionamento apenas o necessário para a manutenção (FREITAS *et al.* 2020).

Segundo Costa (2013), a colaboração entre vários departamentos corporativos tornou-se essencial com o avanço tecnológico, pois permite que a Qualidade, Produção e Segurança, além da Manutenção, participem ativamente de cada projeto desde o seu planejamento até a sua execução, visando prevenir ou facilitar a resolução de potenciais problemas. Essa integração entre as áreas é fundamental para garantir a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade dos processos produtivos.

Antes da Revolução Industrial, iniciada na segunda metade do século XIX, predominava o reparo de equipamentos porque os sistemas tinham vida útil tecnológica muito longa, eram facilmente reparáveis e não existia o conceito de itens de reposição. As melhorias da Revolução Industrial nos processos de fabricação, juntamente com o desenvolvimento do controle de qualidade e da automação, levaram rapidamente à percepção de que alguns componentes eram suficientemente valiosos para serem imutáveis, dando origem à ideia de peças de reposição e tornando o trabalho do operador de manutenção em uma



atividade cada vez mais vital de diagnóstico de avaria (ALMEIDA, 2014). Segundo o autor, esta inovação obrigou a uma mudança no processo de formação e formação dos técnicos de manutenção, que passaram a necessitar de uma preparação técnico-teórica fundamentada adquirida através da formação acadêmica.

Por causa da complexidade de atividades realizadas nas empresas no que tange à Indústria 4.0, pode-se mencionar que a manutenção preditiva se tornou um dos maiores aliados da manutenção organizacional diante desse novo panorama, criando assim uma tendência para diversos setores. O intuito da manutenção preditiva é monitorar uma série de parâmetros críticos para que se possa identificar de forma prévia a degradação dos componentes concomitantemente a isso atua-se programando possíveis intervenções de forma a minimizar os impactos na cadeia produtiva (SILVA, 2016).

Desde a Segunda Guerra Mundial, os sistemas e equipamentos evoluíram e se complicaram, levando à introdução do conceito de pesquisa operacional no campo da manutenção, que pode ser definida como a aplicação de metodologia científica a problemas operacionais. Outro fator importante no desenvolvimento da manutenção foi a introdução dos computadores, que possibilitaram organizar e sistematizar a coleta de grande quantidade de informações (COSTA, 2013).

A introdução de tecnologias de informação mais avançadas impulsionou a integração dos computadores na manutenção, colocando a informática à disposição dos técnicos de manutenção. Todos esses avanços tecnológicos permitiram uma melhor conexão entre a investigação operacional e a gestão da manutenção, integrando os sistemas de confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e segurança e possibilitando a avaliação do desempenho geral dos sistemas e equipamentos (CONTERATO, 2017).

Nesse sentido, todas as definições de manutenção, sejam elas oficiais ou não, concordam que a função da manutenção é garantir a disponibilidade dos equipamentos de produção por meio da avaliação de eventuais falhas técnicas no patrimônio investido. De acordo com as normas portuguesas, o conceito de manutenção e seus objetivos organizacionais são uma combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão que são realizadas durante o ciclo de vida de uma coisa para mantê-la em condições de desempenhar a função a que se destina (COSTA *et al.*, 2015).

Por isso, o objetivo dos processos industriais é garantir a qualidade do produto e a demanda necessária, exercendo o controle financeiro para investir o mínimo de dinheiro possível. Isso lhes permitirá garantir o funcionamento desejado de suas instalações, máquinas, equipamentos e pessoal. Concernente, é necessário um movimento inteligente para garantir que a empresa continue seguindo os modelos de negócios mais eficazes e lucrativos. Manutenção é o processo de manter equipamentos e instalações em bom estado de funcionamento. Inclui reparos em máquinas, inspeções, rotinas de manutenção preventiva, troca de partes e peças, trocas de óleo, trocas de tintas, trocas de peças defeituosas, compra ou fabricação de peças de reposição, entre outros (ESPINDULA, 2021).

Segundo Faria (2013), o conceito de “manutenção” abrange todas as medidas técnicas e administrativas que visam preservar ou restaurar um equipamento para que ele possa cumprir sua função desejada. A filosofia de manutenção define um conjunto de princípios para organizar e executar a manutenção, envolvendo aspectos como planejamento, programação, controle e monitoramento. Esses princípios são fundamentais para garantir a eficiência, a segurança e a qualidade dos equipamentos, bem como para reduzir os custos e os riscos associados à sua operação. Concernente, a manutenção é uma atividade essencial para o bom desempenho de qualquer sistema produtivo.

A manutenção de uma máquina não é apenas um procedimento técnico, mas tam-

bém uma estratégia de gestão que visa otimizar o desempenho e a rentabilidade da produção. Ao realizar os reparos nas máquinas ou equipamentos de forma planejada e preventiva, é possível garantir a qualidade e a quantidade da produção, evitando paradas não programadas que podem gerar prejuízos e atrasos. Além disso, a manutenção adequada contribui para a segurança dos trabalhadores e para a preservação do meio ambiente (VERRI, 2007). Nesse sentido, a manutenção de uma máquina deve estar em sincronia com a produção, pois isso reflete o compromisso da empresa com a excelência e a satisfação dos clientes.

É necessário entender os riscos do programa de manutenção, incluindo riscos internos relacionados à operação, inspeção e outros fatores, bem como riscos externos relacionados ao público, autoridades, meio ambiente e outros fatores. Esta forma de gerir a manutenção baseada no risco tem como princípios orientadores minimizar os riscos decorrentes de falhas das máquinas, desenvolver procedimentos viáveis e priorizar a segurança do trabalhador (AMORIM, 2021).

A gestão de manutenção é uma atividade estratégica que busca otimizar os recursos disponíveis e maximizar os benefícios obtidos com a operação dos equipamentos. Por isso, é fundamental que as decisões de manutenção sejam baseadas em critérios técnicos e econômicos, levando em conta o custo-benefício de cada ação. Assim, as compras relacionadas à manutenção, como reparos, produção de peças de reposição, paradas de produção para inspeções e outros itens, devem ser planejadas e executadas com eficiência e qualidade, visando reduzir os custos e aumentar a lucratividade da empresa. Nesse sentido, a gestão de manutenção pode encontrar o ponto de equilíbrio entre benefício e custo para que tudo contribua de forma positiva e lucrativa (COSTA, 2013).

O autor apresenta um modelo abrangente e integrado de gestão da manutenção, que aborda os diversos aspectos envolvidos na manutenção de sistemas complexos. O modelo inclui funções de manutenção como sistemas técnicos, recursos internos e externos, planejamento e controle de manutenção, controle de áreas de armazenamento para reduzir a indisponibilidade de peças, avaliação e feedback, entre outros. Conterato (2017) conclui que a gestão da manutenção é um ponto de equilíbrio entre o conjunto de ações destinadas a identificar e situar o nível de manutenção desejado e necessário. Esse modelo é útil e relevante para a melhoria da eficiência e da qualidade da manutenção, pois considera as diferentes dimensões e fatores que influenciam o desempenho dos sistemas técnicos.

Uma forma de aprimorar um sistema de gerenciamento de manutenção é considerar os requisitos, serviços e processos do cliente como base para o planejamento e a execução das atividades. Isso implica em assumir responsabilidades de gerenciamento, gerenciamento de recursos, planejamento de manutenção, execução de manutenção e análise de medição e melhoria. Além disso, é importante avaliar o desempenho do processo, o desempenho do cliente e a satisfação do cliente para a melhoria contínua, conforme sugerido por Costa *et al.* (2015).

A manutenção é uma atividade essencial para garantir o bom funcionamento e a segurança de máquinas, equipamentos e instalações, que podem sofrer desgastes e danos ao longo do tempo devido à oxidação, ao manuseio de objetos, à vida útil do material, entre outros fatores. A manutenção visa preservar ou recuperar o estado ótimo de funcionalidade e confiabilidade desses elementos, buscando sempre a melhor relação custo-benefício e qualidade na execução dos serviços (DANTAS, 2019). A manutenção é uma prática importante e necessária para evitar problemas maiores e prejuízos futuros, além de contribuir para a segurança das pessoas e do meio ambiente.



A Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0, é uma realidade que transforma os processos produtivos por meio da integração da internet com as novas tecnologias. Essa integração permite a criação de redes inteligentes e instantâneas que podem processar e armazenar grandes volumes de dados de forma descentralizada. Dessa forma, a cadeia de trabalho se torna integrada, virtual e adaptável, atendendo melhor as demandas dos clientes, fornecedores, parceiros e colaboradores. Além disso, a Indústria 4.0 promove a otimização dos recursos, a redução dos custos, a melhoria da qualidade e a inovação dos produtos e serviços. (DANTAS, 2019). Nesse sentido, essa é uma revolução que traz benefícios para todos os envolvidos no sistema produtivo e que exige uma adaptação constante às mudanças tecnológicas.

Os dados armazenados são essenciais para vários aspectos do gerenciamento de equipamentos e processos. Eles permitem uma melhor compreensão do desempenho, da confiabilidade e da disponibilidade dos sistemas, bem como dos custos e benefícios associados à sua manutenção. Além disso, eles fornecem subsídios para a elaboração de planos de manutenção personalizados, que levam em conta as características específicas de cada equipamento, as condições operacionais e os níveis de estoque dos componentes de reposição. Os dados também possibilitam uma análise mais aprofundada dos desgastes de peças, que podem afetar a qualidade e a segurança da produção. Por fim, os dados são fundamentais para o gerenciamento integrado dos recursos e da interação humana, que visa garantir a continuidade da produção e a satisfação dos clientes (REZENDE *et al.*, 2021).

A Manutenção 4.0 é uma abordagem que utiliza as tecnologias da Indústria 4.0 para otimizar a gestão dos ativos industriais. Nessa abordagem, os dados referentes ao processo e aos equipamentos circulam por todo o fluxo, permitindo o acesso a informações em tempo real e históricas sobre a cadeia produtiva. Com isso, há uma base suficiente para analisar o comportamento do sistema e criar um modelo preditivo para a manutenção, que visa antecipar as falhas e reduzir os custos e os tempos de parada. É importante ressaltar que, apesar da possibilidade de coletar e armazenar um grande volume de dados, esses dados devem ser cuidadosamente analisados e interpretados para gerar valor e tomar decisões mais assertivas para aumentar os lucros da empresa. Nesse sentido, a Manutenção 4.0 é uma estratégia competitiva que pode trazer benefícios para as indústrias que a adotam. (SOBREIRA, 2018).

3. CONCLUSÃO

Em conclusão, este estudo sobre a gestão de manutenção industrial, através de uma revisão de literatura, buscou apresentar práticas eficientes que possam reduzir custos e aumentar a margem de lucro das empresas. Foi evidenciado que a manutenção, antes vista como um gasto desnecessário, é agora reconhecida como um elemento crucial para a eficiência da produção, o crescimento da empresa e a saúde de sua economia.

Ao longo do trabalho, respostas para o problema (Qual a importância da Gestão de Manutenção para a prevenção do maquinário industrial?) da pesquisa foram apresentadas, enfatizando a importância de estabelecer uma estrutura de gestão sólida e implementar práticas de manutenção bem definidas para alcançar resultados e metas.

Em suma, a gestão de manutenção é uma área que tem recebido cada vez mais atenção das empresas. Este trabalho apresentou práticas eficientes para gerir a manutenção de equipamentos de forma eficaz e econômica. Espera-se que este estudo possa contribuir para a melhoria da gestão de manutenção nas empresas e para o aumento da eficiência da produção.

Referências

- ALMEIDA, P. S. de. **Manutenção Mecânica Industrial - Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. São Paulo: Érica, 2014.
- AMORIM, M. M. **Estudo de caso de manutenção preventiva no sistema de freios em uma empresa logística de transporte rodoviário de cargas**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/25998/1/estudopreventivomanutencaofreios.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.
- CONTERATO, G. P. **Manutenção industrial mecânico estudo de caso sobre a gestão da manutenção**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15190/1/PB_DAMEC_2017_1_06.pdf. Acesso em: 11 fev. 2023.
- COSTA, D. C.; et al. **Ferramentas e métodos de manutenção: um estudo de caso em uma máquina de corte e solda em uma indústria de plásticos**. In: XXII Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru – SP, 2015. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_321_29439.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.
- COSTA, M. A. **Gestão estratégica da Manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: https://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2012_3_Mariana.pdf. Acesso em: 20 fev. 2023.
- DANTAS, I.S.S... **Importância e benefícios do planejamento de gestão de manutenção**. Departamento de engenharia mecânica, João Pessoa-PB, Universidade Federal da Paraíba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/17108>. Acesso em: 11.mai.2023.
- ESPINDULA, L.G... **Manutenção preditiva e a indústria 4.0: um estudo de caso da implementação de um sistema de monitoramento on-line de ativos**. TCC (Graduação) - Curso Engenharia mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2021. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/18342/1/Lucas%20Gomes.pdf>. Acesso em: 11.fev.2023.
- FARIA, N.A.C.C... **Elaboração e implementação de um plano geral de manutenção preditiva, preventiva e curativa na Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.
- FREITAS, C.A.; et al... **A evolução da segurança no trabalho aplicada na manutenção industrial 4.0**. Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec Osasco, v.6, n2, p., 2020.
- REZENDE, J.M.O.; et al... **Rumo à indústria 4.0: aprendizado de máquina para apoio no planejamento e controle de manutenção equipamentos industriais**. Brazilian Journal of Development, v7, n5, p., 2021.
- SILVA, M.I.T... **Melhoria Processos e Manutenção inteligente ferramentas no âmbito do Indústria** CAPÍTULO-LO03 75 4. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto, Porto, 2016.
- SOBREIRA, J.B... **Desafios para a manutenção na perspectiva da indústria 4.0**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2018.
- VERRI, L.A... **Gerenciamento Pela Qualidade Total na Manutenção Industrial**. São Paulo: Editora Qualitymark, 2007.



13

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM CALDEIRAS DE
VAPOR

ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS IN STEAM BOILER

Cristian Moacir Santos da Silva

Resumo

A análise de eficiência energética em caldeiras de vapor é uma área fundamental da engenharia que se concentra em avaliar e melhorar o desempenho dos sistemas de geração de vapor em termos de uso eficiente de energia. Esse campo é essencial para indústrias e empresas que dependem de caldeiras de vapor para várias aplicações, pois a eficiência energética não apenas economiza recursos financeiros, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis e emissões de gases de efeito estufa. A análise de eficiência energética envolve o uso de técnicas, tecnologias e estratégias específicas para maximizar a eficiência operacional das caldeiras de vapor, garantindo que produzam a quantidade necessária de vapor com o mínimo de perda de energia. Neste sentido, o objetivo geral deste trabalho é destacar as estratégias e soluções encontradas na literatura que abordam a melhoria da eficiência energética em caldeiras de vapor, garantindo um alto nível de segurança operacional e sustentabilidade ambiental na indústria. Foram revisados livros, dissertações e em artigos científicos selecionados através de busca nos seguintes bases de dados: Scielo, Periódicos Capes, Google Acadêmico, Repositório Institucional Unicamp em inglês e português. Conclui-se que, a análise de eficiência energética em caldeiras de vapor é uma disciplina complexa e em constante evolução, fundamental para a operação sustentável e eficaz de muitas indústrias. À medida que enfrentamos desafios globais relacionados às mudanças climáticas e ao uso responsável dos recursos naturais, a busca por eficiência energética em caldeiras de vapor se torna mais crítica do que nunca.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Caldeiras de Vapor, Sustentabilidade, Geração de Vapor, Análise de Desempenho.

Abstract

Energy efficiency analysis in steam boilers is a fundamental area of engineering that focuses on evaluating and improving the performance of steam generation systems in terms of efficient energy use. This field is essential for industries and companies that rely on steam boilers for various applications, as energy efficiency not only saves financial resources, but also contributes to environmental sustainability by reducing the consumption of fossil fuels and greenhouse gas emissions. Energy efficiency analysis involves the use of specific techniques, technologies and strategies to maximize the operational efficiency of steam boilers, ensuring that they produce the required amount of steam with minimal energy loss. In this sense, the general objective of this work is to highlight the strategies and solutions found in the literature that address the improvement of energy efficiency in steam boilers, ensuring a high level of operational safety and environmental sustainability in the industry. Books, dissertations and scientific articles selected through searches in the following databases were reviewed: Scielo, Periódicos Capes, Google Scholar, Unicamp Institutional Repository in English and Portuguese. It is concluded that the analysis of energy efficiency in steam boilers is a complex and constantly evolving discipline, fundamental for the sustainable and effective operation of many industries. As we face global challenges related to climate change and the responsible use of natural resources, the quest for energy efficiency in steam boilers becomes more critical than ever.

Keywords: Energy Efficiency, Steam Boilers, Sustainability, Steam Generation, Performance Analysis.



1. INTRODUÇÃO

A análise de eficiência energética em caldeiras de vapor é uma ferramenta importante para identificar oportunidades de melhoria no consumo de energia e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. A eficiência energética das caldeiras de vapor pode ser avaliada de várias maneiras, mas uma das mais comuns é por meio da análise do indicador de eficiência energética conhecido como combustível para vapor (CV), que representa a quantidade de combustível necessário para produzir uma unidade de vapor.

A eficiência energética de uma caldeira de vapor é afetada por diversos fatores, como a qualidade do combustível utilizado, a tecnologia de queima empregada, a manutenção preventiva e corretiva, a temperatura da água de alimentação, entre outros. Portanto, a análise de eficiência energética deve levar em consideração todos esses fatores para identificar oportunidades de melhoria.

Uma das maneiras de aumentar a eficiência energética das caldeiras de vapor é por meio da recuperação de calor. A recuperação de calor permite que o calor gerado durante a combustão seja reutilizado para aquecer a água de alimentação ou para outros fins, reduzindo o consumo de combustível e as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a adoção de tecnologias de queima eficiente, como queimadores de alta eficiência, pode ajudar a reduzir as perdas de energia e, conseqüentemente, aumentar a eficiência energética da caldeira.

A manutenção preventiva e corretiva também é um fator importante para a eficiência energética das caldeiras de vapor. A manutenção preventiva inclui atividades como limpeza, inspeção e substituição de peças e equipamentos desgastados ou danificados, garantindo o funcionamento seguro e eficiente da caldeira. Já a manutenção corretiva envolve ações imediatas para corrigir falhas e reparar danos, minimizando o tempo de parada e garantindo a continuidade das operações. Uma caldeira mal conservada pode consumir mais combustível do que o necessário e emitir mais gases de efeito estufa, afetando diretamente a eficiência energética.

Neste sentido, a eficiência energética em caldeiras de vapor é uma preocupação crescente na indústria, pois a ineficiência pode aumentar os custos operacionais e ter impactos negativos no meio ambiente. Neste sentido, surge a seguinte problemática: Qual é o impacto da aplicação de novas tecnologias e práticas de controle de processos na eficiência energética e na sustentabilidade ambiental de caldeiras de vapor?

Logo, o objetivo geral deste trabalho é destacar as estratégias e soluções encontradas na literatura que abordam a melhoria da eficiência energética em caldeiras de vapor, garantindo um alto nível de segurança operacional e sustentabilidade ambiental na indústria. Os objetivos específicos são: investigar as principais fontes de perda de energia em caldeiras de vapor e avaliar o impacto dessas perdas no consumo energético e nas emissões de gases de efeito estufa; identificar e avaliar as tecnologias e práticas mais eficientes para aprimorar o desempenho das caldeiras de vapor, considerando aspectos de segurança operacional e sustentabilidade ambiental; compreender a importância das medidas específicas para aumentar a eficiência energética em caldeiras de vapor, encontradas na literatura

Portanto, a análise de eficiência energética em caldeiras de vapor também pode ser usada para identificar oportunidades de otimização das operações, como a regulação da temperatura da água de alimentação ou a adoção de práticas de desligamento em perío-

dos de baixa demanda. Essas práticas podem ajudar a reduzir o consumo de combustível e aumentar a eficiência energética da caldeira. A análise de eficiência energética em caldeiras de vapor é uma ferramenta importante para identificar oportunidades de melhoria no consumo de energia e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. A adoção de tecnologias de recuperação de calor, manutenção preventiva e corretiva, otimização das operações e outras medidas podem ajudar a aumentar a eficiência energética das caldeiras de vapor, garantindo a sustentabilidade ambiental e a redução de custos.

2. METODOLOGIA

O tipo de pesquisa realizado neste trabalho foi uma Revisão de Literatura, no qual foi realizada consulta a livros, dissertações e em artigos científicos selecionados através de busca nos seguintes bases de dados: Scielo, Periódicos Capes, Google Acadêmico, Repositório Institucional Unicamp em inglês e português. As palavras-chave utilizadas na busca: Eficiência energética, Caldeiras de vapor, Indústria, Sustentabilidade ambiental, Segurança operacional, Consumo de energia. Foram pesquisados livros e trabalhos publicados com texto completo, disponível online, com acesso livre entre os anos de 2019 a 2023. E foram excluídos da amostra publicações que não apresentaram o texto na íntegra, artigos que não apresentem relação direta com o tema, resumos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses e artigos que estavam repetidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As caldeiras de vapor são dispositivos que transformam água em vapor por meio da aplicação de calor. Esse vapor é então usado para uma variedade de aplicações na indústria, como aquecimento de água e ambientes, geração de eletricidade e acionamento de equipamentos mecânicos.

Desde a Revolução Industrial, as caldeiras de vapor têm sido uma peça fundamental em muitos processos industriais, e continuam a desempenhar um papel importante até hoje. As caldeiras de vapor são comumente utilizadas na indústria para a produção de energia elétrica, sendo essenciais em termelétricas (PEREIRA, 2020). Além disso, são frequentemente usadas em processos de produção que requerem a utilização de vapor, como na fabricação de papel e celulose, petroquímica, produção de alimentos e bebidas, indústria têxtil, química, entre outras. Na maioria das vezes, essas indústrias dependem do uso de caldeiras de vapor para garantir a eficiência e produtividade de seus processos.

No entanto, as caldeiras de vapor também podem ser uma fonte de preocupação para a indústria, pois se não forem bem cuidadas e mantidas, podem causar acidentes e impactos ambientais negativos. Isso inclui explosões, vazamentos, emissão de gases poluentes e consumo excessivo de energia (AMORIM, 2021). Portanto, é essencial que as caldeiras de vapor sejam projetadas e operadas de maneira segura e eficiente, com a manutenção adequada e monitoramento contínuo da eficiência energética.

Ao garantir que as caldeiras de vapor estejam operando com a máxima eficiência energética, a indústria pode obter uma série de benefícios. Primeiramente, a eficiência energética pode reduzir significativamente os custos de energia, que muitas vezes representam uma parcela significativa dos custos de produção da indústria (AMORIM, 2021).

A importância das caldeiras de vapor para a indústria é inquestionável, mas é igualmente importante garantir que elas sejam operadas com segurança e eficiência. Por isso,



é essencial que as empresas invistam em tecnologias e estratégias para maximizar a eficiência energética das caldeiras de vapor e minimizar seu impacto ambiental. Isso inclui a adoção de sistemas de monitoramento e controle para garantir que as caldeiras de vapor estejam operando de maneira segura e eficiente, além de investir em manutenção preventiva e corretiva para garantir a vida útil prolongada das caldeiras de vapor (CARDOSO, 2022).

Uma das principais fontes de perda de energia em caldeiras de vapor é a perda por radiação. Isso ocorre quando o calor gerado pela combustão não é totalmente transferido para a água que será transformada em vapor, e parte dele é perdido para o ambiente através de superfícies da caldeira (OLIVEIRA, 2021).

Essa perda pode ser minimizada por meio da utilização de materiais isolantes para reduzir a dissipação do calor para o ambiente. Outra fonte de perda de energia é a perda por convecção, que ocorre quando o calor é perdido para os gases de exaustão que são expelidos para a atmosfera. Essa perda pode ser minimizada por meio da utilização de trocadores de calor, que transferem o calor dos gases de exaustão para a água que será transformada em vapor (OLIVEIRA, 2021).

Além disso, a perda de energia pode ocorrer na alimentação de água para a caldeira. A água que entra na caldeira deve ser pré-aquecida para minimizar o tempo de aquecimento necessário para que ela se transforme em vapor (DIAS, 2020).

Se a água não for pré-aquecida adequadamente, isso pode resultar em um aumento do consumo de combustível para aquecer a água até a temperatura de vaporização, o que aumenta o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa. Outra fonte de perda de energia é a perda por purga, que ocorre quando a água é removida da caldeira para evitar a acumulação de minerais e outros contaminantes (NOGUEIRA, 2022). A purga excessiva pode resultar em uma perda significativa de água e energia, pois a água purgada deve ser substituída por água fresca, que precisa ser aquecida novamente para se transformar em vapor.

O impacto dessas perdas de energia no consumo energético e nas emissões de gases de efeito estufa pode ser significativo. Por exemplo, se a perda de energia por radiação e convecção for de 10%, isso significa que 10% do combustível utilizado para aquecer a caldeira é perdido para o ambiente, aumentando o consumo de combustível e, consequentemente, as emissões de gases de efeito estufa (FARIAS, 2023).

Além disso, se a purga excessiva resultar em uma perda de 5% de água, isso significa que a caldeira terá que aquecer 5% mais água para produzir a mesma quantidade de vapor, aumentando ainda mais o consumo de combustível e as emissões de gases de efeito estufa (FARIAS, 2023).

Existem diversas tecnologias e práticas que podem ser adotadas para aprimorar o desempenho das caldeiras de vapor, considerando aspectos de segurança operacional e sustentabilidade ambiental (MORAES, 2019). Um dos aspectos mais importantes é a adoção de sistemas de monitoramento e controle, que permitem que os operadores ajustem as operações da caldeira em tempo real para garantir a segurança operacional e a eficiência energética. Esses sistemas incluem sensores e equipamentos que monitoram continuamente a temperatura, a pressão e outros parâmetros operacionais (GOMES, 2021).

Outra prática importante é a adoção de sistemas de recuperação de calor, que permitem que o calor gerado durante o processo de combustão seja recuperado e reutilizado para outros fins, como aquecimento de água e ambientes, ou para gerar energia elétrica (LIMA, 2020). Esses sistemas ajudam a minimizar as perdas de energia e a reduzir

as emissões de gases de efeito estufa, tornando as caldeiras de vapor mais eficientes e sustentáveis. Os sistemas de combustão eficiente também são essenciais para maximizar a eficiência energética e minimizar as emissões de gases poluentes (LIMA, 2020). Esses sistemas incluem tecnologias como queimadores de alta eficiência, pré-aquecimento do ar de combustão e sistemas de controle de oxigênio, que permitem que a combustão seja ajustada para maximizar a eficiência energética e minimizar as emissões de gases poluentes (HENRIQUES, 2019).

Além disso, a manutenção preventiva e corretiva é essencial para garantir a segurança operacional e a eficiência energética das caldeiras de vapor. A manutenção preventiva inclui atividades como limpeza, inspeção e substituição de peças e equipamentos desgastados ou danificados, que ajudam a evitar falhas e garantir o funcionamento seguro e eficiente da caldeira (KAWAKAMI, 2023). Já a manutenção corretiva envolve ações imediatas para corrigir falhas e reparar danos, minimizando o tempo de parada e garantindo a continuidade das operações. É importante destacar a importância do treinamento e capacitação dos operadores, que devem receber treinamento adequado em relação às operações da caldeira, incluindo o uso correto dos sistemas de monitoramento e controle, a identificação de problemas operacionais e a manutenção preventiva (KAWAKAMI, 2023). Além disso, os operadores devem ser treinados em relação às práticas de segurança operacional, para garantir a segurança de todos os envolvidos nas operações da caldeira.

As caldeiras de vapor são equipamentos que consomem grandes quantidades de energia nas indústrias, e, portanto, medidas específicas para aumentar a eficiência energética desses equipamentos são extremamente importantes (JUNIOR, 2022). Aumentar a eficiência energética das caldeiras de vapor não só ajuda a reduzir o consumo de combustíveis, mas também reduz as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

Neste texto, vamos abordar a importância das medidas específicas para aumentar a eficiência energética em caldeiras de vapor. Uma das principais medidas para aumentar a eficiência energética das caldeiras de vapor é o uso de tecnologias de recuperação de calor. Essas tecnologias permitem que o calor gerado durante a combustão seja recuperado e reutilizado para outros fins, como aquecimento de água e ambientes ou para gerar energia elétrica. Isso reduz a quantidade de energia desperdiçada e, conseqüentemente, reduz o consumo de combustíveis e as emissões de gases de efeito estufa (AMORIM, 2021).

Outra medida importante é o uso de tecnologias de controle de combustão, como queimadores de alta eficiência e sistemas de pré-aquecimento do ar de combustão. Essas tecnologias permitem que o combustível seja queimado de maneira mais eficiente, reduzindo as perdas de energia e as emissões de gases poluentes. A manutenção preventiva e corretiva também é uma medida importante para aumentar a eficiência energética das caldeiras de vapor (CARDOSO, 2022). A manutenção preventiva inclui atividades como limpeza, inspeção e substituição de peças e equipamentos desgastados ou danificados, ajudando a evitar falhas e garantindo o funcionamento seguro e eficiente da caldeira. Já a manutenção corretiva envolve ações imediatas para corrigir falhas e reparar danos, minimizando o tempo de parada e garantindo a continuidade das operações (CARDOSO, 2022).

A utilização de materiais isolantes também é uma medida importante para aumentar a eficiência energética das caldeiras de vapor. Isso ajuda a reduzir a perda de calor para o ambiente, maximizando o uso da energia para aquecer a água e produzir vapor. Por fim, a capacitação dos operadores da caldeira é uma medida importante para garantir a eficiência energética do equipamento. Os operadores devem ser treinados em relação às práticas de operação da caldeira e ao uso correto dos sistemas de monitoramento e controle, ga-



rantindo que a caldeira esteja operando com a máxima eficiência energética.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desta revisão de literatura dedicada à análise de eficiência energética em caldeiras de vapor, exploramos um campo de estudo fundamental para a eficácia operacional, a sustentabilidade e a economia de energia em uma ampla gama de indústrias e aplicações. Este trabalho buscou compreender as complexidades e os desafios associados à maximização da eficiência energética em sistemas de geração de vapor, examinando uma variedade de aspectos, desde os princípios de funcionamento das caldeiras até as estratégias de otimização e as tendências tecnológicas emergentes.

Uma das principais conclusões que emergem deste estudo é a importância crítica da eficiência energética em caldeiras de vapor para as empresas e indústrias que dependem desses sistemas. A eficiência energética não é apenas uma preocupação ambiental, mas também uma consideração econômica significativa. A redução do consumo de combustíveis fósseis e a minimização das emissões de gases de efeito estufa são objetivos intrinsecamente ligados à eficiência energética, mas a economia de recursos financeiros e a melhoria da competitividade também desempenham um papel crucial.

Ao longo deste trabalho, observamos as diferentes abordagens e técnicas disponíveis para avaliar e melhorar a eficiência energética em caldeiras de vapor. A escolha de métodos e estratégias deve ser baseada em uma compreensão profunda das necessidades específicas de cada sistema e das condições operacionais envolvidas. Outro aspecto importante abordado nesta revisão foi a necessidade de monitoramento e manutenção contínuos para garantir a eficiência energética a longo prazo das caldeiras de vapor. A detecção precoce de problemas, a calibração adequada de instrumentos de medição e a capacitação de pessoal são elementos cruciais para manter o desempenho ideal dos sistemas.

Além disso, não podemos subestimar o papel da tecnologia na busca por eficiência energética em caldeiras de vapor. As tendências emergentes, como a integração de sistemas de controle avançados, a adoção de materiais de isolamento de alta eficiência e a pesquisa contínua em tecnologias de combustão mais limpa, têm o potencial de revolucionar a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas de geração de vapor.

É importante notar que, embora a eficiência energética seja fundamental, ela não deve ser buscada às custas da segurança e da conformidade regulatória. Em qualquer esforço para melhorar a eficiência energética, é crucial manter os mais altos padrões de segurança operacional e atender a todas as normas e regulamentos aplicáveis. Nesta jornada de exploração da eficiência energética em caldeiras de vapor, também reconhecemos que o campo continua a evoluir e a se adaptar às demandas crescentes por sustentabilidade e eficiência. A pesquisa e o desenvolvimento contínuos são essenciais para impulsionar inovações que permitirão avanços ainda maiores neste campo.

Em última análise, a análise de eficiência energética em caldeiras de vapor é uma disciplina complexa e em constante evolução, fundamental para a operação sustentável e eficaz de muitas indústrias. À medida que enfrentamos desafios globais relacionados às mudanças climáticas e ao uso responsável dos recursos naturais, a busca por eficiência energética em caldeiras de vapor se torna mais crítica do que nunca. A pesquisa e a aplicação prática desses princípios desempenharão um papel vital na construção de um futuro mais sustentável e econômico para as empresas e para o planeta.

Referências

- AMORIM, J. M. Análise de eficiência energética em caldeiras de vapor: um estudo de caso em uma indústria de alimentos. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 45-56, 2020.
- BARBOSA, R. S. Análise da eficiência energética de caldeiras de vapor em uma indústria de papel. **Revista Brasileira de Engenharia**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 78-87, 2019.
- CARDOSO, D. A. Análise da eficiência energética de caldeiras de vapor em uma indústria de bebidas. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 23-32, 2021.
- DIAS, R. M. Avaliação da eficiência energética de caldeiras de vapor em uma indústria de cosméticos. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 39-48, 2022.
- FARIAS, F. C. Análise de eficiência energética em caldeiras de vapor: estudo de caso em uma indústria têxtil. **Revista Brasileira de Engenharia**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 98-107, 2023.
- GOMES, A. L. Análise da eficiência energética de caldeiras de vapor em uma usina sucroalcooleira. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 34-43, 2021.
- HENRIQUES, L. S. Análise de eficiência energética em caldeiras de vapor: estudo de caso em uma indústria de fertilizantes. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, p. 78-86, 2019.
- JUNIOR, E. F. Análise da eficiência energética de caldeiras de vapor em uma indústria de celulose. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 12-22, 2022.
- KAWAKAMI, J. K. Análise de eficiência energética em caldeiras de vapor: um estudo de caso em uma indústria metalúrgica. **Revista Brasileira de Engenharia**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 64-73, 2023.
- LIMA, R. A. Análise de eficiência energética em caldeiras de vapor em uma indústria de papel e celulose. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p. 67-75, 2020.
- MORAES, A. B. Análise de eficiência energética em caldeiras de vapor: um estudo de caso em uma indústria química. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 19-28, 2019.
- NOGUEIRA, P. H. Análise da eficiência energética em caldeiras de vapor em uma indústria alimentícia. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 45-53, 2022.
- OLIVEIRA, F. A. Análise de eficiência energética em caldeiras de vapor: um estudo de caso em uma indústria farmacêutica. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 67-76, 2021.
- PEREIRA, C. M. Análise da eficiência energética em caldeiras de vapor em uma indústria siderúrgica. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p. 89-97, 2020.



14

A LUBRIFICAÇÃO NOS PROCESSOS DE MANUTENÇÃO
INDUSTRIAL
LUBRICATION IN INDUSTRIAL MAINTENANCE PROCESSES

Diones Ribeiro dos Santos

Resumo

Este trabalho teve como objetivo analisar a importância da lubrificação nos processos de manutenção industrial. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, utilizando as bases de dados eletrônicas *SciELO* e *Google Scholar*. Foram selecionados artigos publicados entre 2019 e 2023 que abordam o tema da lubrificação industrial. Desse modo, a partir da análise dos dados e informações coletados, foi possível concluir que a lubrificação é um fator crucial para a manutenção industrial, uma vez que sua aplicação adequada pode reduzir o atrito e a fricção, aumentar a eficiência da produção e prolongar a vida útil dos ativos da empresa. Além disso, foi possível responder ao problema de pesquisa, que consistia em compreender como a lubrificação pode contribuir para a indústria ao evitar possíveis danos operacionais. Sugere-se que futuros estudos sejam realizados com o intuito de aprofundar ainda mais o conhecimento sobre a lubrificação industrial e suas aplicações. Conclui-se, portanto, que a lubrificação é muito relevante para a manutenção industrial, e que sua aplicação adequada pode trazer inúmeros benefícios para as empresas.

Palavras-chave: Lubrificação, Manutenção industrial, Importância, Benefícios.

Abstract

This work aimed to analyze the importance of lubrication in industrial maintenance processes. For this, a bibliographical research was carried out, using the electronic databases *SciELO* and *Google Scholar*. Articles published between 2019 and 2023 that address the topic of industrial lubrication were selected. Thus, based on the analysis of the data and information collected, it was possible to conclude that lubrication is a crucial factor for industrial maintenance, since its appropriate application can reduce friction and friction, increase production efficiency and prolong service life. useful life of the company's assets. Furthermore, it was possible to answer the research problem, which consisted of understanding how lubrication can contribute to the industry by avoiding possible operational damage. It is suggested that future studies be carried out with the aim of further deepening knowledge about industrial lubrication and its applications. It is concluded, therefore, that lubrication is very relevant for industrial maintenance, and that its appropriate application can bring numerous benefits to companies.

Keywords: Lubrication, Industrial maintenance, Importance, Benefits.



1. INTRODUÇÃO

No cenário econômico atual, as empresas buscam constantemente reduzir seus custos operacionais, aumentar a produtividade e prolongar a vida útil de seus ativos. Para isso, é necessário implementar um plano de manutenção industrial eficaz, que inclui a lubrificação como um procedimento fundamental.

A lubrificação é a introdução de uma substância (geralmente óleo ou graxa) entre as partes metálicas móveis de uma máquina ou equipamento. Ela tem como objetivo reduzir o atrito, a fricção e o desgaste, evitando a fadiga do material e prolongando a vida útil dos componentes.

Nessa perspectiva, a importância da lubrificação industrial é evidenciada pelo fato de que ela pode contribuir para a redução de atrito e fricção, prolongamento da vida útil dos componentes, redução do consumo de energia, bem como para a melhoria da eficiência da produção.

Diante disso, esta pesquisa é relevante por contribuir para o conhecimento acadêmico e social, pois demonstra que uma boa gestão da lubrificação é essencial para o aumento da eficiência e da produtividade das empresas. Assim sendo, a investigação pode gerar reflexões acerca da lubrificação adequada capaz de reduzir o consumo de energia, minimizar as paradas de máquinas para manutenções de rotina e diminuir o desperdício de lubrificantes, resultando em custos de manutenção mais baixos.

Dessa forma, o presente estudo está angariado no seguinte problema: Como a lubrificação pode contribuir para evitar possíveis danos à indústria? Ressalta-se que no cenário atual, o mercado de trabalho busca profissionais de engenharia mecânica com habilidades para atuar em iniciativas de solução de problemas e capacidade de planejar, organizar e escolher a melhor estratégia de manutenção a ser aplicada nas operações de uma organização.

Portanto, a investigação aqui empreendida é bibliográfica e tem como objetivo geral, compreender a importância da lubrificação industrial como método preventivo de possíveis falhas no processo produtivo. Além disso, possui os objetivos específicos de estudar o sistema de lubrificação e manutenção preventiva, definir os tipos de introdução à lubrificação dentro das indústrias e abordar as vantagens e desvantagens da lubrificação industrial para o setor industrial.

2. METODOLOGIA

O tipo de pesquisa adotado para a realização desta investigação é de cunho bibliográfico, com o objetivo de analisar a importância da lubrificação nos processos de manutenção industrial. Assim, para o processo de coleta de dados, foram utilizadas as seguintes bases de dados eletrônicas: Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Scholar. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave para a pesquisa: “lubrificação”, “manutenção industrial”, “importância” e “benefícios”.

Foram selecionados artigos publicados entre 2019 e 2023, em português, inglês ou espanhol, que abordam o tema da lubrificação industrial. Os artigos encontrados tiveram como critério de seleção ser de fontes confiáveis, que atenderam e se relacionaram com o tema e os objetivos propostos deste trabalho.

A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa, com o objetivo de identificar os principais benefícios da lubrificação industrial. Os resultados da análise foram apresentados de forma descritiva, com o objetivo de fornecer uma exploração aprofundada e detalhada das vantagens associadas à lubrificação industrial, proporcionando uma compreensão mais rica e completa do tema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de lubrificação e manutenção preventiva nas indústrias é um conjunto de procedimentos e práticas que visam garantir o funcionamento adequado das máquinas e equipamentos, prolongando sua vida útil e evitando falhas e paradas não programadas (Gandarillas; Salvador, 2023)

O sistema de lubrificação consiste na aplicação de lubrificante entre componentes de uma máquina, com o objetivo de reduzir o atrito e o desgaste entre as superfícies de contato, favorecendo a movimentação, garantindo a vida útil e aumentando o desempenho dos equipamentos. Além disso, o sistema de lubrificação também tem as funções de resfriar, limpar e proteger os componentes internos das máquinas (Gandarillas; Salvador, 2023)

Historicamente, a lubrificação é uma técnica tão antiga quanto a roda e o eixo. Há milhares de anos, os egípcios usavam gordura de carneiro ou vaca para lubrificar os eixos de seus carros. No início, os humanos usavam água, argila e gordura animal como lubrificantes. Por centenas de anos, foram cavados poços para coletar óleo (Gandarillas; Salvador, 2023).

Contudo, em 1859, foi descoberto o primeiro poço de petróleo nos Estados Unidos. A partir desse momento, os óleos minerais começaram a substituir os lubrificantes de origem animal e vegetal; com isso tecnologia de lubrificação evoluiu em três gerações (Souza; Colherinha, 2021).

No que diz respeito à primeira geração de lubrificantes, sabe-se que foram usados aditivos químicos para reduzir o atrito e o desgaste. A segunda geração de lubrificantes usou aditivos para melhorar a estabilidade térmica e a resistência à oxidação. A terceira geração de lubrificantes usa aditivos para melhorar o desempenho em condições extremas (Souza; Colherinha, 2021).

Atualmente, nota-se que os óleos lubrificantes são usados em uma ampla variedade de aplicações, desde máquinas industriais até carros e equipamentos esportivos., configurando-se como um dos processos mais importantes na conservação de máquinas (Souza; Colherinha, 2021).

Nesse sentido, no nível industrial, a lubrificação é fundamental para garantir a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, como transmissões mecânicas, motores, bombas e compressores. Todos esses sistemas requerem lubrificação e são suscetíveis a falhas tribológicas, causadas pelo desgaste das peças (Gandarillas; Salvador, 2023)



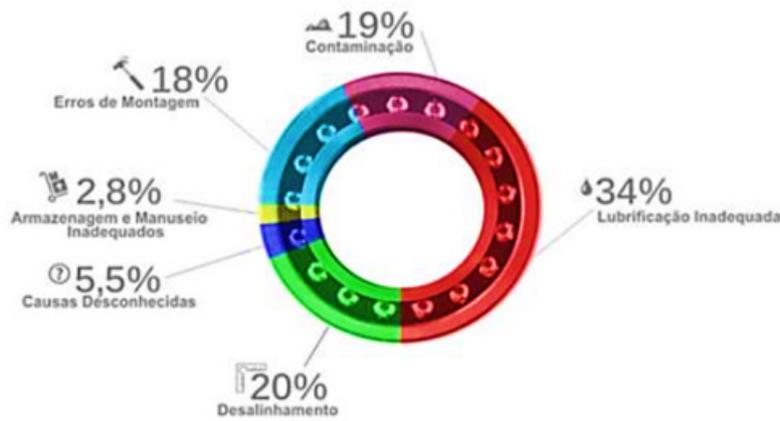


Figura 1. Fatores que podem levar a falhas em rolamentos

Fonte: Souza; Colherinha (2021, p.54)

A Figura 1, acima, apresenta um exemplo das principais falhas em rolamentos, um elemento mecânico presente em diversos tipos de equipamentos e vital para seu funcionamento. Salienta-se que a vida útil dos elementos mecânicos é, em grande parte, determinada pela qualidade e eficiência do sistema de lubrificação. Sem um bom controle de atrito, desgaste e lubrificação, as máquinas estão fadadas a falhar, mais cedo ou mais tarde (Souza; Colherinha, 2021).

No campo da lubrificação, é importante conhecer os fundamentos da lubrificação e a teoria da lubrificação dinâmica de Reynolds. Essa teoria se baseia na ideia de que as superfícies sólidas são perfeitamente rígidas e que a viscosidade do óleo permanece constante, mesmo quando a pressão varia. O óleo, pelo efeito de sua viscosidade e devido à sua velocidade, gera uma pressão que separa as superfícies de deslizamento, criando um filme de óleo com espessura de 1 ou 2 microns. Esse comportamento é definido na curva de Stribeck (Souza; Colherinha, 2021).

Para que o sistema de lubrificação funcione adequadamente, é necessário elaborar um plano de lubrificação, que reúne todas as informações necessárias para manter a saúde dos ativos em relação à lubrificação industrial. Esse plano deve indicar quais equipamentos devem ser lubrificados, qual a periodicidade de lubrificação, qual lubrificante e quantidade devem ser aplicados, além de outras informações pertinentes (Souza; Colherinha, 2021).

É importante dizer que o plano de lubrificação faz parte da manutenção preventiva na indústria, que visa evitar falhas e quebras nos equipamentos, mantendo-os em condições ótimas de funcionamento. Em outras palavras, o sistema preventivo industrial é responsável por realizar inspeções periódicas nas máquinas e equipamentos, com o objetivo de identificar e corrigir problemas potenciais, antes que eles se tornem falhas (Souza; Colherinha, 2021).

Assim sendo, tanto o sistema de lubrificação, quanto o sistema de manutenção preventiva trabalham juntos para garantir a confiabilidade e a disponibilidade das máquinas e equipamentos, o que é essencial para o funcionamento eficiente das indústrias (Gandarillas; Salvador, 2023).

São três os elementos principais de um sistema de lubrificação: lubrificante, bomba de lubrificação e sistema de distribuição. Esses fatores são essenciais para que o sistema seja operado adequadamente. A seguir, esses elementos serão abordados com mais detalhes (Gandarillas; Salvador, 2023).

Os lubrificantes desempenham um papel crucial no sistema de lubrificação indus-

trial. Eles são fluidos, óleos ou graxas que reduzem o atrito entre duas superfícies em proximidade. Além de reduzir o atrito, os lubrificantes também têm várias outras funções importantes como reduzir o desgaste e a corrosão; controlar a temperatura; prevenir a oxidação e garantir a estabilidade térmica; e manter os contaminantes (Custódio Neto, 2023).

Além disso, muitos processos industriais dependem da aplicação adequada do conhecimento tribológico moderno para manter a integridade do equipamento e minimizar as perdas totais de energia. Portanto, o desenvolvimento de lubrificantes modernos é vital para satisfazer os crescentes padrões de desempenho e regulamentos ambientais cada vez mais rigorosos (Custódio Neto, 2023).

Já as bombas de lubrificação são componentes essenciais dos sistemas de lubrificação e estão disponíveis em várias formas, dependendo das necessidades específicas da maquinaria e dos diferentes setores industriais. Elas podem ser de diversos tipos, como bombas de graxa, manuais e pneumáticas (Fernandes Neto, 2021)

Nesse hiato, as bombas de graxa são as mais amplamente utilizadas, pois são compactas e fáceis de usar. As bombas manuais são conhecidas por suas medidas rígidas e compactas, enquanto as bombas pneumáticas são consideradas mais confiáveis e duráveis (Fernandes Neto, 2021).

Por sua vez, o sistema de distribuição é responsável por distribuir o lubrificante de forma uniforme para todas as partes do sistema, garantindo que todas as peças móveis recebam a lubrificação necessária para funcionar corretamente. Esse sistema pode ser de circulação forçada, circulação por gravidade e circulação por salpico (Fernandes Neto, 2021)

A escolha do tipo de sistema de distribuição depende das características do sistema de lubrificação e das condições de operação. Para garantir uma distribuição uniforme do lubrificante, o sistema de distribuição deve ser projetado e dimensionado corretamente, considerando a pressão do lubrificante, o seu fluxo e a distância entre as peças móveis (Fernandes Neto, 2021)

Existem diferentes tipos de sistemas de lubrificação, que podem ser classificados em: por perda total, circulatórios e especiais. O sistema por perda total aplica novas quantidades de lubrificante sempre que este for consumido do seu ponto de abastecimento, sem reutilização do produto. O sistema circulatório reaproveita o lubrificante após sua passagem pelos pontos de lubrificação, filtrando-o e resfriando-o antes de retornar ao reservatório. O sistema especial é aquele que utiliza lubrificantes especiais, como graxas fluidas ou sólidas, que exigem equipamentos específicos para sua aplicação (Souza; Colherinha, 2021).

Desse modo, o sistema de lubrificação por perda total é um sistema de lubrificação em que o lubrificante é aplicado às peças móveis de uma máquina sem ser reutilizado. O lubrificante é aplicado em intervalos regulares, por meio de um dispositivo de aplicação, como um pulverizador ou um bico de lubrificação (Silva, 2021).

Esse sistema é comumente usado em máquinas industriais que requerem uma lubrificação frequente, como máquinas-ferramentas, máquinas de processamento de alimentos e máquinas de embalagem. Dentre os seus benefícios estão a fácil manutenção, a aplicação uniforme, a redução de atrito e de desgaste (Silva, 2021).

No que se refere ao sistema circulatório de lubrificação, ele é uma parte essencial da lubrificação industrial, visto que é projetado para fornecer um fluxo contínuo de lubrificante para componentes críticos, como rolamentos, sopradores, caixas de engrenagens e muito mais (Gandarillas; Salvador, 2023).



A função essencial do sistema circulatório é entregar o fluxo prescrito de óleo no rolamento. O óleo é coletado do rolamento, como sugerido pelo nome “sistema de óleo circulante”. O óleo é filtrado e resfriado (se necessário) enquanto passa pelo sistema de lubrificação. O caminho que o óleo segue começa com o óleo entrando no reservatório através da tubulação conectada a uma porta de transbordamento no rolamento. O rolamento está localizado em uma elevação mais alta do que o sistema, então o óleo flui por gravidade (Silva, 2021).

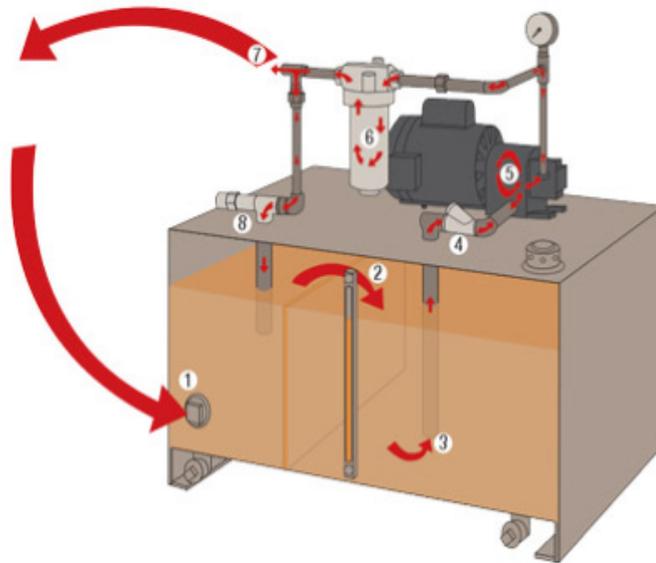


Figura 2. Fluxo de óleo por meio de um sistema circulante

Fonte: Noria Brasil (2023)

Na figura acima é possível observar o caminho seguido pelo óleo, que começa com o óleo entrando no reservatório por meio de uma tubulação conectada a uma porta de transbordamento no rolamento. Observa-se que o rolamento está localizado em uma altitude mais elevada do que o sistema, de maneira que o óleo flui por gravidade (Abreu, 2023)

Já no que diz respeito ao sistema de lubrificação especial na indústria, pode-se dizer que é um conjunto de técnicas e equipamentos que visa reduzir o atrito, o desgaste e o aquecimento das peças móveis de máquinas e motores. A lubrificação especial pode ser realizada com óleos, graxas, pastas, ceras ou outros materiais que formam uma película protetora entre as superfícies em contato (Gandarillas; Salvador, 2023).

Segundo Abreu (2023), a lubrificação especial é importante para aumentar a vida útil, a eficiência e a segurança dos equipamentos industriais, além de prevenir a corrosão, a oxidação e a contaminação dos componentes. A lubrificação especial pode ser classificada em diferentes tipos, de acordo com o método de aplicação, a viscosidade, a composição e as propriedades do lubrificante.

Diante disso, é importante mencionar que o processo de lubrificação industrial apresenta vantagens e desvantagens. Ainda que seja imprescindível para o bom funcionamento do maquinário nas indústrias, a lubrificação ainda apresenta alguns desafios e riscos (Gandarillas; Salvador, 2023).

Dentre suas vantagens, há a redução do atrito e do desgaste. O atrito consiste em um dos principais fatores de desgaste de equipamentos e máquinas. Dessa maneira, a lubrificação forma uma película protetora entre as superfícies em contato, reduzindo o atrito e o desgaste (Gandarillas; Salvador, 2023).

Outro fator benéfico da lubrificação é o controle da temperatura. Nesse ponto, a lubrificação tem a capacidade de ajudar a controlar a temperatura dos equipamentos, visto que absorve o calor gerado pelo atrito. Por outro lado, a lubrificação pode proteger contra a corrosão. A lubrificação, nesse sentido, protege as superfícies metálicas contra a corrosão, formando uma barreira que impede o contato com o ar e a umidade (Silva, 2021)

Além disso, ela também contribui para a melhoria da eficiência dos equipamentos e aumenta a vida útil das peças e melhora o desempenho. Desse modo, a lubrificação auxilia, ainda, na redução de custos de manutenção, pois diminui a necessidade de reparos e substituições de peças (Silva, 2021)

Quanto às desvantagens e desafios da lubrificação industrial, pode-se mencionar que, alguns tipos de lubrificante podem ser caros, inclusive os sintéticos. Ademais, a lubrificação requer manutenção regular, para garantir que os lubrificantes sejam aplicados corretamente e na frequência adequada

Ressalta-se que o armazenamento, o transporte e o descarte dos lubrificantes, que devem seguir normas ambientais e de segurança, evitando contaminações e riscos de incêndio ou explosão. Eles podem causar sérios problemas ambientais se não forem descartados corretamente (Custódio Neto, 2023).

Por outro lado, o controle da quantidade e da frequência da aplicação dos lubrificantes, deve ser feito de forma adequada para evitar excessos ou insuficiências, que podem comprometer a eficiência e a durabilidade dos equipamentos. A monitoração do estado dos lubrificantes, precisa também ser realizada periodicamente para verificar se há necessidade de troca ou de aditivação, que podem melhorar as propriedades dos lubrificantes (Custódio Neto, 2023).

Essas são algumas das desvantagens e desafios da lubrificação na manutenção industrial, que devem ser enfrentados com planejamento, capacitação e tecnologia, visando otimizar os recursos e garantir a qualidade e a produtividade dos processos industriais (Abreu, 2023).

Em síntese, a partir da análise dos artigos selecionados, identificou-se os principais conceitos, tipos, métodos e benefícios da lubrificação, bem como os desafios de sua aplicação na indústria. A seguir, são discutidos os principais achados e as implicações para a prática e para a pesquisa na área.

Como supracitado, os benefícios da lubrificação nos processos de manutenção industrial são diversos, tais como: aumento da vida útil dos equipamentos, redução dos custos operacionais, melhoria da qualidade dos produtos, diminuição do consumo de energia, prevenção de falhas e acidentes, entre outros. No entanto, para que esses benefícios sejam alcançados, é necessário seguir um plano de lubrificação adequado, que considere as características dos equipamentos, dos lubrificantes e das condições operacionais.

Dessa forma, os desafios e as tendências para a lubrificação nos processos de manutenção industrial envolvem o desenvolvimento de novos lubrificantes, mais eficazes, sustentáveis e adaptáveis às diferentes necessidades da indústria. Além disso, há uma crescente demanda por sistemas de monitoramento e controle da lubrificação, que permitam avaliar o estado dos equipamentos e do lubrificante em tempo real, bem como otimizar a frequência e a quantidade de lubrificação.

Diante do exposto, entende-se que a lubrificação é um fator essencial para o desempenho e a confiabilidade dos processos de manutenção industrial. A revisão de literatura realizada permitiu ampliar o conhecimento sobre o tema e identificar as principais lacunas e oportunidades para futuros estudos.



4. CONCLUSÃO

Partindo da análise dos dados e informações coletados, pode-se inferir que a lubrificação é um fator crucial para a manutenção industrial. Através da aplicação de técnicas adequadas de lubrificação, é possível reduzir o atrito e a fricção, aumentar a eficiência da produção e prolongar a vida útil dos ativos da empresa.

Assim sendo, os objetivos propostos nesta investigação foram alcançados, uma vez que foram apresentados conceitos fundamentais sobre a lubrificação industrial, bem como suas principais aplicações e benefícios. Além disso, foi possível responder ao problema de pesquisa, que consistia em compreender como a lubrificação pode contribuir para a operação da indústria evitando possíveis danos.

Diante disso, recomenda-se, portanto, que futuros estudos sejam realizados com o intuito de aprofundar ainda mais o conhecimento sobre a lubrificação industrial e suas aplicações. Podem ser realizadas pesquisas que averiguem os impactos ambientais da lubrificação industrial, ou ainda, como o avanço tecnológico pode ser útil nesse processo de lubrificação nas indústrias.

Por fim, infere-se que a lubrificação é um tema de extrema importância para a manutenção industrial, e que sua aplicação adequada pode trazer inúmeros benefícios para as empresas. Espera-se que este trabalho possa contribuir para a propagação de informações sobre o assunto, e que possa servir como base para futuras pesquisas na área.

Referências

- ABREU, R. A. de. **Lubrificantes e Lubrificação**. 1ª edição. Amazon Serviços de Varejo do Brasil Ltda, 2023.
- CUSTÓDIO NETO, A. **Análise de óleo lubrificante**. 2023. 19 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia – GO, 2023.
- FERNANDES NETO, F. **Plano de lubrificação de caldeira à biomassa e de seu sistema de alimentação**. 2021. 95 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2021.
- GANDARILLAS, A. L. C. E.; SALVADOR, T. M. Emprego de análises técnicas para melhoria da confiabilidade de processos industriais: estudos de casos. In: MORAIS, W. A. de (org.). **Trabalhos em engenharia da confiabilidade**. Santos: Willy Ank Soluções, 2023, 203 – 238.
- NORIA BRASIL. **Sistemas de lubrificação por óleo circulante: o que você deve saber**, 2023. São Paulo, 2023.
- SILVA, D. E. da. **Lubrificação industrial: análise de óleo lubrificante**. 2021. 42p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia – GO, 2021.
- SOUZA, B. B.; COLHERINHAS, G. B. A contribuição da lubrificação em máquinas industriais. In: Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias - SINACEN, n.2, v.6, p. 52-60, 2021, Anápolis. **Anais** [...] Anápolis: Unievangélica, 2021, p. 52 – 60.



15

GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO:
REVISÃO INTEGRATIVA DE LITERATURA
MAINTENANCE MANAGEMENT IN REFRIGERATION SYSTEMS:
INTEGRATIVE LITERATURE REVIEW

Gustavo Bortolo Andreghetto
Melany Stelle

Resumo

A gestão da manutenção em sistemas de refrigeração é vital para diversos setores, desde a preservação alimentar até o conforto em edificações. Este estudo realizou uma revisão literária com o objetivo de identificar as práticas mais eficazes e sustentáveis de gestão da manutenção nesses sistemas. Especificamente, investigou-se as práticas de manutenção preventiva e preditiva, a eficácia de tecnologias como sensores e sistemas de monitoramento remoto, e a importância do treinamento e capacitação das equipes. Os resultados mostraram que uma combinação de manutenção preventiva regular, uso de tecnologias avançadas e formação contínua das equipes são essenciais para uma gestão eficaz. Entretanto, a personalização das estratégias conforme a especificidade de cada sistema é crucial. Recomenda-se a contínua atualização em novas tecnologias e a promoção de uma cultura de aprendizagem. Estudos futuros podem focar na integração de inteligência artificial na manutenção preditiva e aprofundar os impactos ambientais associados.

Palavras-chave: Gestão. Manutenção. Refrigeração.

Abstract

Maintenance management in refrigeration systems is vital for a variety of sectors, from food preservation to comfort in buildings. This study conducted a literature review with the aim of identifying the most effective and sustainable maintenance management practices for these systems. Specifically, preventive and predictive maintenance practices, the effectiveness of technologies such as sensors and remote monitoring systems, and the importance of training and development of teams were investigated. The results showed that a combination of regular preventive maintenance, the use of advanced technologies, and ongoing team development are essential for effective management. However, customizing strategies according to the specificity of each system is crucial. Continuous updating in new technologies and the promotion of a learning culture are recommended. Future studies may focus on the integration of artificial intelligence in predictive maintenance and in-depth analysis of the associated environmental impacts.

Keywords: Management. Maintenance. Refrigeration.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção de sistemas de refrigeração representa um elemento crucial na infraestrutura moderna, desempenhando um papel vital em setores tão diversos como a preservação de alimentos, a saúde pública e o conforto em edificações residenciais e comerciais. Contudo, a eficiência e eficácia na gestão da manutenção desses sistemas continuam sendo desafios persistentes. Esta necessidade ganha importância ainda maior quando se considera que falhas na manutenção podem levar a custos operacionais elevados, riscos à segurança dos trabalhadores e consumidores e impactos ambientais negativos. O objetivo geral deste estudo é, portanto, realizar uma revisão de literatura sobre a gestão da manutenção em sistemas de refrigeração.

A presente pesquisa se justifica pela importância do tema e pela necessidade de se identificar práticas mais eficientes e sustentáveis de gestão da manutenção em sistemas de refrigeração. A revisão de literatura permitirá identificar lacunas no conhecimento e áreas que requerem mais investigação, fornecendo um ponto de partida para estudos futuros nessa área. Além disso, espera-se que os resultados desta pesquisa possam contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes e sustentáveis de gestão da manutenção em sistemas de refrigeração, gerando benefícios tanto para as empresas quanto para a sociedade em geral.

De forma mais específica, o artigo visa identificar as principais práticas de manutenção preventiva e preditiva, investigar a eficácia de tecnologias como sensores e sistemas de monitoramento remoto, analisar a importância do treinamento e capacitação das equipes envolvidas, e verificar o impacto de uma gestão eficiente nos custos operacionais e na segurança. Finalmente, o estudo busca propor novas estratégias e recomendações para uma gestão de manutenção mais eficaz e sustentável. Com isso, espera-se contribuir para o corpo de conhecimento da área e fornecer insights valiosos para profissionais e pesquisadores envolvidos na manutenção de sistemas de refrigeração. Desta forma o artigo visa responder a seguinte pergunta-problema: “Quais práticas, metodologias e estratégias são mais eficazes na gestão da manutenção de sistemas de refrigeração, conforme evidenciado pela literatura existente?”

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Este capítulo metodológico visa esclarecer os métodos empregados na realização da pesquisa, configurada como uma revisão bibliográfica integrativa. Ou seja, o tipo de pesquisa é revisão de literatura. Sendo que o período dos utilizados na revisão foram os artigos publicados são àqueles entre 2019 e 2023, ou seja, dos últimos cinco anos. Os descritores utilizados foram: “manutenção” e “sistemas de refrigeração”.

Esta abordagem supracitada é intrinsecamente qualitativa e descritiva, destinada a consolidar os conhecimentos existentes sobre um tema específico. Como dito até aqui para a constituição desta revisão bibliográfica, selecionaram-se trabalhos publicados nos últimos cinco anos. A escolha deste período teve como objetivo capturar informações atualizadas e pertinentes, dada a rápida evolução tecnológica e metodológica que impacta a área de gestão da manutenção em sistemas de refrigeração.

A busca de fontes foi realizada em duas bases de dados, para assegurar uma amostra



abrangente e rigorosa. Além de livros especializados e revistas acadêmicas em engenharia e manutenção, foram consultadas as seguintes bases de dados: ScienceDirect, Scopus e Google Scholar. Dissertações e teses também fizeram parte da análise. O processo de busca foi aprimorado através do uso de palavras-chave específicas, utilizadas tanto em português quanto em inglês. As palavras-chave empregadas foram: “manutenção” e “sistemas de refrigeração”

A seleção preliminar dos trabalhos se deu pela análise de títulos e resumos, seguida de um exame mais aprofundado dos textos completos. Foram descartados trabalhos que não estavam alinhados com os objetivos específicos da revisão ou que não satisfaziam critérios de qualidade acadêmica.

Também foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão para refinar a seleção. Os trabalhos deveriam estar escritos em inglês ou português, ser artigos de revistas revisadas por pares e abordar explicitamente aspectos da gestão da manutenção ou de sistemas de refrigeração. Foram excluídos artigos de opinião, relatórios técnicos não revisados por pares e trabalhos que focavam exclusivamente em outros tipos de sistemas.

Após a seleção, procedeu-se à análise de conteúdo dos trabalhos escolhidos, centrada na identificação de práticas, tecnologias e estratégias de gestão da manutenção em sistemas de refrigeração. Cada publicação foi cuidadosamente revisada para a extração de dados relevantes, que foram subsequentemente categorizados e sintetizados.

A análise dos dados recolhidos seguiu uma abordagem sistemática, facilitando a compilação das informações de forma a atender aos objetivos específicos da pesquisa. Essas informações forneceram a base para a discussão subsequente e para a subsidiar a formulação de recomendações e estratégias voltadas para aprimorar a gestão da manutenção em sistemas de refrigeração.

É importante salientar que, apesar da meticulosidade no método, a revisão bibliográfica tem suas limitações. Entre elas estão a possível omissão de trabalhos relevantes que não estão indexados nas bases de dados pesquisadas ou que foram publicados em idiomas não abrangidos pelos critérios de inclusão.

Assim, a metodologia aplicada foi desenhada para fornecer uma revisão bibliográfica rigorosa e atual sobre a gestão da manutenção em sistemas de refrigeração. A abordagem assegurou uma seleção e análise criteriosas dos trabalhos, possibilitando uma discussão informada e relevante acerca do tema.

2.2 Resultados e Discussão

A gestão da manutenção de sistemas de refrigeração é uma área crítica que afeta tanto a eficiência operacional quanto os custos associados ao funcionamento de tais sistemas. A pesquisa de Lima *et al.* (2023) fornece uma abordagem abrangente e prática para a gestão da manutenção em sistemas de refrigeração no contexto educacional. A eficiência operacional e a redução de custos surgem como elementos-chave, ressaltando a importância da implementação de um modelo de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM).

Lima *et al.* (2023) focam na criação de um modelo de PCM específico para equipamentos de ar-condicionado na Universidade Federal do Ceará. O estudo adota uma abordagem qualitativa e delineia estratégias detalhadas, incluindo a padronização de ordens de serviço, tagueamento de aparelhos e a criação de um histórico de manutenções e falhas. Tais estratégias permitem maior controle sobre a vida útil dos equipamentos, além

de proporcionar maior eficiência e custos reduzidos (LIMA *et al.*, 2023). Por outro lado, o estudo de Aranga (2022) se concentra na inovação tecnológica como meio de melhorar a eficiência e a eficácia dos sistemas de refrigeração. Este estudo avalia a aplicação de novas tecnologias, incluindo a instalação de válvulas solenoides e pressostatos, para acelerar os procedimentos de manutenção e otimizar o desempenho dos sistemas (ARANGA, 2022).

Aranga (2022) também enfatiza os resultados quantitativos obtidos por meio da implementação dessas inovações tecnológicas. Ele descobriu que o tempo de processamento para tarefas como a remoção, descarga e reabastecimento de óleo lubrificante pode ser reduzido em até seis vezes. Além disso, o custo dos reparos caiu consideravelmente, e houve uma melhoria de 10% na eficiência da temperatura operacional (ARANGA, 2022). Interessante é que ambos os estudos destacam a importância de uma abordagem sistemática e estruturada para a manutenção dos sistemas de refrigeração. Enquanto Lima *et al.* (2023) oferecem um modelo focado na gestão e planejamento, Aranga (2022) se concentra mais na otimização através da inovação tecnológica.

Os dois estudos também abordam a questão do treinamento e da capacitação da equipe de manutenção, mas de formas distintas. Lima *et al.* (2023) sugerem um plano de ação detalhado para o treinamento das equipes, enquanto Aranga (2022) enfoca a necessidade de adaptar novas tecnologias para treinar técnicos globalmente competitivos. Ambos os trabalhos apresentam limitações que podem servir como diretrizes para futuras pesquisas. Lima *et al.* (2023) destacam a ausência de dados históricos que permitiriam um estudo mais quantitativo. Aranga (2022), por outro lado, não entra em detalhes sobre como suas inovações tecnológicas poderiam ser integradas em um modelo de PCM mais abrangente.

Em termos de aplicabilidade, o modelo de PCM de Lima *et al.* (2023) é altamente específico para o contexto educacional e focado em equipamentos de ar-condicionado. Já o estudo de Aranga (2022) tem uma aplicabilidade mais ampla, cobrindo diferentes tipos de unidades e sistemas de refrigeração.

Em suma, enquanto Lima *et al.* (2023) oferecem um quadro teórico e prático para a implementação de um modelo de PCM em uma instituição educacional, Aranga (2022) fornece insights sobre como a inovação tecnológica pode ser utilizada para otimizar a eficiência e a eficácia na manutenção de sistemas de refrigeração.

A combinação dessas duas abordagens poderia, teoricamente, oferecer uma solução holística para a gestão da manutenção de sistemas de refrigeração, combinando o rigor do planejamento e da gestão com a eficiência da inovação tecnológica. Isso sugere um caminho promissor para futuras pesquisas, explorando como essas abordagens poderiam ser integradas para melhorar ainda mais a eficiência e eficácia na gestão da manutenção de sistemas de refrigeração.

O estudo realizado por Anzzolin (2021) fornece uma análise criteriosa de diversos fatores críticos na escolha de sistemas de refrigeração, incluindo eficiência, custo, e impacto ambiental. Especificamente, o autor compara um sistema utilizando o fluido sintético R404a com um sistema que utiliza CO₂ e glicol. O ponto notável é que embora o sistema de CO₂ e glicol tenha apresentado um melhor Coeficiente Geral de Performance (CGP), essa eficiência não se traduziu em menor consumo energético (ANZZOLIN, 2021). Isto porque os modelos disponíveis de compressores e evaporadores para esse sistema eram mais potentes do que o necessário para o projeto em questão, o que representa uma questão fundamental em manutenção e eficiência operacional a longo prazo (ANZZOLIN, 2021).

Anzzolin (2021) também chama atenção para o fato de que a disponibilidade de mão de obra especializada em sistemas de CO₂ e glicol pode variar de acordo com a localidade.



Este é um ponto crucial para a gestão de manutenção, pois a escassez de profissionais qualificados pode levar a atrasos e custos adicionais em casos de manutenções preventivas ou corretivas.

Outro aspecto relevante levantado por Anzzolin (2021) é o cenário regulatório. Sistemas de refrigeração com menor impacto ambiental têm menos probabilidade de enfrentar problemas legais futuros, já que é esperado que as legislações ambientais tornem-se mais restritivas. Este ponto tem implicações diretas na manutenção e na vida útil do sistema (ANZZOLIN, 2021).

Paralelamente, o trabalho de Chaves (2022) concentra-se na predição de falhas em válvulas de sistemas de refrigeração utilizando aprendizado de máquina. Este é especialmente relevante para a gestão de manutenção em indústrias com elevadas demandas de conformidade e eficiência, como o setor farmacêutico (CHAVES, 2022). A aplicação de inteligência artificial, como descrita por Chaves (2022), fornece um método robusto e eficaz para monitorar o desempenho das válvulas. Ao utilizar diferentes técnicas de aprendizado de máquina, o estudo foi capaz de alcançar acurácias impressionantes, variando entre 95% e 99% na detecção de falhas (CHAVES, 2022). Deste modo, o tempo de resposta para manutenções preventivas e corretivas pode ser significativamente reduzido, contribuindo para a eficiência geral do sistema (CHAVES, 2022).

A utilização de métodos como TabNet e redes neurais recorrentes foi especialmente eficaz, o que aponta para a viabilidade da implementação dessas tecnologias avançadas em estratégias de manutenção (CHAVES, 2022). O trabalho de Chaves (2022) complementa eficazmente o estudo de Anzzolin (2021) ao oferecer uma solução tecnológica para um dos desafios apontados por Anzzolin: a necessidade de manutenção eficiente e tempestiva. Ambos os estudos, portanto, fornecem insights valiosos para a gestão de manutenção de sistemas de refrigeração.

Ou seja, enquanto Anzzolin (2021) oferece diretrizes críticas para a seleção e operação de sistemas de refrigeração, Chaves (2022) fornece ferramentas para otimizar a manutenção desses sistemas através de monitoramento em tempo real e predição de falhas. Estas abordagens combinadas podem formar a base de uma estratégia de gestão de manutenção eficaz e sustentável para sistemas de refrigeração. Já o estudo de Botine *et al.* (2022) ressaltam a necessidade de rotinas de manutenção preventiva especializada em sistemas de refrigeração para evitar falhas e danos significativos. Esta abordagem é crucial em contextos em que a refrigeração é vital, como na conservação de alimentos e processos produtivos. A criação de rotinas previne o desgaste gradual dos componentes e pode ajudar a prolongar a vida útil do equipamento.

Oliveira e Conti (2022) abordam um tópico específico: a manutenção corretiva e preditiva do conjunto motobomba no circuito primário de refrigeração de um reator. O estudo resalta os impactos negativos do desalinhamento dos eixos, como o aumento da vibração e do ruído, que podem levar a falhas prematuras e custos de manutenção elevados. A menção à Norma ABNT NBR ISO 55000 sugere um quadro mais amplo de gestão de ativos, exigindo análises sistemáticas para alcançar os indicadores de classe mundial (WCM). Além disso, o estudo também destaca o impacto do alinhamento dos eixos no consumo de energia, sugerindo que ajustes nessa área podem resultar em economias significativas.

A pesquisa realizada por Dias (2023), foca na manutenção preventiva de condicionadores de ar em uma unidade administrativa. Ele faz uso do *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) para identificar modos de falhas e possíveis soluções. Esse estudo enfatiza a importância da legislação (Norma ISO 41001:2018, Portaria N° 3.523 da ANVISA) e sugere que um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) é necessário para mitigar

problemas relacionados à qualidade do ar e ao bem-estar dos ocupantes. Isso ressalta a necessidade de uma gestão de manutenção alinhada com normas e diretrizes legais para assegurar não apenas a eficiência, mas também a conformidade regulamentar.

O artigo de Da Costa *et al.* (2020) aborda a importância de remover impurezas como água e gases incondensáveis em sistemas de refrigeração industrial, destacando os efeitos no desempenho termodinâmico e na eficiência energética (DA COSTA *et al.*, 2020). Este enfoque reforça a necessidade de uma gestão de manutenção eficiente, capaz de monitorar e controlar a qualidade do fluido refrigerante. Oliveira e Peixoto (2021), por outro lado, focam no planejamento e controle de manutenção de câmaras frias em centros de distribuição frigoríficos (OLIVEIRA; PEIXOTO, 2021). A pesquisa demonstra que a adoção de estratégias de manutenção preventiva pode levar à redução de perdas e melhoria na qualidade dos produtos armazenados. O artigo reforça a ideia de que a manutenção não é apenas uma atividade corretiva, mas uma parte estratégica da gestão de sistemas de refrigeração.

Ao se considerar o ambiente aeronáutico, Jianzhong *et al.* (2020) abordam o prognóstico de falhas e manutenção preditiva de sistemas de ar-condicionado em aeronaves (JIANZHONG *et al.*, 2020). Este contexto, embora diferente das aplicações industriais, oferece insights interessantes sobre como a integração de sensores e técnicas analíticas avançadas podem ser usadas para otimizar a manutenção.

É notável a convergência entre os três últimos artigos mencionados em relação à necessidade de inovações tecnológicas para aprimorar a manutenção. Da Costa *et al.* (2020) falam sobre a utilização de software como o CoolPack para modelagem e análise de sistemas. Jianzhong *et al.* (2020) utilizam uma abordagem bayesiana para estimar a degradação e falhas potenciais no sistema de ar-condicionado de aeronaves.

Um ponto importante levantado por Oliveira e Peixoto é o uso de indicadores para auxiliar na gestão da manutenção (OLIVEIRA; PEIXOTO, 2021). Isso pode ser extrapolado para qualquer sistema de refrigeração.

Além disso, a questão financeira também é um fator crítico. O estudo de Da Costa *et al.* (2020) sugere que a eficiência na remoção de impurezas pode levar a um grande retorno financeiro através da redução no consumo de energia. Este é um argumento forte para investir em manutenção preventiva e tecnologias de monitoramento. No ambiente aeroespacial, a economia que pode ser alcançada através de uma manutenção mais inteligente e proativa, permitindo que as operadoras planejem a manutenção futura de forma mais eficaz (JIANZHONG *et al.*, 2020).

É crucial notar que a manutenção preventiva é um tema comum em todos os estudos, seja na indústria frigorífica, nos centros de distribuição ou nas aeronaves. A ideia é evitar falhas antes que elas ocorram, contribuindo para a eficiência, a segurança e a longevidade dos sistemas de refrigeração. Quanto à aplicação de tecnologias de automação e sensores inteligentes, é algo que todos os artigos abordam ou sugerem de alguma forma. Da Costa *et al.* (2020) mencionam tecnologias disponíveis capazes de otimizar o processo de remoção de contaminantes, enquanto Jianzhong *et al.* (2020) falam sobre a utilização de dados de sensores para monitoramento e prognóstico.

3. CONCLUSÃO

A gestão da manutenção em sistemas de refrigeração desempenha um papel insubstituível na infraestrutura contemporânea, impactando desde a preservação alimentar até



o conforto nas edificações. Ao longo deste estudo, procurou-se explorar, em profundidade, as melhores práticas, metodologias e estratégias para otimizar essa gestão. Os objetivos propostos inicialmente para este trabalho centraram-se na identificação das práticas de manutenção preventiva e preditiva, a eficácia de tecnologias emergentes, a relevância do treinamento e capacitação, e a análise do impacto da gestão eficiente nos custos e na segurança. Pode-se afirmar que grande parte desses objetivos foi alcançada. No entanto, dada a vastidão do tema e a constante evolução da área, algumas nuances e detalhes específicos podem necessitar de uma investigação mais aprofundada em estudos futuros.

Em resposta à pergunta-problema central deste artigo, a literatura demonstrou que uma combinação de manutenção preventiva regular, uso de tecnologias avançadas de monitoramento e a capacitação contínua das equipes são cruciais para uma gestão eficaz de sistemas de refrigeração. Entretanto, vale ressaltar que, enquanto muitas destas práticas e metodologias são eficazes em diversos contextos, a adaptabilidade e personalização conforme a especificidade de cada sistema e ambiente são essenciais.

Por outro lado, este estudo possui limitações. Dada a abordagem de revisão literária, há uma dependência intrínseca dos trabalhos pré-existentes, o que pode não refletir a totalidade das práticas e inovações mais recentes no campo. Adicionalmente, a diversidade e rapidez com que novas tecnologias surgem tornam algumas informações rapidamente obsoletas, um desafio inerente a muitas áreas tecnológicas.

Como recomendação, sugere-se que as empresas de refrigeração estejam sempre atualizadas quanto às novas tecnologias e metodologias, promovendo uma cultura de aprendizagem contínua. A adaptação e personalização das estratégias de manutenção para atender às especificidades de cada sistema não só potencializam a eficácia da gestão, como também garantem a segurança e redução de custos operacionais.

Para trabalhos futuros, seria valioso explorar a integração de inteligência artificial e aprendizado de máquina na manutenção preditiva, bem como aprofundar o estudo de impactos ambientais associados à manutenção e operação de sistemas de refrigeração. Concluindo, a manutenção eficaz em sistemas de refrigeração é uma necessidade premente, e sua gestão adequada pode gerar benefícios substanciais para as empresas e a sociedade como um todo.

Referências

- ANZZOLIN, Carlos Eduardo. **Análise e comparativo de soluções para um sistema de refrigeração**. 2021.
- ARANGA, Vecinte G. **Refrigeration System Innovation**. *Mathematical Statistician and Engineering Applications*, v. 71, n. 3s, p. 644-657, 2022.
- BOTINE, Bruna Brutis et al. **Sistemas de refrigeração: problemas operacionais comuns e possíveis soluções**. *Salão do Conhecimento*, v. 8, n. 8, 2022.
- CHAVES, Gabriela Ottoni Santa Bárbara Bartolozzi. **Predição de falhas em válvulas de um sistema de refrigeração via aprendizado de máquina**. 2022.
- DA COSTA, Mauro Silva; BIGLIA, Felipe Mercês; FERREIRA, Luciano Gomes. **Remoção de impurezas em sistemas de refrigeração industrial**. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 7, p. 43535-43539, 2020.
- DIAS, Danilo Vago. **Manutenção conforme a Portaria nº 3523**—Anvisa nos condicionadores de ar: um estudo de caso na unidade administrativa do Ifes Campus Vitória. 2023.
- JIANZHONG, S. U. N.; FANGYUAN, W. A. N. G.; SHUNGANG, N. I. N. G. **Aircraft air conditioning system health state estimation and prediction for predictive maintenance**. *Chinese Journal of Aeronautics*, v. 33, n. 3, p. 947-955, 2020.
- LIMA, Rayane Araújo et al. **Proposta de implantação do planejamento e controle da manutenção (PCM)**

em um sistema de refrigeração na Universidade Federal do Ceará. 2023.

OLIVEIRA, Abner Jonatas William; PEIXOTO, Rodrigo Antonio. **O planejamento e controle de manutenção de câmaras frias em um centro de distribuição frigorífico: um estudo de caso. 2021.**

OLIVEIRA, Alexandre R. de; CONTI, Thadeu das N. **Análise dos dados de manutenção corretiva e preditiva do conjunto motobomba no circuito primário de refrigeração do reator IEA-R1. 2022.**



16

OS MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA: REVISÃO DA
LITERATURA
INTERNAL COMBUSTION ENGINES: LITERATURE REVIEW

Isaac Kainan Moraes Cunha
Paola Silva

Resumo

Este estudo realizou uma revisão bibliográfica sobre a importância dos motores de combustão interna (MCI) para a geração de energia mecânica. O objetivo principal foi compreender os aspectos históricos do desenvolvimento dos motores de combustão interna e sua utilização nos últimos anos, enquanto os objetivos secundários foram examinar os aspectos históricos do motor, definir a classificação dos MCI e abordar as emissões de gases desses motores. A metodologia utilizada foi uma revisão bibliográfica, com referências a artigos científicos e fontes confiáveis, como o Google Acadêmico. A pergunta de pesquisa foi: “Qual a importância da utilização dos motores de combustão interna para a geração de energia mecânica?”. O objetivo da pesquisa foi atingido. Os resultados da pesquisa indicam que os MCI são tecnologias essenciais para o desenvolvimento econômico e social, pois são responsáveis por uma parcela significativa da energia gerada no mundo, sendo utilizados em diversos setores. Contudo, também são responsáveis por uma parcela significativa das emissões de gases poluentes na atmosfera; implicando em adoção de medidas que reduzam os poluentes, protegendo o meio ambiente e a saúde humana.

Palavras-chave: Motor de combustão interna, Energia mecânica, Importância, Sustentabilidade.

Abstract

This study carried out a literature review on the importance of internal combustion engines (ICM) for generating mechanical energy. The main objective was to understand the historical aspects of the development of internal combustion engines and their use in recent years, while the secondary objectives were to examine the historical aspects of the engine, define the MCI classification and address the gas emissions of these engines. The methodology used was a bibliographic review, with references to scientific articles and reliable sources, such as Google Scholar. The research question was: “How important is the use of internal combustion engines to generate mechanical energy?” The objective of the research was achieved. The research results indicate that MCI are essential technologies for economic and social development, as they are responsible for a significant portion of the energy generated in the world, being used in various sectors. However, they are also responsible for a significant portion of polluting gas emissions into the atmosphere; implying the adoption of measures that reduce pollutants, protecting the environment and human health.

Keywords: Internal combustion engine, Mechanical energy, Importance, Sustainability.



1. INTRODUÇÃO

Antes de tudo, é importante mencionar que os motores de combustão interna (MCI) são máquinas que convertem a energia química contida nos combustíveis em energia mecânica. São amplamente utilizados em diversos setores, como transporte, geração de eletricidade e indústria. Essas máquinas são, ainda, classificadas em dois tipos principais: motores de ignição por centelha e motores de ignição por compressão.

Dessa forma, levando em conta o período em que ocorreu a Revolução Industrial, por volta do século XVIII, é possível lembrar que foi nessa época que o homem colocou em atividade o primeiro motor a combustão interna. Esse ato foi considerado um avanço significativo no que se refere aos motores a vapor existentes no período, algo que, certamente, favoreceu a evolução que há hoje nesse segmento.

Nessa perspectiva, com os avanços tecnológicos e a preocupação com a sustentabilidade, compreende-se que os motores a combustão interna não correspondem mais aos anseios contexto atual, por emitirem gases poluentes, impactando diretamente o meio ambiente. Diante disso, esta pesquisa é relevante para o meio acadêmico por colaborar para o desenvolvimento do conhecimento sobre os MCI; também é significativa para o âmbito social por contribuir para o progresso tecnológico mais eficiente e sustentável de geração de energia mecânica.

Dessa forma, o presente estudo está angariado no seguinte problema: Qual a importância da utilização dos motores de combustão interna para a geração de energia mecânica? Entretanto, antes de apontar essa importância, busca-se inicialmente caminhos para a efetivação de melhorias significativas nesses motores, sistemas que reduzam as emissões de poluentes e controlem de forma mais eficaz os seus efeitos nocivos.

Diante disso, a investigação aqui empreendida é bibliográfica e tem como objetivo geral, compreender os aspectos históricos do desenvolvimento dos motores de combustão interna e sua utilização nos últimos anos. Além disso, possui os objetivos de estudar os aspectos históricos do motor, definir a classificação dos motores de combustão interna e abordar as emissões de gases desses motores.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa adotada para a realização desta investigação é de cunho bibliográfico. No processo de coleta de dados, encontra-se o uso de publicações como livros, artigos e dissertações; priorizando uma leitura analítica e seletiva dos fatos, seguida de anotações e observações para melhor aproveitamento do estudo investigativo.

Para selecionar os estudos incluídos nesta revisão, utilizou-se as seguintes bases de dados eletrônicas: Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Scholar. Foram utilizadas as palavras-chave “Motor de combustão interna”, “energia mecânica”, “importância” e “sustentabilidade”. Selecionou-se pesquisas publicadas entre 2018 e 2023, em português, inglês ou espanhol, que descrevem os motores de combustão interna ao longo tempo e sua importância para a geração de energia mecânica, atentando-se à questão sustentável. Os artigos encontrados tiveram como critério de seleção ser de fontes confiáveis, que atenderam e se relacionaram com o tema e os objetivos propostos deste trabalho.

A síntese dos resultados foi apresentada em forma de revisão narrativa. Portanto, trata-se da discussão do tema sob ponto de vista teórico ou contextual, por meio da análise da literatura publicada em livros, artigos de revistas eletrônicas na interpretação e análise crítica do autor.

2.2 Resultados e Discussão

De acordo com Cavalcante Júnior (2021), os motores a combustão interna (MCI) são motores térmicos que convertem energia química em energia mecânica. Eles são a forma mais comum de motor utilizada em veículos, incluindo carros, caminhões, ônibus, aviões e navios.

A evolução dos MCI começou no século XIX, com o desenvolvimento de motores a gás e a vapor. O primeiro motor a combustão interna à gasolina foi desenvolvido pelo engenheiro alemão Nikolaus August Otto em 1876. O motor de Otto, conhecido como ciclo Otto, é o tipo de motor à gasolina usado mais comumente hoje (Salomão; Amarante; Oliveira Junior, 2018).

Ao longo do século XX, os MCI permaneceram em evolução, tornando-se mais eficientes e potentes. Novas tecnologias foram desenvolvidas, como injeção eletrônica de combustível, turbo compressores e injeção direta de combustível. Essas tecnologias ajudaram a melhorar o desempenho e a economia de combustível dos MCI (Salomão; Amarante; Oliveira Junior, 2018).

Atualmente, os MCI enfrentam desafios crescentes, como a necessidade de reduzir as emissões de poluentes e atender às normas de eficiência. Os fabricantes de motores estão investindo em novas tecnologias para atender a esses desafios, como motores híbridos e elétricos (Marchetti, 2019).

A evolução dos MCI pode ser dividida em quatro fases principais:

- 1860-1900: Desenvolvimento dos motores a gás e a vapor
- 1900-1950: Popularização dos motores a gasolina
- 1950-2000: Desenvolvimento de tecnologias avançadas
- 2000-presente: Inovação e desafios

A primeira fase compreende o período em que primeiros motores a combustão interna foram desenvolvidos, sendo o primeiro motor a gás desenvolvido pelo engenheiro francês Denis Papin em 1690. O primeiro motor a vapor foi desenvolvido pelo engenheiro inglês Thomas Newcomen em 1712. Os motores a gás e a vapor eram usados principalmente em aplicações industriais. Eles eram grandes e pesados, e não eram muito eficientes (Marchetti, 2019).

Já na segunda fase, o primeiro motor a gasolina foi desenvolvido pelo engenheiro alemão Nikolaus August Otto em 1876. O motor de Otto, conhecido como ciclo Otto, é o tipo de motor a gasolina mais comumente usado hoje. É possível ver, a seguir, na Figura 1, o funcionamento do motor a partir do ciclo de Otto (Marchetti, 2019).



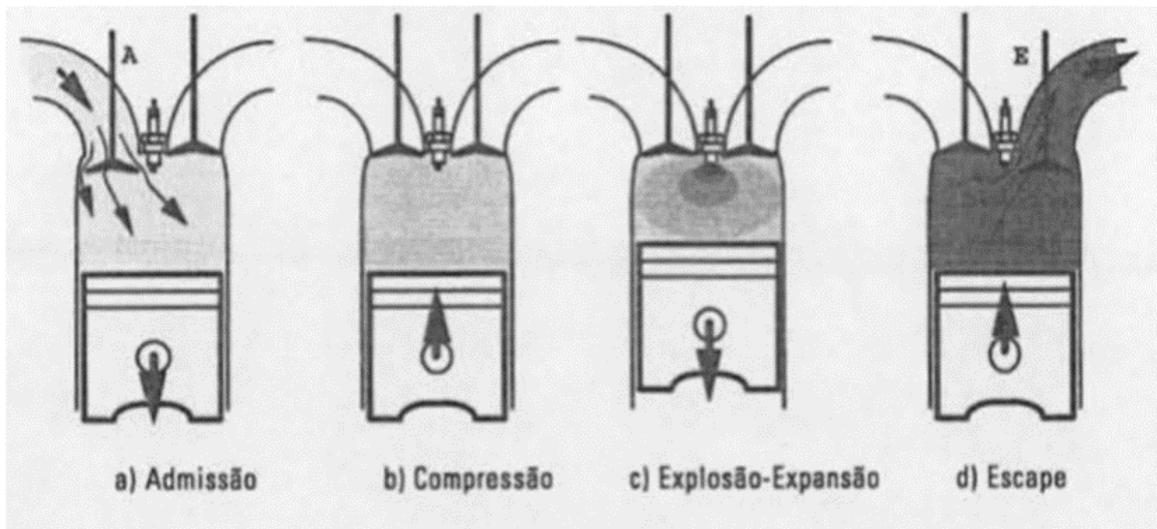


Figura 1. Os 4 tempos do motor de ignição comandada.

Fonte: Marchetti (2019, p.18)

Os motores a gasolina eram mais leves e eficientes do que os motores a gás e a vapor. Eles também eram mais baratos para produzir. Com isso, após a Primeira Guerra Mundial, os motores a gasolina começaram a ser usados em veículos. O primeiro carro a gasolina foi produzido em 1886, pela Daimler Motorenengesellschaft, na Alemanha (Marchetti, 2019).

Adentrando a terceira fase, logo depois da Segunda Guerra Mundial, os motores a gasolina continuaram a evoluir. A partir disso novas tecnologias foram desenvolvidas, como injeção eletrônica de combustível, turbocompressores e injeção direta de combustível (Marchetti, 2019).

A injeção eletrônica de combustível tornou os motores mais eficientes, melhorando a economia de combustível e as emissões de poluentes. Os turbocompressores e a injeção direta de combustível aumentaram a potência dos motores, sem aumentar o consumo de combustível (Salomão; Amarante; Oliveira Junior, 2018).

Ademais, há os motores híbridos que combinam um motor a combustão interna com um motor elétrico. Acerca dos motores elétricos, pode-se notar que são mais eficientes que os motores a combustão interna, e podem ajudar a reduzir as emissões de poluentes; são movidos por eletricidade, e não produzem emissões de poluentes. Eles são mais silenciosos e eficientes do que os motores a combustão interna (Cavalcante Júnior, 2021).

Os motores de combustão interna podem ser classificados de acordo com o tipo de combustível, o ciclo termodinâmico, o número e a disposição dos cilindros, o sistema de ignição e o tipo de mistura ar-combustível (Cavalcante Júnior, 2021).

Há duas categorias principais de MCI, motores de ignição por centelha e motores de ignição por compressão. Os motores de ignição por centelha usam uma vela para inflamar a mistura de ar e combustível na câmara de combustão, enquanto os motores de ignição por compressão usam a alta pressão do ar comprimido para inflamar o combustível injetado na câmara (Cavalcante Júnior, 2021).

É importante mencionar, que apesar desses motores apresentarem muitas vantagens como alta potência, eficiência e versatilidade; eles também possuem algumas desvantagens como emissão de poluentes, ruído e vibração (Cavalcante Júnior, 2021).

Assim sendo, pode-se afirmar que os MCI são classificados de acordo com o tipo de ciclo térmico que utilizam. Os ciclos térmicos mais comuns são o ciclo Otto, o ciclo Diesel

e o ciclo Wankel.

O ciclo Otto é o ciclo térmico mais comumente utilizado em motores a gasolina. Ele é um ciclo de compressão e expansão, no qual a mistura de ar e combustível é comprimida e então inflamada, provocando uma explosão que gera força. Os motores a gasolina de ciclo Otto são geralmente mais eficientes e potentes do que os motores a diesel, mas também são mais poluentes (Salomão; Amarante; Oliveira Junior, 2018).

Por sua vez, o ciclo Diesel é um ciclo de compressão e ignição por compressão, no qual o ar é comprimido até uma temperatura muito alta, e então o combustível é injetado e inflamado. Os motores a diesel são mais eficientes e produzem menos emissões do que os motores a gasolina, mas também são mais caros (Santos et al., 2021).

Já o ciclo Wankel é um ciclo de compressão e expansão rotativo, no qual o movimento do pistão é substituído pelo movimento de um rotor. Dessa maneira, os motores Wankel são mais compactos e leves do que os motores a pistão, mas também são menos eficientes e produzem mais emissões. É possível observar, na Figura 2, abaixo, o motor de Wankel (Paulinich, 2019).

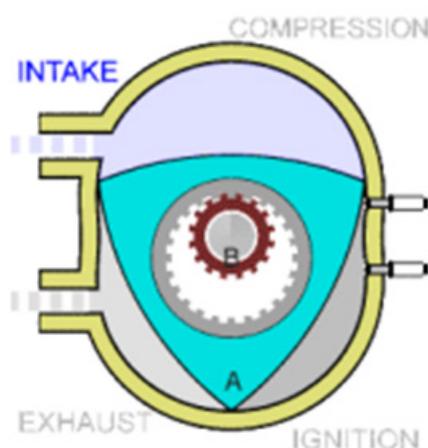


Figura 2- Motor de Wankel

Fonte: Paulinich (2019, p. 09)

Além dos ciclos térmicos, os MCI também podem ser classificados de acordo com o número de tempos que realizam. Os motores de dois tempos são aqueles que realizam dois ciclos térmicos em um único movimento do pistão, enquanto os motores de quatro tempos são aqueles que realizam quatro ciclos térmicos em dois movimentos do pistão (Paulinich, 2019).

Os motores a combustão interna são uma tecnologia importante que tem sido fundamental para o desenvolvimento da sociedade moderna. Eles são responsáveis pelo transporte de pessoas e mercadorias, pela geração de energia elétrica e pela produção de calor (Salomão; Amarante; Oliveira Junior, 2018).

No entanto, os motores a combustão interna também são uma fonte importante de poluição do ar. Eles produzem gases de efeito estufa, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, que contribuem para a poluição do ar e para o aquecimento global (Cavalcante Júnior, 2021).

Como supracitado, sabe-se que os MCI são dispositivos que transformam a energia química contida nos combustíveis em energia mecânica. Essa energia pode ser utilizada para movimentar veículos, máquinas e equipamentos, ou para acionar geradores elétricos.

A importância dos MCI para a geração de energia mecânica está relacionada à sua eficiência, versatilidade e disponibilidade (Cavalcante Júnior, 2021).

A eficiência dos MCI é a razão entre a energia mecânica produzida e a energia química consumida. Quanto maior a eficiência, menor é o consumo de combustível e menor é o impacto ambiental. Os MCI têm evoluído ao longo dos anos, incorporando novas tecnologias que melhoram o seu desempenho, reduzem as emissões de poluentes e aumentam a sua durabilidade (Pereira, 2019).

Nesse ínterim, a versatilidade dos MCI diz respeito à capacidade de se adaptarem a diferentes tipos de combustíveis, como gasolina, diesel, etanol, biodiesel, gás natural, hidrogênio, entre outros. Essa característica permite que os MCI possam ser utilizados em diversas situações e contextos, desde os mais urbanos até os mais rurais, desde os mais industriais até os mais domésticos (Pereira, 2019).

A disponibilidade dos MCI é a facilidade de acesso aos combustíveis e aos serviços de manutenção. Os combustíveis são amplamente distribuídos e comercializados em todo o mundo, o que garante o abastecimento dos MCI. Além disso, os MCI têm uma estrutura simples e robusta, que facilita a sua instalação, operação e reparação (Pereira, 2019).

Logo, os MCI são importantes para a geração de energia mecânica porque oferecem uma solução prática, econômica e sustentável para atender às demandas de mobilidade e produtividade da sociedade moderna. Em contrapartida, mesmo com todos os avanços, ainda há grande emissão de poluentes, algo que precisa ser aprimorado cada dia mais (Cavalcante Júnior, 2021).

Assim sendo, entende-se que a combustão do combustível nos MCI libera uma série de gases, incluindo dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP). O CO₂ é um gás de efeito estufa que contribui para o aquecimento global. Os NO_x podem causar problemas respiratórios e são um fator contribuinte para a formação de ozônio na estratosfera. O MP pode causar problemas respiratórios, incluindo asma e bronquite (Cavalcante Júnior, 2021).

Para reduzir a emissão de gases dos MCI, é necessário desenvolver tecnologias mais limpas e eficientes, como motores de injeção direta de combustível, motores turboalimentados e motores híbridos. Além disso, deve-se aumentar a eficiência energética dos veículos, reduzindo seu peso, melhorando sua aerodinâmica; e promover o uso do transporte público e de veículos elétricos (Pereira, 2019).

Os MCI são uma fonte significativa de poluição do ar e de gases de efeito estufa. O desenvolvimento tecnológico mais limpo e efetivo é fundamental para reduzir o impacto ambiental dos MCI e promover a sustentabilidade. Em suma, os fabricantes de MCI estão trabalhando para desenvolver motores mais eficientes e menos poluentes (Pereira, 2019).

Neste trabalho, analisou-se a importância dos motores de combustão interna para a geração de energia mecânica, considerando sua classificação, evolução, emissão de gases e impacto ambiental. É possível compreender, portanto, que os motores de combustão interna são responsáveis por cerca de 20% do consumo mundial de energia primária e por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa (Cavalcante Júnior, 2021).

Os resultados obtidos mostram que os motores de combustão interna têm um papel fundamental na mobilidade, na produção industrial e na geração distribuída de energia, contribuindo para o crescimento econômico e a melhoria da qualidade de vida das populações. No entanto, eles também apresentam desafios relacionados à eficiência energética, à poluição atmosférica e ao aquecimento global, exigindo o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e sustentáveis.

Em termos de mobilidade, foi possível observar que os MCI são utilizados em automóveis, motocicletas, caminhões, ônibus e aeronaves. Eles são recursos que têm a responsabilidade por transportar pessoas e mercadorias, facilitando o deslocamento e o comércio.

Já na produção industrial, os motores a combustão interna são utilizados em máquinas e equipamentos para realizar diversas tarefas, como bombear líquidos, acionar compressores e gerar eletricidade. Eles são essenciais para a produção de bens e serviços, mas necessitam de constante aprimoramento, pois de acordo com as análises supracitadas os gases poluentes emitidos por eles acaba sendo um ponto negativo em relação à sua utilização.

Em contrapartida, ao apontar a geração distribuída de energia, vê-se que os MCI também são utilizados para gerar eletricidade a partir de combustíveis fósseis, biocombustíveis ou energia solar. Eles são uma alternativa aos sistemas de geração centralizada, que podem ser mais eficazes e sustentáveis.

A discussão realizada aponta que os motores de combustão interna ainda têm um grande potencial de melhoria, tanto no que se refere ao desempenho quanto à redução de impactos ambientais. Algumas das alternativas propostas são o uso de biocombustíveis, a otimização dos sistemas de injeção e controle, a recuperação de calor residual, a hibridização e a eletrificação. Essas soluções podem aumentar a eficiência dos motores, diminuir o consumo de combustíveis fósseis e mitigar as emissões de poluentes e gases de efeito estufa.

Em suma, além dos pontos apresentados, é importante destacar que os MCI também são responsáveis pelo consumo de recursos naturais, como petróleo e água. Diante disso, o desenvolvimento tecnológico mais eficiente e sustentável de geração de energia mecânica pode colaborar para a redução do impacto ambiental dessa tecnologia e para o progresso de uma sociedade mais sustentável.

3. CONCLUSÃO

A presente investigação buscou compreender os aspectos históricos do desenvolvimento dos MCI, sua classificação e as emissões de gases desses motores. Os resultados da pesquisa indicam que os MCI são tecnologias essenciais para o desenvolvimento econômico e social. No entanto, eles também são responsáveis por uma parcela significativa das emissões de gases poluentes na atmosfera.

Por isso, para reduzir as emissões de gases poluentes dos MCI, são necessárias melhorias significativas nesses motores. É importante ressaltar que tais melhorias podem ser realizadas por meio de tecnologias de controle de emissões, como catalisadores e filtros de partículas.

Além disso, é necessário buscar formas de melhorar a eficiência dos motores, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis e utilizando fontes alternativas como o etanol e o gás natural, visto que esses combustíveis são menos poluentes que a gasolina e o diesel.

Em conclusão, os MCI são tecnologias importantes, mas é necessário adotar medidas que diminuam a emissão de gases que prejudicam a natureza. Essas medidas são essenciais para a proteção do meio ambiente e da saúde humana. Diante disso, espera-se que este estudo tenha contribuído para a compreensão dos MCI e para a reflexão sobre os desafios e as possibilidades para o seu aperfeiçoamento e sustentabilidade.



Referências

CAVALCANTE JÚNIOR, L. C. P. **Análise comparativa da substituição de motores a combustão por motores elétricos no setor de transportes**. 2021. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

MARCHETTI, L. **Análise de alterações no sistema de captação de ar para motores de combustão interna**. 2019. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

PAULINICH, J. V. T. **Uma contribuição para a redução de vibrações de um motor de combustão interna rotativo tipo twin-rotor piston**. 2019. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Uberlândia, 2019.

PEREIRA, D. T. P. **Análise dos métodos de controle e redução dos poluentes emitidos pelos motores de combustão interna no Brasil**. 2019. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2019.

SALOMÃO, T. R.; AMARANTE, M. DOS S.; OLIVEIRA JUNIOR, R. DE. A Evolução do motor a combustão ciclo Otto. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 4, n. 1, p. 106-113, 4 jun. 2018. Disponível em <https://revistas.brazcubas.edu.br/index.php/pesquisa/article/view/388>. Acesso em 02 set. 2023.

SANTOS, D. S. dos. et al. **Motores a Combustão Interna Ciclo Diesel**. Recife: Faculdade UNINASSAU Recife, 2021. 1 arquivo PDF (32 p.). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade UNINASSAU, Recife, 2021.

SILVA, R. A. da; SILVA, I. de O.; OLIVEIRA, J. B. de. Contribuição à redução de vibrações em motores de ignição por centelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MÁQUINAS E MÓVEIS, 2019, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABEMEC, 2019. p. 1-8.



17

MANUTENÇÃO PREDITIVA, ANÁLISE DE ÓLEO
PREDICTIVE MAINTENANCE, OIL ANALYSIS

Jhonata Caetano Verde
Melany Stelle

Resumo

A manutenção preditiva é uma estratégia vital para identificar e corrigir problemas em equipamentos industriais antes que levem a falhas catastróficas. A análise de óleo desempenha um papel fundamental nessa abordagem, pois permite a detecção precoce de desgaste, contaminação e outras condições anômalas nos sistemas de lubrificação. Esta pesquisa se concentra na importância da análise de óleo como uma prática de manutenção preditiva na gestão de manutenção. A pesquisa consiste em uma revisão de literatura, onde a metodologia utilizada é a Pesquisa Bibliográfica. O objetivo primordial é explorar a necessidade direta da análise de óleo na gestão de manutenção, descrevendo o conceito de manutenção preditiva e fornecendo uma visão geral sobre a análise de óleo, além de identificar vários tipos dessa técnica. O resultado desta pesquisa destaca que a análise de óleo, em suas várias modalidades, é uma ferramenta valiosa para as empresas na gestão da vida útil de seus ativos. Isso resulta em economia significativa, à medida que a manutenção pode ser programada e planejada com antecedência, evitando paradas não programadas que podem ser dispendiosas.

Palavras-chave: Manutenção. Lubrificante. Ferrografia.

Abstract

Predictive maintenance is a vital strategy for identifying and correcting issues in industrial equipment before they lead to catastrophic failures. Oil analysis plays a fundamental role in this approach, as it allows for early detection of wear, contamination, and other abnormal conditions in lubrication systems. This research focuses on the importance of oil analysis as a predictive maintenance practice in maintenance management. The study consists of a literature review, where the methodology used is Bibliographic Research. The primary objective is to explore the direct need for oil analysis in maintenance management, describing the concept of predictive maintenance and providing an overview of oil analysis, as well as identifying various types of this technique. The result of this research highlights that oil analysis, in its various modalities, is a valuable tool for companies in managing the lifespan of their assets. This results in significant cost savings, as maintenance can be scheduled and planned in advance, avoiding unplanned shutdowns that can be expensive.

Keywords: Maintenance. Lubricant. Ferrography.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção preditiva tem ganhado cada vez mais destaque no setor industrial como uma abordagem proativa para a gestão e monitoramento de equipamentos. Em contraste com a manutenção corretiva e preventiva tradicionais, que seguem programações fixas, a manutenção preditiva utiliza técnicas e ferramentas avançadas para identificar sinais precoces de falhas e permitir intervenções antes que ocorram danos significativos ou paralisações inesperadas.

Dentre as diversas técnicas disponíveis, a análise de óleo tem se mostrado uma poderosa aliada na manutenção preditiva. O óleo desempenha um papel vital em muitos equipamentos industriais, como motores, turbinas e sistemas hidráulicos, oferecendo lubrificação, resfriamento e proteção. A análise de óleo consiste na avaliação das propriedades físicas e químicas desse fluido, além da detecção de partículas, contaminantes e subprodutos de desgaste. Essa análise fornece insights valiosos sobre o estado de funcionamento dos equipamentos e ajuda a identificar potenciais problemas antes que se tornem críticos.

Justifica-se a presente pesquisa pois ao retornar a conceitos de gestão de manutenção, pode-se dar ao leitor a oportunidade de compreender melhor sobre o tema de maneira simples e descomplicada, facilitando o entendimento sobre manutenção preditiva e uma de suas formas mais comuns.

Sendo uma pesquisa de origem bibliográfica pode contribuir para a comunidade acadêmica como um pequeno compilado de conhecimento teórico sobre o tema abordado. Para a sociedade a pesquisa pode contribuir como uma revisão para profissionais na área de manutenção, o que pode ajudar tais profissionais a relembrar de conceitos de sua área facilitando seu trabalho profissional e garantindo maior segurança aos envolvidos.

Esta pesquisa visou responder ao seguinte questionamento: Qual a importância da análise de óleo para a gestão de manutenção? Tendo como objetivo geral, compreender de maneira direta como a análise de óleo se faz necessária na área de gestão de manutenção, e como objetivos específicos: identificar o conceito de manutenção preditiva na gestão de manutenção; apresentar o conceito de análise de óleo; compreender os tipos da análise de óleo como método de manutenção preditiva

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa utilizado neste trabalho é de revisão literária por meio de pesquisa bibliográfica. Foram utilizados livros, revistas, artigos científicos e acadêmicos, selecionados por meio de pesquisa em repositórios digitais tais como Google Acadêmico e a Scielo. O período dos artigos pesquisados serão os trabalhos publicados nos últimos 15 anos. As palavras-chave utilizadas para busca foram: “análise de óleo” e “manutenção preditiva”.

Dentre os autores de destaque que contribuíram significativamente para o desenvolvimento desta pesquisa, destacam-se: SPAMER; ESPINDULA; SOEIRO, OLIVIO e LUCATO. Os critérios de inclusão abrangem materiais de autores e textos científicos publicados nos últimos 15 anos que estejam relacionados às palavras-chave da pesquisa. Por outro lado, os critérios de exclusão englobam textos científicos que foram publicados e não se enquadram nos critérios de inclusão.



2.2 Resultados e Discussão

A gestão eficiente da manutenção desempenha um papel fundamental na otimização do desempenho de ativos e na minimização de paradas não planejadas em sistemas industriais e prediais. Nesse contexto, a manutenção preditiva emerge como uma abordagem estratégica essencial. A manutenção preditiva é um tipo de abordagem que visa garantir uma maior precisão no intervalo entre as intervenções.

Tal estratégia se baseia no acompanhamento sistemático das condições do óleo lubrificante, vibrações, temperatura, entre outros, por meio de um monitoramento contínuo. Esse processo permite identificar a evolução dessas condições ao longo do tempo, possibilitando agendar uma parada preventiva para a manutenção no momento mais otimizado. Essa abordagem resulta em uma redução significativa das manutenções corretivas e diminuição das preventivas (SILVA; COSTA, 2017).

Segundo Soeiro, Olivio e Lucato (2017) a manutenção preditiva de maneira resumida nada mais é do que uma manutenção preventiva baseada não em vida útil dos componentes como parâmetro para paradas programadas, mas sim em monitoramento das condições dos equipamentos assim considerados essenciais.

A manutenção preditiva, com o objetivo de prever as verdadeiras condições do equipamento, tem evoluído em conjunto com o desenvolvimento tecnológico. No entanto, o uso de técnicas de manutenção preditiva pode ser custoso devido à necessidade de equipamentos avançados que exigem atualizações frequentes.

Embora a manutenção preditiva esteja relacionada à manutenção preventiva, a principal diferença entre elas reside no fato de que, enquanto a manutenção preventiva estabelece intervalos para a troca de peças ou componentes com base em critérios específicos, a manutenção preditiva monitora a evolução da falha por meio de técnicas de análise, a fim de programar as atividades de manutenção (ESPINDULA, 2021).

Graças às inovações tecnológicas, há atualmente uma variedade de ferramentas de suporte que visam garantir a confiabilidade dos equipamentos. Uma dessas ferramentas é a análise de óleo lubrificante, que auxilia na detecção de falhas prematuras nas peças de um determinado equipamento, bem como na avaliação das condições do óleo para determinar se está adequado para uso. Essa abordagem ajuda a evitar gastos excessivos com manutenção corretiva, mantendo o equipamento disponível para uso (ARAÚJO *et al.*, 2019).

Para De Carvalho (2021) a comprovação da qualidade de um lubrificante é um processo que só pode ser assegurado por meio da aplicação e avaliação do seu desempenho em condições reais de serviço. A composição e formulação do lubrificante determinam suas propriedades físicas e químicas, que servem como parâmetros para medição e controle de qualidade.

A análise de óleo lubrificante emerge como uma técnica fundamental de manutenção preditiva, pois permite a avaliação simultânea do estado do óleo e do sistema mecânico, possibilitando a detecção de contaminantes, a perda de aditivos e o desgaste anormal dos componentes De Carvalho (2021).

A análise de óleo é uma técnica que tem como objetivo monitorar as condições do óleo e do equipamento por meio de análises realizadas em laboratório. Essas análises têm o intuito de identificar falhas, contaminação e degradação do óleo. Quando a lubrificação é feita corretamente, ela contribui para aumentar a confiabilidade do equipamento.

Devido a isso, são necessárias medidas para prevenir e controlar os contaminantes

presentes no óleo. O processo de monitoramento analisa as principais propriedades lubrificantes, tais como: índice de viscosidade, índice de acidez, ponto de fulgor, índice de contaminação por água, quantidade de partículas e presença de metais (SPAMER, 2009).

Através desse estudo, é possível adotar medidas como filtrar ou substituir o óleo em casos de contaminações graves. É importante destacar que a contaminação nem sempre é resultado de fenômenos naturais. Em determinadas situações, quando o equipamento apresenta desgaste ou fadiga em alguns de seus componentes, ocorre a geração de partículas provenientes dos materiais utilizados em sua construção. Essas partículas são identificadas na análise de óleo, sinalizando que o equipamento está com defeito e, portanto, é necessária uma inspeção detalhada da máquina para evitar uma possível falha no futuro (PIRES; OKADA, 2020).

Também, segundo Kimura (2010), análise de óleo lubrificante é uma das ferramentas utilizadas para garantir a boa qualidade dos componentes internos dos equipamentos. No caso de motores a combustão interna acionados pelo ciclo Diesel, essa ferramenta permite analisar o tipo de desgaste nos componentes internos e realizar uma análise minuciosa das propriedades do óleo lubrificante utilizado.

A escolha adequada do tipo de lubrificante é essencial para o bom funcionamento do sistema, pois um óleo com especificação inadequada pode resultar em superaquecimento ou desgaste anormal do motor. No entanto, mesmo utilizando o lubrificante correto, é importante monitorá-lo, pois pode ocorrer contaminação com o combustível utilizado ou com os produtos da sua queima.

A contaminação do lubrificante pelo combustível ou pela combustão do Biodiesel pode causar alterações físico-químicas, levando a possíveis desgastes ou outras consequências ao motor. Por esse motivo, o monitoramento por meio da análise do lubrificante é fundamental para garantir a sua qualidade e evitar problemas.

A análise de óleo lubrificante é uma ferramenta essencial para identificar a condição do fluido em equipamentos móveis utilizados na indústria de mineração. Seu objetivo é auxiliar na manutenção e disponibilidade desses equipamentos, com o intuito de reduzir custos de manutenção, economizar tempo e garantir decisões confiáveis.

Através da análise do óleo lubrificante, é possível verificar as condições do fluido, identificar desgaste prematuro nas peças do motor, tomar medidas preventivas antes de ocorrer falhas ou quebras, e identificar contaminações externas ou internas no fluido. Essas informações permitem uma gestão mais eficiente dos equipamentos, contribuindo para a otimização dos processos de manutenção na indústria de mineração (ARAUJO *et al.*, 2019).

Para um todo a análise de óleo se faz presente na indústria, garantindo um menor número de perdas por paradas e falhas em equipamentos que são de uso essencial, viabilizando maior competência e lucro para a indústria. Em algumas situações especiais, a análise de óleo demonstra uma capacidade notável ao detectar precocemente desgastes anômalos em componentes rotativos, como motores a diesel, que ainda não são perceptíveis por meio da análise de vibração convencional.

Os métodos de teste, pontos de coleta de dados e interpretação da análise são intrinsecamente influenciados pelo tipo de equipamento e pelas condições específicas de sua aplicação. Diversos métodos de teste são empregados, incluindo a análise espectrométrica do óleo, a contagem de partículas, a ferrografia quantitativa e a ferrografia analítica (SOEIRO; OLIVIO; LUCATO, 2017).

A análise espectrométrica do óleo, também conhecida como análise de óleo lubrificante por espectroscopia em óleos lubrificantes oferece um meio de “diagnosticar” o

estado do equipamento. Quando o equipamento está em operação, o óleo lubrificante circula através das peças, coletando elementos e partículas presentes no processo. Ao coletar uma amostra desse óleo, ela carrega consigo os elementos presentes.

Como explica Kich e Böckel (2017) a espectrofotometria se baseia na Lei de Lambert-Beer para a medição da absorção de radiação em amostras nos estados líquido, gasoso ou sólido, abrangendo as faixas visível, ultravioleta e infravermelho do espectro eletromagnético. A absorvidade molar é uma propriedade inerente à espécie absorvente e varia conforme o comprimento de onda da radiação incidente.

A espectroscopia permite a detecção e quantificação desses elementos, seguindo normas estabelecidas para padronizar a análise. Essa técnica se baseia na ideia de que cada elemento possui uma estrutura atômica única e emite radiação em comprimentos de onda específicos quando estimulado por energia. Assim, a espectroscopia gera linhas espectrais que possibilitam a determinação precisa e quantificação de cada elemento (ALMEIDA, 2022).

Segundo Leme (2016) a análise de contagem de partículas é um procedimento amplamente adotado na manutenção preditiva em várias áreas. Esse método fornece uma visão simplificada das condições gerais do fluido sob análise. Sua popularidade deve-se principalmente à sua precisão, custo acessível para realização da análise e tempo relativamente curto para diagnóstico.

A contagem de partículas tem como objetivo avaliar o grau de pureza de um óleo específico, quantificando as partículas em categorias distintas. Essa quantidade pode indicar diversos fatores, incluindo a progressão na taxa de desgaste. Quanto às dimensões das partículas, sua importância reside principalmente na compreensão da severidade atual do desgaste sofrido. Com base nas informações sobre a pureza do óleo, é possível estabelecer planos de manutenção e determinar o momento mais adequado para intervir e corrigir suas propriedades Leme (2016).

Segundo Da Silva (2021) a ferrografia é um procedimento utilizado para monitorar e diagnosticar o estado e a condição de máquinas. Ele envolve a quantificação e análise da morfologia das partículas de desgaste, conhecidas como “limalhas”, presentes em amostras de lubrificantes. Isso possibilita a identificação do tipo de desgaste, sua gravidade e a presença de contaminantes.

Ainda segundo Da Silva (2021) ferrografia desempenha um papel crucial na determinação da natureza e severidade do desgaste das máquinas, permitindo a identificação da morfologia, acabamento superficial, coloração e tamanho das partículas presentes em amostras de óleo lubrificante ou graxa, independentemente de sua viscosidade, consistência e opacidade. A análise ferrográfica inclui uma abordagem quantitativa e analítica. Ambas fornecem informações cruciais sobre o estado das máquinas.

Através da ferrografia analítica, é possível detectar os primeiros sinais de desgaste em um componente ao analisar os óleos. Essa identificação se baseia na avaliação da quantidade, tamanho, forma e composição das partículas presentes, fornecendo informações precisas sobre o estado das superfícies em movimento, sem a necessidade de desmontar as peças em questão.

As partículas sólidas são geradas devido ao atrito dinâmico entre as partes em contato. A partir do estudo dessas partículas, é possível correlacionar o desgaste do conjunto com as condições físicas e químicas, relacionando-as. A análise dos óleos requer a utilização de técnicas laboratoriais que envolvem o uso de reagentes, instrumentos e equipamentos especializados (SCHIO, 2011).

A ferrografia quantitativa segue os mesmos princípios da ferrografia analítica, mas difere no método de leitura, que enfatiza a quantidade de partículas e no uso do corpo de prova. No caso do corpo de prova, que é o tubo precipitador, ele é posicionado dentro de um campo magnético especial, de maneira semelhante ao ferrograma.

Dois áreas distintas do tubo precipitador são iluminadas de baixo para cima por uma fonte de luz controlada, e as sombras produzidas pelas partículas que se acumulam no tubo são detectadas por fotocélulas conectadas a um circuito microprocessado. Assim como acontece com o ferrograma, as partículas atraídas são organizadas de acordo com o tamanho, com as partículas maiores localizadas no início do tubo precipitador (BERNARDES 2011).

3. CONCLUSÃO

A gestão eficaz da manutenção é vital para otimizar o desempenho dos ativos e evitar paradas não planejadas. O estudo abordou a análise de óleo como método de manutenção preditiva, justificando sua escolha pela necessidade de tornar mais acessível a compreensão dessa prática comum na gestão de manutenção. O objetivo foi compreender a importância direta da análise de óleo na manutenção de equipamentos industriais, destacando seu papel fundamental na prevenção de falhas e na economia de recursos em paradas não programadas.

Nesse contexto, o presente estudo buscou solucionar a seguinte questão: Qual a importância da análise de óleo para a gestão de manutenção? teve como objetivo geral compreender de maneira direta como a análise de óleo se faz necessária na área de gestão de manutenção. Para tal foram identificados os conceitos e métodos relacionados a análise de óleo como método de manutenção.

A manutenção preditiva, que envolve o monitoramento contínuo de indicadores como óleo lubrificante e vibrações, possibilita intervenções precisas e reduz manutenções não programadas. Embora envolva custos com tecnologia avançada, a manutenção preditiva evoluiu com o progresso tecnológico. A principal diferença em relação à manutenção preventiva é a programação com base em análises e previsões, ao invés de intervalos fixos, assegurando a confiabilidade dos equipamentos essenciais.

A análise de óleo lubrificante desempenha um papel crucial na manutenção de equipamentos na indústria, permitindo a detecção precoce de problemas e desgastes. Isso resulta em menor tempo de paralisação e economia de custos. Além disso, a análise de óleo pode identificar anomalias que não seriam percebidas por métodos convencionais, como a análise de vibração.

A escolha de métodos de teste, locais de coleta de dados e interpretação da análise de óleo é profundamente influenciada pelas características do equipamento e pelas condições de operação específicas. Várias técnicas são utilizadas, tais como análise espectrométrica do óleo, contagem de partículas, ferrografia quantitativa e ferrografia analítica, sendo selecionadas de acordo com as necessidades e particularidades de cada caso.

Mediante ao estudo realizado, fica claro que como ferramenta de manutenção a análise de óleo se faz extremamente importante, viabilizando a detecção antecipada de problemas que levariam a falhas ou menor vida útil de equipamentos, gerando economia de custos e garantindo o funcionamento ininterrupto da indústria. A luz das informações e métodos apresentados no referencial teórico torna-se possível afirmar que os objetivos específicos e geral foram alcançados durante o estudo.



Apesar de evidenciado a importância da análise de óleo na gestão de manutenção neste estudo, ainda existem oportunidades para pesquisas adicionais. Sugere-se a exploração de temas como: A análise de óleo em motores de alta potência; A comparação da eficácia da análise de óleo em relação às manutenções preventivas tradicionais e o impacto da integração da análise de óleo com a análise de vibrações na indústria automotiva. Tais estudos prometem aprimorar ainda mais as práticas de manutenção e expandir nosso entendimento sobre o assunto.

Referências

- ALMEIDA, Fernanda Joos. **AVALIAÇÃO DA SAÚDE DE MAQUINÁRIO ATRAVÉS DE SEUS ÓLEOS LUBRIFICANTES**. Trabalho de Conclusão de Curso. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2022.
- ARAÚJO, Gustavo Santos Rodrigues; OLIVEIRA, Lucas Batista; JÚNIOR, Valter Angelo Fonseca; MACHADO, Jefferson: **ANÁLISE DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES EM EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE GRANDE PORTE NA MINERAÇÃO. Anais do 1º Simpósio de TCC**, das faculdades FINOM e Tecsoma. 2019; 1154-1167.
- BERNARDES, Yuri de Andrade. **A IMPORTÂNCIA DA TÉCNICA FERROGRÁFICA NO MONITORAMENTO DE DESGASTE DA MÁQUINA**. Trabalho de Conclusão de Curso. Varginha: Centro Universitário do Sul de Minas, 2011.
- ESPINDULA, Lucas Gomes. **MANUTENÇÃO PREDITIVA E A INDÚSTRIA 4.0 UM ESTUDO DE CASO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO ON-LINE DE ATIVOS**. Trabalho de Conclusão de Curso. Goianésia: Faculdade Evangélica De Goianésia, 2021.
- LEME, Bruno César Caixeta. **DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA OPENSOURCE PARA A CLASSIFICAÇÃO E CONTAGEM DE PARTÍCULAS EM ÓLEOS INDUSTRIAIS**. Dissertação (Mestrado). Taubaté: Universidade de Taubaté, 2016.
- PIRES, Caique Aparecido; OKADA, Roberto Hirochi. **MANUTENÇÃO PREDITIVA: estratégia de produção e redução de custos. Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 17, n. 1, p. 635–647, 2020.
- PAGLIARINI, Lucas Modena. **MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO SISTEMA HIDRÁULICO DE ESCAVADEIRAS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE ÓLEO**. Trabalho de Conclusão de Curso, Varginha: Centro Universitário do Sul de Minas, 2020.
- SCHIO, Leonir José. **CONSTRUÇÃO DE UM FERROGRAFO**. Trabalho de Conclusão de Curso. Medianeira: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.
- SILVA, Edson Luiz; COSTA, Paulo José. **PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA: Análise de óleo em transformador**. Trabalho de Conclusão de Curso. Mossoró: Universidade Potiguar, 2017
- SOEIRO, Marcus Vinícius; OLIVIO, Amauri; LUCATO, André Vicente. **Gestão da manutenção**, Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.
- SPAMER, Fernanda Rosa. **TECNICAS PREDITIVAS DE MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS ROTATIVAS**. Trabalho de Conclusão de Curso. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- Da Silva, Douglas Eduardo. **LUBRIFICAÇÃO INDUSTRIAL ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE**. Trabalho de Conclusão de Curso. Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2021.
- De Carvalho, Clara Maia. **UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE COMO PARTE DO PROGRAMA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA DE MÁQUINAS DE TRAÇÃO ENGRENADAS**. Trabalho de Conclusão de Curso. Natal: Universidade Federal do Rio Grande Do Norte, 2021.
- Kich, Marina; Böckel, Wolmir José. **Análise de óleos e graxas em efluentes por espectrofotometria. Estação Científica (UNIFAP)**. Macapá, v. 7, n. 3, p. 61-69, set./dez. 2017.



18

MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE MÁQUINAS
PREVENTIVE MAINTENANCE OF MACHINERY

Raimundo Sousa Silva
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Resumo

Estudo sobre a Manutenção Preventiva de Máquinas como abordagem essencial para melhorar a eficiência operacional. Trata de uma pesquisa bibliográfica, cujo objetivo geral apresentar a importância da manutenção preventiva para antecipar possíveis falhas nas intervenções programadas antes que o equipamento pare e como objetivos específicos, apresentar as definições sobre manutenção preventiva; compreender o papel da manutenção preventiva e identificar os principais métodos e abordagens aplicadas na manutenção preventiva. Aborda a manutenção preventiva destacando suas definições, princípios e saberes. Analisa o funcionamento adequado, vida útil dos equipamentos, métodos e os impactos que podem causar no meio ambiente e ambientes de trabalhos. Caracteriza o percurso metodológico utilizado no estudo cujo procedimento foi a pesquisa bibliográfica. Fundamenta o estudo a partir de autores recuperados em repositórios institucionais (Repositório Institucional da UFC, da UFJF), Bibliotecas de Teses e Dissertações (BDTD), bases de dados (SCIELO). Aponta como resultados a inclusão de inspeção regular, a troca de peças desgastadas antes da falha, a lubrificação adequada dos componentes e medidas de segurança. Conclui que a manutenção preventiva é crucial para garantir a operação eficiente e confiável de equipamentos, ela ajuda a minimizar o tempo de inatividade e os custos de reparo.

Palavras-chave: Manutenção preventiva. Equipamentos. Impactos. Medidas de segurança.

Abstract

Study on Preventive Maintenance of Machines as an essential approach to improving operational efficiency. It is bibliographical research, whose general objective is to present the importance of preventive maintenance to anticipate possible failures in scheduled interventions before the equipment stops and as specific objectives, to present the definitions of preventive maintenance; understand the role of preventive maintenance and identify the main methods and approaches applied in preventive maintenance. It addresses preventive maintenance, highlighting its definitions, principles and knowledge. Analyzes the proper functioning, useful life of equipment, methods and the impacts they can cause on the environment and work environments. It characterizes the methodological path used in the study whose procedure was bibliographical research. The study is based on authors retrieved from institutional repositories (Institutional Repository of UFC, UFJF), Theses and Dissertations Libraries (BDTD), databases (SCIELO). Results include regular inspection, replacement of worn parts before failure, adequate lubrication of components and safety measures. It concludes that preventative maintenance is crucial to ensuring the efficient and reliable operation of equipment, it helps to minimize downtime and repair costs.

Keywords: Preventive maintenance. Equipment. Impacts. Security measures.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção preventiva é explorada, iniciando-se por seu contexto histórico, definições de diversos autores sobre ela, seus tipos – com um foco especial na manutenção preventiva. Pesquisou-se sobre a manutenção preventiva em máquinas, para debater mais sobre a manutenção como instrumento de segurança. Ela é uma ferramenta de gerenciamento de processos, que visa garantir a confiabilidade, disponibilidade e eficiência dos equipamentos e instalações industriais. A sua aplicação visa evitar falhas em equipamentos e instalações, garantindo maior disponibilidade e confiabilidade dos sistemas produtivos, evitando assim a interrupção do processo produtivo e proporcionando economia de tempo e custos. A manutenção preventiva é uma estratégia crucial para garantir o bom funcionamento e aprimorar a vida útil de equipamentos, máquinas e sistemas utilizados em diversos setores industriais.

Com base na premissa de que é mais eficiente e econômico prever e corrigir possíveis problemas antes que ocorram falhas, a manutenção preventiva tem sido amplamente adotada por empresas para minimizar o tempo de inatividade não planejado, reduzir custos de reparos e aumentar a confiabilidade operacional. Além disso, serão discutidas as principais técnicas e estratégias utilizadas nesse tipo de manutenção, bem como os desafios enfrentados na sua implementação.

A escolha do tema foi pertinente, por acreditar na importância estratégica que desse processo para o bom funcionamento de uma empresa. A manutenção preventiva se baseia em ações antecipadas com o intuito de evitar falhas e problemas futuros nas máquinas, o que pode resultar em uma série de benefícios para a organização. Além disso, ela contribui para a redução dos custos de produção. Além da importância estratégica, a temática tem finalidade de garantir o funcionamento adequado das máquinas ou equipamentos ao longo do tempo, para que não ocorra ou evitar falhas, reparos de emergências e perda de eficiência.

Com base em evidências científicas, este artigo busca comprovar que a manutenção preventiva é uma abordagem essencial para melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e aumentar a confiabilidade dos sistemas e equipamentos utilizados nas empresas. Toma-se como problema o seguinte questionamento: de que maneira a manutenção preventiva de máquinas contribui para o bom desenvolvimento de equipamentos e instalações?

Dessa forma, apresenta-se o objetivo geral: apresentar a importância da manutenção preventiva para antecipar possíveis falhas nas intervenções programadas antes que o equipamento pare; e como objetivos específicos: apresentar as definições sobre manutenção preventiva; compreender o papel da manutenção preventiva e identificar os principais métodos e abordagens aplicadas na manutenção preventiva.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Para construção deste artigo, utilizou da pesquisa bibliográfica, com enfoque em manutenção preventiva. O levantamento bibliográfico foi feito em repositórios institucionais (Repositório Institucional da UFC, da UFJF), Bibliotecas de Teses e Dissertações (BDTD), bases de dados (SCIELO). A pesquisa nesses ambientes virtuais, foram delimitados por pa-



lavras-chaves: Manutenção preventiva; prevenção em máquinas. Para um resultado mais enxuto, foram delimitados também os trabalhos realizados entre 2019 a 2023. Os trabalhos científicos foram em Artigos, Trabalhos de Conclusão de Cursos até Dissertações. O método da pesquisa, é a pesquisa bibliográfica, a qual é um processo de levantamento das principais fontes já existentes sobre um determinado assunto. Consiste na busca, seleção, leitura, análise e interpretação de publicações existentes em livros, periódicos, artigos, teses, dissertações, relatórios, entre outros. A plataforma Scupira elenca os melhores repositórios para pesquisa: Scielo, Ciência e Informação e Ciência e Engenharia. Foram usadas as seguintes palavras chaves na busca da recuperação: manutenção preventiva; manutenção preventiva em elevadores; métodos de manutenção preventiva. Um total de 1387 documentos recuperados, a partir daí a seleção foi por ordem de relevância – data decrescente – de 2023 a 1978.

2.2 Resultados e Discussão

A manutenção preventiva é um processo essencial para garantir o funcionamento adequado e prolongar a vida útil de equipamentos, máquinas e sistemas. Ela se baseia em um conjunto de ações periódicas e sistemáticas que visam identificar, corrigir e prevenir possíveis problemas (ALONSO, 2022).

Existem diferentes métodos de manutenção preventiva, incluindo a inspeção regular, a troca de peças desgastadas antes da falha e a lubrificação adequada dos componentes. Essas medidas são tomadas com base no histórico de desgaste dos equipamentos e em recomendações dos fabricantes (ALONSO, 2022).

Para Costa (2013), a teoria que fundamenta a manutenção preventiva é a da confiabilidade dos equipamentos. Essa teoria estuda a relação entre a confiabilidade, a disponibilidade e a manutenção dos equipamentos, considerando a sua vida útil, a frequência das falhas, a complexidade operacional e a capacitação dos operadores. A aplicação da manutenção preventiva baseia-se na identificação das falhas potenciais dos equipamentos, na definição de planos de manutenção para correção dessas falhas, na inspeção e supervisão dos equipamentos e no treinamento de operadores e técnicos para execução das atividades de manutenção.

Esse estudo também vem de um histórico bastante necessário: o avanço da tecnologia. A partir disso, segundo Alexandre (2021), manutenção perpassa por três gerações, que são:

1ª geração (1930 a 1940): é caracterizada pelo conserto após a falha ou manutenção emergencial; 2ª geração (1940 a 1970): é caracterizada pela disponibilidade crescente e maior vida útil dos equipamentos, pelas intervenções preventivas baseadas no tempo de uso após a última intervenção, pelo custo elevado de manutenção quando comparado aos benefícios, pelos sistemas manuais de planejamento e registro das tarefas e ocorrências de manutenção e posteriormente pelo início do uso de computadores grandes e lentos para execução dessas tarefas; 3ª geração (desde 1970): é caracterizada pelo aumento significativo da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, pela melhoria na relação entre o custo e o benefício da manutenção, pelas intervenções nos equipamentos baseadas na análise da condição e no risco da falha, pela melhor qualidade dos produtos, pelo controle dos riscos para a segurança e saúde do trabalhador, pela preocupação com o meio ambiente, por computadores portáteis e rápidos com potentes softwares para interven-

ções e gerenciamento da manutenção, além do surgimento dos grupos de trabalho multidisciplinares (ALEXANDRE, 2021, p. 27).

Essas gerações acarretaram-se positivamente no bom funcionamento desses equipamentos para evitar falhas, diminuir riscos, além do avanço tecnológico sobre medidas preventivas de segurança. Ao realizar inspeções regulares, substituição de peças desgastadas, limpeza e lubrificação adequada, é possível evitar a ocorrência de falhas que poderiam resultar em danos mais graves ou até mesmo acidentes, ela contribui para a otimização do uso dos recursos disponíveis, evitando o desperdício de matéria-prima e energia. Também ajuda a minimizar o impacto ambiental, ao reduzir a necessidade de descarte de resíduos provenientes de falhas inesperadas (ALONSO, 2022).

Um dos principais benefícios da manutenção preventiva é a redução dos custos de reparo e substituição. Ao identificar antecipadamente possíveis desgastes, é possível corrigi-los de forma programada e mais econômica, evitando gastos excessivos com manutenção corretiva emergencial. Além disso, ao evitar paradas não programadas, a manutenção preventiva contribui para evitar perdas na produção e consequentes prejuízos financeiros (ALONSO, 2022).

Outro aspecto relevante é a melhoria da segurança no ambiente de trabalho. Ao realizar a manutenção preventiva, é possível identificar e corrigir problemas relacionados a equipamentos que possam representar risco aos funcionários. Dessa forma, é possível garantir um ambiente mais seguro, prevenindo acidentes e danos à saúde dos trabalhadores (ALONSO, 2022).

A segurança operacional das máquinas é uma preocupação essencial em qualquer ambiente industrial, já que um erro de operação pode levar a acidentes graves e até mortais. Por isso, existem diversas medidas de segurança que devem ser adotadas para garantir que as máquinas sejam operadas de forma segura e eficiente (ALONSO, 2022).

Dentre as medidas de segurança, tem-se: a manutenção preventiva, a qual é essencial para garantir que elas estejam em condições adequadas de funcionamento e evitem falhas que possam causar acidentes; adoção de dispositivos de segurança: dispositivos de segurança, como guarda-corpos, sensores de presença e travas de segurança, são importantes para prevenir acidentes enquanto as máquinas estão em uso; identificação de riscos: é importante identificar e avaliar os riscos associados à operação das máquinas e adotar medidas preventivas para minimizá-los, nos equipamentos de proteção individual (EPIs):

1. os operadores das máquinas devem utilizar EPIs adequados para proteger-se de possíveis riscos, como luvas, óculos de proteção e capacetes;
2. o monitoramento constante: é importante monitorar constantemente a operação das máquinas e identificar possíveis problemas ou falhas de segurança que possam surgir durante o uso.

Documentação e registro: é fundamental manter registros detalhados de todas as medidas de segurança adotadas, treinamentos realizados e manutenções preventivas realizadas, a fim de monitorar o desempenho das máquinas e garantir a segurança no ambiente de trabalho (ALONSO, 2022).

No entanto, para que a manutenção preventiva seja efetiva, é necessário o desenvolvimento de um plano adequado e a sua execução de forma sistemática. É importante determinar qual é a periodicidade das inspeções, quais são as ações a serem realizadas em cada uma delas e quais são os indicadores de desempenho utilizados para avaliar a eficácia das

ações preventivas (ALEXANDRE, 2021).

Além disso, é necessário contar com profissionais capacitados e treinados para realizar a manutenção preventiva de forma correta e segura. É importante investir em capacitação e atualização constante, bem como utilizar equipamentos adequados para a realização das atividades. Dessa forma os desafios atuais mostram um cenário competitivo com uma elevada produtividade nos quais os sistemas em tecnologias estão mais presentes no âmbito industrial.

Em suma, a manutenção preventiva é um processo fundamental para garantir o funcionamento adequado de equipamentos e sistemas, além de contribuir para a redução de custos, aumento da produtividade e melhoria da segurança no ambiente de trabalho. Portanto, é essencial que as empresas invistam em planejamento, execução e capacitação para obter os melhores resultados com a manutenção preventiva.

A temática traz diversas contribuições como: a economia de recursos, ou seja, é possível identificar e corrigir falhas antes que se tornem falhas gravíssimas; a sustentabilidade ambiental prolonga a vida útil dos equipamentos; equipamentos bem estruturados e preparados precisam estar prontos para uso nos laboratórios para pesquisas e experimentos científico, e também, é importante enfatizar a necessidade de investimentos em manutenção preventiva, já que esses têm um retorno significativo para a empresa e seus colaboradores.

Os resultados de um artigo científico sobre manutenção preventiva podem variar de acordo com o tema e método de pesquisa adotado. Essa manutenção é uma estratégia utilizada por empresas de diversas áreas para evitar falhas e problemas nos equipamentos e maquinários. Essa abordagem busca reduzir o tempo de inatividade, aumentar a vida útil dos equipamentos e melhorar a eficiência produtiva. Mas em geral as definições dos autores são bem-conceituadas, como observados abaixo na tabela 1:

Autor	Definição
(SILVA; SILVA; ADÃO, 2021, p. 4)	A Manutenção Preventiva na confiabilidade dentro de máquinas produtivas com foco em produção ininterrupta tem assegurado melhores condições relacionadas à produtividade, visto que esta estratégia tem sido utilizada com foco principal na estabilidade, minimizando falhas, custos elevados com materiais, com uso de pouco estoque.
Andrade (2021, p. 22)	Caracteriza-se por evitar a ocorrência da falha funcional de um ativo, bem como a queda de seu desempenho, o foco de trabalho dessa categoria são intervenções em intervalos de tempo ou pré-definidos.
Duarte (2020, p. 18)	Caracteriza-se por substituir ou ajustar os componentes de uma máquina antes que se ocorra falhas, todas as tarefas a serem realizadas devem ser muna base regular.
Scaccia e Ruguê (2023, p. 9)	A manutenção preventiva, ao contrário da manutenção corretiva, é voltada para que a falha não aconteça, através de manutenções em intervalos de tempo pre-determinados, esse tipo de manutenção é muito planejado, oferecendo assim, inúmeras vantagens, como por exemplo: o aumento da confiabilidade de um equipamento, reduzindo suas falhas em operação, aumento da duração da vida eficaz de um equipamento, a melhora do planejamento dos trabalhos.

Tabela 1. Definições de manutenção preventiva.

Fonte: O autor (2023)

De acordo com a Tabela 1, a manutenção preventiva é o fator para evitar e/ou diminuir possíveis falhas de equipamentos e máquinas. Além disso, é manutenção mais adotada por empresas por conta do planejamento e desempenho para tal.

A eficácia da manutenção preventiva pode mostrar a eficácia preventiva na redução de falhas, prolongação da vida útil dos equipamentos e redução de custos de reparo, o estudo pode analisar o impacto da manutenção preventiva na disponibilidade do equipamento, ou seja, a quantidade de tempo em que o equipamento está disponível para uso sem falhas, portanto, é fundamental para a eficiência da produção industrial, uma vez que busca reduzir o risco de falhas e aumentar a vida útil dos equipamentos. Ela é uma estratégia que evita a ocorrência de acidentes e interrupções não programadas da produção, além de reduzir os custos de reparos e manutenção. Para a sua implantação, é necessário um planejamento e organização adequados, além de uma equipe técnica capacitada para executar ações eficientes de prevenção e manutenção.

Portanto, ela pode ser dispendiosa e demorada, pois exige a realização de inspeções regulares e testes de equipamentos. Além disso, o fato de que a detecção de falhas precoces nem sempre é fácil, o que pode levar a falhas inesperadas do equipamento, apesar dos esforços de manutenção preventiva. Por fim, a manutenção preventiva pode levar à interrupção desnecessária das operações de produção, devido à necessidade de inspeções e reparos. Isso pode afetar a produtividade e a eficiência geral do processo de produção.

Os resultados da manutenção preventiva podem ser observados em diversos aspectos. Em primeiro lugar, a redução do tempo de inatividade é um dos benefícios mais visíveis. Com inspeções e manutenções regulares, é possível identificar e corrigir problemas antes que se tornem falhas, evitando assim a paralisação dos equipamentos.

Observa-se que é um tema amplamente discutido na área da engenharia e suas aplicações em diferentes setores da indústria. Prover uma visão crítica sobre os desafios enfrentados na implementação da manutenção preventiva, como a falta de recursos financeiros, e a dificuldade na coleta e interpretação de dados.

3. CONCLUSÃO

Em conclusão, a manutenção preventiva de máquinas é crucial para garantir a operação eficiente e confiável de equipamentos industriais. Ao implementar um plano de manutenção preventiva bem estruturado, as empresas podem reduzir o número de interrupções no processo de produção devido a falhas ou quebras de máquinas. Além disso, a manutenção preventiva também ajuda a minimizar o tempo de inatividade e os custos de reparo, uma vez que problemas menores podem ser detectados e corrigidos antes que se tornem mais graves. Isso não só economiza recursos financeiros, mas também melhora a produtividade e a eficiência geral da linha de produção.

Percebe-se que ao realizar inspeções regulares, trocas de peças desgastadas e avaliações de riscos, as empresas podem reduzir os acidentes e garantir a segurança dos trabalhadores. No entanto, é importante ressaltar que a manutenção preventiva não é uma solução única para todos os problemas. É necessário investir tempo e recursos na elaboração de um plano eficaz, que leve em consideração as necessidades específicas de cada máquina e as condições operacionais em que ela é utilizada. Portanto, a manutenção preventiva de máquinas deve ser encarada como um investimento estratégico para as empresas, garantindo a longevidade dos equipamentos, a segurança dos funcionários e a eficiência geral dos processos de produção.



Referências

- ALEXANDRE, Kaic Augusto Garcia. **Gestão de manutenção**: manutenção preventiva. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Anhanguera, Santo André, 2021.
- ALONSO, Samanta de Lima. **Avaliação de políticas de gestão da manutenção baseadas na mitigação de riscos considerando critérios de disponibilidade e produtividade**. 100f. Universidade Federal de São Carlos – Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Sorocaba, 2022.
- ANDRADE, Christian Barros de. **Aplicação de métodos da manutenção centrada em confiabilidade para determinação do ponto ótimo de manutenção preventiva em um equipamento de uma indústria frigorífica de médio porte do sudeste de Minas Gerais**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Juiz de Fora – Faculdade de Engenharia, Juiz de Fora, 2021.
- COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da manutenção**: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional. Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2013.
- DUARTE, Matheus Rufalo. **O estado da arte da manutenção preditiva**: opinião de especialistas. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Juiz de Fora – Faculdade de Engenharia, Juiz de Fora, 2020.
- GARCIA, Fabiano Luiz; NUNES, Fabiano de Lima. Proposta de implantação de manutenção preventiva em um centro de usinagem vertical: um estudo de caso. **Revista Tecnologia e Tendências**, Novo Hamburgo, v. 9, n. 2, p. 1-27, 2014.
- PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Julio de Aquino Nascif. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2009.
- SCACCIA, Daniel Oliveira; RUGUE, Gabriel Borges. **Módulo de planejamento e controle de manutenção dentro de plataforma de gestão empresarial**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.
- SILVA, Adonis Ferreira da; SILVA, Lucas Estevam da; ADÃO, Wesley da Silva. O uso da manutenção preventiva em máquinas produtivas com foco em produção ininterrupta. **Revista Anima Educação**, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/18859>. Acesso em: 24 ago 2023.



19

MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA: MOTORES E ALGUNS
COMPONENTES

INTERNAL COMBUSTION ENGINES: ENGINES AND SOME
COMPONENTS

Leandro Maia Goncalves
Michelle Suzane Pinheiro

Resumo

Motores podem ser vistos de diversos aspectos, a depender de cada pessoa, sendo notada a importância de se familiarizar com o que este equipamento de pequeno ou grande porte é capaz de realizar quando o assunto é trabalho de energia térmica sendo convertida em energia mecânica, conhecendo seus componentes. Semelhantemente, conhecer a variedade de motores que existe é imprescindível para que a necessidade do consumidor seja atendida.

Palavras-chave: Motor. Combustão. Funcionamento. Trabalho. Componentes.

Abstract

Engines can be viewed from different perspectives, depending on the individual, and it is important to familiarize yourself with what this small or large piece of equipment is capable of doing when it comes to converting thermal energy into mechanical energy, and to understand its components. Similarly, knowing the variety of engines that exist is essential to meeting the consumer's needs.

Keywords: Engine. Combustion. Operation. Work. Components.

1. INTRODUÇÃO

Considerado um tema abrangente, encontra-se disponível hoje, uma infinidade de tipos de motores com classificações diferentes. Para uma melhor compreensão, é necessário entender alguns elementos do que compõe sua estrutura e o seu funcionamento. Dessa forma, tem-se um vislumbre sobre a composição de um motor, como elementos mecânicos, elétricos e eletrônicos para a obtenção de um bom funcionamento e um comportamento estável.

Nesse ínterim, é importante abordar sobre os diversos tipos de combustíveis necessários para promover o funcionamento de um motor. Tendo a ciência de que estes compostos químicos têm suas características e propriedades que trabalham em harmonia com todo o corpo do motor. Caso o elemento químico não seja adequado, causará possíveis problemas no funcionamento.

Pode-se encontrar um sistema de funcionamento de motores fabricados por algumas montadoras que ao utilizarem combustíveis de apenas uma modalidade, acabam ocasionando limitações quando ocorre uma mistura de algum outro composto químico. Desta forma, gasta-se além do necessário com reparos provocados pelo mal funcionamento.

Faz-se necessário entender a respeito do funcionamento dos motores e suas modalidades, a fim de manter em dia sua manutenção e evitar que aconteça alguma avaria. Também é importante ter alguma base de conhecimento para detectar com mais facilidade os problemas decorrentes do tempo e uso.

Os motores a combustão são de fundamental importância no dia a dia de cada ser humano, pois tanto facilitam os meios de transportes como também em trabalhos em que antes era utilizada a força braçal. Assim sendo, é relevante tratar da necessidade de estudar, aperfeiçoar e cultivar boas práticas para entender as devidas funcionalidades das principais peças. Deste modo, esta pesquisa se torna relevante, pois levantará os elemen-

tos que ampliarão o conhecimento sobre o assunto, visando um saber teórico de forma a aprimorar as práticas de manutenção corretivas e alimentarão o número de informações acadêmicas sobre o assunto. No que diz respeito à manutenção dos motores a combustão, grandes são as dúvidas levantadas pelos usuários de veículos ou máquinas.

Entender sua funcionalidade auxilia na manutenção preventiva e corretiva, que, além de reduzir os custos com consertos desnecessários, também previne acidentes graves envolvendo vidas humanas. Discutir como a compreensão do trabalho mecânico de um motor a combustão facilita a correta manutenção. Estudar componentes de um motor a combustão e entender como ele funciona; compreender a importância da manutenção preventiva para evitar gastos desnecessários.

2. DESENVOLVIMENTO

Quando nos deparamos com máquinas térmicas notaremos os diversos tipos de equipamentos que transformam calor em trabalho, independentemente de seus índices, sejam eles: combustão, energia elétrica, energia atômica etc. Neste caso, discorreremos sobre máquinas térmicas de combustão interna, ou seja, motores, que possuem em sua formação pistões, anéis de segmentos, válvulas, virabrequim; tendo tais componentes dentro de um motor, seja ele de um veículo, ou estacionário.

Motores de combustão externa - MCE: quando a combustão se processa externamente ao FA, que será apenas o veículo da energia térmica a ser transformada em trabalho, como, por exemplo, uma máquina a vapor.

Motores de combustão interna - MCI: quando o FA participa diretamente da combustão.

Motores alternativos: quando o trabalho é obtido pelo movimento de vaivém de um pistão, transformado em rotação contínua por um sistema biela-manivela.

Motores rotativos: quando o trabalho é obtido diretamente por um movimento de rotação. São exemplos: turbina a gás e o motor Wankel.

Motores de impulso: quando o trabalho é obtido pela força de reação dos gases expelidos em alta velocidade pelo motor. Neste caso são exemplos: motor a jato e foguetes (BRUNETTI FRANCO, 2017, p. 27).

Diante desse pressuposto, observa-se que o motor é considerado uma máquina térmica, transformando energia térmica em trabalho, visto vez que acontece através da queima de um combustível, seja ele gasolina, álcool, diesel ou até mesmo alguma espécie de biocombustível. Seus componentes são acionados pelo seu sistema para que sejam capazes de fazer os devidos acionamentos que acarretarão no funcionamento do motor e tudo isso de forma sincronizada, organizada.

A eficiência do funcionamento desses mecanismos no momento da combustão é essencial para que se tenha qualidade na eliminação de gases expelidos pelo escapamento de forma que resulte em menos poluição atmosférica, desde modo mantendo o ar mais salutar para se respirar.

Como regra geral, a eficiência de um equipamento que envolve a queima de um combustível se baseia no poder calorífico do combustível, que é a quantidade de calor liberada quando uma quantidade unitária de combustível a



temperatura ambiente é completamente queimada e os produtos da combustão são resfriados até a temperatura ambiente (BOLES; ÇENGEL, 2013, p. 79).

Por sua vez, os motores trabalham em um regime de compressão, e caso perca essa taxa do exercício de força, terá um resultado alterado, que por sua vez será incapaz de realizar com eficiência necessária seu trabalho, acarretando assim uma série de defeitos que desencadeadas por falhas do processo.

Como já tratado, sabe-se a falta de compressão no motor, ocasiona a perda de força de trabalho que resulta no não funcionamento de suas partes, e havendo persistência de trabalho, causará problemas maiores, levando à perda do motor. Isso pode acontecer, por exemplo, quando se trata da queima da junta do cabeçote, ocasionado pela mistura de óleo motor com a água que faz a refrigeração da máquina térmica, provocando deformação do comando de válvulas ou até mesmo trinca no virabrequim, entre outros problemas.

O Ciclo Otto é caracterizado pela combustão com volume constante, enquanto o Ciclo Diesel caracteriza-se pela combustão à pressão constante. Outra maneira de se classificar ambos os ciclos, se dá pelo método da ignição da combustão, sendo no primeiro ciclo acionada por centelha e no segundo, acionada espontaneamente ou por compressão. Nos motores de ignição por compressão, que serão o objeto deste estudo, apenas o ar é aspirado para o cilindro durante a admissão e o combustível é injetado diretamente em cada cilindro imediatamente antes do início do processo de combustão (BOLES; ÇENGEL, 2013, p. 79).

Em relação ao motor, este possui duas modalidades, que por sua vez, apresentam suas características distintas, sendo: motores de quatro tempos, trabalhando com admissão, compressão, combustão e escapamento. Enquanto o motor dois tempos trabalha com admissão e escapamento, possuindo assim, uma quantidade menor de pistões, diferente dos grandes motores, em que podemos encontrar mais de seis pistões, sendo eles de diâmetros diferentes e possuindo variados tamanhos de blocos.

Pistão ou êmbolo do motor – peça cilíndrica, normalmente feita em alumínio, que tem como objetivo mover-se no interior do cilindro, é este componente juntamente com a biela que transmite o movimento mecânico para a cambota.

Biela – tem como objetivo transmitir/transformar o movimento retilíneo alternativo em circular contínuo.

Cambota – recebe força através das bielas que estão conectadas aos pistões, transformando-as em momento, transmitindo esse momento aos componentes acoplados nas extremidades do eixo.

Bloco do motor – peça fundida em ferro ou alumínio que aloja os cilindros bem como os suportes de apoio à cambota.

Cárter – recipiente metálico que protege e assegura a lubrificação de certos mecanismos.

Árvore de Cames – mecanismo destinado a regular a abertura das válvulas do motor (MIGUEL, 2015, p.20).

Diante disso, será observado o que constituirá um motor e seus elementos e os ma-

teriais em que são formados, com suas propriedades e características afins. Ao estudar, vemos que motores não existem apenas em veículos, mas também em máquinas que chegam a produzir energia, como no caso de grupos geradores, possuindo uma variedade de afinidades e meios que possam ser trabalhados e usados.

O motor é constituído por uma vasta gama de sensores que asseguram seu funcionamento em perfeito estado. Sensores eletrônicos para medir a temperatura, rpm, nível de óleo, entre outros componentes eletrônicos.

Em todo equipamento temos uma quantidade de componentes e peças, e nos motores iremos encontrar a bomba-d'água, válvula termostática, compressor de ar-condicionado, duto de admissão, injetor de combustível, válvula de escapamento, coletor de admissão, válvula de admissão, linha de combustível, haste de válvula, cabeçote, tampa lateral, bloco, eixo comando de válvulas, volante, virabrequim, capa de mancal, bujão do cárter, bomba de óleo, cárter, engrenagem do virabrequim, amortecedor vibracional, ventilador, duto de admissão, balancim da válvula de escapamento, coletor de escapamento, pistão, motor de partida, dreno de água, filtro de óleo, radiador de óleo, vareta de nível de óleo, bomba de combustível, bomba injetora de combustível, respiro do cárter, filtro de combustível. Conclui-se, com isso, que um motor requer uma gama de dispositivos não apenas mecânicos como também elétricos e eletrônicos, responsáveis por transformar essa energia de calor, em energia mecânica.

Todo componente encontrado no sistema de um motor precisa passar por manutenção preventiva, mantendo seu funcionamento estável, o que aumentará a vida útil desta máquina térmica e eliminará gastos desnecessários com perda total dos componentes.

Em se tratando de manutenções preventivas em um equipamento deste nível, vislumbraremos: troca de óleo, filtro de combustível, filtro de óleo, correias, corrente de comando, filtro de ar etc. Fazendo-se as manutenções necessárias no prazo se obterá melhor eficiência e qualidade de trabalho. Porém, não havendo tal prevenção, acarretará uma manutenção corretiva por danos causados a uma peça interna, precisando-se desmontar parte por parte do motor.

2.1 Metodologia

O presente trabalho tratou-se de uma revisão de bibliografia qualitativa e descritiva. Foram feitas pesquisas em materiais publicados nos últimos dez anos, como livros, revistas, artigos científicos de relevância entre os anos de 2012 e 2022, com o intuito de trazer informações relevantes para nosso atual cenário econômico. As palavras chaves utilizadas durante a pesquisa serão: motores, combustão interna e máquinas térmicas. Com a presente pesquisa, obter-se-á uma melhor compreensão do tema abordado e em posteriores estudos.

3. CONCLUSÃO

Conclui-se que, em vista dos benefícios inerentes ao estudo dos componentes do motor a combustão, este trabalho torna-se relevante à medida que buscou tratar da compreensão do seu funcionamento e de como entender cada aspecto pode auxiliar mesmo uma pessoa leiga a manter seu veículo em dia com a manutenção preventiva. A comunidade acadêmica possuirá mais um material para futuras pesquisas que contribuirão para o aprofundamento do tema, trazendo mais clareza ainda sobre o assunto.



Muito ainda precisa ser discorrido sobre o tema, mas a partir dos objetivos traçados neste trabalho, possibilitou-se compreender que existe a real necessidade do condutor de veículos automotores não serem apenas motoristas, mas detentores de algum conhecimento necessário sobre o funcionamento dos mesmos, o que diminuirá drasticamente gastos desnecessários com manutenções.

Referências

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão interna: Volume 1**. São Paulo: Blucher, 2012.

CARVALHO SAMPAIO .A, Márcio . **Avaliação de um Motor de Combustão Interna Ciclo Otto Utilizando Diferentes Tipos de Combustíveis**. Salvador, 2011.

ÇENGEL A. Yunus, BOLES A. Michael. **Termodinâmica 7º edição**. Porto Alegre: AMGH, 2013.

FERNANDES T. MIGUEL, Luís . **Otimização do Sistema de Injeção Eletrônica de um Motor de Combustão Interna**. Covilhã, 2015.

HALLIDAY & RESNICK. **Fundamentos de Física Mecânica Volume 1**. Rio de Janeiro, 2012 LTC.

ROQUE ALMEIDA .F, Luís . **Modelagem e Análise do Ciclo da Produção e Comercialização de Diesel Verde (HVO) e sua Aplicação no Modo Dual-Fuel com Etanol em Motores de Ignição por Compressão**. Itajubá, 2022.



20

ESTRATÉGIAS PARA UMA GESTÃO DE MANUTENÇÃO
EFICIENTE NA INDÚSTRIA
STRATEGIES FOR EFFICIENT MAINTENANCE MANAGEMENT IN
INDUSTRY

Valmir Maranhão Pereira

Resumo

Este artigo apresenta os benefícios obtidos por meio da aplicação de uma metodologia estruturada e abordagem organizacional na gestão de manutenção em indústrias. O objetivo principal é maximizar a utilização dos recursos dos equipamentos, ao mesmo tempo que melhora a quantidade e qualidade dos produtos finais. Nos últimos anos, o setor de manutenção tem adquirido uma posição de destaque na gestão das organizações, sendo comum encontrar departamentos dedicados exclusivamente a essa função em grande parte das empresas. O crescimento constante desse setor evidencia que os planos de manutenção corretiva, que antes eram suficientes para manter a planta operando adequadamente, não são mais capazes de atender às demandas atuais. Nesse contexto, torna-se imperativo adotar uma abordagem mais abrangente e proativa, incorporando planos de manutenção preventiva e preditiva para garantir o pleno funcionamento das operações. Ao adotar práticas bem estabelecidas e utilizar ferramentas computacionais modernas, as indústrias podem alcançar resultados dinâmicos, permitindo que a gestão antecipe e aborde sistematicamente os períodos de inatividade do sistema de produção. Essa abordagem reduz significativamente as paradas críticas e inesperadas na produção. A gestão eficiente de manutenção promove um ambiente empresarial ágil e produtivo, oferecendo resultados positivos não apenas para a liderança da empresa, mas também para os funcionários diretos e indiretos, além da sociedade e do meio ambiente.

Palavras-chave: Gestão. Indústria. Confiabilidade. Manutenção Produtiva Total (TPM).

Abstract

This article presents the benefits obtained through the application of a structured methodology and organizational approach to maintenance management in industries. The main objective is to maximize the use of equipment resources, while improving the quantity and quality of final products. In recent years, the maintenance sector has acquired a prominent position in the management of organizations, and it is common to find departments dedicated exclusively to this function in most companies. The constant growth of this sector shows that corrective maintenance plans, which were previously sufficient to keep the plant operating properly, are no longer capable of meeting current demands. In this context, it is imperative to adopt a more comprehensive and proactive approach, incorporating preventive and predictive maintenance plans to ensure the full functioning of operations. By adopting well-established practices and using modern computational tools, industries can achieve dynamic results, allowing management to anticipate and systematically address periods of production system downtime. This approach significantly reduces critical and unexpected production downtime. Efficient maintenance management promotes an agile and productive business environment, offering positive results not only for the company's leadership, but also for direct and indirect employees, as well as society and the environment.

Keywords: Management. Industry. Reliability. Total Productive Maintenance (TPM).

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, a indústria tem reconhecido crescentemente a importância da manutenção preventiva em todos os segmentos industriais. Isso se deve ao fato de que a manutenção preventiva contribui significativamente para o melhor desempenho da produção, reduzindo o tempo de parada da produção e, conseqüentemente, aumentando a lucratividade das empresas. Portanto, é essencial implementar metodologias e procedimentos que visem minimizar o tempo de inatividade.

A natureza dinâmica da indústria demanda cuidados excepcionais, e a gestão da manutenção deve estar atenta ao desgaste e cuidados prematuros dos equipamentos de chão de fábrica, garantindo a eficiência da produção e evitando prejuízos significativos. Com a crescente exigência do mercado por quantidade, qualidade e prazos cada vez mais curtos, as indústrias têm inovado seus métodos e estratégias para garantir a produtividade eficaz. O gerenciamento da manutenção não apenas reduz custos, mas também garante resultados operacionais.

Embora nem todas as empresas ainda adotem essa abordagem, a gestão da manutenção deve ser tratada com grande importância, pois se mostra uma grande aliada das empresas. Além de assegurar o sucesso da produção, a gestão da manutenção garante produtos com menor custo e maior qualidade, além de um consumo necessário e adequado de energia elétrica, impactando positivamente os recursos de geração de energia.

Esta abordagem busca destacar a importância da Gestão Industrial na comunidade acadêmica e contribuir para o aperfeiçoamento e aprendizado de iniciantes e futuros profissionais. Diante dessa abordagem, o presente trabalho se propõe a responder a seguinte questão de pesquisa: A falta de manutenção programada dos equipamentos pode gerar deficiências na produção e conseqüentes prejuízos?

O objetivo geral deste estudo é enfatizar a importância e os benefícios que a gestão de manutenção pode trazer para a indústria, explorando os diferentes tipos de manutenção e o papel das ferramentas computacionais nesse contexto. Os objetivos específicos são conceituar e descrever os tipos de gerenciamento de manutenção e sua importância, abordar os diferentes tipos de manutenção existentes, apresentar a Manutenção Produtiva Total (TPM) e seus pilares, bem como discutir a utilização de ferramentas computacionais na gestão da manutenção e os benefícios que elas proporcionam.

A metodologia adotada nesta pesquisa é uma abordagem qualitativa descritiva, na forma de uma revisão de literatura. Esse método permite sintetizar informações já existentes e tirar conclusões relevantes sobre o tema proposto. Para esta revisão, foram selecionadas fontes de pesquisa dos últimos 10 anos, incluindo artigos, livros, revistas e relatórios periódicos. No levantamento de informações, foram examinados sumários de materiais impressos para identificar aqueles que abordam a temática em questão. As palavras-chave utilizadas para a pesquisa foram: “TPM,” “Gestão da manutenção industrial,” “Eficiência na produção industrial,” e “Produtividade na indústria.”

2. GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Desde tempos remotos, as organizações têm direcionado esforços para aprimorar a produção, prazos e, sobretudo, a qualidade de seus produtos finais. Essa busca pela excelência exige um conjunto de elementos fundamentais no processo de produção, incluindo



a manutenção de qualidade (BARROS; FERRAZ; REIS, 2018).

O correto funcionamento e a continuidade dos processos de produção requerem a operacionalidade e conservação do maquinário envolvido. A observação técnica criteriosa desempenha papel crucial na previsão e prevenção de problemas relacionados à operacionalidade, garantindo a funcionalidade dos equipamentos sem interrupções, o que assegura a qualidade do produto na cadeia de produção (SILVEIRA, 2010).

Com o advento da modernidade e a evolução tecnológica no campo de produção, a gestão da manutenção enfrentou mudanças significativas, exigindo conhecimentos específicos e uma abordagem mais estratégica para alcançar resultados expressivos e contínuos para as empresas (SILVEIRA, 2010).

A história da Gestão Industrial remonta ao surgimento da disciplina científica da Administração, no final do século XIX e início do século XX, impulsionada pela revolução industrial. A Gestão da Manutenção Industrial surge como uma ferramenta para prever problemas e evitar falhas nos processos industriais, reduzindo prejuízos para as empresas (CHIAVENATTO, 2000).

No cenário econômico e produtivo atual do país, as indústrias adotam estratégias alinhadas aos seus recursos e objetivos de eficiência produtiva e mercadológica. Para isso, a escolha dos tipos de manutenção é feita de forma característica, visando manter a disponibilidade das funções dos equipamentos, uniformizando o processo e realizando ações programadas ou não para preservação, reparo ou reposição de peças (FILHO, 2011). A avaliação constante dos equipamentos industriais por meio de um planejamento estratégico é essencial para alcançar economia produtiva e financeira, bem como garantir a competitividade no mercado (BARROS; FERRAZ; REIS, 2018).

A manutenção industrial visa garantir a disponibilidade contínua dos equipamentos e o funcionamento ininterrupto dos processos de produção. Realizada de forma programada ou emergencial, a manutenção busca preservar, reparar ou repor elementos que possam prejudicar o pleno funcionamento dos equipamentos (FILHO, 2011). A manutenção programada tem como objetivo evitar degradações e desgastes, que podem ser causados por diversos fatores, como o uso natural ou condições climáticas, que, se não forem tratados, podem resultar em paradas na produção, redução da qualidade do produto e impactos ambientais indesejados (BARROS; FERRAZ; REIS, 2018).

A gestão da manutenção industrial desempenha um papel fundamental no processo produtivo, garantindo a confiabilidade dos equipamentos e a disponibilidade contínua dos processos industriais. Ao empregar estratégias adequadas de manutenção, as empresas buscam aumentar a eficiência, reduzir custos, garantir a qualidade dos produtos e preservar o meio ambiente. O planejamento eficiente torna-se imprescindível para alcançar esses objetivos, possibilitando o sucesso no mercado competitivo atual (SANDRO, 2009).

2.1 Tipos de Manutenção na Indústria e sua Importância para a Confiabilidade do Processo

A manutenção preventiva é um tipo de abordagem voltada para evitar a descontinuidade dos equipamentos através de manutenções em intervalos pré-definidos. Essas intervenções programadas incluem limpezas, lubrificações, substituições de peças e inspeções (SLACK, 2002).

Essa categoria de manutenção classifica-se como serviços realizados em equipamen-

tos e máquinas ainda em perfeitas condições de funcionamento ou sem defeitos (VIANA, 2012). Um plano elaborado define o intervalo de tempo e as substituições necessárias, sendo que a ação administrativa e técnica, com devida supervisão, visa reduzir falhas no processo produtivo e garantir um nível aceitável de desempenho dos equipamentos (VIANA, 2012). A manutenção preditiva é realizada por meio do acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho dos equipamentos. Seu principal objetivo é identificar o momento adequado para intervir nos equipamentos, antes que ocorra qualquer descontinuidade (OTANI; MACHADO, 2008).

Utilizando técnicas preditivas, como ensaios de ultrassom, análise de vibrações, análise de lubrificantes e termográficas, o gestor obtém informações cruciais para a intervenção adequada nos equipamentos (FILHO, 2011). Nesse tipo de manutenção, busca-se obter o máximo desempenho dos equipamentos ainda em funcionamento, mas é importante considerar índices de confiabilidade da predição (NEPOMUCENO, 1989).

A principal diferença entre a manutenção preditiva e a corretiva é a capacidade de realizar o reparo com menor impacto sobre a produção. Enquanto a manutenção corretiva é reativa e pode resultar em perdas significativas de tempo de produção, a manutenção preditiva busca antecipar falhas e minimizar prejuízos (ALMEIDA, 2000).

A manutenção detectiva consiste na utilização de sistemas de proteção para detectar erros ocultos ou não perspectivas, garantindo a confiabilidade e funcionalidade das máquinas. Essas ações são executadas por profissionais especializados em gestão de manutenção (FILHO, 2011). O objetivo principal da manutenção detectiva é aumentar a confiabilidade do processo produtivo, o que inclui testes periódicos em sistemas críticos que normalmente não são utilizados, mas são de extrema importância em momentos específicos, como circuitos de geradores ativados apenas em casos de falta de energia elétrica na rede principal (FERREIRA, 2008).

A adoção de diferentes tipos de manutenção na indústria é essencial para garantir a confiabilidade e eficiência dos processos produtivos. A manutenção preventiva, preditiva e detectiva desempenham papéis complementares, visando evitar falhas, minimizar interrupções, aumentar a vida útil dos equipamentos e reduzir prejuízos. A aplicação adequada dessas estratégias contribui para a competitividade das empresas no mercado atual, além de promover a sustentabilidade e a eficiência operacional (ALMEIDA, 2000).

2.2 A Importância e Implantação da Manutenção Total Produtiva (TPM) na Indústria

A manutenção corretiva é um tipo de intervenção aleatória e imediata, realizada para garantir o funcionamento normal dos equipamentos de produção, preservando a segurança das pessoas e do meio ambiente. Essa abordagem pode ser planejada ou não, sendo associada a altos custos de manutenção, incluindo mão de obra e peças. No entanto, é possível minimizar seus impactos por meio de ações planejadas antes de uma falha total ocorrer (SOFIT4, 2015)

A manutenção corretiva não planejada é a forma mais simples e primitiva, onde o equipamento é deixado para operar até que apresente uma falha e fique inoperante (SLACK, 2002, p.645). Essa correção ocorre após o evento, sem planejamento ou acompanhamento, resultando em altos custos, baixa confiabilidade e ociosidade dos equipamentos, podendo levar a danos irreversíveis (OTANI; MACHADO, 2008).

Por outro lado, a manutenção corretiva planejada é executada com base na decisão



da gestão de manutenção, que escolhe esperar pela falha da máquina ou a operação preditiva, analisando os custos, segurança e viabilidade do conserto (OTANI; MACHADO, 2008)

A TPM, também conhecida como Manutenção Produtiva Total, é uma abordagem que busca minimizar as paradas na produção devido à manutenção. Com ênfase na manutenção preditiva, essa filosofia destaca a interação entre as fases de projeto, fabricação e instalação (NAKAJIMA, 1989)

Segundo Prazeres (1996, p.250), a TPM visa maximizar a efetividade dos equipamentos e sistemas ao longo de sua vida, prolongando sua vida útil e reduzindo perdas de tempo com reparos não programados. Essa abordagem envolve o desenvolvimento de um sistema de manutenção, organização básica, treinamento em solução de problemas de manutenção e atividades que visam eliminar completamente a quebra de máquinas.

A TPM é uma metodologia que visa aprimorar a gestão de equipamentos e máquinas, valorizando tanto os operadores quanto a eficácia dos equipamentos, com o objetivo de eliminar perdas por meio de melhoria contínua de pessoas e processos (PRAZERES, 1996). Ela busca minimizar paradas, melhorar e maximizar a vida útil das máquinas e atualizar as tecnologias envolvidas, enfocando a redução e eliminação de perdas (SHIGUNOV NETO, 2014).

A implantação da TPM deve envolver toda a empresa, com a participação de operadores, equipes de apoio e diretoria superior. Não se trata apenas de um departamento de manutenção, mas de uma filosofia que abrange todos os níveis hierárquicos (NAKAJIMA, 1989).

A TPM surgiu nos anos 1970 com foco nos equipamentos do chão de fábrica, visando melhorar sua eficiência e evitar perdas por paradas ou falhas. Na década de 80, começaram a ser observados seis tipos de falhas em equipamentos, e a terceira geração da TPM, a partir dos anos 90, tornou-se mais abrangente, incluindo mais tipos de perdas relacionadas ao sistema de produção. Nos anos 2000, as organizações perceberam que a TPM deve envolver toda a empresa, com o objetivo de eliminar completamente as perdas (PALMEIRA, 2002).

A implantação da TPM requer o conhecimento e a aplicação dos oito pilares: Melhoria Focada, Manutenção Planejada, Gestão Antecipada, Treinamento e Educação, Manutenção Autônoma, Manutenção de Qualidade, Pilar de Suporte de Gestão e Controle Administrativo (NAKAJIMA, 1998). A política básica e as metas da TPM devem ser definidas com a participação de todas as áreas, e um plano diretor detalhado deve ser elaborado para a implantação efetiva da TPM, sendo revisto periodicamente (PALMEIRA, 2002).

A introdução da TPM é uma atividade que requer o comprometimento de toda a equipe da empresa e deve ser conduzida com planejamento, treinamento, divulgação e responsabilidade. É essencial a criação de equipes de multiplicação e implementação para coordenar e promover o programa, com o apoio da direção da empresa (SUZUKI, 1994)

A implantação da TPM na indústria é essencial para maximizar a efetividade dos equipamentos, prolongar sua vida útil e reduzir as perdas de tempo com reparos não programados. A TPM visa aprimorar a gestão de equipamentos e máquinas, valorizando o desempenho dos operadores e buscando a eliminação total de perdas. Essa filosofia deve ser implementada de forma abrangente em toda a organização, com a participação de todos os níveis hierárquicos, para alcançar o máximo de eficiência e eficácia na produção industrial (PALMEIRA, 2002).

A gestão de manutenção é fundamental para melhorar continuamente o desempenho operacional das indústrias. A implantação da TPM (Manutenção Produtiva Total) é

uma estratégia eficaz que engloba melhorias específicas, manutenção preventiva e autônoma, educação e treinamento das equipes, visando à redução de custos e melhoria da qualidade (SUZUKI, 1994)

A TPM abrange quatro dos oito pilares essenciais, tais como a gestão da manutenção preventiva e controle das fases iniciais dos equipamentos para prevenir perdas crônicas. Além disso, ela inclui o gerenciamento da manutenção autônoma, que envolve o acompanhamento de falhas frequentes e ocultas, afetando a qualidade da produção. A abordagem estende-se também às áreas administrativas, com a TPM de escritório, que visa atualizar os processos e fluxos de trabalho para torná-los mais dinâmicos e redistribuir as informações (SUZUKI, 1994).

A TPM também enfatiza a importância da segurança, saúde e meio ambiente, promovendo ações preventivas e de recuperação, com foco na saúde e segurança dos operários e do ambiente de trabalho. Essa filosofia deve ser aplicada de forma total na empresa, mantendo o empenho na busca de novos objetivos e fortalecendo a cultura corporativa alinhada com estratégias para a sobrevivência e rentabilidade (SUZUKI, 1994).

Para obter resultados efetivos na gestão da manutenção, o uso de softwares de gestão é essencial. No entanto, é importante ressaltar que nenhum software é capaz de fazer tudo sozinho. É necessário definir regras e informações importantes e treinar toda a equipe para alimentar os dados necessários. A utilização dessas ferramentas computacionais permite o acesso e análise de informações relevantes, facilitando a tomada de decisões em relação ao método de manutenção adequado (BRANCO FILHO, 2008).

Com a utilização de sistemas de gestão de manutenção, as empresas obtêm benefícios significativos, como a diminuição de falhas que prejudicam a produção, maior segurança operacional, controle de equipamentos e relatórios valiosos. Além disso, a informatização na manutenção permite o acesso a informações que auxiliam na escolha do método de manutenção adequado (VIANA, 2014).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Manutenção Produtiva Total (TPM) é uma das metodologias mais utilizadas na gestão de manutenção, com o objetivo de alcançar o máximo de disponibilidade e aproveitamento dos equipamentos industriais. Através da implementação da TPM, busca-se obter maior produtividade e vida útil dos equipamentos, bem como a capacitação contínua das equipes e processos, visando à eliminação de perdas e obtendo maior eficiência, o que resulta em amplos benefícios para a indústria.

A aplicação da TPM também envolve a análise sistemática das falhas frequentes e ocultas nos processos de produção, buscando aprimorar a qualidade final dos produtos e evitar prejuízos causados por eventuais problemas.

Nesse contexto, as ferramentas computacionais desempenham um papel fundamental na padronização dos procedimentos e fornecimento de informações cruciais para a Gestão de Manutenção. Através do uso de softwares específicos, é possível documentar e gerenciar todas as atividades de manutenção, assim como avaliar indicadores para o acompanhamento da produção, desempenho das equipes e análise crítica dos equipamentos.

A utilização de ferramentas computacionais na TPM permite uma abordagem mais sistemática e eficiente, contribuindo para o desempenho geral da indústria e evitando prejuízos decorrentes de problemas não identificados e tratados de forma adequada. Em



conclusão, a TPM é uma metodologia essencial na gestão de manutenção, com o propósito de maximizar a disponibilidade e o aproveitamento dos equipamentos industriais. Através da capacitação contínua das equipes, eliminação de perdas e uso de ferramentas computacionais, a TPM promove maior eficiência e resultados positivos para a indústria, garantindo a competitividade e o sucesso no mercado.

Referências

- ALMEIDA, F. C. **Manual de Manutenção Industrial**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2000.
- BARROS, A. A. M. M.; FERRAZ, G. B.; REIS, D. C. **Manutenção Industrial: Gestão e Aplicação**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- BRANCO FILHO, C. R. **Gestão da Manutenção: Teoria e Prática**. São Paulo: Editora Érica, 2008.
- CHIAVENATTO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 6. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.
- FERREIRA, A. S. **Gestão da Manutenção Detectiva**. São Paulo: Editora Atlas, 2008.
- FILHO, N. M. **Gestão da Manutenção Industrial**. São Paulo: Érica, 2011.
- NAKAJIMA, S. **TPM no Processo Produtivo**. São Paulo: Editora IMAM, 1989.
- NEPOMUCENO, J. L. R. **Gestão da Manutenção Preditiva**. São Paulo: Editora do Brasil, 1989.
- OTANI, M.; MACHADO, F. R. **Gestão da Manutenção Preditiva**. São Paulo: Érica, 2008.
- PALMEIRA, P. R. **TPM - Manutenção Produtiva Total: Teoria e Prática**. São Paulo: Editora Artliber, 2002.
- PRAZERES, R. S. **TPM - Manutenção Produtiva Total**. São Paulo: Érica, 1996.
- SANDRO, A. **Gestão Estratégica de Manutenção**. São Paulo: Érica, 2009.
- SHIGUNOV NETO, A. **Gestão Estratégica de Manutenção e TPM**. São Paulo: Editora Senac, 2014.
- SILVEIRA, A. C. **Manutenção Industrial**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2010.
- SLACK, N. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.
- VIANA, C. R. **Manual de Manutenção**. São Paulo: Érica, 2012.
- VIANA, R. **Sistemas de Informações e Gestão de Manutenção**. São Paulo: Editora Atlas, 2014.



21

BENEFÍCIOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA NA LINHA DE
PRODUÇÃO INDUSTRIAL
BENEFITS OF PREVENTIVE MAINTENANCE IN THE INDUSTRIAL
PRODUCTION LINE

Orlanilson Sousa dos Santos
Paola Silva

Resumo

A gestão da manutenção é importante para o bom funcionamento do processo produtivo. Pode prevenir problemas, garantindo que o processo seja estável e eficiente. Ela envolve o monitoramento das máquinas, sistemas, ferramentas e equipamentos para que possam ser usados da melhor maneira possível. Com isso, é possível ter inúmeras vantagens. Manutenção industrial é importante para o processo produtivo. Seus benefícios incluem evitar quebra de máquinas, poupar dinheiro com processos ineficientes e garantir qualidade dos produtos. A manutenção é um custo, mas é também uma forma de prolongar a vida útil das máquinas da sua empresa e evitar danos que possam afetar o serviço. A principal tarefa da gestão da manutenção é garantir que todas as áreas da empresa que dependem de máquinas e equipamentos permaneçam operando de acordo com as leis trabalhistas. O objetivo geral do desenvolvimento deste trabalho centra-se, entender sobre a manutenção preventiva e os seus impactos frente a linha de produção industrial. Para entender como a gestão da manutenção afeta o processo produtivo, foi necessário utilizar a metodologia de revisão de literatura. Os resultados mostraram que a manutenção permite que a empresa tenha um processo de produção estável e eficiente, pois pode ser projetado e padronizado de forma direcionada, evitando assim problemas. Dessa forma, a manutenção oferece vários benefícios.

Palavras-chave: Gestão, Linha de produção, Manutenção preventiva, Monitoramento.

Abstract

Maintenance management is crucial for the proper functioning of the production process. It can prevent issues, ensuring that the process remains stable and efficient. It involves monitoring machines, systems, tools, and equipment to optimize their use. This approach provides numerous advantages. Industrial maintenance is vital for the production process. Its benefits include preventing machine breakdowns, saving money by avoiding inefficient processes, and ensuring product quality. While maintenance represents a cost, it is also a way to extend the lifespan of your company's machines and prevent damages that could impact service. The main task of maintenance management is to ensure that all areas of the company relying on machines and equipment operate in accordance with labor laws. The overall goal of this work focuses on understanding preventive maintenance and its impacts on the industrial production line. To comprehend how maintenance management affects the production process, it was necessary to employ the literature review methodology. The results showed that maintenance allows the company to have a stable and efficient production process, as it can be designed and standardized in a targeted manner, thereby avoiding issues. Thus, maintenance offers numerous benefits.

Keywords: Management, Production line, Preventive maintenance, Monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção preventiva dos equipamentos é um dos fatores mais importantes e estratégicos para uma empresa, pois aumenta a eficiência dos equipamentos e evita falhas indesejadas. É também uma forma eficaz de reduzir custos excessivos de manutenção. Porque o bom funcionamento da máquina está diretamente relacionado ao sucesso do meio ambiente.

Com isso, fica claro o quanto é importante estudar esse tema, pois ele vem ocupando cada vez mais espaço na sociedade e sua discussão dessa forma permite que a sociedade tenha maior conhecimento sobre o assunto. Além disso, é importante destacar os aspectos positivos que oferece à comunidade científica, pois seu estudo permite e abre portas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

O sistema de manutenção preventiva, quando bem executado, garante menores custos de manutenção, além de evitar problemas que podem ser agravados podendo gerar paralisação inesperada em certas partes da empresa. Diante disso, este trabalho busca compreender como a realização de manutenção preventiva impacta a linha de produção industrial?

O objetivo geral desse trabalho foi centrado na necessidade de entender sobre a manutenção preventiva e os seus impactos frente a linha de produção industrial. Para que o mesmo fosse atingido foi necessário seguir os seguintes objetivos específicos: apresentar alguns conceitos sobre manutenção preventiva, além disso abordar as vantagens e da adoção desse método e por fim a apresentar como que esse processo é adotado na indústria seus impactos na linha de produção industrial.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa utilizada nesse trabalho foi uma revisão de literatura, onde foram pesquisados livros, dissertações e artigos científicos selecionados através de busca nas seguintes bases de dados (livros, sites de banco de dados etc.), entre outras. O período dos artigos pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos 5 (Cinco) anos. As palavras-chave utilizadas na busca foram: Vibrações, prevenção e controle.

2.1 Resultados e Discussão

A manutenção preventiva requer diagnósticos baseados em parâmetros medidos. Durante a manutenção, esses diagnósticos ocorrem diretamente no local de manutenção e são baseados no processamento das informações coletadas pelo sistema. Em qualquer caso, a redução do tempo de inatividade indesejado devido a manutenções não programadas é insignificante (VIANA, 2012).

Com a análise do sistema SPDA ao registrar valores contínuos e diários, você pode analisar prováveis falhas e defeitos, além de gerar gráficos e relatórios que beneficiam o seu negócio e criar um histórico comparativo para melhorias futuras. Este sistema é amplamente utilizado na operação e gerenciamento de sistemas de transporte, como usinas de energia, ferrovias e rodovias. É utilizado em metalurgia, cerâmica, petróleo e gás, re-



finarias e plataformas de perfuração, sistemas de iluminação e encanamento (OLIVEIRA, 2007).

A equipe de manutenção geralmente é composta por técnicos responsáveis por supervisionar a produção e manter os sistemas e equipamentos que fazem parte do processo produtivo. Portanto, é de extrema importância que as equipes de manutenção sejam constantemente treinadas e qualificadas para atuar no respectivo processo produtivo (ROMANELLI, 2016).

A equipe que não estiver preparada pode provocar problemas nos equipamentos. Por isso, se faz necessário que a mesma esteja qualificada para reduzir o tempo na execução dos serviços e melhorias nas instalações e equipamentos (DONAS, 2004).

Outro ponto crucial que deve ser apresentado é a análise SWOT, onde na concepção de Oliveira (2007, p. 37) define a análise SWOT da seguinte forma:

- a) Ponto forte é a diferenciação conseguida pela empresa – variável controlável – que lhe proporciona uma vantagem operacional no ambiente empresarial (onde estão os assuntos não controláveis pela empresa);
- b) Ponto Fraco é a situação inadequada da empresa – variável controlável – que lhe proporciona uma desvantagem operacional no ambiente empresarial;
- c) Oportunidade é a força ambiental incontrolável pela empresa, que pode favorecer sua ação estratégica, desde que conhecida e aproveitada, satisfatoriamente, enquanto perdura.

O departamento de manutenção deve desenvolver dispositivos e atividades que exijam análises baseadas no desempenho dos dispositivos eletrônicos e dos serviços de manutenção. Uma área de especialização que aplica conhecimento científico e empírico a problemas de processos e instalações para orientar os processos de manutenção é o domínio da manutenção (VIANA, 2012).

Nesse sentido, a gestão da manutenção necessita de um conjunto de normas e procedimentos para o melhor aproveitamento de pessoal, maquinário e materiais da organização a que pertence a equipe (BRANCO FILHO, 2008).

A manutenção dos equipamentos deve ser organizada pela gestão que fornece soluções deve fornecer a fim de maximizar os resultados. Espera-se que a gestão da manutenção atinja os seus objetivos estratégicos e estes objetivos incluem a decisão de subcontratar ou não os serviços relacionados (PINTO, 2009).

No processo de terceirização, o principal objetivo é dar oportunidade para que as empresas se aliviem do peso de realizar atividades consideradas não essenciais, permitindo que a gestão concentre sua energia e criatividade no que é essencial (POLONIO, 2000).

A terceirização é uma ferramenta empresarial utilizada com excelência, precisão e competência, pois a terceirização não serve apenas para redução de custos, mas deve ser encarada como uma consequência do processo. Foi assim que surgiu o departamento de manutenção, onde as equipes de manutenção são estimuladas a investigar falhas e assim buscar uma melhor melhoria dos processos. Portanto, os objetivos definidos para a manutenção estão alinhados com a cultura e os objetivos estratégicos da organização (GIOSA, 1997).

A manutenção preventiva oferece muitos benefícios que fazem uma grande diferença no longo prazo. O primeiro é muito interessante do ponto de vista de custos desnecessários. Porque você pode reduzir e evitar quantos custos precisar. Adota-se esse modelo de atendimento. Se possível, evite a manutenção corretiva, que é mais cara que a manu-

tenção semelhante devido à escala dos danos. Ele também corrige bugs encontrados anteriormente para evitar maiores danos, de modo que a escala dos danos pode ser muito maior. Por isso, tanto os componentes elétricos quanto os mecânicos são verificados e monitorados nesse tipo de serviço. Como resultado, este modelo de serviço aumenta ainda mais a produtividade da máquina e melhora a operação (GIOSA, 1997).

Maior confiabilidade e disponibilidade também são benefícios da manutenção preventiva. Afinal, o mais importante em primeiro lugar é a segurança. Este modelo oferece maior segurança para pessoas, equipamentos e instalações, pois sua manutenção contínua e regular evita ao máximo a ocorrência de imprevistos e indesejáveis (SILVA, 2004).

São necessários procedimentos planejados e contínuos para aumentar a eficiência e a segurança dos equipamentos, edifícios e estruturas, uma vez que alguns problemas que podem levar a desgastes indesejados e inesperados podem ser evitados e uma previsão segura de custos pode ser garantida (VILLANUEVA, 2015).

Considerando isso, Rodrigues (2009), entre os benefícios da manutenção preventiva está a redução do número total de intervenções corretivas, reduzindo assim ao máximo os custos que seriam gastos com a manutenção corretiva. e o declínio acentuado no número de ações corretivas antecipadas. Um exemplo são os turnos noturnos de fim de semana em fases críticas de produção e distribuição; Além do aumento significativo na utilização anual dos sistemas de produção e distribuição.

Um dos principais benefícios da manutenção preventiva é que ela evita quebras ou quebras, maximizando assim a vida útil da máquina. Além disso, para evitar paradas de produção, cumprir prazos e garantir a segurança ocupacional de seus colaboradores. Mas como sempre existe um ponto negativo na manutenção preventiva, não seria diferente, ela traz muitos benefícios, mas também possui alguns pontos negativos, como: existe o risco de danificar peças ao realizar manutenções desnecessárias, mas também pode ser dificuldades em determinar os intervalos de manutenção e finalmente mensuráveis as economias alcançadas a médio e longo prazo (VILLANUEVA, 2015).

O modelo de prevenção tem a desvantagem de um investimento inicial mais elevado em comparação com outros modelos, mas proporciona poupanças significativas a médio e longo prazo, enquanto o modelo de manutenção requer um investimento decente em ferramentas e pessoal. A próxima desvantagem foi o planejamento cuidadoso. Fazer algo errado pode resultar em custos elevados no futuro. Para evitar isso, é preciso fazer o planejamento com muita atenção e atenção, analisando todos os pontos possíveis. Por fim, o último ponto também se relaciona com o segundo, ou seja, a possibilidade de erros no processo de avaliação e na escolha técnica dos equipamentos, não necessariamente críticos (VIANA, 2012).

A manutenção preventiva era um problema, isso se deve a as inúmeras vantagens econômicas, definidas por Pinto, ganham cada vez mais espaço no mercado e são cada vez mais discutidas (PINTO, 2009),

De acordo com Pinto (2009), A manutenção existe para que não haja manutenção; os reparos não planejados. Isso parece paradoxal à primeira vista, mas numa visão mais profunda vê-se que o trabalho de manutenção é enobrecido, onde cada vez mais o pessoal da área deve ser qualificado e equipado para evitar falhas e não para consertá-las.

Os planos de manutenção preventiva incluem a implementação de atividades de informação extraídas de catálogos de fabricantes e fornecedores. As falhas e avarias dos equipamentos são, portanto, a base para o planejamento e implementação de planos de manutenção detalhados. Mesmo que a manutenção regular seja realizada com base na



substituição de consumíveis, podem ocorrer falhas e falhas de peças durante a vida útil especificada por cada fabricante (SOUZA, 2008).

Pelo que é apresentado, pode-se perceber a importância deste tema. Porque contribui para uma discussão altamente relevante que a sociedade deveria ter dada as realidades que a sociedade enfrenta nos anos em que os robôs se tornaram cada vez mais importantes e realizados. muitos. Há pouca perda de espaço de trabalho humano na indústria, por isso é necessário compreender a importância de otimizar o processamento (KOYANO, 2012).

Além disso, mostra também que todas as metas planejadas foram alcançadas de forma a poder descrever a manutenção preventiva e suas principais vantagens e desvantagens desta forma. Isso mostra a grande importância e relevância da discussão sobre esse tema (SOUZA, 2008).

A Tabela 1 mostra que a manutenção, tanto corretiva quanto preventiva e preditiva, são modelos de gestão utilizados pela empresa, mas quando confrontados com ela tornam-se, você pode entender que entre eles há um que domina ainda mais (HAIR, 2005).

Porte da indústria	Ações de manutenção		
	Corretiva (%)	Preventiva (%)	Preditiva (%)
Médias Empresas	50	40	10
Grandes Empresas	42	40	18

Tabela 1. Média de realização das ações de manutenção nas indústrias.

Fonte: Hair (2005, p. 56).

De acordo com a Tabela 1, apresentada por Hair (2005), parece que a maioria dos centros industriais, tanto de médio como de grande porte, quase não implementam a manutenção preditiva, ela é utilizada quando necessário, os dois modelos de manutenções mais comuns são a corretiva e a preventiva, as tarefas de manutenção corretiva são bastante ruins. A manutenção corretiva foi realizada quando foi constatado que a empresa não estava realizando algum trabalho que estivesse causando efeitos colaterais, como mostra a Figura 1.

Tipo de Manutenção	H.H	% Real	% Desejável
Manutenção Corretiva	128	5%	< 10%
Manutenção Preventiva	850	33%	> 30%
Manutenção Preditiva	1460	56%	> 40%
Melhorias / Engenharia de Manutenção	160	6%	> 10%
TOTAL	2598	100%	

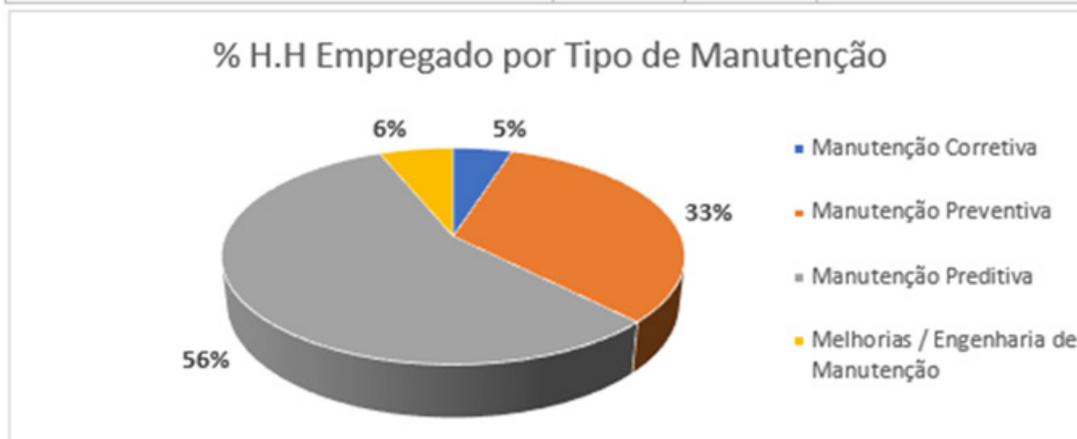


Figura 1. Tipos de manutenção e sua participação na linha de produção

Fonte: Hair (2005, p. 32).

Com pode observar a manutenção de inspeção é realizada por instrumentos de medição e monitoramento ou dispositivos, que são uma importante ferramenta dentro de um plano de manutenção preventiva industrial. Portanto, esse tipo de manutenção visa ajustar o equipamento quando necessário, mas sem causar quebras ou quebras. A manutenção de confiabilidade é reconhecida como uma das práticas de manutenção preventiva mais avançadas do mercado. Assim, a confiabilidade de um dispositivo ou máquina indica a probabilidade de funcionar sem avarias e avarias em um determinado período (KOYANO, 2012).

3. CONCLUSÃO

Diante disso, nota-se que a situação problema escolhida para o desenvolvimento do trabalho foi respondida com sucesso, onde foi possível como a realização de manutenção preventiva impacta a linha de produção industrial? Ao estabelecer uma rotina de cuidados preventivos, as indústrias podem prolongar a vida útil dos ativos, reduzir os custos associados às reparações e evitar interrupções dispendiosas na produção. É característica da manutenção preventiva a ser planejada e programada com antecedência. Ele se concentra em eliminar problemas que podem perturbar o processo produtivo da empresa. Constantemente máquinas de monitoramento é chamado de manutenção preditiva. Através de equipamentos e sensores.

Além disso, pontua-se também que todos os objetivos foram alcançados com sucesso onde foi compreendido sobre a manutenção preventiva e os seus impactos frente a linha de produção industrial. Para que o mesmo fosse atingido foi necessário apresentar alguns conceitos sobre manutenção preventiva, além disso abordado as vantagens e da adoção desse método e por fim a apresentar como que esse processo é adotado na indústria seus

impactos na linha de produção industrial.

A manutenção preventiva é necessária para ter um processo produtivo eficiente. O objetivo principal é estabelecer datas e horários para planejar, controlar e executar ações de manutenção em máquinas e equipamentos com o intuito de garantir seu bom funcionamento.

Com isso, neste trabalho, discute-se os tipos de manutenção, como preventiva, preditiva e corretiva. Revisamos a literatura sobre a manutenção preventiva e seus conceitos. Para isso, estabelecemos alguns objetivos específicos, como descrever alguns conceitos de manutenção preventiva, discutir as vantagens e desvantagens de usar este método e comparar dois cenários, antes e depois da manutenção preventiva, para mostrar a eficácia da máquina. Diante da conclusão deste trabalho, foi possível compreender a importância de se realizar a gestão da manutenção.

Com isso, é importante concluir este trabalho para a sociedade e para a comunidade acadêmica. Ele fornece informações importantes e pode servir de base para trabalhos futuros, pois o tema é significativo e cada vez mais relevante.

Referências

- DONAS, M. L. M. A **Gestão da Manutenção de Equipamentos em uma Instituição Pública de C&T em Saúde**. 2004. 132 p. Dissertação (Mestrado profissional em C&T em Saúde). Escola Nacional de Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2004.
- GIOSA, L. A. **Terceirização: uma abordagem estratégica**. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 1997.
- HAIR, J. F. et al. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Bookman, 2005.
- KOYANO, M. **Mobilizar - programa móvel de treinamento industrial**. Móbile chão de fábrica, 2012. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8268/3/PG_CEGIPM_VIII_2013_07.pdf. Acesso em: 26. Fev. 2022.
- OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de, **Planejamento estratégico: conceitos, metodologia e práticas**. São Paulo: Atlas, 2007.
- PINTO, A. K; XAVIER, J N. **Manutenção: função estratégica**. 3.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- POLONIO, W. A. **Terceirização: Aspectos legais, Trabalhistas e Tributários**. São Paulo: Atlas, 2000.
- RODRIGUES, J. F. A; **Manutenção Preventiva e Corretiva, Apostila do Curso Técnico em Segurança do Trabalho**. SENAC-PA, 2009.
- ROMANELLI, J. S. **Análise De Viabilidade Da Manutenção De Equipamentos Eletrônicos Na Agroindústria**. Chapecó 2016. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/1414/1/ROMANELLI.pdf>. Acesso em: 25. Fev. 2022.
- SOUZA, A. **Artigo retirado da revista ABIFA**. Fundação e matérias primas, edição 102, Nov. 2008, edição 103, dez 2008.
- SILVA, Romeu Paulo. **Gerenciamento do Setor de Manutenção. Departamento de Economia, Contabilidade e Administração da Universidade de Taubaté**. Taubaté – SP. 2004. 92p.
- VIANA, H. R. G. PCM: **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012.



22

SISTEMAS DE AR-CONDICIONADO RESIDENCIAL: EVOLUÇÃO E
IMPACTOS AMBIENTAIS

RESIDENTIAL AIR CONDITIONING SYSTEMS: EVOLUTION AND
ENVIRONMENTAL IMPACTS

Milton André Ramos dos Santos
Ronaldo de Jesus Barros

Resumo

A crescente demanda global por ar-condicionado, impulsionada pelo aumento das temperaturas, suscita preocupações ambientais significativas. Este trabalho buscou compreender a evolução dos sistemas de ar-condicionado residencial e as estratégias para atenuar seus impactos ambientais. Por meio de uma revisão bibliográfica, destacam-se os resultados do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), enfatizando a tendência dos aparelhos inverter, que oferecem eficiência energética até 40% superior. Através do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH), observa-se a substituição progressiva dos fluidos refrigerantes atuais, como HCFC e HCF, por alternativas sustentáveis, bem como a gestão adequada do descarte desses fluidos, que, em conformidade com a norma ARI-700, proporciona economia na aquisição de novos fluidos. Conclui-se que medidas governamentais, como o PBE e o PBH, aliadas à introdução de fluidos refrigerantes alternativos, como o HC-600 e o HC-290, e à adoção de aparelhos do tipo inverter, têm eficácia na promoção de padrões mais eficientes em termos energéticos e na redução dos impactos ambientais, contribuindo para um futuro mais sustentável.

Palavras-chave: Ar-condicionado, Eficiência Energética, Fluidos Refrigerantes, Impactos Ambientais, Tendências.

Abstract

The growing global demand for air conditioning, driven by rising temperatures, raises significant environmental concerns. This work sought to understand the evolution of residential air conditioning systems and strategies to mitigate their environmental impacts. Through a bibliographical review, the results of the Brazilian Labeling Program (PBE) stand out, emphasizing the trend towards inverter devices, which offer up to 40% greater energy efficiency. Through the Brazilian Program for the Elimination of HCFCs (PBH), there is a progressive replacement of current refrigerant fluids, such as HCFC and HCF, with sustainable alternatives, as well as adequate management of the disposal of these fluids, which, in accordance with the ARI standard -700, provides savings when purchasing new fluids. It is concluded that government measures, such as PBE and PBH, combined with the introduction of alternative refrigerant fluids, such as HC-600 and HC-290, and the adoption of inverter-type devices, are effective in promoting more efficient standards in energy terms and in reducing environmental impacts, contributing to a more sustainable future.

Keywords: Air conditioning, Energy Efficiency, Refrigerant fluids, Environmental impacts, Tendencies.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de ar-condicionado residencial desempenham um papel fundamental nos locais onde estão instalados, sendo capazes de fornecer conforto térmico e ambientes agradáveis para seus usuários. No decorrer do tempo, esses sistemas passaram por evoluções significativas, que tiveram como objetivo, incorporar aos condicionadores de ar novas tecnologias mais eficientes. No entanto, junto com essas melhorias em seu desempenho, surgiram preocupações cada vez maiores em relação aos impactos ambientais associados ao uso desses sistemas, sobretudo no que tange, o consumo elétrico desses aparelhos.

Sendo assim, a crescente preocupação ambiental contrasta com o avanço tecnológico e embora as melhorias no desempenho tenham reduzido os impactos ambientais, não os eliminaram. No contexto dos sistemas de ar-condicionado residencial: quais melhorias podem ser feitas para mitigar os impactos ambientais?

Por meio desse artigo, será possível entender a trajetória do ar-condicionado residencial, analisando seus impactos ambientais ao longo do tempo e apresentando tendências para o futuro. Dada a demanda energética desses aparelhos e a predominância do clima quente no Brasil, a pesquisa também enfatiza a conscientização sobre o uso responsável e a necessidade de inovação contínuas para minimizar esses impactos.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Este trabalho será desenvolvido mediante o método de Revisão Bibliográfica, utilizando-se o tipo de pesquisa descritiva e o processo de análise dos dados para a fundamentação do trabalho, que será qualitativa. Sendo assim, além do uso de livros sobre refrigeração e ar-condicionado, serão empregados nesse estudo, relatórios, pesquisas e trabalhos publicados nos últimos 20 anos, presentes nos indexadores Google Acadêmico e Scientific Electronic Library Online (SciELO). A combinação das seguintes palavras-chaves foi empregada na busca: “refrigeração residencial”, “eficiência dos condicionadores de ar”, “impactos ambientais da refrigeração”.

2.2 Resultado e Discussão

A tecnologia de ciclo de refrigeração por compressão de vapor é a mais usada pela maioria dos aparelhos de ar-condicionado utilizados no mundo, o que inclui os ar-condicionados residências (IEA, 2018). Essa tecnologia se baseia na aplicação de conceitos de calor e trabalho, utilizando-se um fluido refrigerante, esse circula em um circuito fechado de bobinas, onde ocorre a conversão de fases desse refrigerante, assim retirando calor de um meio enquanto vaporiza a baixa pressão.

Conforme descrito anteriormente, o fluido refrigerante percorre um circuito fechado, no qual entra no evaporador a baixa pressão, retirando energia do meio interno refrigerado, e em seguida é comprimido e bombeado pelo compressor, transformando em vapor superaquecido. O condensador tem a função de liberar a energia absorvida do ambiente e do trabalho de compressão para o meio externo, promovendo a condensação do vapor refrigerante de volta ao estado líquido. Esse ciclo é repetido continuamente, sendo essencial



para o conforto térmico do ambiente (FERRAZ, 2008).

2.2.1 Evolução dos aparelhos de ar-condicionado

Desde a sua criação por Willis Carrier em 1902, o ar-condicionado tem passado por constante avanços tecnológicos, tornando-se uma presença comum em residências e estabelecimentos comerciais. Os primeiros ares-condicionados eram espaçosos, eram pouco eficientes em relação ao consumo de energia, além de, usarem fluidos refrigerantes perigosos como a amônia, o clorometano e o propano. Com a demanda de mercado e a evolução das tecnologias para redução do tamanho dos componentes e a criação de refrigerantes menos perigosos, o ar-condicionado de janela se torna mais acessível (CARRIER, 2023).

2.2.2 Tipos de ares-condicionados residências

2.2.2.1 Condicionador de ar do tipo janela

Os condicionadores de ar do tipo janelam são compactos, tendo todos os componentes dentro de uma única unidade, sendo de fácil instalação, mas sendo necessário uma abertura na parede (FRIGELAR, 2022).

2.2.2.2 Condicionador de ar tipo Split

Os ar-condicionado do tipo Split e composto por duas unidades, no caso a evaporadora que se localiza no ambiente interno e a condensadora que está no ambiente externo, sendo um sistema mais silencioso e de maior flexibilidade de instalação (FRIGELAR, 2022). Os condicionadores de ar do tipo Split são divididos em 3 tipos principais:

- Split Convencional: O sistema convencional e o mais comum, possuindo uma única unidade interna e uma única unidade externa (FRIGELAR, 2022).
- Split Inverter: Utiliza um sistema que permite ao compressor ajustar continuamente a velocidade de funcionamento, sem que esse desligue, gerando economia de energia (FRIGELAR, 2022).
- Split Cassete: Nesse tipo de aparelho sua unidade evaporadora fica no teto, contando com até quatro vias de saída de ar. Sendo similar ao tipo Split, podendo ou não apresentar tecnologia inverter (FRIGELAR, 2022).
- Multi-split: Um sistema que permite conectar várias unidades internas a uma única unidade externa, o que é útil para resfriar várias salas ou ambientes diferentes (FRIGELAR, 2022).

2.2.2.3 Condicionador de ar portátil

Esse tipo de ar-condicionado é móvel, geralmente consiste em uma unidade única que precisa ser conectada a uma janela ou outra abertura para ventilar o ar aquecido para fora (FRIGELAR, 2022).

TIPOS DE ARES-CONDICIONADOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Janela	Tem um baixo custo e são fáceis de instalar.	Possui eficiência menor em relação a outros tipos
Split	São mais eficientes do que do tipo janela e mais silenciosos.	Maior preço de aquisição e instalação.
Split Inverter	Maior eficiência em relação aos modelos tradicionais.	Seu custo de aquisição e sua manutenção são mais caros.
Split Cassete	Melhor distribuição do ar e não ocupa espaço útil.	Caro em relação a modelos tradicionais
Multi-Split	Climatiza vários ambientes, boa eficiência energética.	Tem um custo maior e sua performance é reduzida.

Quadro 1. Vantagens e desvantagens dos condicionadores de ar

Fonte: Adaptado de FRIGELAR (2022)

2.2.3 Eficiência dos condicionadores de ar

A melhora na renda da população, principalmente em países quentes e emergentes, está levando a um crescimento na demanda por ar-condicionado, tendo estimativas, que nas próximas três décadas o número de aparelhos sendo utilizados, triplique, exigindo um maior consumo de eletricidade e o aumento de sua produção de energia, ocasionando o aumento emissões de poluentes, elevando ainda mais a temperatura nesses países (IEA, 2018).

Como é apresentado na Figura 1, no caso do Brasil, sendo um país, que possui regiões de elevadas temperaturas e uma economia emergente, ouve o aumento da demanda por ares-condicionados, entre os anos de 2005 a 2017. Por conseguinte, levou ao aumento do consumo elétrico durante esse período de 237%, atingindo 18,7 TWH em 2017 (EPE, 2018). Para que a demanda por energia fosse reduzida, os programas de etiquetagem estão sendo executados, visando informar e influenciar o consumidor na compra de aparelhos mais eficientes, além de, incentivar a melhoria do produto por meio de comparação de rótulos, forçando a criação de novas tecnologias, com a finalidade de manter a empresa produtora do aparelho competitiva no mercado (IEA, 2018).

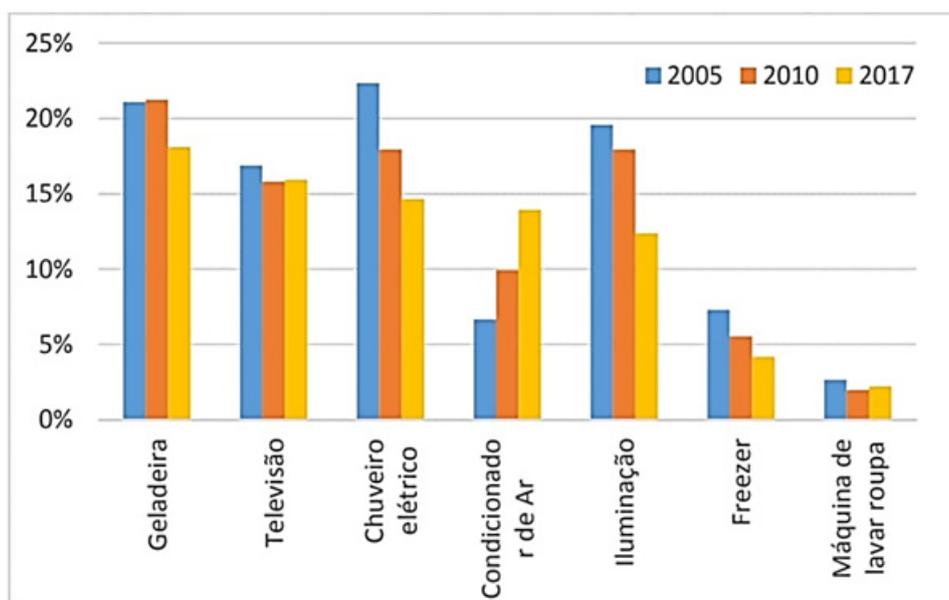


Figura 1. Participação no consumo final de eletricidade por equipamentos, uso final no setor residencial

Fonte: EPE (2018)

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), criado em 1984, coordenado pelo INMETRO e gerenciado em cooperação com o PROCEL e CONPET, estabelece etiquetas comparativas para produtos que utilizam energia elétrica ou combustíveis. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) classifica os produtos em até cinco classes de eficiência, sendo a classe A atribuída ao modelo mais eficiente e classe E para os menos eficientes. Inicialmente voluntárias, as etiquetas tornaram-se mandatórias, abrangendo diversos equipamentos. Em 1993, foi criado o Selo PROCEL para informar os consumidores sobre os melhores equipamentos, premiando os produtos mais eficientes (EPE, 2018).

O estabelecimento de padrões mínimos de eficiência energética e a proibição da comercialização de modelos com baixa eficiência representam um marco importante na busca pela sustentabilidade e pelo uso responsável de energia. A Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295) criada em 2001, desempenha um papel crucial ao reforçar os programas de etiquetagem e ao permitir que o governo estabeleça padrões mínimos para equipamentos. O Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE), criado por essa mesma lei, exerce um papel fundamental ao determinar esses padrões e estabelecer um Programa de Metas que impulsiona a evolução contínua dos níveis de eficiência. Essas medidas visam promover a inovação tecnológica, incentivar a adoção de produtos mais eficientes e contribuir para a preservação do meio ambiente (EPE, 2018).

Para complementar a regulamentação específica de condicionadores de ar, atendendo a Lei nº 10.295, foi aprovada a Resolução nº1/2022, que aprova o novo programa de metas para ar-condicionado, usando uma nova metodologia, baseada na norma ISO 16358-1, que permite um maior número de ensaios, em diferentes configurações do equipamento. Gerando como os novos índices mínimos uma economia de elétrica de 67TWh e uma economia de recursos de R\$12 bilhões até 2040. Além disso, 40 milhões de toneladas de CO2 deixarão de ser emitidos na atmosfera (MME, 2022). Nesse contexto, estamos testemunhando um aumento notável na adoção de padrões para a fabricação e aquisição de sistemas de ar-condicionado mais avançados, com destaque para os sistemas inverter, que estão ganhando terreno no mercado devido à sua notável eficiência energética.

2.2.4 Ar-condicionado com tecnologia inverter

Em 1981, a Toshiba foi uma das pioneiras a introduzir a tecnologia inverter em seus aparelhos de ar-condicionado. Com o uso dessa tecnologia, tornou-se possível regular a rotação/velocidade do compressor em resposta à necessidade de arrefecimento. Foi de grande importância para a introdução da nova tecnologia a redução do tamanho do inverter, para que o ar-condicionado ocupasse menos espaço (TOSHIBA, 2020).

2.2.4.1 Comparação da tecnologia ar-condicionado convencional e inverter

Na Figura 2(a), o gráfico compara as rotações por minuto (RPM) entre os compressores dos sistemas convencionais (eixo vermelho) e inverter (eixo azul). O sistema inverter mantém o compressor ativo, reduzindo sua velocidade, enquanto o convencional liga e desliga. Isso se reflete na Figura 2(b), que mostra o consumo de energia. O modelo inverter economiza cerca de 30% de energia anualmente em comparação com o convencional, resultando em economias significativas a longo prazo.

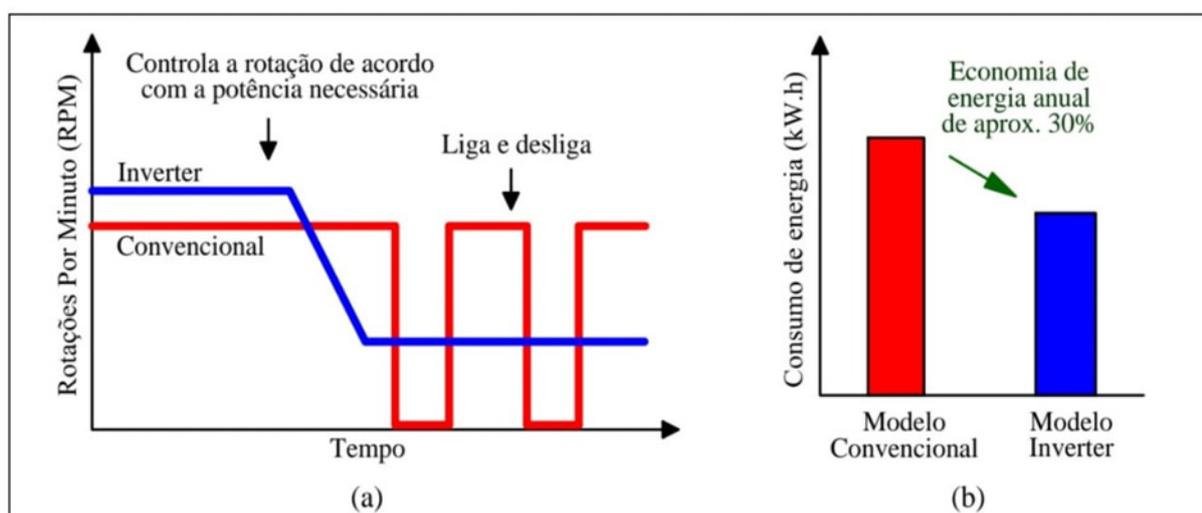


Figura 2. Tecnologia convencional e inverter, (a) rotação do compressor, e (b) relação de economia

Fonte: MARANGONI, Filipe *et al.*, (2015).

2.2.4.2 Eficiência dos aparelhos do tipo inverter versus convencionais

A Figura 3, representa os condicionadores convencionais, onde podemos observar que em janeiro o consumo total de energia se aproximou de 3.500 kWh. No entanto, houve uma significativa redução em junho, quando o consumo caiu para 1000 kWh (SILVA; OLIVEIRA; LIMA, 2023).

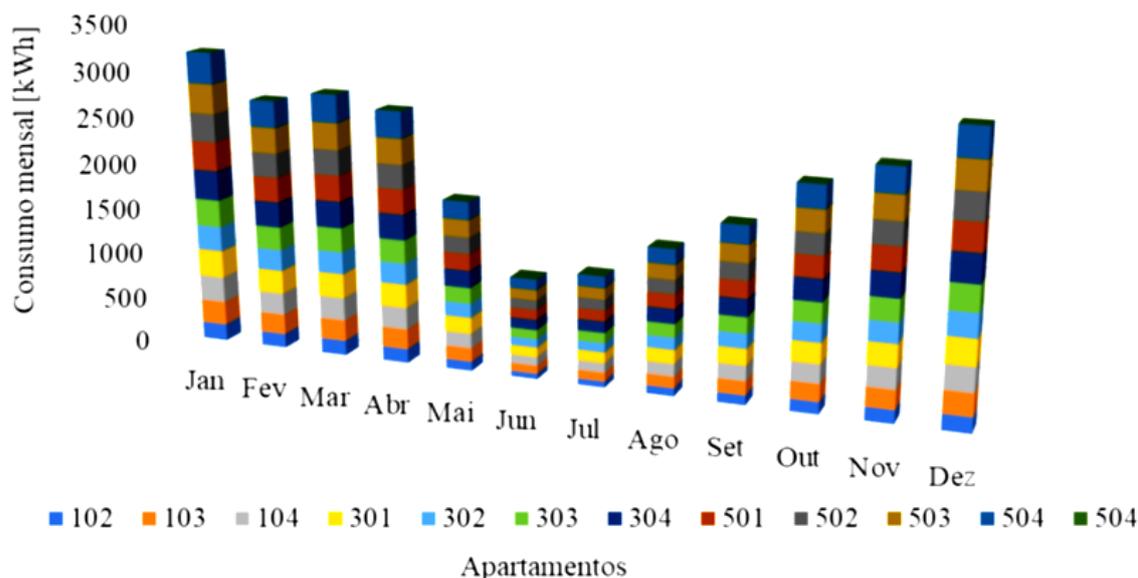


Figura 3 - Consumo operacional do sistema convencional

Fonte: SILVA, OLIVEIRA, LIMA (2023).

Por outro lado, na Figura 4, que se refere aos condicionadores do tipo inverter, notamos que em janeiro o consumo total de energia aproximado de 2000 kWh, uma cifra inferior àquela dos condicionadores convencionais. Em junho, o consumo também apresentou uma redução considerável, atingindo quase 700 kWh (SILVA; OLIVEIRA; LIMA,2023).

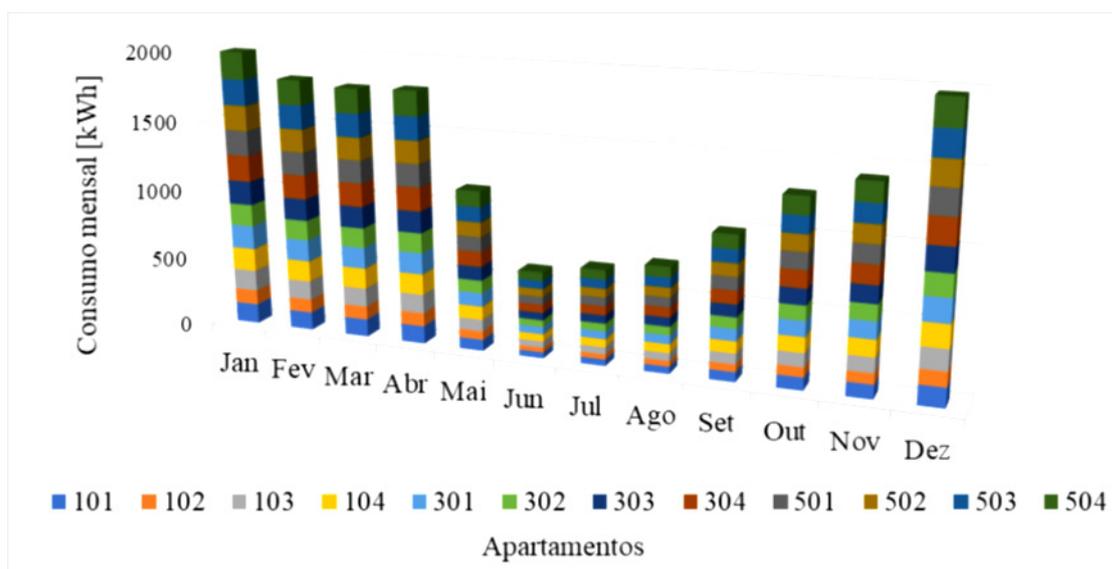


Figura 4 - Consumo operacional do sistema inverter

Fonte: SILVA, OLIVEIRA, LIMA (2023).

Esses resultados evidenciam uma redução média de 41,28% no consumo de energia elétrica ao utilizar condicionadores inverter em comparação com os condicionadores convencionais. Essa economia é especialmente notável durante os meses mais quentes, destacando a viabilidade e os benefícios da substituição dos condicionadores convencionais por modelos inverter em uma edificação residencial (SILVA; OLIVEIRA; LIMA,2023).

A evolução contínua dos critérios técnicos melhorou significativamente a eficiência dos aparelhos de ar-condicionado, exemplificada pela tecnologia inverter, que supera mo-

delos convencionais em até 40% (SILVA; OLIVEIRA; LIMA, 2023). Esse progresso beneficia a eficiência energética e a sustentabilidade no setor de climatização. No entanto, o desafio principal permanece o custo de aquisição elevado, e conforme as pesquisas de Marangoni *et al*, (2015) indicam, em certos cenários, o retorno do investimento pode demorar, tornando a adoção de sistemas mais eficientes menos atrativa para os compradores.

Com isso, a complexidade inerente ao mercado de aparelhos de ar-condicionado, onde se entrelaçam considerações sobre eficiência energética e viabilidade financeira, sublinha a necessidade de uma avaliação abrangente ao tomar decisões de compra. Isso se deve ao fato de que o custo de aquisição do aparelho, embora influenciado pela eficiência, pode, em alguns casos, desencorajar sua adoção, o que, ironicamente, pode resultar em impactos mais significativos ao meio ambiente. Portanto, é imperativo equilibrar cuidadosamente as vantagens ambientais da eficiência energética com a realidade financeira do consumidor, visando a tomada de decisões conscientes e sustentáveis.

2.2.5 Fluidos Refrigerantes

O fluido frigorigêneo é uma substância química usada em sistemas de refrigeração e ar-condicionado para transferir calor, permitindo o resfriamento de ambientes. Ele passa por um ciclo de compressão e expansão para realizar a transferência de calor, existindo em diferentes estados físicos (FERRAZ,2008).

2.2.5.1 Impactos dos fluidos refrigerantes

O Brasil, por meio do Decreto nº99.280 de 06 de junho de 1990, ratificou e promulgou a Convenção de Viena e o Protocolo de Montreal, incluindo suas emendas. Essas medidas visam controlar e eliminar Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (SDO) e reduzir o efeito estufa (MMA,2011). No caso dos refrigerantes a base de Clorofluorcarbonos (CFCs), a Resolução CONAMA267 de 14 de setembro de 2000 é o documento que proíbe em todo o território nacional a utilização dos fluidos refrigerantes a base de CFC, com isso atualmente não é mais usado em aparelhos de ar-condicionado residenciais (MMA, 2002). Como é apresentado na Figura 5, com a promulgação do Protocolo de Montreal, o fluido refrigerante do tipo CFCs foi substituído pelo Hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) e HCFs. Com essa proibição do CFCs, o refrigerante do tipo HCFC e HCF ganharam espaço, e pelo fato de serem compatíveis com alguns equipamentos que operavam com CFCs, começaram a ser utilizados em larga escala. No entanto esses também causam danos ao meio ambiente, e para congelar o seu consumo principalmente do HCFCs a Instrução Normativa nº 14/2012 entrou em vigor (NEULAENDER, 2013).

Substância a ser Substituída	Substância alternativa	Aplicação
CFC-11	HCFC-123	Condicionamento de ar-unidades centrífugas (equipamentos novos e retrofit).
CFC-12	HFC-134a	Condicionamento de ar automotivo, refrigeradores domésticos e comerciais, unidade centrífugas e outros usos de temperatura de evaporação média.
	R-401A	Retrofit para refrigeração comercial/doméstica. Melhor desempenho para temperaturas de evaporação acima de -23°C.
	R-401B	Retrofit para refrigeração comercial/doméstica. Melhor desempenho para temperaturas de evaporação acima de -23°C.
	R-409A	Retrofit para refrigeração comercial/doméstica e retrofit para transporte refrigerado. Melhor desempenho para temperaturas de evaporação abaixo de -23°C.
R-13/R-503	R-508B	Equipamentos de temperaturas extremamente baixas, sistemas em cascata (equipamentos novos e retrofit).
CFC-114	HCFC-123	Condicionamento de ar e unidades centrífugas de navios e outros usos com alta temperatura de condensação.
	HCFC-124	Condicionamento de ar – chiller centrífugo
R-502	R-402a	Substitui o R502 em aplicações onde baixa temperatura de descarga for crítica.
	R-408a	Refrigeração comercial/doméstica. Substitui o R-502 em sistemas mais antigos.
	R-404A	Para equipamentos novos.

Figura 5. Substituição dos fluidos refrigerantes conforme o Protocolo de Montreal

Fonte: SOTOMAYOR (2013).

No presente momento o Brasil está comprometido em eliminar os HCFCs, especialmente o HCFC-22, em várias áreas, incluindo a produção de equipamentos de ar-condicionado, por meio do Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs (PBH). Atualmente, para mitigar os impactos ambientais, os aparelhos de ar-condicionado no Brasil oferecem opções de refrigerantes puros, como HC-290 e HFC-32. Além disso, várias misturas de HFCs foram desenvolvidas como alternativas mais ecológicas ao HCFC-22 (MMA,2011).

As duas misturas de HFC mais comuns para substituir o HCFC-22 são o R-407C e o R-410A. No entanto, eles têm Potenciais de Aquecimento Global (GWP) próximos ao HCFC-22, tornando-os inadequados a longo prazo sob a Emenda de Kigali, que visa, regulamentações mais rigorosas para os Hidrofluorcarbonos (HFCs) reduzindo gradualmente o uso de HFCs até 2045, com o objetivo de diminuir a temperatura global em até 0,4°C (MMA,2011). No contexto dos condicionadores de ar, os refrigerantes tradicionais, como CFCs e HCFCs, prejudicam a camada de ozônio e estão sendo substituídos. Enquanto os HFCs não afetam a camada de ozônio, contribuem para o efeito estufa. Para mitigar esses impactos, observa-se uma transição para refrigerantes mais sustentáveis, como Hidrofluorolefinas (HFOs) e fluidos frigoríficos naturais (MELO, 2011).

2.2.5.2 Tendências para novos fluidos refrigerantes

A tendência global atual está voltada para uma abordagem mais amigável ao meio ambiente no que diz respeito aos fluidos refrigerantes. Isso envolve a preferência por refrigerantes naturais, como HCs, amônia e dióxido de carbono (CO₂), bem como a adoção de novos fluidos sintéticos, como os HFOs. Essa mudança é motivada principalmente pelo

processo em curso de substituição dos HCFCs, devido aos danos que causam à camada de ozônio. Além disso, os HFCs também estão sob escrutínio, devido à sua contribuição para o agravamento do efeito estufa (MELO, 2011).

2.2.5.2.1 Fluidos refrigerantes naturais

Dessa forma, os fluidos refrigerantes naturais, como o HC-600a, são vistos como o futuro da refrigeração. Na Europa e grande parte da Ásia, o HC-600a lidera o mercado de refrigeradores domésticos. Cerca de 95% dos refrigeradores na Europa já adotam o HC-600a, com uma tendência de aumento. A Embraco, por exemplo, produziu 25 milhões de compressores em 2008, dos quais 34% eram do HC-600a. No entanto, a inflamabilidade dos hidrocarbonetos gera preocupações, apesar de sua ampla acessibilidade e compatibilidade com diversos materiais (MELO, 2011).

Além disso, A produção de ar-condicionado com propano (HC-290) está em estágio inicial, focada na China e na Índia. A empresa indiana Godrej já produziu 650.000 unidades até julho de 2019, e a China adaptou linhas de produção para alcançar 4,5 milhões de unidades anuais e 5,4 milhões de compressores. Outros países, como o Egito, planejam adotar o HC-290 para reduzir impactos ambientais. No entanto, é essencial notar que o HC-290 é inflamável, exigindo conformidade com as Diretivas ATEX da União Europeia para garantir a segurança em ambientes com substâncias inflamáveis (MMA, 2011).

2.2.5.2.2 Fluidos refrigerantes sintéticos

HFOs notáveis incluem o HFO-1234yf e o HFO-1234ze, com baixo Potencial de Aquecimento Global (GWP) de 4 e 6, respectivamente, e vidas atmosféricas curtas. Embora o HFO-1234yf seja comparável ao HFC-134a, é mais caro. Ambos são menos inflamáveis que os HCs. Testes de toxicidade promissores e adaptações nos trocadores de calor reduziram a queda de desempenho do HFO-1234ze em apenas 3%. A aplicação prática na refrigeração doméstica e comercial leve é especulativa, aguardando o desenvolvimento de compressores específicos (MELO, 2011).

2.2.5.3 Destinação dos fluidos refrigerante

A conservação dos fluidos refrigerantes e a busca por soluções ecologicamente corretas tem impulsionado o aperfeiçoamento dos projetos e a adoção de medidas preventivas no setor de refrigeração e ar-condicionado. A manutenção preventiva contínua, a capacidade das equipes técnicas e a utilização de sistemas herméticos com melhor detecção de fugas são estratégias adotadas em conformidade com a legislação vigente. Além disso, a existência de centrais de regeneração e o apoio de empresas especializadas no recebimento de fluidos refrigerantes coletados permitem a venda de fluidos regenerados, gerando uma economia de até 30% em comparação com fluidos novos (MMA, 2002).

A destinação adequada dos gases contidos em recipientes, como os fluidos refrigerantes, é obrigação prevista na Lei Federal 12.305/2010, que define os resíduos sólidos e exige sua destinação final em um ambiente adequado. A liberação intencional desses fluidos na atmosfera configura crime ambiental e sua destinação final é regulamentada pela Instrução Normativa N°5/2018 do IBAMA. Sendo necessário capacitar os trabalhadores envolvidos no processo garantindo a manipulação segura das substâncias químicas, para que

sejam recolhidas para serem transportada para centros de regeneração ou incineração licenciados ambientalmente (CETESB, 2022).

Para isso existem as centrais de regeneração, que foram instaladas no âmbito do Plano Nacional de Eliminação de CFCs (PNC), que possibilitam o tratamento e recuperação de gases contaminados, como o CFCs e os HCFCs, prolongando sua vida útil. Os fluidos que vão para as centrais são tratados com base na norma internacional ARI-700, que consiste no processo de filtragem de partículas, remoção de umidade, a regulação da acidez e a separação de gases não condensáveis é óleo (MMA, 2002). Portanto a reciclagem dos fluidos refrigerante e importante não apenas para reduzir os danos ambientais, como também para reduzir custos com a comprar de fluido refrigerante novo (OLIVEIRA, SOUZA, 2020).

Para contribuir com o Programa Brasileiro de Eliminação de HCFCs (PBH), houve a criação de uma unidade de reciclagem no IFBA-Campus Salvador, em que realizaram o recolhimento de dois fluidos refrigerantes e a reciclagem, gerando ao final 12,80kg HCFC22 e 1,62kg HFC-134A, resultando em uma economia de R\$1.403,28 em compra de refrigerante novo e evitou a liberação de aproximadamente 72,25 toneladas de CO₂, reduzindo os danos ambientais (OLIVEIRA, SOUZA, 2020). A transição para fluidos refrigerantes naturais é essencial para abordar as preocupações ambientais globais, no entanto, a segurança na produção, manuseio e descarte desses fluidos é de suma importância, mas requer regulamentações rigorosas para garantir uma transição segura e sustentável na indústria de ar-condicionado, protegendo o meio ambiente e a saúde pública.

3. CONCLUSÃO

O presente trabalho, é o resultado de uma revisão bibliográfica que visa compreender e analisar estratégias de mitigação dos impactos ambientais causados pelo uso difundido de sistemas de ar-condicionado residencial, diante da crescente demanda global por esses aparelhos.

Os resultados destacam o papel fundamental do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) na melhoria da eficiência energética de aparelhos de ar-condicionado, promovendo a adoção de unidades split inverter, muito mais eficientes que as antigas. Além disso, o Brasil está direcionando esforços para substituir fluidos prejudiciais por alternativas, como HC-600 e HC-290, este último fabricado em grandes mercados como China e Índia. Os HFO-1234yf e HFO-1234ze surgem como alternativas menos inflamáveis em comparação aos HCs. Quanto ao descarte adequado, a Lei 12.305/2010 é destacada, incentivando a incineração e a regeneração de fluidos, economizando significativamente em relação à compra de novos.

Entretanto, é crucial notar que, apesar de sua eficiência energética superior, os sistemas do tipo inverter ainda enfrentam desafios relacionados a seu alto custo para o consumidor. Da mesma forma, os fluidos HC-600 e HC-290, embora menos prejudiciais ao meio ambiente, ainda apresentam preocupações de segurança devido à inflamabilidade, mas as Diretivas ATEX buscam atenuar essas questões. Além de, os HFO-1234yf e HFO-1234ze carecerem de compressores específicos para maximizar seu desempenho.

A pesquisa destacou a relevância do PBE para o avanço dos sistemas de ar-condicionado, enfatizando o sistema inverter, apesar de seu custo de aquisição ser mais alto. Também ressaltou a importância de fluidos refrigerantes sustentáveis e de práticas de descarte adequadas.

Portanto, este trabalho propõe soluções para mitigar os impactos ambientais dos

sistemas de ar-condicionado residencial e serve como inspiração para futuras pesquisas. Destacando a importância de condicionadores de ar mais eficientes e do uso de fluidos alternativos, além do descarte adequado. Apesar dos desafios, como custos iniciais mais altos e a necessidade de adaptação da indústria, a preservação ambiental é fundamental para um futuro sustentável. A situação atual do planeta exige o compromisso de todos com práticas mais ecológicas, lembrando-nos de nossa responsabilidade compartilhada e do impacto positivo que isso pode ter em nosso mundo.

Referências

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Câmara Ambiental do Setor de Refrigeração, Ar-Condicionado, Aquecimento e Ventilação**. CETESB: São Paulo, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/camaras-ambientais/camaras-ambientais-em-atividade/camara-ambiental-do-setor-de-refrigerao-ar-condicionado-aquecimento-e-ventilacao/>. Acesso em: 16 maio. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Uso de Ar-Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf. Acesso: 14 maio. 2023.

FERRAZ, F. **Apostila de refrigeração**. Centro de Educação Tecnológica da Bahia: Santo Amaro, 2008. Disponível em: <https://www.infolivros.org/pdfview/1789-apostila-de-refrigeracao-fabio-ferraz/>. Acesso em: 14 maio. 2023.

FRIGELAR. **Tipos de ar-condicionado: 7 modelos para você conhecer**, 2022. Disponível em: <https://blog.frigelar.com.br/tipos-de-ar-condicionado/>. Acesso em: 14 maio. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning**. OECD/IEA: Paris, 2018.

MARANGONI, Filipe *et al.* **Comparativo econômico entre condicionadores de ar com tecnologias convencional e inverter**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 35, 2015.

MELO, C. Uso de Refrigerantes Alternativos em Refrigeração Doméstica e em Equipamentos Compactos de Refrigeração Comercial. In: BRASIL. **Uso de fluidos naturais em sistemas de refrigeração e ar-condicionado: artigos técnicos** / Euler Martins Lage, Frank Amorim, Tatiana Zanette; organizadores. – Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano Nacional de Eliminação de CFCs – PNC**. MMA: Brasília, 2002. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/protecao-da-camada-de-ozonio/acoes-brasileiras-para-protecao-da-camada-de-ozonio/plano-nacional-de-eliminacao-de-cfcs-pnc.html>. Acesso em: 16 maio. 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs-PBH**. MMA: Brasília, 2011. Disponível em: <https://boaspraticasrefrigeracao.com.br/upload/publicacao/publicacao-1337713880.pdf>. Acesso em: 16 maio. 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **MME publica novas diretrizes para aparelhos de ar-condicionado do Brasil**. Brasília: MME, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-publica-novas-diretrizes-para-aparelhos-de-ar-condicionado-do-brasil>. Acesso em: 14 maio. 2022.

NEULAENDER, P. **Consumo de SDOs**. MMA: Brasília, 2013. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/587.html?Itemid=572>. Acesso em: 16 maio. 2023.

OLIVEIRA, L.K.R; SOUZA, A.G.A. Responsabilidade ambiental: A contribuição do Instituto Federal da Bahia (Campus Salvador) para o Meio Ambiente através da reciclagem dos fluidos refrigerantes atendidos pelo o Programa Brasileiro de Eliminação de HCFCs. **Revista Brasileira de meio ambiente**, 2020. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/576>. Acesso em: 21 maio. 2023.

PORTAL CARRIER. **About _ Wills Carrier**, 2023. Disponível em: <https://carrierdobrasil.com.br/sobre-willis-carrier/> acesso em: 10 set. 2023.

SILVA, Wesley Cecilio; OLIVEIRA, Raquel Diniz; LIMA, Frederico Romagnoli Silveira. **Análise energética de condicionadores convencionais e inverter em habitações não adaptadas ao clima**, 2023. E&S Engineering



and Science, v. 12, n. 2, p. 1-21, 2023.

SOTOMAYOR, P. O. **Caracterização e simulação de compressores alternativos utilizando fluidos com baixo potencial de aquecimento global**. Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, 2013.

TOSHIBA, **TOSHIBA AIR CONDITIONERS - MODERN TECHNOLOGIES**, 2020 <https://toshiba-aircon.com.au/toshiba-air-conditioning-creator-of-modern-air-conditioning/>. acesso em:04 set. 2023.



23

PROCESSO MIG/MAG APLICADO À SOLDAGEM DISSIMILAR:
COMPLEXIDADE DE JUNTAS DISSIMILARES E A INFLUÊNCIA
DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM

MIG/MAG PROCESS APPLIED TO DISSIMILAR WELDING:
COMPLEXITY OF JOINTS DISSIMILARS AND THE INFLUENCE OF
WELDING PARAMETERS

Dayver Nascimento Barbosa
Ronaldo de Jesus Barros
Matheus Nascimento Barbosa

Resumo

A união de solda é um processo de união híbrida usada para produzir juntas de solda entre materiais metálicos semelhantes ou diferentes. No presente trabalho, preocupou-se em discorrer sobre a seriedade da soldagem dissimilar associada ao processo de soldagem MIG/MAG, isto é, a complexidade estrutural de junta dissimilar associada a complexidade natural do processo, isso embora a técnica de soldagem dissimilar e a soldagem MIG/MAG adquiriram destaque nas práticas industriais. Como principais resultado, compreendeu-se que: a sensibilidade dos parâmetros do processo de soldagem MIG/MAG dificulta seus ajustes para obtenção de juntas consideradas aceitáveis em vista dos requisitos de qualidade; embora a soldagem dissimilar seja de mais difícil execução que a soldagem similar, essa dificuldade de ajuste de parâmetros ainda prevalece como uma desvantagem do processo MIG/MAG; a soldagem de materiais dissimilares é complexa pela diversidade de propriedades dos materiais envolvidos, que se somam e resultam em propriedades que podem ou não ser indesejáveis, e com a natural complexidade do ajuste de parâmetros do processo MIG/MAG e mais os ambientes agressivos a que se destinarão as soldas, a complexidade da soldagem dissimilar por esse processo é ainda mais intensificada.

Palavras-chave: Processo MIG/MAG, Parâmetros de Soldagem, Junta Dissimilar, Soldagem Dissimilar.

Abstract

Weld joining is a hybrid joining process used to produce solder joints between similar or dissimilar metallic materials. In the present work, we were concerned with discussing the seriousness of dissimilar welding associated with the MIG/MAG welding process, that is, the structural complexity of dissimilar joints associated with the natural complexity of the process, even though the dissimilar welding technique and welding MIG/MAG have gained prominence in industrial practices. As a main result, it was understood that: the sensitivity of the parameters of the MIG/MAG welding process makes adjustments difficult to obtain joints considered acceptable in view of the quality requirements; although dissimilar welding is more difficult to perform than similar welding, this difficulty in adjusting parameters still prevails as a disadvantage of the MIG/MAG process; welding dissimilar materials is complex due to the diversity of properties of the materials involved, which add up and result in properties that may or may not be undesirable, and with the natural complexity of adjusting parameters of the MIG/MAG process and the aggressive environments to which it where the welds are intended, the complexity of dissimilar welding using this process is even more intensified.

Key-words: MIG/MAG process, Welding Parameters, Dissimilar Joint, Dissimilar Welding

1. INTRODUÇÃO

Muitos projetos solicitam o emprego de componentes feitos de materiais com propriedades voltadas à durabilidade e trabalho em determinadas temperaturas ou em ambientes que facilitam diferentes formas de degradação do material. Todavia, certas condições se tornam obstáculos para a obtenção de bons resultados adotando-se apenas um material. Dessa maneira, os critérios de fabricação e operação definidos em projetos são melhor atendidos adotando-se a combinação de dois materiais. Nessa conjuntura, a soldagem dissimilar é uma solução.

Estudos sobre soldagem dissimilar já compõem inúmeros resultados, isso é efeito do quanto a soldagem dissimilar vem crescendo no meio industrial e indica que a exploração científica desse tema se tornou indispensável. Muitos desses estudos foram dedicados à soldagem dissimilar por uso do processo MIG de soldagem devido a esse ser o mais indicado para a soldagem de determinados materiais. Este trabalho se justifica pela necessidade de revisar alguns importantes resultados obtidos por uso dessa tecnologia de fabricação, dando-se margem à compreensão de que a mesma pode ser aplicada em soluções industriais que envolvem uma gama de materiais diferentes e que podem complementar suas propriedades na mesma junta de solda.

A união dissimilar por solda é amplamente desejada na indústria, embora isso, este trabalho assumiu também a tarefa de contribuir para tornar mais explícito, por revisão bibliográfica, as suas complexidades. Assim, buscou-se responder o seguinte questionamento: embora seja vantajosa e muito executada pelo processo de soldagem MIG (também muito popular industrialmente), a solda dissimilar está associada a algumas complexidades, então, o que torna difícil sua obtenção pelo processo de soldagem MIG?

De modo geral, este trabalho buscou revisar as características do processo de soldagem MIG/MAG com ênfase nos efeitos de seus parâmetros, conduzindo-se uma abordagem sobre as complexidades que se somam quando esse processo é aplicado na obtenção de juntas soldadas dissimilares. Para tanto, objetivos de pesquisa mais específicos foram estabelecidos: apresentar conceitos de soldagem, com ênfase na importância do ajuste adequado de seus parâmetros e nos efeitos dos mesmos na qualidade de um cordão de soldada; apresentar termos referentes às regiões críticas de uma junta soldada, porém, dentro do contexto de união dissimilar; por fim, abordar experiências de soldagem dissimilar pelo de soldagem MIG/MAG.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido sob os moldes de Revisão Bibliográfica e adotando-se uma abordagem qualitativa. As obras utilizadas para a composição desta revisão foram coletadas em fontes como as seguintes bases de dados: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Revista de informações analíticas Elsevier, Google Acadêmico, Scielo (*Scientific Eletronic Library Online*) e alguns repositórios institucionais de universidades brasileiras. Os filtros de busca foram programados para exibição de trabalhos datados de 2013 a 2023, isto é, nos últimos 10 anos. A grande maioria dos trabalhos foi selecionada cumprindo-se esse período de publicação, entretanto, é de grande conveniência ressaltar que poucos trabalhos foram desse período foram conside-



rados devido à sua grande relevância ao tema. O acervo formado para fundamentação teórica deste trabalho foi composto por obras como livros, dissertações e artigos científicos diversificados de origens nacional e estrangeiras. Como descritores, utilizou-se as seguintes palavras-chave: “processo MIG/MAG”, “parâmetros de soldagem”, “junta dissimilar” e “soldagem dissimilar”.

2.2 Resultados e Discussão

2.2.1 Processo de Soldagem MIG/MAG (GMAW)

Segundo Silva (2019), a soldagem é um processo de fabricação empregado na união atômica de materiais com a finalidade de os revestir, reparar e/ou unir por meio ou não da aplicação de calor e/ou pressão. No Brasil, segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2016), embora utilize-se termos da *American Welding Society* (AWS), as designações europeias de soldagem são mais usuais. Logo, no Brasil, os termos da terminologia europeia MIG (*Metal Inert Gas*) e MAG (*Metal Active Gas*) predominam em relação ao termo GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), da terminologia da AWS (BATISTA, 2018). A soldagem MIG/MAG é esquematizada na Figura 1.

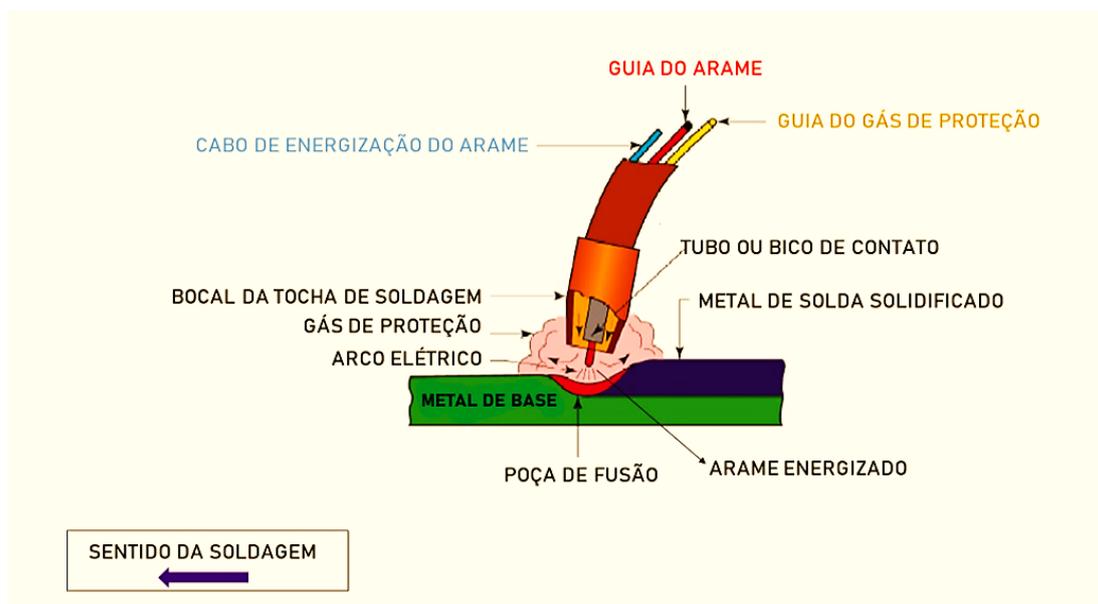


Figura 1. Esquema básico do processo de soldagem MIG/MAG

Fonte: Adaptado de Costa (2018)

A soldagem MIG/MAG, é um processo a arco elétrico com atmosfera gasosa de proteção no qual o eletrodo e o metal de base unem-se por fusão devido ao calor gerado pelo arco; nesse processo, o eletrodo é desprovido de revestimento e isso solicita a proteção tanto para o arco quanto para a poça de fusão, o que ocorre por meio de vazão gasosa inerte no processo MIG e ativa, no processo MAG, ou por meio de composição gasosa mista de gases ativos ou inertes (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2016).

Gotas metálicas são geradas a partir da fusão do eletrodo por aquecimento do arco elétrico e solidificam-se no metal de base após transferidas à poça de fusão. A transferência é uma das principais características do processo MIG/MAG e consiste no fenômeno comportamental das gotas metálicas, que sofrem influências em suas dimensões, tempo de crescimento e frequência na qual se destacam da extremidade do eletrodo para a poça de fusão; por análise dessas características, identifica-se o modo de transferência metálica

(SCOTTI; PONOMAREV; LUCAS, 2012).

Conforme Lacerda (2021), os principais equipamentos adotados na soldagem MIG/MAG são fonte de energia, tocha de soldagem, unidade alimentadora de eletrodo, cilindro de gás de proteção e cabos condutores do gás. Por constar o mecanismo motorizado de alimentação do eletrodo, que ocorre sob manualmente em outros processos de soldagem, tem-se a soldagem MIG/MAG como um processo semiautomático, cabendo ao operador conduzir a tocha (pistola) e iniciar e cessar a soldagem (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2016).

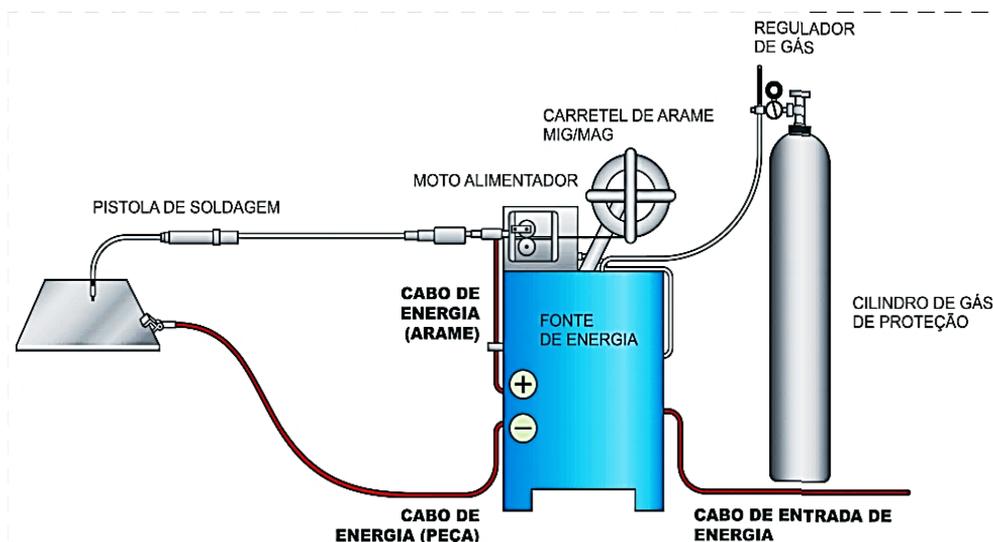


Figura 2. Esquema simples de componentes da soldagem MIG/MAG

Fonte: RML Máquinas e Equipamentos (2020)

2.2.1.1 Parâmetros do processo de soldagem MIG/MAG

Segundo Meneses, Gomes e Scotti (2014), o desempenho operacional, o equilíbrio da transferência metálica e a estabilidade do arco elétrico são fatores que dão acesso à estabilidade do processo de soldagem MIG/MAG, ambos interagem entre si sob íntima e difusa relação. Martins (2018) aborda o processo de soldagem MIG e descreve a dinâmica da transferência metálica e, segundo esse autor, quanto aos mecanismos de transferência, as gotas metálicas possuem três modos básicos de acesso à poça de fusão: *spray*, globular e por curto-circuito.

Os modos de transferência metálica dividem-se em duas categorias, o grupo de transferência por contato (curto-circuito, curto-circuito forçado, ponte e globular) e o grupo de transferência por voo livre (globular repelido, *spray* projetado, *spray* de fluxo, *spray* rotativo e modo explosivo). Os mecanismos de transferência *spray*, globular e por curto-circuito estão associados à definição de parâmetros elétricos, mas também, assim como os demais modos, esses assumem os efeitos de forças governantes que os afetam, tais como tensão superficial, força gravitacional e o efeito de pinça eletromagnética (SCOTTI; PONOMAREV; LUCAS, 2012).

O modo de transferência por curto-circuito é um mecanismo muito comum na soldagem MIG/MAG, nesse mecanismo, previamente à separação da gota, deve ocorrer um curto-circuito (contato) entre a gota em formação e a poça de fusão. O arco é extinto ao longo dos períodos de curto-circuito e, paralelamente, o metal líquido forma uma ponte e passa a crescer conforme a tensão superficial absorve a gota para dentro da poça de fusão.

Na transferência por curto-circuito, respingos são os principais efeitos indesejados (MENESES; GOMES; SCOTTI, 2014). Múltiplos fatores como composição química dos consumíveis, geometria do arame, tensão de soldagem e características da corrente (tipo, polaridade e intensidade) estimulam influências sobre o modo de transferência, o que sensibiliza as características e a aplicabilidade do processo (BATISTA, 2018).

Quanto a obstáculos do processo MIG, destaca-se que o arco é sensível aos parâmetros operacionais elétricos, a mínima alteração dos mesmos é diretamente refletida na qualidade da solda. Assim, se faz necessário o ajuste minucioso dos parâmetros para que a solda adquira determinadas qualidades; esses parâmetros são interdependentes, o que implica em dificuldade de manipulação individual dos mesmos sem que a solda sofra influências (SILVA, 2019).

Martins (2018) descreve algumas características como decorrentes do modo de transferência metálica, dentre elas, o aspecto e penetração do cordão de solda, a porosidade e o número de respingos. Para esse autor, o modo de transferência metálica necessita e é passível de controle. Conseqüentemente, esse controle é atrelado aos fatores influenciadores mencionados, não se dispensando a importante compreensão das relações das principais variáveis do processo de soldagem com a estabilidade do arco e o resultado da transferência metálica. Portanto, aborda-se essas variáveis e suas influências no Quadro 1 (SILVA, 2019).

PARÂMETROS	INFLUÊNCIAS DOS PARÂMETROS
Corrente de soldagem	Energia de soldagem; modo de transferência metálica; penetração do metal de adição; aspectos geométricos e qualitativos do cordão de solda.
Tensão de soldagem	Comprimento do arco; mecanismo de transferência metálica e formato do cordão de solda.
Velocidade de soldagem	Energia de soldagem; penetração; tamanho do cordão.
Comprimento energizado do eletrodo (<i>stickout</i>)	Aquecimento do arame; taxa de deposição e instabilidade do arco.
Vazão do gás de proteção	Vazão inadequada oportuniza desproteção da solda e do arco elétrico, ambos podem assumir danos da contaminação provocada pela interação com a atmosfera ambiente. É influenciada pela corrente de soldagem e a área da poça de fusão, quanto maior forem ambas, maior deve ser a cobertura gasosa.
Ângulo de soldagem	Largura, altura e penetração do cordão de solda.

Quadro 1. Principais parâmetros do processo MIG/MAG e suas influências

Fonte: MARQUES; MODENESI; BRACARENSE (2016).

2.2.2 Metalurgia da Solda Dissimilar

Satyanarayana, Reddy e Mohandas (2005) enfatizam que diversas práticas industriais exigem a união dissimilar de materiais. Xue *et al.* (2021) designam junta dissimilar aquela que unifica ao menos três materiais distintos, esse tipo de junta de solda é sujeito a várias cargas complexas, e isso comumente agrava falhas estruturais nessa região. Sendo essa uma região crítica para avaliações de integridade estrutural, a heterogeneidade mecânica da junta dissimilar deve ser expressa adequadamente e com exatidão. Essa é uma maneira

eficaz de garantir segurança à operação do dispositivo soldado (SUN *et al.*, 2022).

Conforme Rogalski *et al.* (2020), metais de base e adição distintos somam na junta soldada diferentes características físico-químicas, formando uma estrutura extremamente heterogênea de propriedades operacionais e tecnológicas. Tanto Abdolvand *et al.* (2017) quanto Silva *et al.* (2019) e Scutelnicu *et al.* (2021) concordam que as variedades físicas, mecânicas e metalúrgicas dos constituintes de uma junta dissimilar tornam sua obtenção mais desafiadora do que soldar materiais similares. Neste trabalho, esse contexto será experimentado na soldagem dissimilar entre ligas inoxidáveis austenítica e ferrítica dispostas como chapas e metal de adição.

Denomina-se metais dissimilares aqueles que contêm composição química ou propriedades metalúrgicas diferentes, portanto, segundo também Campos *et al.* (2009), a soldagem de materiais dissimilares (*Dissimilar Metal Weld – DMW*) consiste na união de materiais distintos em algum aspecto. Uma junta soldada é dissimilar quando esta combina um ou mais metais de adição e um ou mais metais de base (NOVA, 2018). Junta soldada é a região de união das peças, a qual se constitui de: metal de base (MB); metal de solda (MS), que forma a zona fundida (ZF), onde soma-se a área fundida dos metais de base e de adição; e zona termicamente afetada (ZTA) ou, conforme Mota *et al.* (2014), zona afetada pelo calor (ZAC), região do metal de base em que alterações estruturais ou qualitativas resultam do calor do processo de soldagem. Na Figura 3, representa-se uma junta soldada demarcada em função de suas regiões (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2016).

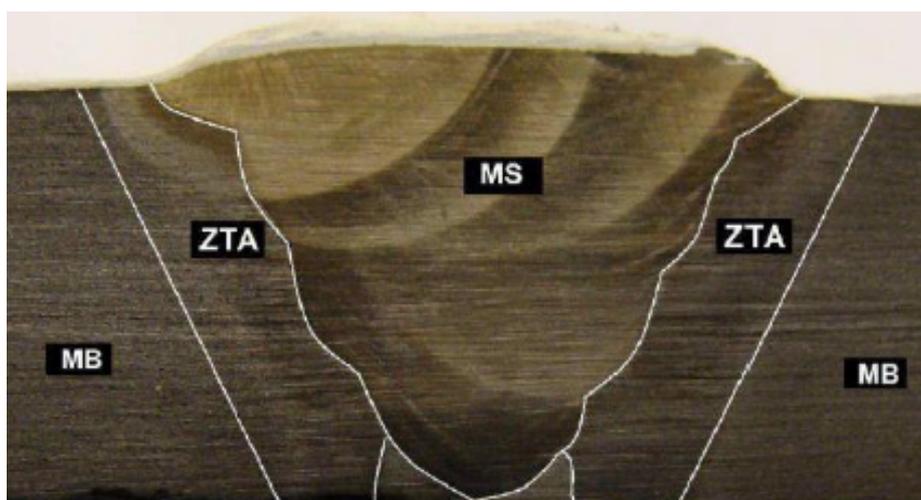


Figura 3. Vista transversal esquemática de uma junta soldada

Fonte: PONTES, 2012, p. 16

Na solda dissimilar, a junta apresenta uma região intermediária denominada zona parcialmente diluída (ZPD), que, segundo Silva (2019), se forma a longo da zona de ligação (ZL) e, segundo Campos *et al.* (2009), pode apresentar propriedades diferentes em relação aos metais envolvidos na junta dissimilar. Para Sandes (2016), a soldagem dissimilar requer adoção de parâmetros de soldagem que evite ou minimize formações indesejáveis como a ZPD. A ZPD é assim denominada devido a esta ser quimicamente composta por elementos do MB e do MS, cujos seus átomos migram entre si por interdifusão e constituem uma composição química intermediária (RODRIGUES, 2014).

Na união de metais dissimilares, as interfaces entre os metais envolvidos são regiões onde a composição química dos metais envolvidos não são totalmente misturadas e que há grande mudança de microestrutura. Tais regiões são frágeis mecanicamente e trincam facilmente. Portanto, na soldagem dissimilar, não é desejável que a ZPD se forme (SAN-

DES, 2016).

A estrutura da junta (Figura 3) compreende regiões críticas das análises de Lima et al. (2010), Pontes (2012), Mota et al. (2014), Soares, Terrones e Paranhos (2017), Nova (2018), Ribeiro et al. (2020), Moreno (2020), Rogalski et al. (2020), Leite et al. (2021), Aguirre et al. (2021), dentre outros. Tais autores compõem uma amostra de estudos que compreende análises distintas de interfaces e juntas dissimilares obtidas via diferentes processos e técnicas de soldagem para avaliar-se a morfologia e propriedades metalúrgicas e mecânicas nas juntas após eventos de carga, soldagem e/ou algum tipo de tratamento térmico.

Outros se inclinaram a analisar o comportamento de juntas dissimilares em ensaios de corrosão. Silva, Ferreira e Castro (2019) identificaram comportamentos anticorrosivos diferentes comparando-se, numa mesma junta, as interfaces aço Inconel 718/solda e aço AISI 316L/ZF/ZTA. Já Silva et al. (2019), ao analisar uma junta dissimilar com metais de base de aço inoxidável duplex UNS S32304 e aço de alta resistência e baixa liga (ARBL) API 5L X80, concluíram ligeira diferença de resistência à corrosão entre a ZF e o aço API 5L X80, mas definiu-se ser vantajosa a solda dissimilar nesse caso especificamente estudado.

Assim, depara-se com a solda dissimilar inserida em diversos processos e técnicas de soldagem; nas obras observadas, a maioria das avaliações mecânicas e metalúrgicas ocorreram via técnicas e instrumentos de ensaios mecânicos (tração e impacto) e análises metalográficas micro e macroscópicas, outras metodologias agregaram testes de corrosão. Portanto, tendo a solda dissimilar vários focos de avaliações e sendo viável por diversos processos de soldagem, a seção seguinte, por sua vez, estreita-se esta abordagem ao processo MIG/MAG, ao qual estarão relacionadas algumas juntas dissimilares.

2.2.3 Processo MIG/MAG na soldagem de juntas dissimilares

Partindo da tendência do aumento da geração de energia a partir de fontes como petróleo e gás natural, Beltrão (2017) contextualiza a interface dissimilar da solda a partir do revestimento de componentes subaquáticos. Em sua análise, esse autor adotou o processo de soldagem MIG para amanteigamento do aço AISI 4130 com eletrodos de Inconel 625 e Inconel 725. Quanto aos parâmetros do processo, estudou-se a influência dos modos de corrente (convencional e pulsada) sobre a microdureza e micro e macroestrutura da interface ZTA/revestimento. Respingos indicaram instabilidade do arco utilizando-se modo convencional, a extinção integral dos mesmos indicou a estabilidade do arco utilizando-se o modo pulsado. Mesmo com maiores aportes térmicos, o modo de corrente convencional resultou em menores percentuais de diluição. Reduziu-se zonas frágeis, isso devido ao maior controle das ZPD's promovido pelo modo pulsado.

Diagnósticos de desastres em plataformas de petróleo ocorridos entre 2001 e 2005 concluíram falhas microestruturais em interfaces dissimilares do aço SAE 8630M amanteigado com o aço Inconel 625. Tal fato despertou diversas pesquisas e Martins (2018) compôs seu estudo com a análise de uma alternativa de melhoria da interface dissimilar diagnosticada nos acidentes, sendo estudado a substituição do aço Inconel 625 por aço Inconel 725. O mesmo autor adotou a soldagem MIG e investigou respostas mecânicas da junta dissimilar aos modos de corrente pulsada e convencional. No Quadro 1, corrente de soldagem é um dos principais parâmetros do processo MIG/MAG. Quanto aos modos de corrente, na análise de Martins (2018), não houve nenhuma evidência de que tal variável tenha influenciado as regiões de grãos grosseiros, de crescimentos planar e celular e de zona martensítica. Contudo, todas as amostras apresentaram formação de ZPD nas interfaces dissimilares.

A agressividade do meio submarino é uma das principais adversidades de soldas dissimilares. Na mesma causa de Martins (2018), Nova (2018) estende ao ano de 2007 as mesmas ocorrências em plataformas petrolíferas. Esse último autor avaliou a influência dos modos de corrente e a variação de eletrodos sobre propriedades mecânicas como dureza, resistência mecânica e tenacidade. A junta dissimilar formou-se de metais de base dos aços ASTM A36 e SAE 4130, eletrodos de Inconel 625 e 725.

Nova (2018) utilizou uma bancada de soldagem do processo MIG e concluiu que tanto o tipo de eletrodo quanto os modos de corrente pulsada e convencional influenciaram o comportamento mecânico da interface amateigamento/substrato das juntas dissimilares e, considerando-se propriedades mencionadas, o processo de soldagem entregou resultados melhores adotando-se a combinação de corrente pulsada e arame de Inconel 625.

Silva (2019), utilizou o processo MIG em soldagem de revestimento do aço SAE 1020 com eletrodos dissimilares de Inconel 625 e aço inoxidável 309L. O autor adotou variadas velocidades de soldagem, outro parâmetro principal do processo de soldagem MIG/MAG, conforme relaciona-se no Quadro 1. Com foco crítico de análise da ZPD, esse autor definiu o perfil metalúrgico dessa região por análise dos efeitos dos eletrodos e da energia de soldagem. A ZPD apresentou maior espessura no revestimento com eletrodo de aço 309L, sendo essa uma percepção direta do autor. Ambos os eletrodos se diluíram em maiores percentuais devido a velocidades de soldagem maiores. Próximas à linha de fusão, na ZPD e na ZTA, a dureza aumentou significativamente na interface substrato/revestimento.

3. CONCLUSÃO

A manufatura moderna tem como componente fundamental a soldagem, que tem os seguintes exemplos de um amplo alcance tecnológico: vedação de combustíveis nucleares e explosivos, elementos automobilísticos e navais, vasos de pressão, pontes, tubulações. Dessa maneira, tem-se que partes soldadas usualmente integram sistemas contendo condições agressivas e/ou cargas altamente complexas, o que exige de uma junta soldada certos padrões de qualidade e desempenho. A qualidade é um critério comum às diversas aplicações da soldagem. A qualidade final de uma junta soldada está sujeita aos parâmetros operacionais de entrada, portanto, o planejamento dos atributos de uma junta deve compreender as influências significativas das relações entre as variáveis do processo.

Diversos estudos coexistem no tema da complexidade da soldagem devido à natureza desse processo reunir fatores críticos, e esses fatores associados à natureza da soldagem são adversos à metalurgia dos materiais. Os efeitos metalúrgicos contribuem para que a região da junta soldada se caracterize como uma região crítica, na qual ações degradantes também se promovem, por exemplo, a predisposição e/ou efetivação dos diversos processos de corrosão. Por outro lado, os aspectos térmicos da soldagem influenciam significativamente mudanças microestruturais tanto na zona termicamente afetada (ZTA) quanto na solda e, conseqüentemente, alteram as propriedades mecânicas dos materiais.

Assim, um produto que passa por soldagem ao longo de sua fabricação tem os materiais de sua estrutura expostos a certas modificações e ações agressivas desde a construção, o que pode comprometer a sua qualidade e desempenho ainda em estágio de manufatura ou em plena *performance*, desencadeando riscos. A importância que há em considerar-se os meios degradantes como um dos principais critérios que guiam a seleção de materiais para a construção de produtos, pois, a manufatura proveniente da soldagem requisita cautela na escolha e combinação de materiais, ainda mais se a projeção de tais produtos considerar a atuação deles em zonas de trabalho com aspectos agressivos à in-

tegridade e ao comportamento da junta soldada.

Até este ponto, os contextos abordados das juntas dissimilares obtidas pelo processo MIG/MAG são pautados em ambientes agressivos aos metais. Por fim, estudos que avaliam juntas dissimilares auxiliam importantes decisões com base na construção de panorama comportamental e microestrutural dos metais envolvidos ao longo de todas as regiões de uma peça, com análises focadas nas interfaces dissimilares. As obras observadas apontam diversas configurações de junta dissimilar, diversas influências dos parâmetros de soldagem, e refletem vasto catálogo de resultados relevantes para interesses empreendidos quanto à solda dissimilar.

A soldagem dissimilar é uma técnica complexa que requer um conhecimento profundo dos materiais envolvidos e das propriedades da solda. No entanto, com o planejamento e a execução adequados, é possível obter juntas de solda fortes e duráveis. Os objetivos deste artigo foram alcançados. Primeiramente, foi apresentada uma visão geral da soldagem dissimilar, incluindo os tipos de juntas, os materiais envolvidos e os processos de soldagem. Em seguida, foram discutidos os principais desafios da soldagem dissimilar e as técnicas para superá-los. Por fim, foram apresentados alguns exemplos de aplicações da soldagem dissimilar. A soldagem dissimilar é uma ferramenta valiosa que pode ser usada para unir materiais diferentes. Com o conhecimento e a experiência adequados, é possível obter juntas de solda que atendam às especificações de desempenho exigidas.

Referências

ABDOLVAND, Rouhollah. et al. The effect of bonding time on the microstructure and mechanical properties of transient liquid phase bonding between SAF 2507 and AISI 304. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 25, p. 172-180, 2017.

AGUIRRE, Humberto Vinicius Muñoz et al. Avaliação de Soldas Dissimilares com a Técnica da Dupla Camada Utilizando os Arames-Eletrodos AWS ER 316L e ER NiCrMo-3 sobre o Aço ASTM A182 **F22**. **Revista Matéria**, v. 26, n. 3, 2021.

BATISTA, Luana Araújo. **Soldagem MIG/MAG com fluxo ativo do aço inoxidável austenítico AISI 304L**. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas: Metalurgia de Transformação) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

BELTRÃO, Daniel Milanês. **Caracterização microestrutural do aço AISI 4130 amantegado com ligas de níquel**. 2017. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

CAMPOS, Wagner Reis da Costa et al. Microstructural characterization of the dissimilar welding – austenitic stainless steel AISI 304 with nickel filler metal Inconel 625. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 19-23, 2009.

COSTA, Ubirajara. Tudo o que você precisa saber sobre o processo de soldagem MIG/MAG. **Sumig**, Caxias do Sul, 24 de nov. de 2018. Seção: Blog. Disponível em: <https://www.sumig.com/pt/blog/post/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-processo-de-soldagem-mig-mag>. Acesso em: 01 dez. 2022.

LACERDA, Caio Resende de. **Otimização de parâmetros de soldadura GMAW utilizando o método Taguchi com a análise relacional de Grey**. 2021. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Portugal, Bragança, 2021.

LEITE, Carla Gabriela da Silva. **Soldagem dissimilar autógena com laser pulsado Nd:YAG dos aços austenítico AISI 316L e superduplex UNS S32750**. 2021. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2021.

LIMA, Luciana Iglésias Lourenço et al. Caracterização Microestrutural de Soldas Dissimilares dos Aços ASTM A-508 e AISI 316L. **Soldagem & Inspeção**, v. 15, n. 2, p. 112-120, 2010.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 362 p.

MARTINS, Anne Karyne Cunha. **Caracterização da interface da solda de amateigamento do aço SAE 8630M com Inconel 725 pelo processo de soldagem MIG**. 100 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

MENESES, V. A.; GOMES, J. F. P.; SCOTTI, A. The effect of metal transfer stability (spattering) on fume generation, morphology and composition in short-circuit MAG welding. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 214, n. 7, p. 1388-1397, 2014.

MORENO, João Pedro Lopes. **Morfologia e comportamento mecânico de juntas T dissimilares soldadas por fricção linear (FSW)**. 2020. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020.

MOTA, C. A. M. et al. Caracterização de soldas dissimilares depositadas pelo processo MIG com uma superliga de níquel. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS (CBECiMat), 21., Cuiabá, MT, 2014. **Anais eletrônicos...** São Paulo: Metallum, 2014. p. 5233-5242.

NOVA, Antônio Marcos Vila. **Influência da corrente de soldagem e da composição do metal de adição sobre o comportamento mecânico de juntas soldadas dissimilares**. 2018. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

PONTES, Mariana Karla Gurjão. **Estudo da compatibilidade metalúrgica de juntas soldadas de metais dissimilares utilizados no setor de petróleo e gás**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

RIBEIRO, Jorge Felipe da Conceição et al. Estudo estrutural da junta soldada dissimilar entre o aço inox austenítico AISI 347 e o aço carbono ferrítico ASTM A36. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 65354-65364, 2020.

RODRIGUES, Juliana Aparecida. **Estudo da soldabilidade entre o aço austenítico alto manganês de efeito TRIP e o aço microligado ARBL pelo processo de soldagem TIG**. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

ROGALSKI, Grzegorz. et al. Mechanical and microstructural characterization of TIG welded dissimilar joints between 304L austenitic stainless steel and Incoloy 800HT nickel alloy. **Metals**, v. 10, n. 5, p. 559, 2020.

SANDES, Soraia Simões. **Efeito do procedimento de soldagem nas propriedades de revestimentos metálicos de liga 625 pelo processo eletroescória**. 2016. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais) – Engenharia do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET), Rio de Janeiro, 2016.

SATYANARAYANA, V. V.; REDDY, G. M.; MOHANDAS, T. Dissimilar metal friction welding of austenitic–ferritic stainless steels. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 160, n. 2, p. 128-137, 2005.

SCOTTI, Américo; PONOMAREV, Vladimir; LUCAS, William. A scientific application oriented classification for metal transfer modes in GMA welding. **Journal of materials processing technology**, v. 212, n. 6, p. 1406-1413, 2012.

SCUTELNICU, Elena. et al. Metallurgical and Mechanical Characterization of Low Carbon Steel - Stainless Steel Dissimilar Joints Made by Laser Autogenous Welding. **Metals**, v. 11, n. 5, p. 810, 2021.

SILVA, Gulliver Catão. et al. Avaliação microestrutural e resistência à corrosão de uma junta dissimilar entre um aço de alta resistência e baixa liga e aço um inoxidável duplex. **Soldagem & Inspeção**, v. 24: e2404, 2019.

SILVA, G. M.; FERREIRA, E. A.; CASTRO, J. A. Resistência à corrosão de juntas dissimilares dos aços AISI 316L e da liga Inconel 718. **Soldagem & Inspeção**, v. 24: e2422, 2019.

SILVA, William Constantino da. **Avaliação microestrutural de Zonas Parcialmente Diluídas obtidas por soldagem dissimilar empregando os metais de adição Inox 309L e Inconel 625**. 2018. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SOARES, J. P.; TERRONES, L. A. H.; PARANHOS, R. Efeito dos Tratamentos Térmicos de Normalização e de Solubilização na Microestrutura de uma Junta Dissimilar Soldada entre um Tubo de Aço API 5L X-52 e o Inconel 625. **Soldagem & Inspeção**, v. 22, p. 357-373, 2017.

Soldagem MIG/MAG aplicações, equipamentos e técnicas. **RML Máquinas e Equipamentos**, São Paulo, 12 out. 2020. Disponível e: <https://www.rmlmaquinas.com.br/loja/noticia.php?loja=762235&id=45>. Acesso em: 01 dez. 2022.



SUN, Yuman. et al. Mechanical Properties Evaluation and Crack Propagation Behavior in Dissimilar Metal Welded Joints of 304 L Austenitic Stainless Steel and SA508 Low-Alloy Steel. **Science and Technology of Nuclear Installations**, vol. 2022, 2022.

XUE, He. et al. Characterization of mechanical heterogeneity in dissimilar metal welded joints. **Materials**, v. 14, n. 15, p. 4145, 2021.



24

GESTÃO DA MANUTENÇÃO: CENTRADA NA QUALIDADE
MAINTENANCE MANAGEMENT: FOCUSED ON QUALITY

Clenio dos Santos Silva
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Resumo

A gestão da manutenção centrada na qualidade é uma abordagem que visa garantir que as atividades de manutenção em uma organização sejam realizadas de forma a garantir a qualidade e a confiabilidade dos ativos, equipamentos e sistemas. Essa abordagem busca maximizar a disponibilidade operacional, reduzir os custos de manutenção e melhorar a segurança dos processos. Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo desenvolver estratégias para a implementação eficaz da gestão da manutenção centrada na qualidade melhorando a eficiência operacional e a qualidade dos produtos e serviços. A metodologia utilizada trata-se de uma revisão bibliográfica, utilizando como método qualitativo e descritivo. A busca foi realizada por meio dos seguintes buscadores Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico, Revista Eletrônica de Engenharia Mecânica dentre outros, envolvendo a temática discutida. Conclui-se que a busca por esse novo modelo de gerenciamento de manutenção reflete a necessidade de alinhar a estratégia da empresa com as demandas do mercado e com as condições específicas da logística no Brasil, onde a expansão das operações requer uma gestão eficiente dos ativos.

Palavras-chave: Manutenção, Ferramentas da Qualidade, Produtividade, Gerenciamento, Planejamento.

Abstract

Quality-centered maintenance management is an approach that aims to ensure that maintenance activities in an organization are carried out in a way that guarantees the quality and reliability of assets, equipment and systems. This approach seeks to maximize operational availability, reduce maintenance costs and improve process safety. In this context, the present study aims to develop strategies for the effective implementation of quality-centered maintenance management, improving operational efficiency and the quality of products and services. The methodology used is a bibliographic review, using a qualitative and descriptive method. The search was carried out using the following search engines Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Scholar, Revista Eletrônica de Engenharia Mecânica, among others, involving the topic discussed. It is concluded that the search for this new maintenance management model reflects the need to align the company's strategy with market demands and the specific logistics conditions in Brazil, where the expansion of operations requires efficient asset management.

Keywords: Maintenance, Quality Tools, Productivity, Management, Planning.

1. INTRODUÇÃO

A gestão da manutenção desempenha um papel fundamental na eficiência operacional e na sustentabilidade de organizações de diversos setores. A manutenção é uma atividade crítica que visa garantir a disponibilidade, confiabilidade e desempenho dos ativos e equipamentos, garantindo assim a continuidade das operações e a qualidade dos produtos e serviços entregues aos clientes. Nesse contexto, uma abordagem focada na qualidade se destaca como uma estratégia essencial para melhorar os processos de manutenção, minimizar custos e melhorar a satisfação do cliente.

A qualidade é um fator determinante para o sucesso de qualquer organização, pois está intrinsecamente ligada à satisfação do cliente e à competitividade no mercado. A gestão da manutenção, quando orientada para a qualidade, não apenas busca corrigir falhas e reparar equipamentos, mas também se concentra na prevenção de problemas, na melhoria contínua e na maximização da vida útil dos ativos. Isso resulta em uma redução de custos, maior eficiência operacional e maior confiabilidade dos equipamentos, o que, por sua vez, leva aos produtos uma melhoria significativa na qualidade dos serviços e serviços oferecidos.

No entanto, justifica-se em entender a importância evidente da gestão da manutenção centrada na qualidade, ainda existem desafios a serem superados. Problemas como falta de integração de processos, falta de treinamento adequado, alocação concentrada de recursos e falta de indicadores de desempenho podem melhorar a implementação eficaz dessa abordagem

Nota-se que contribuições das ferramentas de qualidade em um ambiente de manutenção para melhorias significativas no processo produtivo é extremamente relevante e pode fornecer insights importantes para as empresas. Portanto a questão que orienta esta pesquisa: Como implementar eficazmente a gestão da manutenção centrada na qualidade para melhorar a eficiência operacional e a qualidade dos produtos e serviços em organizações de diferentes setores?

O objetivo geral do presente estudo foi desenvolver estratégias para a implementação eficaz da gestão da manutenção centrada na qualidade melhorando a eficiência operacional e a qualidade dos produtos e serviços. Além dos objetivos específicos que apresentar as características da gestão de manutenção; estabelecer metas específicas de desempenho para a manutenção e demonstrar ferramentas de qualidade que podem ser aplicadas ao gerenciamento de manutenção para melhorar o desempenho dos processos e aumentar a eficiência operacional.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O proposto tratou-se de uma revisão bibliográfica que foi extraída de matérias já publicadas, utilizou-se para tanto o método qualitativo e descritivo. A busca foi realizada por meio dos seguintes buscadores Scientific Electronic Library Online (Scielo), Revista Científica de Engenharia Mecânica, Google Acadêmico e Scribd. Os critérios de exclusão: textos incompletos, artigo que não abordaram diretamente o tema do presente estudo e nem os objetivos propostos, foram consultados ainda diferentes documentos como: Livros, Teses, Artigos e Monografia: desde o ano 2013 até 2022. Foram selecionados trabalhos publicados



nos últimos 10 anos, na língua portuguesa. Os descritores utilizados na pesquisa foram: Manutenção. Ferramentas da Qualidade. Produtividade. Gerenciamento. Planejamento.

2.2 Resultados e Discussões

2.2.1 Manutenção

A definição do dicionário Aurélio apud Xenos (2015) ressalta que a manutenção está relacionada às condições e medidas necessárias para garantir o funcionamento normal e permanente de máquinas e motores. Isso destaca a natureza técnica e prática de manutenção, que envolve manutenção e reparo de equipamentos e ativos. Viana (2013) enfatiza que a manutenção existe há milhares de anos porque até as mesmas ferramentas simples e antigas precisam dela para durar mais. Isso destaca a necessidade universal de prolongar uma vida útil e a eficácia de ferramentas e equipamentos, independentemente de sua complexidade ou idade.

Viana (2013) destaca a evolução da manutenção e sua importância crescente após a Revolução Industrial, quando houve uma transformação significativa na capacidade produtiva e na complexidade dos equipamentos de produção. Essa evolução é um tópico importante na revisão da literatura sobre a manutenção industrial e suas funções nas operações de produção.

Xenos (2015) destaca a importância da manutenção corretiva como uma das abordagens na gestão da manutenção. No entanto, como mencionado acima, existem várias configurações ou tipos de manutenção que podem ser inovadoras em uma organização, cada uma com suas características e especificações específicas.

A definição de manutenção corretiva dada por Pinto e Xavier (2016) destaca a natureza da intervenção após a ocorrência de falhas ou desempenho abaixo do esperado. Além disso, os autores fazem uma distinção importante dentro da manutenção corretiva, dividindo-a em duas categorias como manutenção corretiva não planejada, pois esta categoria refere-se à correção de falhas de maneira reativa, ou seja, quando os problemas ocorrem de forma inesperado e não foram previamente programados. A manutenção corretiva não planejada envolve lidar com falhas que podem resultar em paralisações não planejadas da produção.

Viana (2013) fala sobre a manutenção corretiva, muitas vezes chamada de “supressão de incêndio” na indústria, está alinhada com o conceito mencionado anteriormente. Ela enfatiza que a manutenção corretiva envolve ações para corrigir variações ou falhas que causaram ou poderiam tornar inoperantes os equipamentos de produção. Essas falhas são descrições como planejadas e não planejadas, o que significa que elas ocorrem de maneira imprevista e não são programadas.

A observação feita por Viana (2013) sobre a importância da disponibilidade de peças de reposição e das ferramentas necessárias para serviços de manutenção é crucial. Esses elementos são essenciais para lidar eficazmente com as falhas e variações nos equipamentos de produção.

As definições de Xenos (2015) e Pinto e Xavier (2016) sobre a manutenção preventiva estão em consonância e destacam a importância dessa abordagem na gestão de ativos e na manutenção industrial. A manutenção preventiva é uma estratégia em que as atividades de inspeção, reforma e substituição de peças são realizadas regularmente em equipamentos e sistemas antes que ocorram falhas ou distribuição significativa de desempenho.

Ela é planejada e executada em intervalos regulares, com o objetivo de evitar problemas e garantir que os equipamentos funcionem de maneira confiável ao longo do tempo.

O destaque de Viana (2013) sobre a importância da disponibilidade de peças de reposição e ferramentas necessárias para a manutenção é fundamental para a eficácia dos processos de manutenção, como ter um estoque adequado de peças de reposição é essencial para garantir que a manutenção corretiva possa ser realizada de forma rápida e eficiente. A gestão de estoque eficaz é crucial para equilibrar a disponibilidade de peças e o custo de manter o estoque.

As afirmações de Xenos (2015) e Viana (2013) destacam a importância da manutenção preditiva na gestão de ativos industriais. A manutenção preditiva é uma abordagem que se baseia na coleta e análise de dados para prever quando a manutenção será necessária, permitindo que as intervenções sejam realizadas no momento ideal.

A descrição apresentada por Xenos (2015) sobre a manutenção destaca sua relação com o Total Quality Management (TQM) e a ênfase na participação dos operadores no processo de manutenção. A manutenção autônoma é uma abordagem que se originou na filosofia de gestão da qualidade total (Total Quality Management - TQM). O TQM enfatiza a responsabilidade de todos os funcionários na busca pela qualidade, incluindo a manutenção de equipamentos e ativos.

A abordagem de manutenção autônoma, conforme descrita por Viana (2013), envolve a ideia de que os operadores assumem uma responsabilidade direta pelo cuidado e pela manutenção das máquinas que operam. “Eu cuido da minha máquina”: Este lema enfatiza a ideia de que os operadores se tornam os “donos” das máquinas que operam. Eles são diretamente responsáveis por garantir que essas máquinas funcionem de maneira eficiente e confiável. Isso inclui a realização de tarefas como limpeza, lubrificação e manutenção preventiva básica.

A afirmação de Fogliatto (2019) enfatiza a evolução do papel do operador à medida que ele ganhe mais experiência na manutenção. Essa evolução envolve a realização de tarefas mais complexas e o desempenho de um papel mais abrangente na preservação de equipamentos e na promoção de boas práticas de manutenção.

A definição apresentada por Kardec *et al.* (2018) destacam a natureza abrangente da manutenção como um conjunto de ações que visam garantir a disponibilidade contínua de equipamentos e instalações para suportar o processo produtivo.

A ênfase dada por Marçal (2014) ao objetivo fundamental da manutenção, que é garantir que um aparelho ou equipamento desempenhe sua função com a qualidade para a qual foi projetada, destaca a importância da manutenção preventiva e da gestão da vida útil dos ativos.

A perspectiva apresentada por Marçal (2014) ressalta a transformação da manutenção de uma atividade vista apenas como um “mal necessário” para uma função estratégica dentro da organização. A manutenção desempenha um papel fundamental na melhoria da produção, garantindo que os equipamentos estejam operacionais e funcionem eficazmente. Isso contribui para o aumento da produtividade, a redução do tempo de inatividade não planejada e a melhoria da eficiência operacional.

A afirmação de Fogliatto (2019) destaca a progressão das responsabilidades dos operadores à medida que se tornam mais experientes na abordagem de manutenção autônoma. Conforme os operadores ganham experiência e se tornam mais proficientes na manutenção autônoma, eles podem assumir tarefas mais complexas e abrangentes. Isso vai além das atividades básicas de limpeza e lubrificação e inclui ações externas para a



melhoria dos equipamentos e a prevenção da geração de resíduos específicos ao meio ambiente.

O planejamento de manutenção eficiente desempenha um papel crucial nas operações de uma empresa, pois visa garantir que as atividades de manutenção sejam realizadas de forma eficaz e eficiente, minimizando o tempo de inatividade e maximizando a disponibilidade de equipamentos e sistemas. Kardec *et al.* (2018) destacam a importância de pensar estrategicamente sobre a manutenção, de modo a integrar a forma eficaz ao processo produtivo da empresa e contribuir para o bom desempenho e sucesso nos negócios.

A afirmação de Kardec *et al.* (2018) que os departamentos de manutenção não devem ser vistos apenas como executores de tarefas de manutenção, mas sim como parte integrante do processo estratégico da empresa, é um conceito importante e alinhado com a abordagem moderna de gestão de manutenção. Ela ressalta a ideia de que a manutenção não deve ser uma atividade isolada, realizada apenas quando um equipamento quebra, mas sim uma parte fundamental do planejamento e da estratégia de operação de uma organização.

Nascif (2013) enfatiza ainda mais a importância de considerar a gestão da manutenção como uma função estratégica dentro de uma organização. A busca pelos melhores resultados é uma constante em qualquer organização. Uma gestão eficaz da manutenção desempenha um papel fundamental nesse sentido, pois pode contribuir para a maximização da disponibilidade de ativos, redução de custos operacionais e melhoria da eficiência global dos processos.

Santos (2013) e Nascif (2013) oferecem perspectivas diferentes sobre a gestão e sua relação com a manutenção. A gestão consiste em atingir metas. Essa visão enfatiza a importância de definir metas claras e trabalhar para alcançá-las. No contexto da manutenção, isso significa que a gestão da manutenção deve ter como objetivo principal a realização de metas específicas relacionadas à disponibilidade de ativos, redução de custos operacionais, segurança e eficiência operacional.

Souza (2018) e Costa (2013) destacam a evolução da gestão da manutenção no contexto brasileiro e enfatizam a importância crescente atribuída a essa função nas organizações. O planejamento e controle da manutenção, uma prática já era comum na Europa e nos Estados Unidos, começou a ganhar importância no Brasil a partir de 1990. Isso indica que as empresas brasileiras começaram a considerar a necessidade de adotar práticas mais avançadas de gestão da manutenção para melhorar a disponibilidade de ativos, a eficiência operacional e a redução de custos.

Reis (2019) fornece uma visão abrangente e homologada com a abordagem tradicional do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). Destaca que a coordenação eficiente de recursos: o PCM é descrito como uma atividade processual destinada a coordenar eficientemente todos os recursos envolvidos na manutenção. Isso inclui recursos humanos, materiais, ferramentas e tempo. O objetivo é garantir que esses recursos sejam alocados de forma adequada e eficiente para atender às necessidades de manutenção e manter os equipamentos em perfeito funcionamento.

Os procedimentos indicados de planejamento, programação e controle, de acordo com Souza (2018), são essenciais para o gerenciamento eficaz de projetos e atividades. Aqui estão os principais pontos destacados por esses procedimentos: definição de Cronogramas de Serviços e Tarefas: Isso envolve a criação de um cronograma que lista todas as atividades e tarefas que precisam ser realizadas em um projeto. Isso inclui a identificação das atividades, sua sequência e a estimativa de tempo necessário para concluí-las.

As diretrizes mencionadas por Souza (2018) em relação aos controles são importantes para o gerenciamento eficaz de projetos e atividades. Uma das funções essenciais do controle é comparar os resultados obtidos com os resultados planejados. Isso envolve uma análise de desempenho para verificar se o projeto ou a atividade está progredindo de acordo com o cronograma e o orçamento previsto

2.2.2 Planejamento da Manutenção

De acordo com as diretrizes propostas por Souza (2018) para a gestão de manutenção de equipamentos e máquinas. Estas diretrizes são úteis para garantir que a manutenção seja realizada de forma eficiente e eficaz, minimizando o processo produtivo da empresa. Comparar e calcular resultados obtidos com resultados planejados: Isso significa que uma empresa deve monitorar de perto o desempenho de seus equipamentos e máquinas e compará-lo com o desempenho planejado

Tavares (2015) explica que antes de determinar o método de manutenção adequado para cada equipamento e problema, é fundamental realizar uma investigação detalhada dos componentes dos equipamentos e dos processos produtivos da empresa. Isso envolve uma avaliação abrangente da situação atual para tomar decisões informadas

Viana (2010) indica que essa é uma fonte que discute o assunto do PCM e suas práticas associadas. Essas práticas podem incluir a preparação de programas de manutenção preventiva, o agendamento de atividades de manutenção, a gestão de peças de reposição, a avaliação de riscos e a implementação de sistemas de acompanhamento e controle para garantir que as atividades de manutenção sejam realizadas de maneira eficaz.

Carvalho *et al.* (2019), explicam que a ordem de manutenção desempenha um papel crucial na organização e no controle das atividades de manutenção, fornecendo informações essenciais para que os técnicos e a equipe de manutenção executem as tarefas de forma adequada e eficiente.

Carvalho *et al.* (2019) destacam a evolução e as mudanças no campo da manutenção ao longo do tempo. Ela sugere que, no passado, a manutenção foi muitas vezes realizada principalmente com base na força física, enquanto hoje em dia, os profissionais de manutenção com base em inteligência e habilidades para evitar e resolver problemas de forma mais eficaz.

Belhot e Campos (2015) destacam a importância do treinamento e da melhoria contínua no contexto da manutenção em um ambiente de produção. Ela enfatiza que o nível de formação do pessoal de manutenção desempenha um papel crítico no sucesso do treinamento e pode afetar significativamente os custos e a eficiência da mão de obra.

Bernardim (2018) cita que a importância do investimento na formação contínua de “executores” ou “performers” em uma empresa. Ela destaca que, embora a carga horária média de experiência profissional seja de dez anos, esse número é notavelmente alto devido ao fato de os trabalhadores brasileiros passarem, em média, apenas três anos em sala de aula antes de ingressarem na força de trabalho.

Silva (2018) explica que o mercado atual está se tornando mais exigente em termos de qualificações educacionais para supervisores. Ele menciona que, pelo menos, um terceiro grau completo, ou seja, um diploma de ensino superior, é necessário para essa posição. Isso sugere que os supervisores precisam ter formação acadêmica mais avançada para atender às demandas do mercado de trabalho atual.



2.2.3 Ferramentas para gerenciamento da manutenção

Hirano (2014) explica que a metodologia 5S é uma abordagem de gestão organizacional que se concentra na organização e melhoria do ambiente de trabalho. Ela foi desenvolvida no Japão e se baseia em cinco princípios-chave, cada um deles começando com a letra “S” em japonês, que representam palavras como Seiri (Classificação), Seiton (Ordenação), Seiso (Limpeza), Seiketsu (Padronização) e Shitsuke (Disciplina). Essa metodologia visa criar um ambiente de trabalho mais organizado, eficiente e seguro.

Takahashi e Osada (2013) afirmam que a manutenção autônoma é uma abordagem em que os próprios colaboradores de uma empresa assumem a responsabilidade por atividades de manutenção preventiva e preditiva em seus equipamentos e ambientes de trabalho. Essa abordagem visa aumentar a eficiência operacional, reduzir custos e prolongar a vida útil dos equipamentos.

Hartmann (2012) cita ainda que a manutenção autônoma ajuda a reduzir os custos relacionados à manutenção corretiva, pois foca na prevenção de falhas e na manutenção preditiva. Isso significa menos interrupções na produção devido a problemas de máquina não planejada e menores custos de reparo de emergência.

Moubray (2013) diz que a Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM), é uma metodologia estruturada utilizada para determinar as ações necessárias para manter máquinas e equipamentos nas condições ideais de funcionamento. O principal objetivo da RCM é garantir que os equipamentos sejam confiáveis e operem de forma eficiente, de modo a evitar falhas inesperadas que possam interromper as operações normais.

Segundo Moubray (2013), o RCM pode reduzir uma intervenção não planejada em equipamentos em uma faixa de 40% a 70%. Isso significa que as falhas não programadas são minimizadas, permitindo que os equipamentos operem de maneira mais confiável e eficiente.

Nascimento (2016) fala que o termo TPM, que significa Manutenção Produtiva Total, é uma abordagem de gestão da manutenção que visa melhorar o desempenho e a produtividade das máquinas e equipamentos de uma empresa. Como mencionado na citação, essa metodologia foi proposta por Seiichi Nakajima, muitas vezes considerada o “pai da TPM”, e tem sido utilizada desde 1971.

Para Kardec e Nascif (2013, p.181), a TPM se concentra em manter as máquinas e equipamentos em condições ideais de funcionamento, reduzindo as falhas, melhorando a eficiência e prolongando a vida útil dos ativos. Ela envolve a participação de todos os membros da organização, desde os operadores até o pessoal de manutenção e gestão,

Autores/Ano	Título
Xenus (2015)	Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade.
Viana (2013)	PCM: Planejamento e controle da manutenção
Kardec (2018)	Manutenção: função estratégica
Pinto e Xavier (2016)	Manutenção: função estratégica
Fogliatto (2019)	Confiabilidade e manutenção industrial
Kardec <i>et al.</i> (2018)	Qualidade: enfoques e ferramentas
Souza (2018)	Leanness e Manutenção Produtiva Total (TPM). Modelo de Produtividade e Competitividade. Estudo de Caso

Carvalho <i>et al.</i> (2019)	Implantação de sistema informatizado para planejamento e controle da manutenção – Empresa Vileflex
Hirano (2014)	5S na Prática
Moubray (2013)	Manutenção Centrada em Confiabilidade (Reliability-Centered Maintenance – RCM).

Quadro 1. Trabalhos selecionados que apresentaram relação com o tema

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A literatura descreve a aplicação da gestão de manutenção focada na qualidade e que planeja apresentar ações baseadas em elementos do produto ou serviço que atendem às expectativas dos clientes. Além disso, você apresenta a intenção de elaborar uma discussão em torno dos resultados de dez pesquisas utilizadas como base para sua pesquisa.

O estudo de Xenos (2015) destacou a importância da Gestão de Manutenção Centrada na Qualidade (PCM - do inglês, Quality-Centered Maintenance) como uma atividade processual. Segundo o autor, o objetivo fundamental dessa abordagem é coordenar de forma eficiente todos os recursos envolvidos na manutenção, a fim de atender às principais demandas e garantir o perfeito funcionamento das máquinas.

De acordo com Viana (2013), é essencial comparar os resultados obtidos com os planejados. Isso envolve avaliar se as metas de manutenção foram alcançadas, se houve desvios em relação ao planejamento e como esses desvios afetaram a operação geral da organização. O controle deve ser baseado em indicadores de desempenho que permitam uma análise precisa das atividades de manutenção.

Kardec *et al.* (2018) ressaltam que a função de manutenção não se limita apenas a reparar ou manter máquinas e equipamentos. Ela também exerce a importante função de informar sobre o desempenho e as características dos equipamentos. Essa informação é crucial para o planejamento da produção, permitindo que as organizações otimizem a capacidade produtiva e evitem paradas não planejadas devido a falhas inesperadas.

Souza (2018) diz que a produção enxuta, também conhecida como Lean Manufacturing, é uma abordagem de gestão de processos de produção que se concentra na identificação e eliminação de desperdícios para melhorar a eficiência e a qualidade da produção. O conceito foi desenvolvido no Japão, notadamente pela Toyota, e tem sido amplamente adotado em todo o mundo em vários setores.

Carvalho *et al.* (2019) enfatizam que a implementação da produção enxuta (ou Lean Production) nas organizações pode levar a um novo patamar de desempenho. Isso ocorre porque a produção se concentra em eliminar desperdícios, melhorar a eficiência e aumentar a qualidade nos processos de fabricação.

Hirano (2014) destaca a importância da gestão da manutenção, muitas vezes referida como Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), na garantia da confiabilidade e disponibilidade dos ativos de uma organização. A tecnologia PCM desempenha um papel crucial na otimização dos recursos de manutenção, incluindo pessoal, qualidade de produtos e planejamento de manutenção.

Moubray (2013) destacou que isso envolve uma programação e organização das atividades de manutenção de forma para garantir que elas sejam executadas de maneira oportuna e eficiente. Ter um cronograma claro ajuda a evitar interrupções não planejadas na produção.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse contexto, um sistema de gerenciamento de manutenção desempenha um papel crucial. Isso envolve o planejamento, a organização e a execução de atividades de manutenção para garantir que os ativos financeiros, como veículos de transporte, estejam em condições operacionais ideais. Um sistema eficaz de gerenciamento de manutenção ajuda a minimizar tempos de inatividade não planejada, a prolongar a vida útil dos ativos e a melhorar a confiabilidade operacional.

Importância das ferramentas da qualidade em uma organização auxilia na contribuição e métodos de produção e facilitar a oportunidade de todos os envolvidos tomarem decisões para resolver problemas. As empresas utilizam diversas ferramentas relacionadas à gestão da qualidade, todas relacionadas ao alcance de metas e objetivos estabelecidos por organizações que visam priorizar a qualidade em todos os seus processos, principalmente no setor produtivo.

A pesquisa sobre ferramentas de qualidade provou ser relevante para alcançar resultados na gestão de manutenção. Dessa forma, coletar e organizar as ferramentas utilizadas pela empresa para prevenir e corrigir possíveis falhas é essencial para manter o controle de qualidade e servir de base para consultas de pesquisas futuras.

Com base nos resultados das análises e pesquisas realizadas, propõe-se recomendações específicas para as organizações que desejam adotar ou aprimorar a gestão da manutenção centrada na qualidade, levando em consideração as particularidades de cada setor.

Por meio da consecução desses objetivos, este estudo busca contribuir para a disseminação e aplicação da gestão da manutenção centrada na qualidade, auxiliando as organizações a melhorar suas operações e aprimorar a qualidade de seus produtos e serviços.

Referências

- BELHOT, Renato Vairo; CAMPOS, Fernando Celso de. **Relações entre manutenção e engenharia de produção: uma reflexão**. Revista Produção. v. 5, n. 2. São Paulo: ABEPRO, 2015.
- BERNARDIM, Márcio Luiz. **Educação do trabalhador: da escolaridade tardia à educação necessária**. Guarapuava: Unicentro, 2018.
- BRANCO FILHO, Gil. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2018.
- CARVALHO, A. M. de et al. **Implantação de sistema informatizado para planejamento e controle da manutenção – Empresa Vileflex**. Governador Valadares: Universidade Vale do Rio Doce. Monografia. 91 p. 2019.
- COSTA, M. A. **Gestão estratégica de manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia de Produção–Universidade Federal de Juiz de Fora. UFJF, Minas Gerais, 2013. 103 f.
- DESPANDE, V.S.; MODAK, J.P. Application of RCM to a medium scale industry. **Reliability Engineering & System Safety**. London, 77, 31-43, 2014.
- FARIA, J. G. de Aguiar. **Administração da manutenção**. Edgard Blücher. 2014
- FOGLIATTO, F. S. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019
- HARTMANN, E.H. **Successfully Installing TPM in a Non-Japanese Plant**. Pittsburgh, EUA: TPM Press, 2013.
- HIRANO, H. **5S na Prática**. São Paulo: Instituto IMAM, 2014.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção. Função Estratégica**. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2013.
- KARDEC, A et al., **Qualidade: enfoques e ferramentas**. Qualitymark.2018

- MARÇAL, R. F. **Gestão da Manutenção**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção (PPGEP). 2014.
- MORAES, Paulo Henrique de Almeida. **Manutenção produtiva total: estudo de caso em uma empresa automobilística**. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Sócioprodutivos, Universidade de Taubaté) - Taubaté: UNITAU, 2014.
- MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (Reliability-Centered Maintenance – RCM)**. Trad. Kleber Siqueira. São Paulo: Aladon, 2013.
- NAKAJIMA, Seiichi. **Introdução ao TPM - Total Productive Maintenance**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda., 2018.
- NASCIMENTO, Rodrigo Coutinho. **Manutenção Produtiva Total – Uma abordagem teórica**. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora) - Juiz de Fora: UFJF, 2016.
- NASCIF, J. **A importância da Gestão na Manutenção ou Como evitar “armadilhas” na Gestão da Manutenção**. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Manutenção 2005, Revisado 2013.
- PERREIRA, M. J. **Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática**. Ciência Moderna Ltda. Rio de Janeiro, 2019.
- PINTO, A. K., XAVIER, J. A. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymak, 2016.
- REIS, R. A. **Tempos de Resfriamento e Aquecimento: Repercussão no desempenho da manutenção na indústria siderúrgica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019
- SANTOS, J. **Otimizando a produção com a metodologia LEAN**. Coleção Hemus Produção. São Paulo: Editora Leopardo, 2018, p 8-9
- SILVA, Gabriel Candido da Penha Dantas da. **Ferramentas para gerenciamento da manutenção**. 51f. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Estadual da Zona Leste. 2018
- SOUZA, Manoel Gaião. **Leanness e Manutenção Produtiva Total (TPM). Modelo de Produtividade e Competitividade**. Estudo de Caso. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica, perfil de Manutenção e Produção, Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa) - Lisboa, 2012.
- TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **Manutenção produtiva total**. São Paulo: IMAM, 2013.
- TAVARES, L. A. **Administração Moderna da Manutenção**, Rio de Janeiro, Novo Pólo Publicações e Assessoria Ltda, 2015
- VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM: Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2015.
- XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Belo Horizonte: Editora DG, 2015



25

DESAFIOS DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO: ESTRATÉGIAS PARA
UM MELHOR DESEMPENHO

MAINTENANCE MANAGEMENT CHALLENGES: STRATEGIES
FOR BETTER PERFORMANCE

Franciney Reis da Silva
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Resumo

Neste trabalho, explorou os desafios e estratégias na gestão da manutenção. O objetivo principal foi identificar os principais desafios enfrentados na gestão da manutenção, tais como a rápida evolução tecnológica, escassez de mão de obra qualificada, pressão por redução de custos e a necessidade de conformidade regulatória. Para alcançar esse objetivo, realizou uma revisão bibliográfica abrangente, analisando fontes acadêmicas e especializadas. Os resultados destacam a importância da gestão da manutenção como fator crítico na eficiência operacional das organizações. Conclui-se que a incorporação de tecnologias avançadas, o investimento em capacitação da equipe, práticas sustentáveis e garantia de conformidade regulatória são estratégias essenciais para superar esses desafios. Além disso, ressaltou a transição de uma mentalidade reativa para uma abordagem proativa como fundamental na gestão da manutenção. Em suma, este trabalho enfatiza a necessidade de adaptação contínua e inovação na gestão da manutenção para enfrentar os desafios em um ambiente empresarial em constante evolução. A gestão eficaz da manutenção resulta em maior confiabilidade operacional, eficiência e sustentabilidade, contribuindo para o sucesso global das organizações.

Palavras-chave: Gestão da Manutenção. Desafios. Tecnologia. Mão de Obra Qualificada. Ativos.

Abstract

In this paper, we explored the challenges and strategies in maintenance management. The main objective was to identify the main challenges faced in maintenance management, such as rapid technological evolution, shortage of skilled labor, pressure to reduce costs and the need for regulatory compliance. To achieve this objective, we conducted a comprehensive literature review, analyzing academic and specialized sources. The results highlight the importance of maintenance management as a critical factor in the operational efficiency of organizations. We conclude that the incorporation of advanced technologies, investment in staff training, sustainable practices and ensuring regulatory compliance are essential strategies to overcome these challenges. In addition, we highlighted the transition from a reactive mindset to a proactive approach as fundamental in maintenance management. In short, this paper emphasizes the need for continuous adaptation and innovation in maintenance management to face the challenges in a constantly evolving business environment. Effective maintenance management results in greater operational reliability, efficiency and sustainability, contributing to the overall success of organizations.

Keywords: Maintenance Management. Challenges. Technology. Skilled Labor. Assets.



1. INTRODUÇÃO

A gestão da manutenção assume uma posição crítica na operação eficiente de equipamentos e instalações em vários setores industriais. Hoje, ela enfrenta uma série de desafios que impactam diretamente a produtividade, segurança e sustentabilidade das operações. Nesse contexto, este artigo busca explorar e analisar os desafios enfrentados pelos gestores de manutenção e apresentar estratégias para superá-los, visando aprimorar o desempenho global.

A gestão da manutenção é uma disciplina multidisciplinar que envolve a manutenção de ativos físicos, com o objetivo de garantir que esses ativos funcionem de maneira eficaz e confiável. Atualmente, depara-se com uma constante evolução tecnológica, uma crescente escassez de mão de obra qualificada e a pressão por redução de custos, tornando-a um desafio significativo para as organizações.

A integração eficaz da atividade de manutenção ao processo produtivo é um fator crucial para que uma empresa busque a excelência operacional. A estreita relação entre os setores de manutenção e produção, onde a manutenção influencia diretamente a qualidade e produtividade, torna o papel da manutenção estratégico na melhoria dos resultados operacionais e financeiros (Xenos, 1998).

Nesse contexto, a manutenção deve desempenhar um papel proativo dentro da organização. Isso significa que a gestão da empresa deve ser orientada por uma visão de futuro, e os processos gerenciais devem se concentrar na plena satisfação dos clientes, por meio da qualidade intrínseca de produtos e serviços. A qualidade total dos processos produtivos deve ser o norte (Kardec; Nascif, 2009).

Essa abordagem enfatiza a importância de manter a qualidade em todos os aspectos da operação, e a manutenção desempenha um papel fundamental nesse esforço. Garantir que os equipamentos estejam em condições adequadas, que as falhas sejam minimizadas e que a produção ocorra sem interrupções indesejadas é essencial para atender às expectativas dos clientes e manter a competitividade no mercado.

A abordagem proativa da manutenção não se limita apenas a corrigir falhas, mas também a preveni-las e melhorar constantemente a confiabilidade e a eficiência dos ativos. Isso implica em adotar práticas de manutenção preditiva e preventiva, planejamento eficaz, treinamento de pessoal e monitoramento constante do desempenho dos ativos.

Este artigo é relevante devido à importância estratégica da gestão da manutenção nas organizações, onde a eficiência nessa área é essencial para o desempenho e a competitividade. O problema de pesquisa aqui abordado está relacionado à necessidade de compreender os desafios da gestão da manutenção e as estratégias para superá-los. A pergunta central que guia este trabalho é: “Quais são os principais desafios na gestão da manutenção e quais estratégias podem ser adotadas para enfrentá-los?”

A análise aprofundada desses desafios e das estratégias para superá-los é crucial, uma vez que permite aos gestores e profissionais da área tomar decisões informadas e aprimorar suas práticas de manutenção. Esta pesquisa contribui para a sociedade, uma vez que uma gestão eficaz da manutenção impacta diretamente na confiabilidade operacional, na eficiência e na sustentabilidade das operações, o que, por sua vez, afeta a economia como um todo. Além disso, na comunidade acadêmica, este estudo pode servir como base para futuras pesquisas e discussões sobre o tema, promovendo um maior entendimento dos desafios e soluções na gestão da manutenção em um ambiente empresarial em constan-

te evolução.

O objetivo deste artigo é analisar os desafios da gestão da manutenção e propor estratégias para otimizar o desempenho nesse campo. Quanto aos objetivos específicos são: Identificar os principais desafios enfrentados pela gestão da manutenção e apresentar estratégias e melhores práticas para superar esses desafios.

Nos tópicos subsequentes, serão abordados em detalhes os desafios e estratégias mencionados, proporcionando uma compreensão aprofundada de como a gestão da manutenção pode enfrentar essas questões de forma eficaz e eficiente.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A metodologia adotada para este trabalho segue uma abordagem de revisão bibliográfica, que é uma pesquisa qualitativa e descritiva, conforme ressaltado por Gil (2002), a revisão bibliográfica consiste na análise crítica e síntese de informações provenientes de fontes bibliográficas, como livros, artigos científicos e dissertações. Essa metodologia permite uma compreensão aprofundada de um tópico específico, a identificação de tendências e lacunas no conhecimento, bem como a contextualização do tema em questão.

Para conduzir a revisão bibliográfica, realizou-se uma busca em diversas fontes acadêmicas e bibliotecas virtuais. Isso incluiu bases de dados renomadas, como PubMed, Scopus, IEEE Xplore e Google Scholar. O período de delimitação da pesquisa considerou trabalhos publicados nos últimos dez anos, garantindo a relevância e atualidade das fontes consultadas. Além disso, os descritores e palavras-chave utilizados na busca, tais como “gestão da manutenção” e “desafios da manutenção,” foram fundamentais para refinar a pesquisa e encontrar fontes relevantes.

A revisão bibliográfica permitiu a análise crítica da literatura existente sobre os desafios da gestão da manutenção e as estratégias para superá-los, seguindo a abordagem defendida por Boote e Beile (2005). Os resultados dessa análise são apresentados nos tópicos subsequentes, fornecendo uma visão abrangente do estado atual do conhecimento sobre o assunto. Vale ressaltar que, devido à natureza da metodologia, esta pesquisa não envolveu a proposição de hipóteses, a realização de experimentos ou estudos de caso, nem a intervenção direta no objeto de estudo, mas sim a síntese e interpretação de informações disponíveis na literatura.

É importante enfatizar que a revisão bibliográfica é uma abordagem fundamental na pesquisa científica, como mencionado por Hart (1998), pois permite a contextualização, a fundamentação teórica e a análise crítica de um tópico, contribuindo para o avanço do conhecimento e para a tomada de decisões embasadas em evidências. Neste contexto, a revisão bibliográfica desempenha um papel fundamental na compreensão dos desafios da gestão da manutenção e na identificação de estratégias para enfrentá-los.

2.2 Resultados e Discussão

Nesta seção, os resultados da revisão bibliográfica sobre os desafios da gestão da manutenção e as estratégias para enfrentá-los serão apresentados. Os dados e informações foram organizados em ordem de importância, com foco nas principais conclusões extraí-



das da literatura. Em seguida, as implicações dessas descobertas serão discutidas, relacionando-as a pesquisas anteriores na área e às teorias de outros autores. Ao analisar a literatura, identifica-se que a gestão da manutenção enfrenta diversos desafios atualmente. Os mais destacados incluem a rápida evolução tecnológica, que exige a constante atualização de conhecimentos e práticas; a escassez de mão de obra qualificada, que prejudica a capacidade das organizações em manter seus ativos; a pressão por redução de custos, frequentemente resultando em cortes no orçamento de manutenção; e a necessidade de alinhar a manutenção com objetivos de sustentabilidade e eficiência energética. A manutenção industrial é uma prática fundamental para garantir a confiabilidade, disponibilidade e eficiência dos equipamentos e instalações em uma organização. A evolução do conceito de manutenção ao longo do tempo reflete a crescente importância atribuída a essa função. Conforme observado por Monchy (1987), a origem do termo “manutenção” remonta ao contexto militar, onde seu propósito era manter o efetivo e o material em unidades de combate em um nível constante de aceitação.

Kardec e Nascif (2009) definiram a manutenção industrial como a garantia da disponibilidade de equipamentos e instalações para atender a processos de produção e preservar o meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também contribuiu para a definição do termo, descrevendo a manutenção como o conjunto de ações necessárias para conservar ou restaurar um item de acordo com uma condição desejada (ABNT, 1994).

A evolução dessas definições reflete a complexidade crescente da gestão da manutenção, que agora abrange não apenas aspectos técnicos, mas também aspectos humanos, de custos e de confiabilidade. Como resultado, a função de manutenção ganhou importância e responsabilidades cada vez maiores dentro das organizações.

A história da manutenção remonta às civilizações antigas, onde formas simples de manutenção, como a conservação de objetos e ferramentas de trabalho, eram praticadas. No entanto, foi com a Revolução Industrial do século XVIII que a função de manutenção começou a emergir na indústria de maneira mais estruturada. Nesse contexto, os próprios operadores de máquinas eram responsáveis por sua manutenção e reparo (Wirebsk, 2007).

No entanto, foi somente durante a I Guerra Mundial que a demanda por sistemas de manutenção mais ágeis e eficazes começou a surgir. Nesse período, as linhas de montagem introduzidas por Henry Ford impulsionaram a prática da manutenção corretiva, onde a reparação era realizada após a falha da máquina (Filho, 2008).

Durante a II Guerra Mundial, a necessidade de produções cada vez maiores e mais eficientes levou à prática do monitoramento de máquinas e equipamentos com base no tempo, caracterizando o que hoje é denominado como manutenção preventiva. A manutenção, tanto corretiva quanto preventiva, assumiu uma posição hierárquica igual à da produção nas organizações (Filho, 2008).

A partir das décadas de 40 e 50, as empresas aprimoraram o planejamento e a gestão da manutenção. A Engenharia de Manutenção foi desenvolvida, com foco no controle e prevenção de falhas. Isso resultou em maior confiabilidade e disponibilidade de máquinas e equipamentos, além da redução de riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores (Campos Júnior, 2006).

No entanto, a manutenção preventiva frequentemente resultava em interrupções e custos significativos, afetando a produtividade. Com o avanço tecnológico, incluindo a difusão de computadores a partir da década de 60, novas inovações surgiram, incluindo o desenvolvimento de critérios de previsão de falhas. Equipes especializadas adotaram abordagens estatísticas, estudos de avarias e sistemas informatizados para otimizar o uso dos

recursos disponíveis. Foi nesse contexto que surgiram a Manutenção Preditiva e a área de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) (Filho, 2008).

Essa evolução da manutenção ao longo da história reflete a crescente complexidade e importância atribuída a essa função nas organizações modernas. A gestão eficaz da manutenção desempenha um papel crítico na garantia da confiabilidade, eficiência e segurança dos ativos, contribuindo para o sucesso global das organizações.

Kumar e Chan (2019), que ressaltam a importância de adotar estratégias de manutenção proativas e preditivas para lidar com os desafios da evolução tecnológica. A escassez de mão de obra qualificada é uma preocupação compartilhada por muitos pesquisadores.

A pressão por redução de custos, embora compreensível, pode levar a decisões de curto prazo que comprometem a confiabilidade dos ativos e a segurança das operações, conforme discutido por Dhillon (2020). Portanto, a gestão da manutenção deve equilibrar efetivamente custos e desempenho para atingir resultados sustentáveis.

A necessidade de alinhar a manutenção com objetivos de sustentabilidade e eficiência energética é uma tendência crescente, como evidenciado por autores como Li e Wang (2017). Essa abordagem não apenas contribui para a responsabilidade social e ambiental das organizações, mas também pode resultar em economias significativas a longo prazo.

A Engenharia de Manutenção desempenha um papel crucial na busca por padrões de excelência, na aplicação de técnicas modernas e na busca por igualdade com as práticas de manutenção de alto nível no Primeiro Mundo (Kardec; Nascif, 2009). Isso implica em aumentar a confiabilidade, disponibilidade, segurança e manutenibilidade dos equipamentos, eliminar problemas crônicos, solucionar problemas tecnológicos e aprimorar a gestão de pessoal, materiais e sobressalentes. Além disso, a Engenharia de Manutenção participa de novos projetos e fornece suporte à execução, realiza análise de falhas e estudos, elabora planos de manutenção, analisa indicadores e zela pela documentação técnica.

As mudanças significativas nos setores tecnológico e de produção nos últimos anos resultaram em equipamentos cada vez mais complexos e na necessidade de maior produtividade e qualidade (Nunes; Valladares, 2008). Como resultado, a função de manutenção assumiu uma responsabilidade crescente na garantia da confiabilidade e disponibilidade, o que tem um impacto direto no desempenho operacional da organização.

A gestão da manutenção, de acordo com Souza (2008), começa na definição da concepção ou modelo que a empresa deseja adotar. Essa concepção define como a função de manutenção deve atuar para atingir as metas do negócio. É essencial que a gestão da manutenção esteja relacionada a todas as ações, decisões e definições necessárias para gerenciar os recursos e fornecer os serviços esperados pela função de manutenção.

A Engenharia de Manutenção, que busca aumentar a confiabilidade e garantir a disponibilidade, concentra-se na busca das causas, melhoria dos padrões e sistemáticas, modificação de situações de mau desempenho, desenvolvimento da manutenibilidade e intervenção nas compras e projetos (Araújo; Santos, 2008, citado por Netto, 2008).

Portanto, mais importante do que restringir a política de manutenção a uma abordagem ou outra é a utilização de uma metodologia adequada para gerenciar o sistema de manutenção. Isso permite que a função de manutenção seja encarada como um fator estratégico para a redução dos custos totais de produção. A seguir, serão apresentadas duas filosofias/ferramentas de gestão da manutenção: o TPM (*Total Productive Maintenance*) ou Manutenção Produtiva Total e o RCM (*Reliability-Centered Maintenance*) ou Manutenção Centrada em Confiabilidade.



Outro desafio identificado na literatura é a necessidade de implementar abordagens de manutenção preventiva eficazes, conforme destacado por diversos autores. Isso implica na importância de desenvolver estratégias que antecipem a ocorrência de falhas e evitem paradas não programadas, contribuindo para a eficiência operacional e a redução de custos.

Para avaliar o desempenho da manutenção, Stoner e Freeman (1994) propõem a mensuração com base nos critérios de eficiência e eficácia. Eficiência refere-se à capacidade de fazer as coisas “certas”, enquanto eficácia diz respeito à capacidade de fazer as coisas “certas”. Entre esses critérios, a eficácia é considerada mais importante, uma vez que nenhum nível de eficiência, por maior que seja, pode compensar a escolha de objetivos inadequados.

O planejamento desempenha um papel fundamental nesse contexto, uma vez que envolve o estabelecimento de objetivos e a seleção das ações adequadas para alcançá-los (Stoner; Freeman, 1994). Portanto, o planejamento deve ser orientado pelos critérios de eficácia e eficiência, garantindo que os objetivos corretos sejam definidos e os meios apropriados sejam escolhidos para alcançá-los.

Campos (1992) define o planejamento estratégico como um plano de guerra comercial, cujo objetivo é garantir a sobrevivência da organização em competições internacionais. Envolve a arte gerencial de posicionar os recursos disponíveis da empresa para manter ou melhorar suas posições relativas e potenciais favoráveis a futuras ações táticas na guerra comercial. Em outras palavras, o planejamento estratégico visa obter uma vantagem competitiva sobre os concorrentes, garantindo a sobrevivência da empresa.

O planejamento estratégico concentra-se na definição de objetivos e tarefas, ou seja, “o que deve ser feito”. Por outro lado, a gestão estratégica, que é o foco deste trabalho, representa a continuação desse planejamento, abordando o “como deve ser feito”. A gestão estratégica desempenha um papel fundamental na transformação das estratégias definidas em ações efetivas.

Sem um planejamento estratégico sólido e eficaz, a gestão estratégica não teria uma base sólida para operar. É crucial para uma boa gestão que a empresa seja planejada tanto interna quanto externamente, formulando estratégias gerenciais, motivando a equipe de trabalho, conhecendo o mercado e a concorrência e posicionando a empresa de acordo com as tendências emergentes e os paradigmas do setor (Rodrigues et al., 2003). Portanto, a gestão estratégica e o planejamento estratégico são componentes interdependentes que desempenham um papel essencial na consecução dos objetivos da organização.

Por fim, a revisão bibliográfica reforça a ideia de que a gestão da manutenção não é uma função isolada, mas está interligada com outras áreas da organização. A colaboração interdisciplinar e a comunicação eficaz são essenciais para o sucesso da gestão da manutenção em um ambiente empresarial complexo.

3. CONCLUSÃO

Neste artigo, explorou a importância da gestão da manutenção e sua interseção com o processo produtivo dentro das organizações. A manutenção desempenha um papel estratégico fundamental na melhoria dos resultados operacionais e financeiros, influenciando diretamente a qualidade e produtividade.

Ficou claro ao longo do trabalho que a integração eficaz da atividade de manutenção ao processo produtivo é essencial para garantir a excelência operacional. A manutenção

proativa, que visa à prevenção de falhas e à melhoria constante da confiabilidade e eficiência dos ativos, desempenha um papel crítico nesse contexto.

A gestão da manutenção deve ser orientada pela busca da eficácia, garantindo que os objetivos “certos” sejam definidos e os meios “certos” sejam escolhidos para alcançá-los. A gestão estratégica, representada pelo planejamento estratégico, desempenha um papel fundamental na transformação das estratégias em ações efetivas.

Em suma, a gestão da manutenção é um fator estratégico para a redução dos custos totais de produção e para garantir a satisfação dos clientes. O planejamento estratégico desempenha um papel crítico nesse processo, ajudando a definir os objetivos corretos e os meios apropriados para alcançá-los.

Embora tenha-se explorado várias dimensões da gestão da manutenção, é importante reconhecer que este é um campo amplo e em constante evolução. Existem muitas abordagens e ferramentas que podem ser exploradas em estudos futuros, incluindo o *Total Productive Maintenance* (TPM) e a *Reliability-Centered Maintenance* (RCM), que podem aprofundar ainda mais a compreensão dessa disciplina essencial.

Além disso, é importante destacar que a gestão da manutenção não é uma tarefa isolada. Ela exige uma colaboração estreita com outros setores da empresa, como a produção e a gestão de ativos, para garantir que os objetivos de eficácia e eficiência sejam alcançados. A interação entre essas áreas é essencial para o bom funcionamento de toda a organização.

No entanto, embora tenha discutido as vantagens da gestão proativa da manutenção, é crucial reconhecer que desafios e obstáculos podem surgir ao longo do caminho. A falta de recursos adequados, a resistência à mudança e a complexidade crescente dos equipamentos são apenas alguns dos desafios que as equipes de manutenção podem enfrentar. Portanto, é fundamental que as empresas estejam preparadas para superar esses obstáculos e adotar práticas que garantam a excelência operacional.

Em um cenário empresarial em constante evolução, a gestão da manutenção desempenha um papel vital na busca pela otimização de processos e na garantia da competitividade. Este artigo ressaltou a importância da integração estratégica da manutenção com as metas globais da organização, enfatizando a necessidade de uma abordagem proativa e preventiva. Além disso, destacou que a gestão da manutenção não é uma função isolada, mas uma parte essencial de um ecossistema mais amplo, que envolve diversos departamentos e áreas de conhecimento.

À medida que os desafios tecnológicos, como a rápida evolução tecnológica, a escassez de mão de obra qualificada e a pressão por redução de custos, continuam a moldar o ambiente de negócios, a gestão da manutenção precisa se adaptar e inovar constantemente. O planejamento estratégico e a busca incessante por melhores práticas são fundamentais para enfrentar esses desafios e alcançar a excelência operacional.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se a exploração de abordagens específicas, como o *Total Productive Maintenance* (TPM) e a *Reliability-Centered Maintenance* (RCM), para aprofundar a compreensão da gestão da manutenção. A interação entre a manutenção, produção e gestão de ativos é fundamental para o sucesso organizacional.

Referências

ARAÚJO, R. S.; SANTOS, J. P. A evolução da gestão da manutenção. **Revista do Departamento de Engenharia de Produção**, v. 10, n. 1, p. 41-49, 2008.



- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BOOTE, D. N.; BEILE, P. Scholars before researchers: On the centrality of the dissertation literature review in research preparation. **Educational researcher**, v. 34, n. 6, p. 3-15, 2005.
- CAMPOS, V. F. **Introdução à manutenção centrada na confiabilidade – MCC**. Programa de Atualização Técnica 2008 – Sistema FIRJAN - SESI/SENAI – Rio de Janeiro [Online]. Disponível em <<http://manutencao.net/v2/uploads/article/file/Artigo24AGO2008.pdf>> Acesso em 11 out. 2011.
- CAMPOS JÚNIOR, E. E. **Reestruturação da área de planejamento, programação e controle na Gerência de manutenção Portuária – CVRD**. 2006. 74f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2006. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/50480408/3/HISTORICO-DA-MANUTENCAO>. Acesso em: 11 out. 2011.
- Dhillon, B. S. (2020). **Maintenance and safety of aging infrastructure**. CRC Press.
- FILHO, R. A. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC**. Programa de Atualização Técnica 2008 – Sistema FIRJAN - SESI/SENAI – Rio de Janeiro [Online]. Disponível em <<http://manutencao.net/v2/uploads/article/file/Artigo24AGO2008.pdf>> Acesso em 11 out. 2011.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. Editora Atlas, 2002.
- HART, C. **Doing a literature review: Releasing the social science research imagination**. Sage, 1998.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.
- KUMAR, U.; CHAN, F. T. S. (2019). State-of-the-art review of methodologies for assessing the reliability of component and systems. **International Journal of Production Research**, 57(4), 831-848.
- LI, Y.; WANG, J. (2017). A literature review on the sustainability of closed-loop supply chains. **Journal of Cleaner Production**, 162, 12-27.
- MONCHY, F. A Função Manutenção. São Paulo: Durban, 1987.
- MOUBRAY, J. (1996). **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade**. São Paulo: Aladon.
- NUNES, E. N.; VALLADARES, A. **Gestão da Manutenção com Estratégia na Instalação de unidades Geradoras de Energia Elétrica**. Disponível in: <www.fae.edu/publicacoes/pdf/art_cie/art_20.pdf> Acesso em 15 out 2011.
- RODRIGUES, A.; KINAS, P. G. F.; CARNEIRO, S. M. P. M. **Gestão estratégica e o planejamento estratégico**. Universidade do Algarve, 2003.
- SOARES, S. M.; RAMOS, A. (2016). Maintenance management: A literature review and future directions. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 22(2), 115-138.
- STONER, J. A. F.; FREEMAN, R. E. (1994). **Administração**. Editora Prentice Hall.
- WIREBSK, J. (2007). The History and Future of Operations. **Journal of Operations Management**, 25(2), 387-408.
- XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 1ª edição. Rio de Janeiro: INDG, 1998.



26

A UTILIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL COMO
ABORDAGEM ESTRATÉGICA PARA A TRANSIÇÃO À INDÚSTRIA
4.0

THE USE OF INDUSTRIAL MAINTENANCE AS A STRATEGIC
APPROACH FOR THE TRANSITION TO INDUSTRY 4.0

Luana Cristina Dias Ferreira
Paulo Jose Pinto Souza
Ronaldo de Jesus Barros

Resumo

Este estudo explora a importância estratégica da Manutenção Industrial na transição para a Indústria 4.0, destacando sua relevância em um cenário de constante evolução tecnológica. A pesquisa visa compreender o papel da gestão eficiente da manutenção na redução de custos decorrentes de falhas e interrupções, ao mesmo tempo que assegura a confiabilidade dos equipamentos. A abordagem metodológica adotada é qualitativa descritiva, utilizando revisão de literatura como ferramenta para analisar informações existentes nos últimos 10 anos. Ao longo do desenvolvimento, são explorados conceitos fundamentais e metas da manutenção industrial, desde suas origens históricas até as abordagens mais modernas, como a manutenção preditiva na era da Indústria 4.0. Destacam-se ferramentas como realidade aumentada e manutenção preditiva na otimização da eficiência da produção e preservação de equipamentos. A conclusão ressalta que a gestão eficiente da manutenção industrial não apenas contribui para a redução de custos, mas desempenha um papel fundamental na criação de uma indústria eficiente, focada na geração de valor e excelência. A metodologia utilizada permitiu uma análise profunda das práticas de manutenção, embora reconheça algumas limitações. recomenda-se, para trabalhos futuros, a realização de estudos de caso e análises mais aprofundadas sobre a implementação prática dessas abordagens em empresas específicas. O estudo oferece uma base sólida para compreender a interseção entre manutenção e indústria 4.0, destacando a importância contínua da evolução estratégica nesse contexto dinâmico.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Controle. Gestão. Manutenção.

Abstract

This study explores the strategic importance of Industrial Maintenance in the transition to Industry 4.0, highlighting its relevance in a scenario of constant technological evolution. The research aims to understand the role of efficient maintenance management in reducing costs arising from failures and interruptions, while ensuring equipment reliability. The methodological approach adopted is qualitative descriptive, using literature review as a tool to analyze information existing in the last 10 years. Throughout the development, fundamental concepts and goals of industrial maintenance are explored, from its historical origins to more modern approaches, such as predictive maintenance in the industry 4.0 era. Tools such as augmented reality and predictive maintenance stand out in optimizing production efficiency and preserving equipment. The conclusion highlights that efficient management of industrial maintenance not only contributes to cost reduction, but plays a fundamental role in creating an efficient industry, focused on generating value and excellence. The methodology used allowed an in-depth analysis of maintenance practices, although it recognizes some limitations. It is recommended, for future work, to carry out case studies and more in-depth analyzes on the practical implementation of these approaches in specific companies. The study offers a solid foundation for understanding the intersection between maintenance and industry 4.0, highlighting the continued importance of strategic evolution in this dynamic context.

Keywords: Industry 4.0. Control. Management. Maintenance.

1. INTRODUÇÃO

No cenário contemporâneo da indústria, marcado pela constante evolução tecnológica e pelas transformações impulsionadas pela era digital, a abordagem estratégica da Manutenção Industrial emerge como um componente crucial para a bem-sucedida transição para a Indústria 4.0. À medida que o paradigma industrial evolui para uma fase onde a interconexão digital, a automação avançada e a análise de dados desempenham papéis fundamentais, compreender o papel da manutenção adquire uma relevância sem precedentes. A Indústria 4.0 não se trata apenas de uma revolução tecnológica, mas também de uma mudança de paradigma na forma como os sistemas produtivos são concebidos, implementados e gerenciados.

A Manutenção Industrial representa uma sinergia entre práticas técnicas e abordagens econômicas, aliadas a uma gestão precisa, aplicada aos ativos empresariais, visando garantir sua eficiência e maximizar seus ciclos de vida. Nesse contexto, a manutenção assume uma posição de destaque como elemento vital para otimizar a produtividade e qualidade de uma empresa. A sua interconexão com os processos de produção confere-lhe um papel crucial na criação de uma indústria eficiente, focada na geração de valor e excelência.

A escolha deste tema se fundamenta na relevância inegável da Manutenção Industrial como um fator determinante para a eficaz transição das empresas para a era da Indústria 4.0. À medida que a tecnologia continua a evoluir exponencialmente, a integração de dispositivos conectados, análise de dados em tempo real e automação inteligente tornou-se imperativa para manter a competitividade no cenário industrial contemporâneo.

A compreensão dos elementos envolvidos ganha destaque, abrangendo uma análise profunda das diversas abordagens de manutenção e sua colaboração sinérgica no aprimoramento de sistemas que maximizam a eficiência dos equipamentos industriais, por meio de técnicas e dispositivos prontamente acessíveis no mercado. O foco central é responder à seguinte questão: Qual é o papel da gestão eficiente da manutenção industrial na redução de custos devido a falhas e interrupções, ao mesmo tempo que assegura a confiabilidade dos equipamentos na era da Indústria 4.0?

O objetivo geral deste estudo é explorar a relevância da manutenção industrial como uma solução estratégica crucial para impulsionar a transição para a Indústria 4.0. Para atingir esse propósito, delineamos objetivos específicos que direcionarão a pesquisa. Primeiramente, buscamos apresentar e analisar as diversas técnicas e ferramentas empregadas no planejamento e controle da manutenção industrial, destacando sua importância na otimização do desempenho das operações. Em seguida, nosso foco se volta para a descrição de práticas que favorecem a implementação eficaz da manutenção industrial, considerando-a não apenas como uma atividade corretiva, mas como uma peça fundamental na estratégia global de transição para a Indústria 4.0.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS E METAS DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Nos últimos anos, com as transformações significativas ocorridas nos setores tecnológicos e de produção, a função da manutenção assumiu um papel crucial. Sua responsabilidade é garantir a confiabilidade e disponibilidade, aspectos essenciais para o desempenho operacional das empresas. A decisão de implementar uma estratégia de manutenção



deve ser tomada pela gestão, permitindo a comparação entre o desempenho real e o desempenho desejado, alinhado à estratégia da unidade produtiva (Struve, 2019).

No entanto, é notório que algumas indústrias e empresas carecem de conhecimento adequado sobre a gestão da manutenção e seus benefícios nos processos. A gestão da manutenção pode resultar em aumentos na vida útil das máquinas e ferramentas, redução de custos e prevenção de despesas não planejadas. A maioria dos estudos voltados para melhorias na manutenção é resultado dos esforços de organizações que buscam a excelência nas atividades de desenvolvimento sustentável da economia industrial (Struve, 2019).

De acordo com a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - NBR 5462 (2018), o termo “manutenção” engloba todas as ações técnicas e administrativas, incluindo supervisão, destinadas a manter ou restaurar um item em um estado em que ele possa desempenhar uma função necessária (ABNT, 2018). Em outras palavras, a manutenção abrange todas as atividades necessárias para assegurar que um equipamento funcione conforme projetado, atendendo aos níveis de desempenho necessários.

A origem do termo “manutenção” tem raízes em contextos militares, onde implicava manter algo em um estado constante. Na indústria, começou a ser utilizado por volta de 1950 nos Estados Unidos. Se a sociedade está passando por mudanças tecnológicas no início do século XXI, essas transformações têm raízes na evolução histórica da indústria, que desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade (Struve, 2019).

Desde a invenção da roda, as máquinas se tornaram essenciais no cotidiano das pessoas. Ao longo da história, a evolução das máquinas e a maneira como entregam produtos evoluíram, gerando diferentes eras. A primeira grande era foi a Revolução Industrial, ocorrida no final do século XVIII, onde máquinas industriais definiram a forma de fabricar e modificar bens (Struve, 2019).

Uma das inovações mais marcantes dessa época foi a máquina a vapor, que revolucionou processos como o bombeamento e a tecelagem em minas de carvão. Com o contínuo avanço tecnológico de máquinas e equipamentos, surgiu uma necessidade sistemática de manutenção, devido à crescente importância e valor desses ativos. Assim como houve eras industriais, também houve evolução na gestão da manutenção, progredindo para modelos cada vez mais eficientes e confiáveis (Struve, 2019).

O primeiro modelo de manutenção documentado foi o corretivo, cujas origens remontam ao final do século XVIII e início do século XIX, durante a Revolução Industrial. Foi nessa época que o conceito de reparo de máquinas começou a ser aplicado, juntamente com preocupações com os custos e as consequências de manter produtos competitivos, já que falhas ou interrupções nos equipamentos resultavam em quebras e perdas na produção. Até 1914, a manutenção era secundária em relação ao processo de produção, e equipes de manutenção eram incomuns, assim como a presença de especialistas em correção, e muito menos em prevenção (Struve, 2019).

Naquele período, acreditava-se que uma manutenção industrial sistematizada não era necessária; apenas serviços de reparo, lubrificação e limpeza eram realizados após uma quebra. Em outras palavras, a manutenção era predominantemente corretiva, uma abordagem considerada suficiente para a mentalidade e os recursos da época (Martins, 2019).

No entanto, a necessidade de aumentar a produção destacou a importância da manutenção. Entre as décadas de 40 e 70, o desenvolvimento da aviação comercial impulsionou a necessidade de critérios de manutenção preventiva, uma vez que a execução de manutenção corretiva durante o voo era inviável. A manutenção preventiva tinha como

objetivo evitar falhas e interrupções. Esse tipo de manutenção se baseia em eventos pre-determinados, onde informações são fornecidas por sensores que detectam desgaste ou outros indicadores de degradação da máquina (Sanitá; Campos, 2020).

2.1 Fundamentos Da Manutenção Preditiva E Suas Principais Ferramentas

A abordagem de Manutenção Produtiva Total (TPM) surgiu nos anos 80 no Japão, seguida pela Gestão Produtiva Total nos anos 90. O objetivo da manutenção é garantir que os processos de produção sejam seguros, confiáveis e levem em consideração os aspectos ambientais, ao mesmo tempo em que minimizam os custos para a indústria, garantindo a integridade e a disponibilidade das funções dos equipamentos (Kardec, 2020). As metodologias de Gestão da Manutenção Industrial, amplamente implementadas desde o início do século XXI, representam uma solução técnica para aprimorar o desempenho das práticas de manutenção, proporcionando uma base para a evolução da indústria da 3.0 para a 4.0 (Sanitá; Campos, 2020).

A manutenção corretiva planejada é um modelo de gestão que é adotado com base no acompanhamento preditivo, na detecção de problemas ou mesmo na decisão da equipe de gestão de operar até que ocorra uma falha. Esse tipo de manutenção, devido ao seu planejamento antecipado, tende a oferecer diversas vantagens, sendo mais econômico, seguro e eficiente (Otani; Machado, 2018).

Monchy (2017) demonstra que a política de manutenção corretiva planejada tende a ser mais amplamente adotada quando as falhas têm implicações significativas para a segurança pessoal, a operação, os custos e os compromissos de entrega da produção. Por outro lado, a manutenção preventiva foi uma prática crucial para a maioria das empresas que operavam com equipamentos complexos, especialmente durante o período que abrange a Segunda Guerra Mundial até a década de 60. Isso ocorreu em consonância com os crescentes investimentos na indústria, que impulsionaram a busca por maior competitividade e produtividade (Branco Filho, 2017).

A manutenção preventiva constitui uma abordagem que visa aprimorar a confiabilidade de um equipamento por meio de intervenções regulares, com o propósito de reduzir as chances de falha imprevista. Esse tipo de manutenção é executado enquanto o equipamento ainda está operacional, a fim de evitar surpresas desagradáveis com quebras inesperadas. Embora apresente vantagens claras, também traz consigo desafios, já que a intervenção frequente no equipamento pode potencialmente acarretar riscos (Santos et al., 2019).

Adicionalmente, essa estratégia de manutenção de equipamentos se fundamenta na substituição, revisão ou remanufatura de componentes em intervalos preestabelecidos ou adaptativos, independentemente de sua condição no momento da intervenção. Esses modelos de práticas de manutenção podem ser considerados como políticas de longo prazo para garantir o bom funcionamento dos equipamentos. Exemplos de tarefas de manutenção preventiva incluem atividades de restauração programadas e processos de descarte programados (Marcon; Thomaz; Bresciani, 2019).

Quando se combinam exigências legais e normas ambientais com a concorrência global e padrões de segurança, a gestão da manutenção assume uma importância significativa e se concentra no desenvolvimento de conceitos de manutenção que são categorizados da seguinte forma: manutenção corretiva planejada e não planejada; manutenção preventiva; e, por último, manutenção preditiva (Pulz, 2019).

A paralisação não programada de equipamentos pode ter sérias implicações na produção e resultar em perdas significativas em um ambiente altamente competitivo. De



acordo com Xenos (2019), a adoção do conceito da Indústria 4.0 envolve o monitoramento em tempo real e o sensoriamento de máquinas e equipamentos, juntamente com a transmissão de dados e parâmetros para a nuvem, onde um software de análise de confiabilidade e manutenção preditiva, ou Big Data, entra em ação. Essas informações são então processadas por um sistema integrado que gera ordens de manutenção e pode até mesmo enviar comandos para sistemas ciberfísicos que realizam ajustes nos equipamentos e agendam manutenções preventivas.

Nesse contexto, surge o conceito emergente de “*Maintenance Analytics*” (MA), que se concentra na compreensão e na comunicação de dados relacionados à manutenção. A conectividade à internet possibilita que operadores, técnicos e especialistas acessem remotamente os equipamentos, permitindo a realização de ações como configuração, controle, diagnóstico, correção, monitoramento de desempenho, coleta e análise de dados (Xenos, 2019). Isso reduz ou elimina a necessidade de visitas presenciais de técnicos do fabricante, já que o acesso remoto permite que eles tomem medidas mesmo quando não estão fisicamente presentes na empresa.

Para os fabricantes de equipamentos, o acesso aos dados de seus produtos instalados em diversos locais e em diferentes condições de uso oferece valiosas informações sobre possíveis falhas, possibilitando ajustes e melhorias em seus produtos. Isso também abre oportunidades para um novo modelo de negócios que enfatiza o relacionamento pós-venda como uma forma de inovação no setor (Xenos, 2019).

Além disso, o monitoramento remoto em tempo real do status dos equipamentos, combinado com alertas programáveis, permite uma resposta mais dinâmica e eficiente por parte dos operadores (Xenos, 2019). Uma aplicação potencial desse conceito inclui a formulação de políticas de tomada de decisão com agendamento de manutenção em tempo real, com base em informações como histórico de operações de máquinas, status, uso previsto, dependências funcionais e o fluxo de produção em curso (Xenos, 2019).

2.2 Ferramentas, Benefícios e Desafios da manutenção na indústria 4.0

A Indústria 4.0 introduz diversas ferramentas promissoras para otimizar a eficiência da produção. Contudo, seus benefícios estendem-se além do setor produtivo, impactando positivamente a manutenção industrial. De acordo com Mesquita e Moreira (2018), uma tecnologia notável que surgiu nesse contexto é a Realidade Aumentada (RA), capaz de sobrepor objetos virtuais ao ambiente físico, simulando elementos não palpáveis e oferecendo inúmeras possibilidades para os profissionais.

Atualmente, a Realidade Aumentada permite que profissionais executem montagens e manutenções em equipamentos complexos, seguindo instruções apresentadas no ambiente aumentado. Isso amplia as capacidades dos operadores, evidenciando a importância dessa tecnologia na manutenção industrial (Mesquita; Moreira, 2018).

Conforme Orives (2019), a integração de programas facilitada pela RA promove uma estreita interação homem-máquina, possibilitando a rápida solução de falhas e servindo como suporte técnico. Essa abordagem reduz o tempo necessário para resolver problemas, atuando como uma forma eficaz de suporte para aqueles com menos conhecimento técnico.

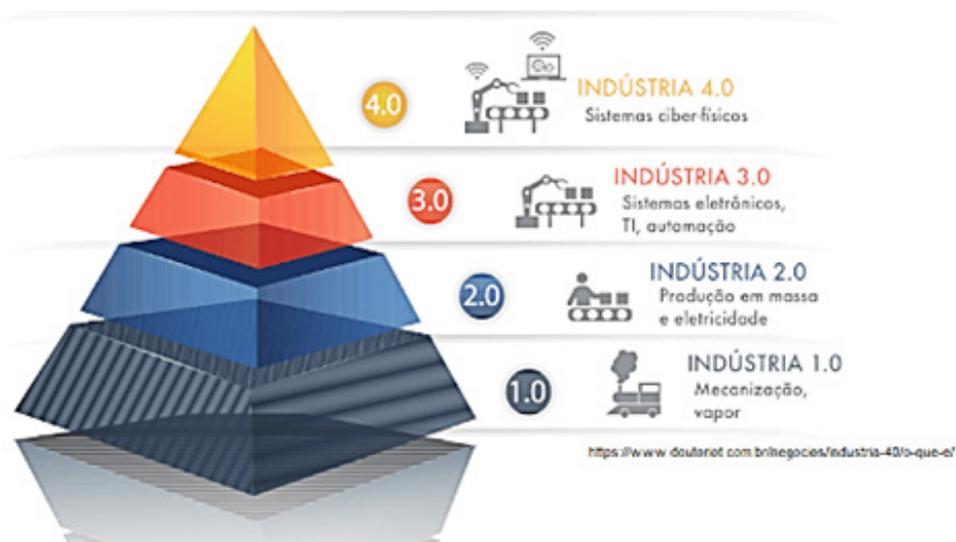


Figura 1. Pirâmide da Evolução da Indústria

Fonte: Mesquita e Moreira (2018)

Muller (2017) atribui o surgimento da manutenção eletrônica à evolução das tecnologias eletrônicas, impulsionando a eficiência, velocidade e proatividade. A integração dessas tecnologias na manutenção é crucial para alinhar o desempenho do negócio, exigindo abertura, integração e colaboração com outros serviços. Borlido (2017) destaca a importância do aproveitamento eficiente das informações fornecidas por sensores, salientando que o departamento de manutenção deve planejar suas atividades com base nesses dados de qualidade.

Quanto às desvantagens dos sistemas de manutenção inteligentes, Borlido (2017) aponta quatro pontos críticos, incluindo a possibilidade de modelagem incompleta, deficiência de análises econômicas na tomada de decisão e a ocorrência de falhas não observadas pelo conhecimento humano.

Estas tecnologias apresentam um potencial significativo de continuidade, conectando bilhões de pessoas à internet e aprimorando drasticamente a eficiência das empresas e organizações. Além disso, elas desempenham um papel crucial na regeneração do ambiente industrial, permitindo um melhor gerenciamento de ativos (Engeteles, 2018).

Conforme destacado por Almeida (2018), em setores industriais mais avançados, a manutenção preditiva é empregada para minimizar as possibilidades de paradas e inatividade. Essa abordagem utiliza tecnologias inovadoras, armazenando dados históricos em nuvens para análises posteriores e tomadas de decisões mais informadas. A manutenção preditiva permite a preservação de equipamentos com base no desgaste real, em contraste com as visitas de serviços agendados.

No âmbito da manutenção industrial, a eficácia desse método traduz-se em consideráveis economias, razão pela qual é amplamente sugerido por especialistas do setor. No entanto, é importante observar que ainda existe uma dificuldade em promover uma mudança de paradigma em relação às filosofias de melhoria contínua no cenário global da indústria brasileira (Almeida, 2018).

A Quarta Revolução Industrial, marcada pela digitalização do setor manufatureiro, é impulsionada pelo aumento dos volumes de dados, pela energia em sistemas de computadores e pela conectividade. Diferentemente do passado, essa revolução é caracterizada pela convergência de tecnologias existentes, combinando-as de maneira robusta para gerar rupturas significativas (Almeida; Cagnin, 2019).

Os pilares tecnológicos da Indústria 4.0 incluem sistemas de integração, máquinas autônomas, Internet das Coisas (IoT), fabricação aditiva, Big Data e análise de Big Data, computação em nuvem, simulação de ambientes virtuais e inteligência artificial. Os sistemas de integração desempenham um papel crucial ao conectar tecnologias operacionais e de informação, promovendo a integração entre máquinas, produtos e diferentes áreas da unidade produtiva (Silva, 2018).

Máquinas autônomas, como robôs, automatizam tarefas anteriormente realizadas apenas por humanos, impulsionando a automação nos processos produtivos. A IoT possibilita a comunicação multidirecional entre máquinas, pessoas e produtos, facilitando a tomada de decisões com base nas informações coletadas. A fabricação aditiva, como a impressão 3D, descentraliza o design de produtos e introduz maior componente de serviços e software (Almeida; Cagnin, 2019).

O uso eficiente de Big Data e análise é essencial para a tomada de decisões em tempo real, melhorando padrões e processos de qualidade do produto, e facilitando o acesso a novos mercados. A computação em nuvem oferece armazenamento e acesso flexível a serviços de informática online, contribuindo para a agilidade, interoperabilidade e escalabilidade das empresas (Almeida; Cagnin, 2019).

A Quarta Revolução Industrial, conhecida como Indústria 4.0, representa a atual tendência de automação e interconexão de dados nas tecnologias de manufatura. Esta revolução abrange diversas inovações, como impressão 3D, robótica e inteligência artificial, que estão transformando profundamente os processos industriais (Santos *et al.*, 2019).

Um dos aspectos mais impactantes da Indústria 4.0 é sua influência nas estratégias de manutenção. Historicamente, a manutenção era predominantemente reativa, com técnicos respondendo a falhas quando elas surgiam. No entanto, as tecnologias da Indústria 4.0 capacitam os técnicos a adotarem uma abordagem proativa na manutenção (Almeida; Cagnin, 2019).

A Indústria 4.0 engloba uma série de tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), sistemas ciberfísicos, big data e computação em nuvem. Essas tecnologias permitem a coleta e análise de dados em tempo real das máquinas, possibilitando a otimização das práticas de manutenção e a prevenção de problemas antes mesmo que eles ocorram. Um exemplo disso é a manutenção preditiva, que utiliza dados para prever quando uma máquina precisará de manutenção, permitindo um planejamento antecipado e a redução de paradas não programadas (Santos *et al.*, 2019).

Santos *et al.* (2019) viabiliza a execução de tarefas de manutenção de forma remota. Através de diagnósticos e suporte remotos, os técnicos podem acessar e realizar reparos em máquinas de qualquer lugar do mundo, aumentando a eficiência e segurança ao evitar exposição a situações potencialmente perigosas. A figura 2 mostrar a interligação dos ferramentais:



Figura 2. Ferramentas da Indústria 4.0

Fonte: Silva (2018)

A simulação de ambientes virtuais permite ajustar e representar virtualmente a operação conjunta de máquinas, processos e pessoas em tempo real, reduzindo custos associados aos processos de aprendizagem. Por fim, a inteligência artificial, baseada em algoritmos avançados, capacita os computadores a processarem dados em velocidades extraordinárias, contribuindo para o desenvolvimento de modelos neurais aplicados à indústria. Essas tecnologias convergentes são fundamentais para impulsionar a Indústria 4.0 e suas transformações significativas (Almeida; Cagnin, 2019).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa destaca a importância estratégica da manutenção industrial na transição para a Indústria 4.0, onde a interconexão digital, automação avançada e análise de dados são fundamentais. A gestão eficiente da manutenção desempenha um papel crucial na redução de custos decorrentes de falhas e interrupções, ao mesmo tempo que assegura a confiabilidade dos equipamentos.

Ao longo do desenvolvimento, exploramos conceitos fundamentais e metas da manutenção industrial, desde suas origens históricas até as abordagens mais modernas, como a manutenção preditiva na era da Indústria 4.0. Destacamos também a importância de ferramentas como a Realidade Aumentada e a manutenção preditiva na otimização da eficiência da produção e na preservação de equipamentos.

A metodologia adotada, uma abordagem qualitativa descritiva com revisão de literatura, permitiu uma análise profunda das práticas de manutenção. A leitura analítica de teorias consolidadas nos últimos 10 anos, junto com a consulta a renomados autores da área, fortaleceu a fundamentação do estudo. No entanto, é importante reconhecer algumas limitações, como a possibilidade de não abordar todas as nuances do cenário industrial ou a falta de dados específicos sobre a aplicação prática de certas tecnologias. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a realização de estudos de caso e análises mais aprofundadas sobre a implementação prática dessas abordagens em empresas específicas.

A gestão eficiente da manutenção industrial não apenas contribui para a redução de custos, mas também desempenha um papel fundamental na criação de uma indústria eficiente, focada na geração de valor e excelência. A pesquisa fornece uma base sólida para compreender a interseção entre manutenção e Indústria 4.0, destacando a importância contínua da evolução estratégica nesse contexto dinâmico.

Referências

- ALMEIDA, Julio Sergio Gomes de; CAGNIN, Rafael Fagundes. **A indústria do futuro no Brasil e no mundo**. IEDI. Março/2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- BRANCO FILHO, G. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2017.
- COSTA, M. A. **Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.
- SILVA, EDSON PEREIRA. **A transição da manutenção industrial para o modelo do novo paradigma da indústria 4.0**. Tese de Doutorado. Universidade Paulista. 2018.
- KARDEC, A. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Quality mark, 2020.
- MARCON, C. A.; THOMAZ, M. R.; BRESCIANI, D. **Implementação da manutenção preventiva em uma metalúrgica do oeste de Santa Catarina**. Revista Tecnológica, v.9, p. 264-280, 2019.
- MARTINS, T. A. **Evolução da Manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna 2019.
- MONCHY, F. A. **Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 2017.
- OTANI, M; MACHADO, W. V. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial. Vol.4, n.2, 2018.
- PULZ, E. M. **A evolução da gestão da manutenção nas indústrias**. Accelerating the world's research. 2019.
- SANITÁ, W. M.; CAMPOS, R.R. **PCM: planejamento e controle de manutenção**. Interface Tecnológica -v. 17 n. 1 (2020).
- SANTOS, M. J. F. **Gestão de Manutenção do Equipamento**: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, PT (2019).
- STRUVE, C. **Evolução na Gestão da Manutenção**. Fractal, 2019. XENOS, H. G. Gerenciando a Manutenção Produtiva. 5a edição. Rio de Janeiro: INDG, 2019. 302 p.
- XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 5a edição. Rio de Janeiro: INDG, 2019. 302 p.



27

PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO
MAINTENANCE PLANNING AND CONTROL

Elton John Da Costa Lopes
Ronaldo de Jesus Barros

Resumo

Este estudo examina de forma abrangente a importância do planejamento na administração da manutenção, com um enfoque específico na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) de 2012, além de diferenciar entre manutenção preventiva e corretiva. Seu principal objetivo é ressaltar o papel essencial do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) na assegurar o desempenho eficaz dos processos produtivos. A metodologia empregada abarca uma revisão bibliográfica e uma análise analítica para explorar as teorias em resposta ao problema de pesquisa proposto. O estudo enfatiza a necessidade de adaptar o PCM às particularidades de cada setor industrial, realçando a influência da cultura organizacional na busca pela melhoria contínua. Ao longo do tempo, observa-se uma evolução na gestão da manutenção, com uma transição para abordagens mais preventivas após a Segunda Guerra Mundial. A análise de indicadores de processos é considerada crucial na manutenção moderna, destacando a importância de um banco de dados robusto. As conclusões ressaltam o impacto positivo da manutenção preventiva na longevidade das estruturas e na redução de custos. Para pesquisas futuras, sugere-se uma investigação mais aprofundada sobre a aplicação prática do PCM em diferentes setores industriais, bem como a análise das novas tecnologias na gestão da manutenção. Em resumo, o estudo destaca a importância do planejamento e dos indicadores na otimização da gestão da manutenção, fornecendo insights valiosos para profissionais e pesquisadores da área.

Palavras-chave: Controle, Gestão, Manutenção, PCM.

Abstract

This study comprehensively examines the importance of planning in maintenance management, with a specific focus on the 2012 Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) standard, in addition to differentiating between preventive and corrective maintenance. Its main objective is to highlight the essential role of Maintenance Planning and Control (PCM) in ensuring the effective performance of production processes. The methodology employed encompasses a bibliographical review and an analytical analysis to explore theories in response to the proposed research problem. The study emphasizes the need to adapt the PCM to the particularities of each industrial sector, highlighting the influence of organizational culture in the search for continuous improvement. Over time, an evolution in maintenance management has been observed, with a transition to more preventive approaches after the Second World War. The analysis of process indicators is considered crucial in modern maintenance, highlighting the importance of a robust database. The conclusions highlight the positive impact of preventive maintenance on the longevity of structures and cost reduction. For future research, a more in-depth investigation into the practical application of PCM in different industrial sectors is suggested, as well as the analysis of new technologies in maintenance management. In summary, the study highlights the importance of planning and indicators in optimizing maintenance management, providing valuable insights for professionals and researchers in the field.

Keywords: Control, Management, Maintenance, PCM.

1. INTRODUÇÃO

O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) teve sua origem por volta da década de 1950, durante o período pós-guerra, quando a economia enfrentava uma crise significativa. Nesse cenário, tornou-se evidente que as empresas necessitavam desenvolver estratégias para lidar com a escassez de recursos e, ao mesmo tempo, aumentar a produtividade. Com o avanço da manutenção, o setor de PCM se tornou fundamental para garantir a eficiência das atividades de programação, planejamento e controle, visando otimizar o tempo, reduzir custos e alcançar os melhores resultados produtivos.

A função do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) é essencialmente justificar os investimentos em manutenção, embasando-se na disponibilidade dos equipamentos. Isso implica em uma alocação inteligente e racional de recursos, visando evitar interrupções na produção decorrentes de falhas. Para alcançar metas de redução ou eliminação de perdas no processo produtivo, são aplicadas as ferramentas de confiabilidade adequadas. Sempre que desvios são identificados, são promovidas melhorias no sistema.

A necessidade de uma investigação aprofundada desse tema decorre da crescente complexidade das operações industriais, da diversificação dos equipamentos e da importância de adotar abordagens proativas ao invés de reativas. Com a demanda em ascensão por produção sustentável e eficiência energética, a manutenção desempenha um papel crucial na otimização do consumo de recursos naturais e na redução do impacto ambiental.

Uma compreensão detalhada dessas práticas pode resultar em benefícios significativos, como o aumento da disponibilidade dos equipamentos, a prevenção de falhas, a melhoria da confiabilidade operacional e a redução geral dos custos de manutenção, contribuindo para a competitividade e o sucesso sustentável das empresas.

No âmbito deste estudo, o objetivo geral é analisar as abordagens que garantem eficiência na gestão de recursos durante os processos de manutenção. Em termos de objetivos específicos, pretende-se descrever de maneira detalhada as técnicas e ferramentas aplicadas no planejamento e controle dessas atividades. A contextualização desses métodos permitirá uma compreensão aprofundada das práticas adotadas, visando otimizar a utilização de recursos e promover a eficácia na manutenção de sistemas e equipamentos. Parte superior do formulário

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A metodologia empregada adotou uma abordagem qualitativa descritiva, que se valeu da revisão de literatura para consolidar informações existentes e alcançar conclusões sobre o tema em questão. O trabalho foi desenvolvido com base na análise de artigos, livros e monografias encontrados em fontes como Google Acadêmico, Scielo, Lilacs, bem como em bancos de teses e dissertações de universidades brasileiras.



2.2 Resultados e Discussão

O planejamento desempenha uma função de suma relevância nas atividades de manutenção, conforme estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2012). Este processo engloba a formulação de uma previsão detalhada dos métodos de trabalho a serem adotados, das ferramentas e equipamentos necessários, das condições de acesso e de um cronograma que defina a realização e a duração dos serviços de manutenção.

Segundo Almeida (2021), as manutenções prediais, classificadas em preventivas e corretivas, demandam um planejamento efetivo. É crucial considerar que a gravidade e a complexidade de um processo ou falha não aumentam de maneira linear. Ou seja, mesmo que a manutenção preventiva seja realizada de forma exemplar, não se elimina a necessidade de intervenções corretivas, mas sim se reduzem os custos e impactos decorrentes.

Como ponto de partida de um planejamento sólido, a coleta precisa de informações torna-se imperativa, especialmente para embasar uma previsão orçamentária. As fontes de informação para as atividades de manutenção incorporam demandas e queixas dos usuários, bem como inspeções técnicas. Ao conduzir essas inspeções em edificações, é crucial considerar as circunstâncias de utilização e a exposição ambiental que afetam seu desempenho. Instituir intervalos regulares e seguir as normas técnicas constituem práticas recomendadas (Villanueva, 2019).

Conforme observado por Almeida (2021), o planejamento da manutenção é desencadeado já no estágio de concepção da construção, desempenhando um papel fundamental tanto nos custos quanto nas futuras atividades de manutenção. Cada particularidade do edifício é delineada durante o projeto, considerando possíveis necessidades de manutenção, substituição, expansão, evolução e modernização.

Segundo a Universidade Federal de São Paulo – Campus Osasco (UNIFEST, 2019), a elaboração de um plano de manutenção demanda medidas como a vistoria das edificações por profissionais qualificados. É essencial determinar os serviços a serem executados, sua periodicidade e os responsáveis pela execução, estabelecendo uma rotina de manutenção.

No âmbito da execução dos serviços de manutenção, em consonância com a norma ABNT (2012), é vital planejar a manutenção dos sistemas de segurança da edificação. Se necessário, devem ser previstos sistemas alternativos para preservar a segurança dos usuários, profissionais e do próprio edifício.

Um planejamento eficaz deve apropriar os recursos de maneira adequada para a execução das manutenções. A obtenção de informações confiáveis e a avaliação precisa das condições dos equipamentos, sistemas e propriedades a serem mantidos são essenciais para a efetividade do planejamento (IBAPE, 2019).

O planejamento assume um papel de destaque tanto nas manutenções preventivas quanto corretivas, orientando a criação de planos eficazes para enfrentar os desafios que podem surgir, especialmente ao longo do tempo. Ele se converte em um aliado crucial, fornecendo informações seguras que asseguram maior eficiência, resultados satisfatórios e satisfação nas práticas aplicadas às edificações (Rodrigues, 2019).

O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) podem ser compreendidos como uma área ou função dentro de uma organização, responsável por planejar e executar as atividades de manutenção, assegurando o bom funcionamento dos processos produtivos. A ocorrência de falhas em máquinas pode impactar diretamente na lucratividade da empresa e na qualidade de seus produtos. De acordo com Branco (2019, p.5), o PCM consiste

no “conjunto de ações para preparar, programar, verificar o resultado da execução das tarefas de manutenção contra os valores preestabelecidos e adotar medidas de correção de desvios para a consecução dos objetivos e da missão da empresa, usando os meios disponíveis.”

A consolidação do planejamento, programação e controle da manutenção se dá por meio das atividades constantes, tais como a definição de indicadores com seus respectivos parâmetros de referência. Isso inclui a atualização do cadastro das listas técnicas dos equipamentos, a estruturação da hierarquia dos equipamentos em forma de árvores e a determinação da criticidade (Branco, 2019).

A análise dos serviços planejados e a programação das atividades de mão de obra também fazem parte das atribuições. A elaboração e análise mensal dos relatórios gerenciais de manutenção são igualmente relevantes. O suporte à instalação de novas versões de softwares de gerenciamento e a sensibilização dos profissionais da empresa quanto à organização e ao comprometimento com resultados em todos os níveis, estratégico, tático e operacional, também são incumbências do PCM (Branco, 2019).

Segundo Rodrigues (2019), os impactos positivos da manutenção predial preventiva tanto na prolongação da vida útil das edificações quanto na minimização de custos associados a reparos e substituições emergenciais. Através de uma abordagem embasada em dados técnicos, ele destaca como o planejamento adequado e a implementação de rotinas de manutenção preventiva podem evitar deteriorações prematuras, desvalorização do patrimônio e problemas operacionais.

Além disso, explora como a manutenção predial preventiva contribui para a segurança dos ocupantes e a conformidade com normas e regulamentações. Ele examina a implementação prática de planos de manutenção preventiva, a definição de intervalos de inspeção e a seleção criteriosa de métodos e materiais de reparo (Carvalho, 2019).

O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) é uma abordagem crucial para otimizar a eficiência operacional e a confiabilidade de equipamentos e sistemas, visando a maximização da produtividade e a redução de custos. Autores brasileiros têm contribuído de maneira significativa para a compreensão e aplicação do PCM, oferecendo insights valiosos sobre as melhores práticas e estratégias nesse campo (Carvalho, 2019).

Segundo Branco (2019), o PCM envolve o desenvolvimento de ações integradas de preparo, programação e verificação de resultados das tarefas de manutenção. Para ele, o PCM busca atingir os objetivos e a missão da empresa, corrigindo desvios por meio do uso eficaz dos recursos disponíveis. O autor ressalta a importância de indicadores, atualização de cadastros, definição de critérios de criticidade e a revisão de planos de manutenção preventiva.

Nunes (2015) explora o conceito de PCM como uma ferramenta estratégica para garantir a confiabilidade dos processos produtivos. Ele destaca a integração do PCM com a gestão da produção, enfatizando que a manutenção planejada e bem executada minimiza paradas não programadas e maximiza a disponibilidade dos ativos. Nunes argumenta que o PCM deve ser adaptado às características específicas de cada indústria, levando em consideração fatores como a criticidade dos equipamentos e as demandas operacionais.

Barreto (2019) aborda o PCM como um sistema de gestão que visa a otimização das atividades de manutenção, incluindo a programação, execução e avaliação dos resultados. Ele enfatiza a importância do planejamento estratégico da manutenção, alinhado aos objetivos organizacionais. Barreto também discute a utilização de tecnologias de informação para apoiar o PCM, como sistemas de gestão de manutenção (SGM) e softwares de monitoramento de ativos.



De acordo com Barreto (2019), é fundamental estabelecer objetivos claros para o PCM, alinhando-os com a estratégia geral da organização. Isso envolve identificar as metas de desempenho desejadas, como aumento da disponibilidade de ativos ou redução de paradas não programadas.

A busca incessante pela melhoria contínua é uma premissa fundamental para o sucesso das estratégias de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), como ressaltado por diversos autores. Esta diretriz é intrinsecamente ligada à evolução das demandas da empresa, às mudanças no cenário operacional e às lições aprendidas ao longo do tempo (Nunes, 2015).

A necessidade de encarar as estratégias de PCM como um processo dinâmico e adaptativo. A natureza das operações industriais e a complexidade dos ativos requerem uma abordagem que esteja disposta a se ajustar conforme novos desafios e oportunidades surgem. As organizações estão sujeitas a transformações, seja pela introdução de novas tecnologias, mudanças nas demandas do mercado ou pela própria evolução dos equipamentos (Nunes, 2015).

A revisão e aprimoramento constantes das estratégias de PCM são cruciais para assegurar que as atividades de manutenção estejam alinhadas com as metas da empresa, mantendo-se atualizadas para abordar os desafios emergentes. Esse processo de aprendizado contínuo envolve a análise dos resultados obtidos, identificação de pontos de falha, compreensão das causas subjacentes e a busca por soluções que otimizem a confiabilidade e eficiência dos ativos (Werkema, 2022).

A curva de percentagem acumulada é uma ferramenta valiosa na definição de prioridades. Ao observar a curva, é possível identificar o ponto em que a maioria dos problemas ou causas significativas está concentrada. Isso auxilia na tomada de decisões sobre quais problemas devem ser resolvidos primeiro para obter os melhores resultados possíveis. Assim, o diagrama de Pareto não apenas revela as áreas críticas que demandam atenção, mas também fornece uma direção estratégica para a alocação eficiente de recursos e esforços na resolução dos problemas identificados (Werkema, 2022).

Um diagrama de Pareto é uma ferramenta poderosa utilizada para identificar e priorizar problemas ou causas de forma visual. Antes de criar o gráfico, é fundamental realizar uma estratificação adequada dos dados, o que implica em uma coleta minuciosa e consistente de informações (Werkema, 2022).

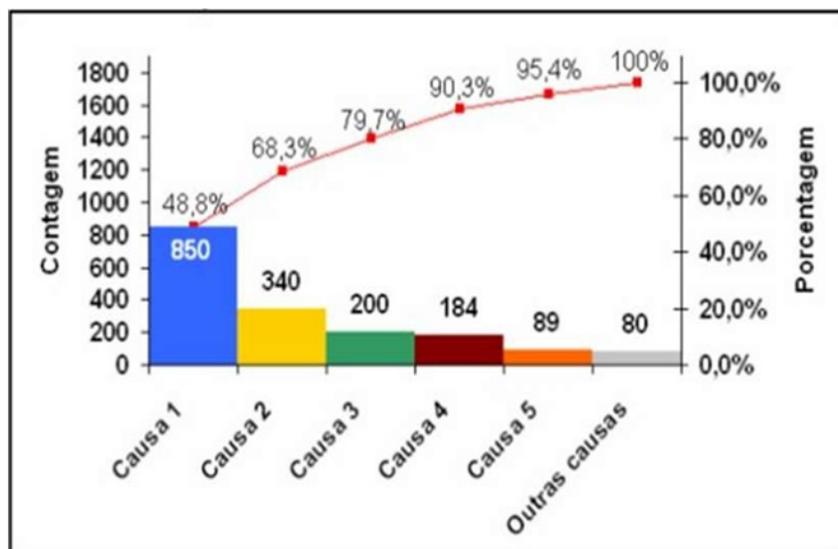


Figura 1. Diagrama Pareto

Fonte: Werkema (2022)

Além disso, a melhoria contínua no (PCM) está fortemente ligada à cultura organizacional. As equipes devem ser incentivadas a propor ideias inovadoras, compartilhar conhecimentos adquiridos e colaborar na identificação de oportunidades de aprimoramento. Isso cria um ambiente propício para a implementação de mudanças positivas e a incorporação de melhores práticas no cotidiano das operações de manutenção (Sanitá, 2020).

Nunes (2015) enfatiza que a busca pela melhoria contínua deve ser um compromisso de todos os níveis da organização, desde a liderança até os operadores de manutenção. A implementação bem-sucedida de mudanças requer uma abordagem colaborativa, em que todos estejam engajados na identificação e implementação de melhorias que impulsionem a eficiência operacional, a redução de custos e a maximização da disponibilidade dos ativos.

Com a implementação da produção em série e a crescente necessidade de agilidade e confiabilidade, tornou-se imperativo criar uma equipe de manutenção dedicada à operação. Essa equipe, inicialmente subordinada à operação, tinha como objetivo principal atender às demandas de manutenção corretiva (Almeida, 2021).

Após a Segunda Guerra Mundial, as intervenções corretivas já não eram consideradas suficientes, motivando a adoção de práticas de manutenção preventiva para prevenir falhas. Nesse cenário, o setor de manutenção começou a ganhar importância equivalente à operação (Sanitá, 2020). O aprimoramento da abordagem de manutenção baseada em condições, aliada aos sistemas automatizados de planejamento e controle, levou à divisão do setor de manutenção em duas equipes distintas: a de estudos de ocorrências e a de PCM (Almeida, 2021).

Gradualmente, a gestão da manutenção passou a incorporar aspectos financeiros, confiabilidade, avaliações técnicas e métodos de gestão. Os custos tornaram-se elementos norteadores e influenciadores nas decisões estratégicas da empresa e do setor de manutenção (Sanitá, 2020).

Para muitas empresas, a manutenção tornou-se uma função tão essencial que o PCM passou a assessorar a supervisão de produção. Diante das crescentes exigências do mercado quanto à qualidade dos produtos e serviços, a manutenção emergiu como um componente crucial para o desempenho dos equipamentos (Vicente, 2021).

Essa abordagem foi incorporada pela ISO, que reconheceu a função da manutenção no processo de certificação. Como resultado, o PCM passou a desempenhar um papel estratégico dentro do processo produtivo, registrando informações e analisando resultados para apoiar os gerentes de Produção, Operação e Manutenção na tomada de decisões (Silva, 2019).

Decidiu-se então que algumas atividades de manutenção rotineira dos equipamentos seriam realizadas pelos próprios operadores, adotando o conceito de Manutenção Autônoma. Essa abordagem aproveita o conhecimento prático do operador sobre a máquina, obtido por meio da observação diária do seu funcionamento, conferindo autonomia para identificar problemas, avaliar a qualidade e proporcionar um aprendizado constante. A equipe de manutenção, por sua vez, concentra-se em desafios mais complexos, projetos, modificações e melhorias (Vicente, 2021).

A modernização da gestão da manutenção trouxe consigo uma abordagem mais estratégica, na qual o PCM desempenha um papel crucial. Esta mudança, reconhecida pela ISO, destaca a importância de registrar informações e analisar resultados para apoiar a tomada de decisões dos gerentes de Produção, Operação e Manutenção. Integrando o conhecimento prático dos operadores, a Manutenção Autônoma se destaca como uma



estratégia eficaz (Santos, 2020).

Ao permitir que os operadores realizem atividades de manutenção rotineira, essa abordagem capitaliza o conhecimento diário da máquina, fortalecendo a capacidade de identificar problemas e promovendo um aprendizado contínuo. Com isso, a equipe de manutenção pode direcionar seus esforços para desafios mais complexos e estratégicos (Silva, 2019).

A análise de indicadores de processos desempenha um papel vital na compreensão dos cenários passados e futuros relacionados às atividades de manutenção. Esses indicadores fornecem insights valiosos para o planejamento e controle, permitindo uma ação assertiva e um trabalho mais aprimorado. Além disso, a existência de um banco de dados robusto é fundamental para monitorar o desenvolvimento das atividades ao longo do tempo, aumentando a confiabilidade do processo e contribuindo para a melhoria contínua. A análise progressiva desses dados é essencial para aprimorar a eficiência das paradas das máquinas e garantir a qualidade das intervenções ao longo do tempo (Ferreira *et al.*, 2020).

A alocação de recursos para uma máquina modelo ou piloto é uma prática comum nas organizações que buscam melhorar seus processos de gestão da manutenção. Ao analisar indicadores de processos em equipamentos piloto, como tempo médio entre falhas e número de ordens corretivas, as organizações podem identificar variações e resultados do processo implementado (Silva Filho, 2021).

Além disso, a análise comportamental dos equipamentos, que permite a elaboração de curvas características, oferece insights valiosos sobre o desenvolvimento e desempenho dos elementos necessários, contribuindo para melhorias contínuas nos processos de manutenção (Silva Filho, 2021).

Em síntese, a abordagem estratégica do PCM, aliada à integração da Manutenção Autônoma e à análise de indicadores de processos e comportamentais dos equipamentos, representa uma evolução significativa na gestão da manutenção. Essas práticas fornecem uma base sólida para impulsionar melhorias contínuas, aumentar a confiabilidade operacional e promover a eficiência dos processos industriais. No entanto, é importante reconhecer que existem limitações potenciais, como a necessidade de dados precisos e a capacidade de interpretá-los corretamente, que podem afetar a validade dos resultados e exigir uma abordagem cuidadosa na implementação dessas estratégias (Silva Filho, 2021).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises realizadas, torna-se evidente a importância dos elementos essenciais para garantir o eficiente funcionamento dos processos produtivos. Destaca-se a necessidade de coletar informações precisas para embasar a previsão orçamentária, levando em consideração as circunstâncias de utilização e a exposição ambiental durante as inspeções técnicas. A integração de ações, indicadores e a revisão constante das estratégias são fundamentais para assegurar a eficácia do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM).

Além disso, ressalta-se o impacto positivo da manutenção predial preventiva na prolongação da vida útil das edificações e na redução de custos. A análise de indicadores de processos é destacada como essencial na manutenção moderna, enfatizando a necessidade de um banco de dados robusto para monitorar o desenvolvimento das atividades ao longo do tempo.

As estratégias de planejamento e controle da manutenção desempenham um papel

crucial na otimização da disponibilidade dos equipamentos, na prevenção de falhas, na garantia de confiabilidade e na redução dos custos de manutenção. A implementação de programas de manutenção preventiva e preditiva, aliada à realização de manutenção corretiva planejada, permite a identificação e correção proativa de problemas, minimizando o tempo de inatividade não planejado.

Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se a realização de estudos mais aprofundados sobre a aplicação prática do PCM em diversos setores industriais, bem como a análise das possibilidades oferecidas por novas tecnologias na gestão da manutenção. Tais iniciativas contribuirão para o aprimoramento contínuo das práticas de gestão da manutenção, visando sempre à otimização dos processos produtivos e à maximização dos recursos disponíveis.

Referências

- ABDEL-AAL, R.E.; AL-GARNI, Z. Forecasting Monthly Electric Energy Consumption in eastern Saudi Arabia using Univariate Time-Series Analysis. **Energy**, v. 22, n.11, p.1059-1069, 1997.
- ALMEIDA, Joyce Cristhiny. **Implantação de gestão manutenção**: estudo de caso. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5674**: Manutenção de Edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção: Requisitos para manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- BARRETO, V. D. **Planejamento e Controle da Manutenção**: Teoria e Prática. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2019.
- BRANCO, Eduardo Fernandes. **Planejamento e Controle da Manutenção**: Evitando Falhas e Quebras. São Paulo: Érica, 2019.
- CARVALHO, M. M. **Gestão da qualidade**: teoria e casos. 2 ed. Elsevier: ABEPRO, 2019.
- IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. Norma de Inspeção Predial. **NBR 5674**. São Paulo, 2019.
- NUNES, Enon Laércio. **Manutenção Centrada Em Confiabilidade (MCC)**: Análise Da Implantação Em Uma Sistemática De Manutenção Preventiva Consolidada. 2015.
- RODRIGUES, Marcelo. **Gestão da Manutenção**. 3. ed. Jardim botânico. 2019.
- SANITÁ, Willian Matheus; DE CAMPOS, Ronaldo Ribeiro. **PCM**: planejamento e controle de manutenção. Revista Interface Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 673-685, 2020.
- SANTOS, R.S. **Manutenção Preventiva e Corretiva estudo de caso**: máquinas de envase de manteiga em pote em uma fábrica de laticínio. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2019.
- SILVA FILHO, Flávio Lopes da. **Aplicação do overall equipment effectiveness para medir a eficiência de uma célula produtiva**: estudo de caso em uma indústria de confecção no agreste de Pernambuco. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso.
- VICENTE, Pedro Teixeira. **Aplicação da metodologia PDCA na gestão da manutenção de equipamentos móveis de uma empresa de mineração**. 2021.
- VILLANUEVA, Ernesto. **Confiabilidade e Manutenção**. São Paulo: Érica, 2019. UNIFEST – Universidade Federal de São Paulo – Campus Osasco. Manual de Procedimentos de Manutenção Predial. Osasco, 2019.
- WERKEMA, M. C. C. (2022). **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Qualitymark



28

MODELOS DE GESTÃO SEGURA DA VIA PERMANENTE
SAFE MANAGEMENT MODELS FOR PERMANENT WAYS

Anderson Valter da Silva
Antônio Merval Machado Tavares

Resumo

A implementação de sistemas ferroviários é complexa e onerosa, com foco na via permanente. A manutenção é crucial para garantir a segurança e a confiabilidade do sistema, seguindo normas e diretrizes. Apesar das tecnologias avançadas, falhas frequentes causam perdas. A inspeção rotineira é essencial para coletar dados e gerar gráficos que auxiliam na otimização da manutenção e na redução de custos. Este trabalho foi elaborado a partir dos desafios da gestão da via permanente, visando segurança e eficiência. Para isso, identifica soluções, avalia melhores práticas e apresenta uma revisão crítica da literatura. O estudo destaca a importância de uma gestão bem estruturada para o bom funcionamento da via permanente, e explora a estrutura da via permanente e os desafios da sua manutenção. Reconhece a importância das ferrovias na sociedade moderna e propõe analisar os modelos existentes de gestão seguro para fortalecer a infraestrutura de transporte. A pesquisa se concentra em desafios como a via desbitolada, definindo limites de manutenção, comparando medição estática versus dinâmica da bitola e salientando a importância da manutenção preventiva. A metodologia foi fundamentada em revisão literária. O trabalho conclui que uma gestão estruturada é fundamental para superar os desafios da manutenção da via permanente, tornando as ferrovias mais seguras, fortalecendo o sistema de transporte e impactando positivamente na economia e no meio ambiente.

Palavras-chave: Gestão da Manutenção. Via Permanente. Eficiência. Segurança. Ferrovias.

Abstract

The implementation of railway systems is complex and costly, with a focus on the permanent way. Maintenance is crucial to ensure the safety and reliability of the system, following standards and guidelines. Despite advanced technologies, frequent failures cause losses. Routine inspection is essential to collect data and generate graphs that help optimize maintenance and reduce costs. This work was developed based on the challenges of permanent way management, aiming at safety and efficiency. To this end, it identifies solutions, evaluates best practices and presents a critical review of the literature. The study highlights the importance of well-structured management for the proper functioning of the permanent way, and explores the structure of the permanent way and the challenges of its maintenance. It recognizes the importance of railways in modern society and proposes to analyze existing models of safe management to strengthen the transportation infrastructure. The research focuses on challenges such as ungauged track, defining maintenance limits, comparing static versus dynamic gauge measurement and highlighting the importance of preventive maintenance. The methodology was based on a literature review. The study concludes that structured management is essential to overcome the challenges of maintaining permanent tracks, making railways safer, strengthening the transportation system and positively impacting the economy and the environment.

Keywords: Maintenance Management. Permanent Track. Efficiency. Safety. Railways.



1. INTRODUÇÃO

O transporte ferroviário se destaca como um meio de transporte fundamental para o escoamento de cargas e passageiros, assumindo um papel crucial na economia e no desenvolvimento social. A via permanente, composta por trilhos, dormentes, lastro e demais elementos, representa a infraestrutura essencial para a circulação segura e eficiente dos trens.

No entanto, essa estrutura complexa está sujeita a diversos desafios cruciais, como desgaste natural, deformações, falhas e eventos climáticos adversos. Diante desses desafios, surge a necessidade de aprimorar as estratégias de manutenção, buscando garantir a segurança, a confiabilidade e a disponibilidade do sistema ferroviário.

A gestão eficiente da manutenção da via permanente é fundamental para assegurar a operação segura e confiável do sistema ferroviário. Falhas na via permanente podem levar a acidentes graves, descarrilamento de trens, interrupções no tráfego e prejuízos econômicos e sociais consideráveis. Além disso, a manutenção inadequada da via permanente pode aumentar os custos operacionais e diminuir a vida útil dos componentes.

Diante desse contexto, este estudo se propõe a analisar os desafios da gestão de manutenção da via permanente no transporte ferroviário, buscando identificar as melhores práticas e tecnologias para otimizar os processos e minimizar os custos. A pesquisa se concentra em investigar os principais defeitos da via permanente (desnívelamento, desalinhamento e empenamento) e suas causas raiz, avaliar as diferentes estratégias de manutenção (preventiva, preditiva e corretiva) e seus impactos na segurança, confiabilidade e disponibilidade do sistema ferroviário, e propor soluções personalizadas para otimizar os processos de manutenção, considerando as características da via permanente, o tipo de tráfego e os recursos disponíveis.

- Analisar os desafios da gestão de manutenção da via permanente no transporte ferroviário, buscando identificar as melhores práticas e tecnologias para otimizar os processos e minimizar os custos.
- Investigar os principais defeitos da via permanente, como desnívelamento, desalinhamento e empenamento, e suas causas raiz.
- Analisar as diferentes estratégias de manutenção da via permanente, como preventiva, preditiva e corretiva, avaliando seus impactos na segurança, confiabilidade e disponibilidade do sistema ferroviário.
- Propor soluções personalizadas para otimizar os processos de manutenção da via permanente, considerando as características da via permanente, o tipo de tráfego e os recursos disponíveis.

A pesquisa apresenta grande relevância teórica e prática, pois contribui para a otimização da gestão da via permanente, garantindo a segurança, a confiabilidade e a eficiência do transporte ferroviário. Os resultados da pesquisa podem ser aplicados por empresas ferroviárias, órgãos governamentais e empresas de manutenção de via permanente, visando melhorar a qualidade dos serviços prestados e reduzir os custos operacionais.

Além disso, a pesquisa apresenta uma análise abrangente dos desafios e das soluções para a manutenção da via permanente, buscando contribuir para o avanço do conhecimento na área. Os resultados da pesquisa podem ser utilizados como base para o desenvolvimento de novas tecnologias e metodologias de manutenção da via permanente.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Este estudo foi conduzido com o propósito de realizar uma revisão bibliográfica abordando os desafios inerentes à gestão de manutenção da via permanente. A metodologia adotada consistiu em uma revisão literária, utilizando como base o Google Acadêmico. A coleta de dados envolveu a busca por artigos, livros e revistas relacionados à gestão de manutenção na via permanente, com ênfase em Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC).

Os termos empregados na pesquisa foram: Via Permanente, Planejamento e Controle da Manutenção, Gestão de Ferrovias e História das Ferrovias. Os parâmetros estabelecidos incluíram os idiomas português e inglês. Após a seleção das fontes literárias pertinentes, estas foram minuciosamente examinadas, e as informações pertinentes foram extraídas para fundamentar a elaboração deste estudo.

2.2 Resultados e Discussão

2.2.1 Conceito da via permanente

A via permanente, como uma estrutura robusta e resiliente, serve como a espinha dorsal do sistema ferroviário, sustentando e transmitindo as cargas dos trens com maestria. Essa infraestrutura crucial garante a circulação confiável, segura e disponível dos vagões, viabilizando o transporte eficiente de pessoas e cargas (STEFFLER, 2013).

Segundo Paiva (2016), a via permanente se categoriza em infraestrutura e superestrutura. A infraestrutura abrange todas as construções localizadas abaixo do greide de terra-plenagem, ou seja, abaixo da camada denominada subleito, fundação ou plataforma.

A superestrutura ferroviária constitui a parte da via permanente que repousa sobre a infraestrutura, suportando diretamente os esforços das rodas dos veículos ferroviários. Essa estrutura é composta por elementos essenciais como trilhos, dormentes, lastro, sublastro e sub-base, além de acessórios de ligação (talas de junção, parafusos) e dispositivos de fixação (placas de apoio, tirefonds, pregos, grampos), conforme destacado por (FERNANDES, 2005).

Esses componentes, em conjunto, desempenham papéis fundamentais na transmissão e distribuição das cargas, garantindo a estabilidade e o funcionamento adequado da via ferroviária.

2.2.2 Principais defeitos

A via permanente, como qualquer sistema complexo, está sujeita a diversos defeitos que podem comprometer sua integridade e funcionalidade. Desvendar as características e origens desses problemas é crucial para a implementação de estratégias de manutenção eficazes. (FILHO, 2013).

2.2.2.1 Via desbitolada

A bitola, a distância entre os trilhos, é um parâmetro fundamental para a segurança e estabilidade do sistema ferroviário. A via desbitolada, caracterizada por alterações nessas



medidas, pode surgir em diversas situações, especialmente em linhas com dormentes de madeira (NABAIS, 2014).

Dormentes de madeira são mais suscetíveis à deterioração ao longo do tempo, principalmente em ambientes úmidos ou com alto tráfego de trens, os dormentes de madeira podem apresentar maior propensão à desbitolamento.

Steffler (2013) destaca o desgaste natural dos trilhos em linhas com dormentes de concreto ou aço, a via desbitolada é menos frequente. Na ausência de eventos excepcionais, esses dormentes e seus sistemas de fixação tendem a permanecer íntegros por um período maior. Conseqüentemente, a variação da bitola nesses casos ocorre principalmente devido ao desgaste natural dos trilhos.

2.2.2.2 Via desalinhada

A via desalinhada, caracterizada por desvios na geometria ideal dos trilhos, compromete diretamente a estabilidade e o desempenho do transporte ferroviário (RODRIGUES, 2012).

Steffler, (2013) aponta que o desalinhamento pode ter duas origens distintas:

- Movimentação da grade: Afeta toda a estrutura da via, incluindo trilhos, dormentes e lastro.
- Fixação do trilho: Ocorre quando há problemas nos elementos que fixam o trilho à estrutura da via, como parafusos, placas de apoio e tirefonds.
- O desalinhamento pode se manifestar tanto em curvas quanto em trechos retos, gerando diferentes impactos no rolamento dos vagões.

Coimbra (2008) identifica as principais causas do desalinhamento:

- Ombro de lastro inadequado: O lastro é a camada de material granular que suporta os dormentes. Quando o ombro de lastro não possui a forma e compactação adequadas, a via fica mais suscetível ao desalinhamento.
- Desgaste ou quebra de placas de apoio: As placas de apoio são peças de metal que fixam os trilhos aos dormentes. O desgaste ou quebra dessas peças pode levar ao desalinhamento da via.
- Quebra ou deformação de trilhos e dormentes laqueados: Os trilhos e dormentes laqueados são aqueles que sofreram deformação permanente devido ao alto tráfego de trens. A quebra ou deformação desses elementos pode causar desalinhamento da via.

Coimbra (2008) O desalinhamento da via pode gerar diversos problemas, como:

- Redução da velocidade dos trens: Para garantir a segurança, os trens precisam reduzir a velocidade em áreas com desalinhamento.
- Aumento do desgaste dos trilhos e vagões: O desalinhamento gera maior fricção entre os trilhos e as rodas dos vagões, o que aumenta o desgaste de ambos.
- Desconforto para os passageiros: O desalinhamento da via pode causar trepidação e vibrações nos trens, o que gera desconforto para os passageiros.
- Riscos de descarrilamentos: Em casos mais graves, o desalinhamento da via pode levar ao descarrilamento dos trens.

2.2.2.3 Via empenada

O empeno é considerado o defeito geométrico de linha que mais demanda esforços na manutenção da via permanente, conforme Steffler (2013). Sua complexa natureza vai além dos aspectos matemáticos, exigindo uma compreensão profunda da dinâmica do rolamento dos trens na via.

O empeno se define como a variação da superelevação em um determinado comprimento de base. Essa variação age de maneira similar aos quatro pés de uma cadeira. Em um truque ferroviário, o empeno deforma a grade longitudinalmente, resultando no “alívio” de um dos “pés” do truque. Essa condição facilita o descarrilamento pela ação de forças laterais (SILVA, 2006).

2.2.3 Definição da manutenção

A manutenção, segundo Kardec (2012), tem como função principal evitar o desgaste prematuro de equipamentos, instrumentos ou instalações, buscando maximizar sua vida útil. Xenos (2014) complementa essa definição, salientando que as atividades de manutenção visam prevenir a degradação desses elementos, seja por desgaste natural ou pelo uso. Essa degradação pode se manifestar de diversas formas, desde pequenos detalhes externos até reduções no desempenho do maquinário ou instalação.

Ambas as perspectivas convergem na importância da manutenção preventiva para assegurar a eficiência e durabilidade dos ativos.

Pinto e Xavier (2011) fazem uma analogia entre a atividade de manutenção e uma brigada de incêndio. Assim como a brigada atua de forma efetiva em emergências, a principal função da manutenção é prevenir a ocorrência de novos problemas.

2.2.3.1 Objetivos manutenção da Via Permanente

Ratton (1985) define a política de manutenção da via permanente como a orientação gerencial que busca otimizar os processos de manutenção e renovação. O objetivo é garantir a realização dessas atividades em um nível satisfatório, assegurando tolerâncias adequadas para o desempenho e a segurança do tráfego ferroviário, sem comprometer a viabilidade econômica da empresa. Essa abordagem busca encontrar um equilíbrio entre a eficiência operacional e a sustentabilidade financeira no contexto da manutenção ferroviária.

2.2.3.2 Desafios da Gestão de Manutenção da Via Permanente

O estudo dos dados coletados revela diversos desafios na gestão da manutenção da via permanente no transporte ferroviário, de acordo com Seraco (2019), podem ser categorizados em três grupos principais

- **Desgaste natural:** O desgaste natural dos componentes da via permanente, como trilhos, dormentes e lastro, é um processo inevitável que exige manutenções frequentes para garantir a segurança e a eficiência do sistema ferroviário.
- **Deformações:** As deformações da via permanente, como desnivelamento, desalinhamento e empeno, podem ser causadas por diversos fatores, como cargas dos

trens, clima, características do solo e falhas na manutenção. Essas deformações comprometem a estabilidade da via e podem levar a acidentes graves.

- Falhas: As falhas na via permanente, como trincas em trilhos, rachaduras em dormentes e erosão do lastro, podem ser causadas por diversos fatores, como desgaste natural, fadiga do material, sobrecargas e falhas na construção. Essas falhas podem levar a acidentes graves e interrupções no tráfego ferroviário.

2.2.3.3 Planejamento e Controle da Manutenção (PCM)

A implementação de um sistema de gestão da manutenção adequado para a via permanente é fundamental para a otimização dos processos de manutenção e a redução de custos. Esse sistema deve incluir ferramentas para o planejamento, a execução e o controle das atividades de manutenção, bem como para a análise de dados e a tomada de decisões.

O PCM é uma ferramenta crucial na redução de falhas em equipamentos, segundo Silva (2018), o PCM tem se mostrado uma ferramenta poderosa nos sistemas de gestão contemporâneos. Ao combinar ações técnicas e administrativas para controlar e planejar a manutenção, o PCM se apresenta como um aliado eficaz. Essa abordagem pode ser aplicada com êxito na via permanente, contribuindo para a eficiência e a integridade dos sistemas ferroviários.

2.2.3.4 Estratégias de Manutenção

Souza (2024) apresenta as três abordagens principais em estratégias de manutenção:

1. Manutenção preventiva: Consiste na substituição de componentes antes da falha, seguindo um plano predefinido para garantir a integridade dos equipamentos.
2. Manutenção preditiva: Envolve a análise do funcionamento da máquina por meio de equipamentos apropriados para prever falhas.
3. Manutenção corretiva: A mais comum, ocorre após a falha, sem investigar as causas da quebra, focando em colocar o equipamento em funcionamento novamente.

Essas estratégias representam diferentes enfoques na gestão de manutenção, visando otimizar a operação e a confiabilidade dos equipamentos.

Seraco (2019) destaca que a escolha da estratégia ideal depende de diversos fatores, como o tipo de equipamento, a criticidade da operação e os recursos disponíveis.

A manutenção preventiva é geralmente recomendada para equipamentos com alto custo de reparo ou indisponibilidade, enquanto a manutenção preditiva é mais adequada para equipamentos com falhas previsíveis. A manutenção corretiva deve ser utilizada apenas como último recurso, pois pode gerar custos mais altos e indisponibilidade do equipamento.

2.2.3.5 Manutenção Detectiva

Complementando as estratégias tradicionais, a manutenção detectiva surge como uma abordagem inovadora que utiliza sensores e sistemas IHM (Interface Homem-Máquina) para monitorar continuamente o estado da via permanente e detectar falhas em seus componentes em estágios iniciais. De acordo com Souza (2024), essa abordagem permite

a intervenção precoce, evitando o agravamento dos problemas e a necessidade de manutenções corretivas mais complexas e dispendiosas.

A utilização das ferramentas da qualidade de forma sistemática e integrada pode contribuir para a melhoria contínua da gestão da manutenção da via permanente, garantindo a segurança, a confiabilidade e a eficiência do sistema ferroviário.

3. CONCLUSÃO

Este trabalho se debruçou sobre os desafios e as soluções para a gestão da via permanente ferroviária, com o objetivo de contribuir para a construção de um sistema ferroviário mais seguro, confiável e eficiente.

A pesquisa revelou que os principais defeitos da via permanente, como desbitolamento, desalinhamento e empeno, podem comprometer significativamente a segurança, a confiabilidade e a disponibilidade do sistema ferroviário, gerando custos adicionais com reparos e manutenções corretivas.

Diante desses desafios, diferentes estratégias de manutenção foram exploradas, incluindo a manutenção preventiva, preditiva e corretiva. A análise aprofundada dos impactos de cada estratégia na segurança, confiabilidade e disponibilidade do sistema ferroviário permitiu identificar as soluções mais adequadas para cada contexto.

Ao concluir este trabalho, reconhecemos que a busca por um sistema ferroviário mais seguro, confiável e eficiente é um processo contínuo. As conclusões e recomendações apresentadas nesta pesquisa servem como base para futuras pesquisas e ações que visem aprimorar ainda mais a gestão da via permanente ferroviária.

Os objetivos propostos para este trabalho foram alcançados de forma satisfatória. A pesquisa identificou os principais desafios da gestão da via permanente ferroviária, explorou diferentes estratégias de manutenção e propôs um modelo de gestão personalizado para otimizar os processos de manutenção.

Referências

- BRINA, H. L. **Estradas de Ferro 1 – Via Permanente**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2 ed,1979.
- COIMBRA, M. do. V. **Modos de Falha dos Componentes da Via Permanente** em Engenharia e Transportes) - Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro – BR. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Transportes) - Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro – BR. 2008.
- Fernandes, G., **Comportamento de Estruturas de Pavimento Ferroviário com Utilização de Solos Finos e/ou Resíduos de Mineração de Ferro Associados a Geossintéticos**. Brasília: Tese de Doutorado, 2005.
- GULER, Hakan. Decision Support System for Railway Track Maintenance and Renewal Management. **Journal of Computing in Civil Engineering** 27(3):292-306
- STEFFLER, F. **Via permanente aplicada: guia teórico e prático**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- KARDEC, A; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: (Paris), 1908 1979. Engenharia. Rio de Janeiro, 1985.
- NABAIS, R. J. S. **Manual básico de Engenharia Ferroviária**. São Paulo: Ed. Oficina de Texto, 2014.
- NADAL, M. J. **Locomotives a Vapeur, Collection Encyclopedie Scientifique**, Biblioteque de Mecanique Appliquee et Genie. 1908.



- PAIVA, Cassio. **Super e infraestruturas de ferrovias: critérios para projeto**. Elsevier Brasil, 2015.
- PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Aquino Nascif. **Manutenção: função estratégica**. Qualitymark, 2009.
- RATTON NETO, Hostilio Xavier. **Padrões para manutenção da via permanente**. Tese.(Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de
- SILVA, E. T. F. **Análise da evolução dos defeitos de bitola na via permanente da MRS para planejamento de intervenções preditivas de manutenção**. Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Carga, Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 73 p. 2006
- SOUZA, M. S.; A importância do planejamento e controle da manutenção: um estudo na Afla indústria de bebidas. **Revista Eletrônica da Faculdade José Augusto**
- SERACO, Isaias Pereira **Procedimento Para Definição de Políticas de Manutenção de Via Permanente Ferroviária** / Isaias Pereira Seraco. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2019. Disponível em <http://www.lesfer.coppe.ufrj.br/index.php/br/parceiros-institucionais-2/pesquisa-e-desenvolvimento-em-engenharia-ferroviaria/teses-2/393-procedimento-para-definicao-de-politicas-de-manutencao-de-via-permanente-ferroviaria>. Acesso em: 2 jan. 2024.
- XENOS, H. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Indg, 2014.



29

ANÁLISE DA TERMODINÂMICA APLICADA AOS SISTEMAS DE
REFRIGERAÇÃO
THERMODYNAMIC ANALYSIS APPLIED TO REFRIGERATION
SYSTEMS

Clarmiana Mourão de Freitas
Paulo Jose Pinto Souza

Resumo

A aplicação da termodinâmica na otimização de sistemas de refrigeração é essencial para melhorar a eficiência e sustentabilidade desses sistemas. Os sistemas de refrigeração operam com base no ciclo de compressão de vapor, removendo calor do espaço refrigerado através do evaporador e rejeitando-o no condensador. O Coeficiente de Performance (COP) é utilizado para medir a eficiência do ciclo, relacionando o calor removido ao trabalho realizado pelo compressor. A escolha do fluido refrigerante é crucial, sendo os tradicionais clorofluorcarbonetos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs) gradualmente eliminados devido ao seu impacto ambiental. Além disso, o projeto de componentes como compressores e trocadores de calor desempenha um papel vital na eficiência do sistema. Tecnologias avançadas, como compressores de velocidade variável e trocadores de calor de alta eficiência, têm potencial para reduzir o consumo de energia. A análise termodinâmica dos ciclos de operação e dos processos envolvidos permite identificar áreas para melhoria, considerando perdas irreversíveis como a entropia gerada por fricção. A utilização de ferramentas de simulação e modelagem computacional facilita a concepção de sistemas mais eficientes e sustentáveis. O objetivo deste artigo é explorar como a termodinâmica contribui para a melhoria da eficiência e sustentabilidade dos sistemas de refrigeração, analisando a influência dos fluidos refrigerantes, o projeto de componentes e as tecnologias avançadas. Essa abordagem busca atender à demanda por sistemas de refrigeração mais limpos e econômicos, alinhados com as preocupações ambientais atuais.

Palavras-chave: Artigo, Padrões, Formatação

Abstract

The application of thermodynamics in the optimization of refrigeration systems is essential to improve the efficiency and sustainability of these systems. Refrigeration systems operate based on the vapor compression cycle, removing heat from the refrigerated space through the evaporator and rejecting it in the condenser. The Coefficient of Performance (COP) is used to measure the efficiency of the cycle, relating the heat removed to the work performed by the compressor. The choice of refrigerant is crucial, with traditional chlorofluorocarbons (CFCs) and hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) being gradually eliminated due to their environmental impact. Additionally, the design of components such as compressors and heat exchangers play a vital role in system efficiency. Advanced technologies such as variable speed compressors and high-efficiency heat exchangers have the potential to reduce energy consumption. The thermodynamic analysis of the operating cycles and the processes involved allows identifying areas for improvement, considering irreversible losses such as entropy generated by friction. The use of simulation and computational modeling tools facilitates the design of more efficient and sustainable systems. The objective of this article is to explore how thermodynamics contributes to improving the efficiency and sustainability of refrigeration systems, analyzing the influence of refrigerants, component design and advanced technologies. This approach seeks to meet the demand for cleaner and more economical refrigeration systems, in line with current environmental concerns.

Keywords: Article, Standards, Formatting

1. INTRODUÇÃO

A termodinâmica, como ramo da física que estuda a energia e suas transformações, desempenha um papel crucial no desenvolvimento e otimização de sistemas de refrigeração.

Segundo Tassini (2012), os sistemas de refrigeração funcionam com base em ciclos termodinâmicos que envolvem a transferência de calor de um ambiente de baixa temperatura para um ambiente de alta temperatura. Entre os ciclos mais comuns, destacam-se o ciclo de compressão de vapor, o ciclo de absorção e o ciclo de resfriamento termo eletromecânico. Cada um desses ciclos possui características específicas, vantagens e limitações, que devem ser analisadas para determinar a melhor aplicação de acordo com as necessidades específicas de refrigeração.

De acordo com Afonso (2012), os fundamentos termodinâmicos que regem os sistemas de refrigeração, abordando os princípios básicos, os principais componentes e os ciclos operacionais. Serão analisados os parâmetros de desempenho, como o Coeficiente de Performance (COP) e a eficiência exérgica, além de aspectos relacionados à seleção de refrigerantes. Por fim, serão discutidas as tendências tecnológicas e inovações no campo da refrigeração, visando a melhoria contínua da eficiência.

O objetivo geral deste artigo é proporcionar uma compreensão aprofundada e detalhada dos princípios termodinâmicos aplicados aos sistemas de refrigeração. Pretende-se que os engenheiros, pesquisadores e profissionais da área adquiram conhecimentos sólidos que os capacitem a implementar soluções mais eficientes e sustentáveis em projetos e operações de sistemas de refrigeração.

2. ASPECTOS GERAIS DA REFRIGERAÇÃO

Segundo Stoecker e Jabardo (2018), os aparelhos destinados a promover a refrigeração, conhecidos como refrigeradores, operam através de ciclos de refrigeração. Atualmente, o ciclo de refrigeração mais amplamente utilizado é o ciclo de compressão de vapor. Nesse processo, o fluido refrigerante passa por fases alternadas de condensação e vaporização, sendo comprimido enquanto se encontra na fase de vapor.

De acordo com Tassini (2012), a refrigeração é um processo essencial em diversas áreas, desde a conservação de alimentos até a manutenção de equipamentos eletrônicos. Este sistema envolve a transferência de calor de um ambiente para outro, utilizando fluidos refrigerantes e dispositivos como compressores e evaporadores. Além de manter temperaturas adequadas, a refrigeração também é fundamental para controlar a umidade e preservar a qualidade de produtos perecíveis.

Conforme Stoecker e Jabardo (2018), os sistemas de refrigeração são projetados de acordo com as necessidades específicas de cada aplicação, variando em tamanho, capacidade e eficiência energética. Eles podem ser encontrados em residências, estabelecimentos comerciais, indústrias e veículos, desempenhando um papel crucial na vida moderna. Com o avanço da tecnologia, novas técnicas e materiais estão sendo desenvolvidos para tornar os sistemas de refrigeração mais sustentáveis e econômicos.

Segundo Tassini (2012), um aspecto importante da refrigeração é o ciclo termodinâmico pelo qual o fluido refrigerante passa, alternando entre os estados líquido e gasoso



para absorver e dissipar calor. Este processo é regido por princípios físicos fundamentais, como a lei da conservação da energia e as propriedades termodinâmicas dos materiais. A compreensão desses conceitos é essencial para o projeto, operação e manutenção eficientes de sistemas de refrigeração.

Os compressores de parafuso são amplamente utilizados em sistemas de refrigeração que exigem uma grande carga térmica. Isso se deve ao fato de combinarem dimensões externas compactas com alta capacidade, operando em alta rotação devido à ausência de válvulas de admissão e descarga. A figura 1 mostra um exemplo de compressor de parafuso (Pereira, 2020).



Figura 1. Compressor Parafuso

Fonte: Mendes (2014)

De acordo Pereira (2020), os compressores são essenciais para fornecer a energia necessária ao ciclo de refrigeração. Esta energia é recebida de um motor elétrico acoplado ao compressor e transferida ao fluido refrigerante, convertendo-a em energia térmica. Compressores consomem aproximadamente 70% da energia elétrica em sistemas de refrigeração.

Segundo Boa (2012), no sistema de refrigeração, uma das funções dos compressores é remover o vapor do fluido refrigerante do evaporador por meio de sucção, mantendo a pressão adequada para a temperatura de evaporação desejada. Outra função é comprimir este gás, elevando a pressão do vapor para garantir a circulação do fluido pelo sistema. A pressão é aumentada até que a quantidade de calor retirada no condensador transforme o fluido em estado líquido.

De acordo com Venturini e Pirani (2015), a capacidade da instalação, determinada pelo fluido refrigerante escolhido e pela temperatura de vaporização, define o tipo de compressor a ser utilizado. Em indústrias que utilizam sistemas de refrigeração, os tipos de com-

pressores mais comuns são os alternativos e os de parafuso.

As principais partes de um compressor de parafuso são os dois rotores em espiral, denominados rotor macho e rotor fêmea, que possuem diferentes números de lóbulos. Na configuração mais comum, o rotor macho tem quatro lóbulos e o rotor fêmea possui seis. Esses rotores são montados em mancais, que fixam suas posições na câmara de operação. O rotor macho é convexo, enquanto o rotor fêmea é côncavo (Morosi, 2015).

3. REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

A refrigeração industrial desempenha um papel vital em uma variedade de setores, desde a produção de alimentos e bebidas até a fabricação de produtos químicos e farmacêuticos. Esses sistemas são projetados para atender a demandas de grandes escalas, garantindo a conservação de produtos, o funcionamento eficiente de equipamentos e a segurança dos processos industriais (Morosi, 2015).

De acordo com Boa (2012), uma das características distintivas da refrigeração industrial é a utilização de equipamentos robustos e de alta capacidade, como compressores industriais, trocadores de calor de grande porte e sistemas de controle avançados. Esses componentes são projetados para lidar com grandes volumes de calor e manter temperaturas estáveis em ambientes de produção complexos,

Além de garantir a qualidade e a segurança dos produtos, a refrigeração industrial também desempenha um papel importante na redução do desperdício e no aumento da eficiência energética. A otimização dos sistemas de refrigeração, juntamente com práticas de gestão de energia, pode resultar em economias significativas de recursos e custos operacionais para as indústrias (Rabelo, 2017).

Na indústria química e de processos, é comum a utilização de sistemas de refrigeração de grande porte. Diversas operações requerem refrigeração, tais como a separação de gases, a condensação de gases, a solidificação de componentes químicos de uma mistura para separá-los, a manutenção de líquidos em baixa temperatura para controle da pressão em recipientes de armazenamento e a remoção de calor gerado por reações (Rabelo, 2017).

De acordo com Afonso (2012), o armazenamento refrigerado de alimentos preserva suas características, enquanto a refrigeração é usada para processar alimentos como queijos, cervejas, vinhos e sucos cítricos. Na produção de queijo, a refrigeração é essencial durante o processo de cura, variando entre 10°C e 20°C.

A condensação pode ser realizada através da refrigeração seguindo um ciclo frigorífico, onde o calor rejeitado na condensação pode ser aproveitado no processo de concentração do suco, conforme mostrado na Figura 2. O circuito frigorífico ilustrado opera removendo calor do condensador de vapor e transferindo-o para o vaporizador (concentrador), agindo como uma bomba de calor (Caldeira, 2018).

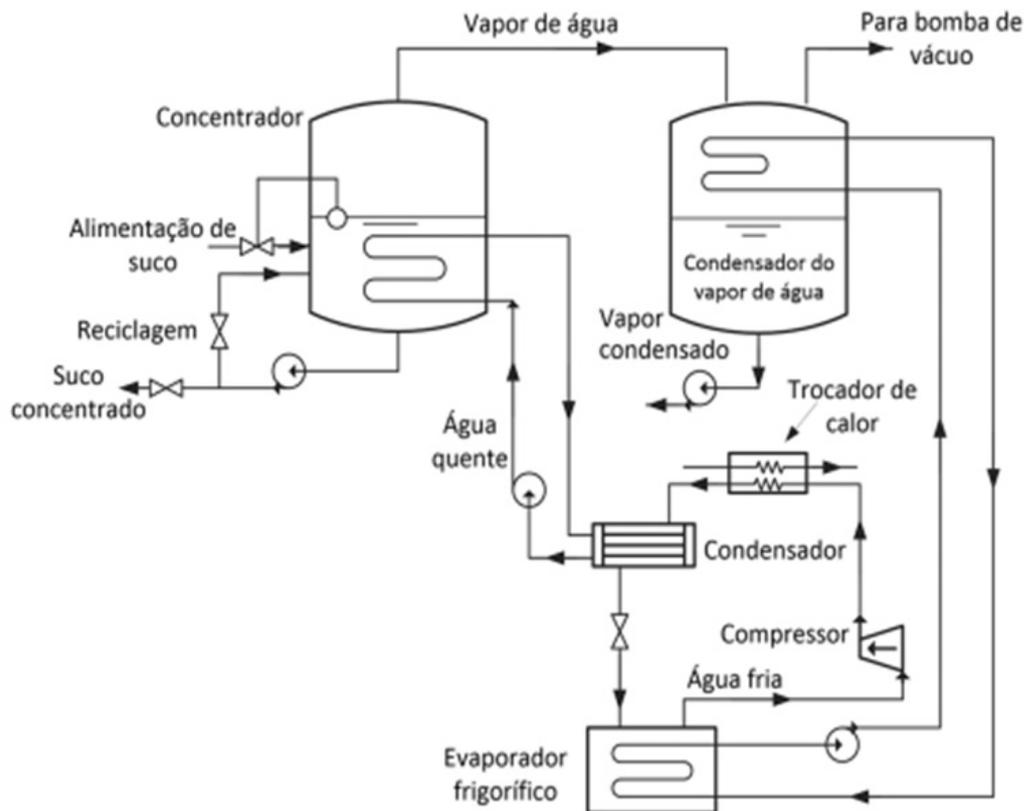


Figura 2. Circuito Frigorífico

Fonte: Caldeira (2018).

De acordo com Morosi (2015), a quantidade de energia removida no condensador de vapor é praticamente a mesma que deve ser fornecida no concentrador. Sob estas condições, o calor removido no evaporador do circuito frigorífico é equivalente ao calor rejeitado no condensador do mesmo circuito, menos a potência de compressão. Para lidar com o excesso de calor gerado pela compressão, foi instalado um trocador de calor na descarga do compressor.

Conforme Rabelo (2017), outro método para remover a água a baixas temperaturas envolve congelar o produto e depois reduzir a pressão, permitindo que a água seja removida por sublimação do gelo, através de um aquecimento gradual do congelado. Este processo é conhecido como secagem por congelamento (*freeze-drying*) e requer a remoção do vapor formado, que pode ser realizada por meios mecânicos, como ejetores de vapor, ou pela condensação do vapor seguida pela remoção do líquido.

3.1 R-744: Uma Solução Ecológica e Prática para Sistemas de Refrigeração

Segundo Loureiro (2019), o dióxido de carbono (CO₂) tem se destacado como um gás refrigerante ecológico devido às suas propriedades naturais não tóxicas, não inflamáveis e seu baixo impacto na camada de ozônio, além de possuir um efeito estufa diretamente extremamente baixos. Com as restrições cada vez mais rigorosas sobre os HCFCs e HFCs, o CO₂ surge como uma solução responsável para o meio ambiente, derivado principalmente de processos industriais de reciclagem.

Conforme Rabelo (2017), o refrigerante primário para sistemas de ciclo sub-crítico, es-

pecialmente utilizados em baixas temperaturas no sistema cascata (-35°C a -55°C), apresenta diversas características vantajosas. Com um alto Coeficiente de Performance (COP) para sistemas abaixo de -35°C , oferece eficiência energética significativa. Além disso, seu deslocamento volumétrico é até 10 vezes menor que o do R-717, o que resulta em linhas mais finas e evaporadores menores, proporcionando economia de espaço e redução de custos de instalação.

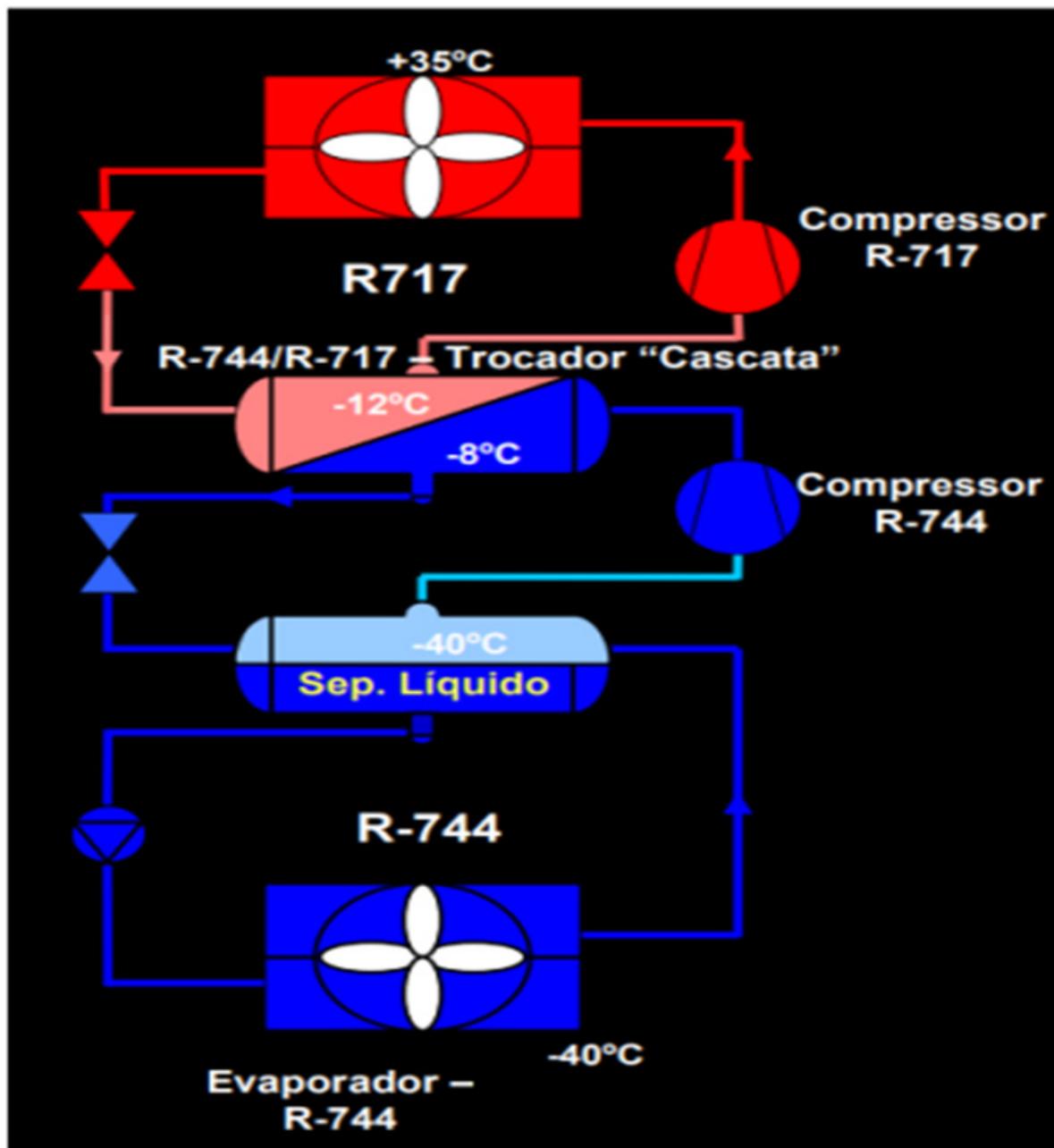


Figura 3. Sistema evaporadores

Fonte: Rabelo (2017)

Em termos de segurança, possui baixa toxicidade (classificação A1 conforme ASHRAE-34) e é não inflamável, garantindo um ambiente de trabalho seguro. Apesar de sua alta pressão operacional (40 - 52 bar em ciclos sub-críticos), novas tecnologias na concepção do sistema têm sido desenvolvidas para lidar eficazmente com essa característica (Megodouli, 2017).

Baroni (2013), outra vantagem prática do CO_2 é a sua forma de armazenamento em

garrafas equipadas com válvulas de dupla saída. Essas válvulas permitem a extração segura do produto em fase gasosa ou líquida, conforme necessário para diferentes aplicações. Esta embalagem única facilita a gestão de estoques e reduz o número de transportes necessários, eliminando a necessidade de manobras complexas para obtenção das duas fases de gás, o que é uma vantagem decisiva em comparação com outros produtos semelhantes no mercado.

De acordo com Silva (2017), uma consideração importante é sua inodora, o que significa que em caso de vazamento, não há alarme pelo odor. Isso ressalta a necessidade de sistemas de detecção de vazamento eficazes. Além disso, apresenta alta solubilidade com água, o que pode influenciar os procedimentos de manuseio e tratamento de água no sistema de refrigeração (Silva, 2017).

3.2 Sistemas multipressão

Silva (2017), o sistema multipressão é um sistema de refrigeração, por compressão de vapor, que possui dois ou mais níveis de baixa pressão. Entende-se por baixa pressão aquela reinante entre o dispositivo de expansão e da sucção do compressor. Um sistema multipressão pode ser encontrado, por exemplo, em uma indústria de laticínios, onde um evaporador opera a -35°C para produzir sorvetes, enquanto outro evaporador opera a 2°C para resfriar leite

Por outro lado Mendes (2014), o aplicação típica poderia ser um processo industrial no qual um arranjo de dois ou três estágios de compressão serve um evaporador com temperaturas abaixo de -20°C . A Figura 3 mostra um sistema típico de refrigeração multipressão com dois estágios de compressão de vapor, utilizado em matadouro-refrigerífico, cujo refrigerante é a amônia.

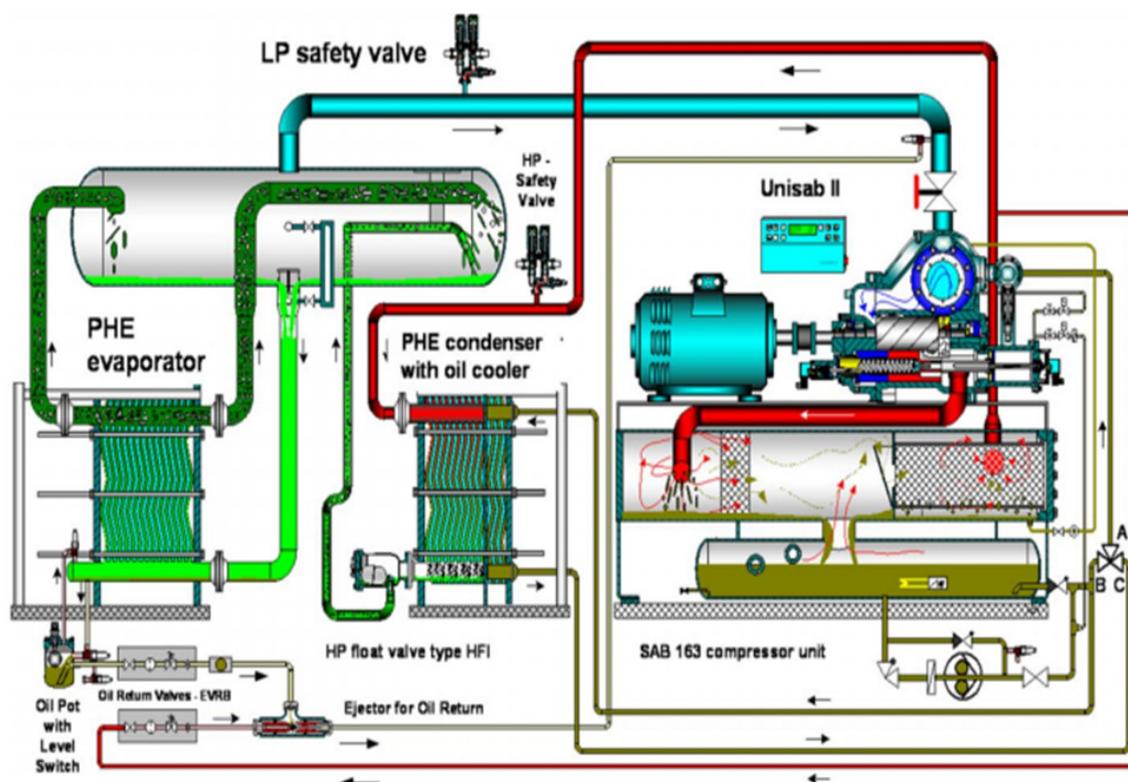


Figura 4. Unidade Resfriadora de Líquido – Chiller

Fonte: Silva (2017)

De acordo com Vilela (2016), o refrigerante na descarga do compressor no estágio de alta pressão. Temperaturas elevadas podem resultar na carbonização do óleo, formação de goma nas válvulas de admissão e descarga do compressor, além de dificultar a lubrificação em compressores alternativos. Ao implementar o resfriamento intermediário entre estágios de compressão, é possível também reduzir a potência requerida, especialmente quando o refrigerante utilizado é a amônia.

Segundo Loureiro (2019), entretanto, para outros refrigerantes, a potência necessária pode aumentar, ainda que a temperatura do fluido frigorífico na descarga do compressor seja sempre menor. Este controle térmico adicional ajuda a prevenir problemas operacionais, prolongando a vida útil dos equipamentos e garantindo a eficiência do sistema de refrigeração.

Conforme Baroni (2013), o resfriamento intermediário não apenas melhora a eficiência energética do sistema, mas também assegura uma operação mais segura e confiável dos compressores. A manutenção de temperaturas mais baixas na descarga do compressor é essencial para evitar a degradação do óleo e outros componentes críticos, contribuindo para o desempenho ideal do sistema de refrigeração.

4. EFICIÊNCIA E OPERAÇÃO DE TORRES DE RESFRIAMENTO E CONDENSADORES EVAPORATIVOS

Conforme Vilela (2016), as torres de resfriamento são instaladas para resfriar a água por contato com o ar atmosférico, utilizando a evaporação de uma pequena parte da água para transferir calor ao ar que passa em contracorrente, geralmente de maneira forçada. A evaporação é facilitada pelo ar, que aumenta a taxa de evaporação, pois a água e o ar tendem a entrar em equilíbrio.

Parreira (2017), durante a evaporação, o calor é utilizado, representando cerca de 80% do resfriamento da água restante, que não evapora. Isso ocorre porque as moléculas com maior energia evaporam, deixando para trás moléculas com menor energia cinética média, diminuindo assim a temperatura da água.

No entanto, essas torres são mais suscetíveis a falhas e apresentam custos de operação e manutenção mais elevados devido ao consumo de energia pelos ventiladores. Além disso, geram mais ruído e vibrações. As torres de tiragem mecânica podem ser classificadas em dois tipos: forçadas ou induzidas (Vilela, 2016).

Loureiro (2019), nas torres de tiragem mecânica forçada, os ventiladores estão posicionados na entrada de ar. Esse tipo é mais eficiente do que as torres de tiragem mecânica induzida, pois movimentam ar frio, que é mais denso e, portanto, desloca um maior volume. Além disso, a manutenção é facilitada pelo fato de os ventiladores estarem no nível do solo.





Figura 5. Torres de resfriamento e condensadores evaporativos com ventiladores axiais

Fonte: Adaptado Mendes (2014)

Rabelo (2019), as torres de resfriamento não precisam necessariamente de enchimento, mas este é importante porque aumenta a eficiência do equipamento. O enchimento acelera a dissipação de calor ao criar uma superfície úmida, aumentando o tempo de contato entre a água e o ar.

Caldeira et al. (2018), os outros 20% do resfriamento são devidos à diferença de temperatura entre o ar e a água. Quando a temperatura de bulbo úmido (TBU) do ar é menor que a temperatura da água, a água transfere energia para o ar, aumentando a entalpia deste por meio de calor sensível. Conseqüentemente, a temperatura de saída da água tende ao valor da TBU. Dessa forma, a água na bacia pode ser reutilizada para resfriamento, sendo reciclada através de bombas.

Boa (2012), afirma que torres de tiragem mecânica utilizam ventiladores para controlar a entrada de ar, tornando-as mais compactas e reduzindo tanto a altura quanto a potência necessária para bombeamento. Elas ocupam pouca superfície, não dependem do vento, permitem um controle mais preciso da temperatura da água fria, e podem alcançar temperaturas de aproximação de 1 °C a 2 °C.

Stoecker e Jabardo (2018) afirmam que quando se utiliza enchimento de respingo, é necessário também usar eliminadores de gotas, que retêm as gotas arrastadas pelo ar devido às mudanças bruscas na direção deste. Os eliminadores de gotas devem ser feitos de materiais resistentes à corrosão e erosão, como plásticos e metais. Eles são fundamentais para reduzir as perdas de água, diminuir a formação de névoa e direcionar o fluxo de ar.

4.1 Condensadores Evaporativos

Os condensadores evaporativos são componentes essenciais em sistemas de refrigeração industrial, desempenhando um papel crucial na dissipação de calor. Esses condensadores operam utilizando o princípio da evaporação da água para remover o calor do sistema (Baroni, 2013).

De acordo com Pereira (2020), a refrigeração industrial, os condensadores evaporativos são frequentemente empregados em conjunto com torres de resfriamento. Água quente proveniente do processo de refrigeração é pulverizada na parte superior da torre, onde entra em contato com o ar exterior. Esse ar, ao entrar em contato com a água quente, provoca a evaporação parcial da água, retirando calor do líquido e reduzindo sua tempera-

tura. O ar resfriado é então expelido para o ambiente externo



Figura 6. Condensadores evaporativos operando em paralelo com diferentes perdas de carga

Fonte: Adaptado Mendes (2014)

Pereira (2020) explica que a água evaporada é continuamente repostada, enquanto a água resfriada é recolhida na parte inferior da torre e recirculada no sistema de refrigeração. Este processo de resfriamento evaporativo permite que os condensadores mantenham uma temperatura adequada para a condensação do refrigerante, aumentando assim a eficiência global do sistema de refrigeração.

Baroni (2013) destaca que os condensadores evaporativos são altamente eficientes em ambientes onde as temperaturas externas são elevadas, proporcionando uma forma econômica e sustentável de dissipar calor. Além disso, sua operação é geralmente mais eficiente em comparação com outros tipos de condensadores, tornando-os uma escolha popular em aplicações industriais que demandam alta capacidade de refrigeração.

Gómez Martínez (2014) observa que a substituição dos ventiladores centrífugos por axiais em condensadores evaporativos ou torres de resfriamento é uma melhoria significativa em termos de eficiência energética. Os ventiladores axiais tendem a consumir menos energia elétrica para operar, o que reduz os custos operacionais e pode contribuir para uma pegada de carbono mais baixa.

Pereira (2020) menciona que, no entanto, os ventiladores axiais são mais propensos à recirculação de ar quente se um deles estiver parado. Isso pode levar a uma diminuição na eficiência do sistema de resfriamento, especialmente em condições de carga alta ou em dias mais quentes. Portanto, é importante garantir que todos os ventiladores estejam operando adequadamente para maximizar a eficiência do sistema.

Baroni (2013) acrescenta que a substituição dos ventiladores pode não alterar a capacidade dos equipamentos, mas pode afetar a distribuição do fluxo de ar dentro da unidade. Isso pode exigir ajustes no projeto ou na configuração do sistema para garantir que o resfriamento seja uniforme e eficaz em todas as áreas.

Os inversores de frequência têm sido uma escolha frequente em diversas unidades fabris, encontrando aplicação tanto em ventiladores quanto em bombas. Isso se deve à capacidade desses dispositivos de aproveitar as características de torque quadrático presentes nesses equipamentos (Silva, 2017).



Figura 7. Boias e no ladrão para aumentar a eficiência das torres de resfriamento

Fonte: Adaptado Mendes (2014)

Silva (2017) destaca que a adoção de inversores de frequência em torres de resfriamento permite uma regulação mais precisa e eficiente do sistema de resfriamento. Ao ajustar a frequência de operação das bombas, é possível controlar com maior precisão a quantidade de líquido refrigerante circulante, otimizando assim o processo de resfriamento. Além disso, o uso desses dispositivos contribui para reduzir o consumo de energia, uma vez que o torque quadrático dos equipamentos é melhor explorado.

Mendes (2014) corrobora essa visão, afirmando que a aplicação de inversores de frequência em bombas de torres de resfriamento representa uma estratégia inteligente para melhorar a eficiência energética e o controle operacional dos sistemas de refrigeração industrial. Ao aproveitar as características específicas de torque dos equipamentos e modular sua operação conforme a demanda, as empresas podem alcançar ganhos significativos em termos de desempenho e economia de energia.

Silva (2017) explica que um sensor monitora constantemente a temperatura na bacia das torres de resfriamento. Em um processo lógico, o sistema compara o valor do ponto de ajuste (set point) com a temperatura real da bacia. Se a temperatura real exceder o ponto de ajuste, a velocidade dos ventiladores equipados com inversores de frequência é aumentada. Quando esses ventiladores atingem 100% de sua capacidade, um temporizador é acionado e o próximo equipamento na fila é ativado.

Mendes (2014) aponta que, se a temperatura real da bacia for menor que o ponto de ajuste, a velocidade dos ventiladores é reduzida. Se a velocidade atingir o mínimo de 50%, outro temporizador é acionado e os ventiladores de uma das torres de resfriamento são desligados. Todos os equipamentos operam na mesma velocidade para garantir uma condensação uniforme dentro e entre as torres, aproveitando as características de torque quadrático dos ventiladores.

5. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA REFRIGERAÇÃO

De acordo com Venturini e Pirani (2015), o ciclo de refrigeração começa no compressor, onde o vapor do fluido refrigerante é comprimido. Essa ação aumenta tanto a pressão quanto a temperatura do refrigerante, transformando-o em um vapor superaquecido. O compressor desempenha um papel crucial ao elevar a pressão do refrigerante, permitindo que ele circule pelo sistema.

Segundo Da Costa (2017), o vapor superaquecido é então direcionado para o condensador, onde ocorre a troca de calor com um meio externo, normalmente o ar ambiente ou um sistema de resfriamento de água. Neste estágio, o calor é removido do refrigerante, fazendo com que ele condense e mude de fase, tornando-se líquido. Esse processo libera uma quantidade significativa de calor para o ambiente circundante.

Conforme Da Costa (2017), o líquido refrigerante de alta pressão e alta temperatura é encaminhado para uma válvula de expansão, onde sua pressão é drasticamente reduzida. Isso causa uma rápida expansão do fluido, resultando em uma diminuição de temperatura e pressão, preparando-o para entrar no evaporador. No evaporador, o líquido refrigerante de baixa pressão e baixa temperatura entra em contato com o ar ou outra substância a ser resfriada. À medida que absorve calor do ambiente ou do objeto, ele evapora, voltando ao estado de vapor. Essa absorção de calor faz com que o ambiente ou o objeto esfriem significativamente.

Finalmente, de acordo com Campos (2017), o vapor resultante do processo de evaporação é devolvido ao compressor, onde o ciclo de refrigeração se inicia novamente. Esse processo contínuo permite manter ambientes e objetos na temperatura desejada, tornando a refrigeração uma parte essencial de muitos sistemas de climatização e refrigeração.

Essencialmente, de acordo com Campos (2017), o ciclo de refrigeração a vapor permite a transferência de calor de uma área de baixa temperatura (o espaço ou substância a ser resfriada) para uma área de alta temperatura (o ambiente externo). Esse processo é fundamental para manter ambientes confortáveis em sistemas de ar condicionado e também para manter produtos perecíveis resfriados em sistemas de refrigeração industrial.

5.1 Ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor

De acordo com Silva (2009), a refrigeração por absorção ocorre devido à afinidade química entre certos fluidos refrigerantes e absorventes. Nesse processo, o vapor é absorvido por uma solução absorvente líquida, resultando em uma solução líquida rica em refrigerante. Posteriormente, essa solução pode ser pressurizada por meio de uma bomba, e o refrigerante é separado por meio de destilação.

Stoecker e Jabardo (2018) afirmam que o ciclo de Carnot é reconhecido como o ciclo de maior eficiência térmica possível e se destaca por ser um ciclo ideal, reversível, que opera entre dois níveis de temperatura. Ele fornece uma abordagem simplificada para avaliar o impacto das temperaturas de operação.

Ainda segundo Stoecker e Jabardo (2018), o ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor é definido como um ciclo no qual os processos são mais próximos aos do ciclo real. Essa abordagem facilita a comparação entre o ciclo real e o ciclo teórico, permitindo uma análise mais eficiente do desempenho quando ambos operam em condições semelhantes.

Segundo Toigo (2017), o ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor envol-



ve quatro processos principais: compressão isentrópica, condensação isobárica, expansão isentálpica e evaporação isobárica. Inicialmente, o refrigerante entra no compressor como vapor saturado a baixa pressão e é comprimido adiabaticamente, aumentando sua temperatura e entalpia.

Pereira (2020), o refrigerante vaporizado e superaquecido é resfriado a pressão constante no condensador, liberando calor e se condensando em líquido saturado. Posteriormente, o líquido saturado passa pela válvula de expansão, onde sua pressão e temperatura diminuem rapidamente sem troca de calor, resultando em uma mistura de líquido e vapor a baixa pressão.

Mendes (2014), relata no diagrama de pressão-entalpia, esses processos são representados por diferentes linhas. A compressão isentrópica é visualizada como um aumento vertical na entalpia com aumento de pressão. A condensação isobárica é um decréscimo horizontal na entalpia a pressão constante, refletindo a liberação de calor e a mudança de fase de vapor para líquido.

A expansão isentálpica aparece como uma linha vertical ou quase vertical, indicando a queda rápida de pressão sem alteração na entalpia. A evaporação isobárica é um aumento horizontal na entalpia a pressão constante, representando a absorção de calor e a evaporação do refrigerante (Silva, 2017).

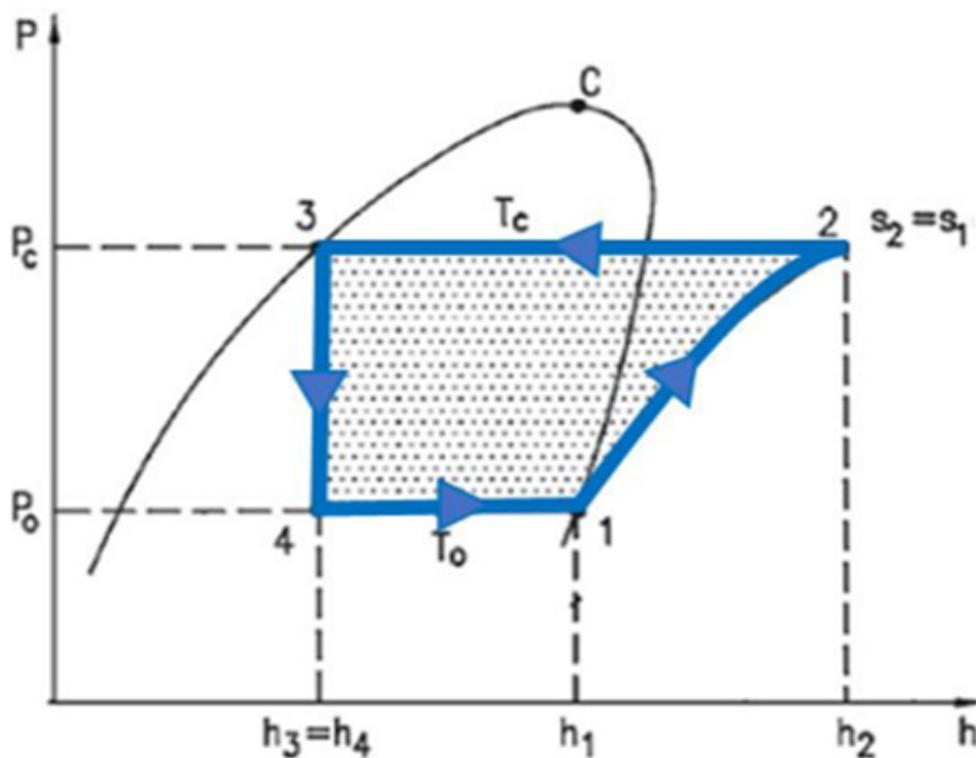


Figura 8. Ciclo teórico de refrigeração

Fonte: Pereira (2020)

Embora tenha semelhanças com o ciclo de Carnot, o ciclo de refrigeração por compressão de vapor difere em vários aspectos práticos. No ciclo de Carnot, a compressão e a expansão são isotérmicas e adiabáticas, enquanto no ciclo de compressão de vapor a compressão é isentrópica. Além disso, o ciclo teórico de compressão de vapor envolve processos isobáricos de condensação e evaporação, ao contrário do ciclo de Carnot (Pereira, 2020).

Kerme et al. (2017) destacam que, embora os sistemas de resfriamento por absorção de vapor necessitem de um maior investimento inicial e tenham um coeficiente de desempenho inferior ao de sistemas que utilizam compressão de vapor, eles estão se tornando mais atraentes. Isso se deve ao fato de suas forças motrizes poderem utilizar energias de baixo custo, como energia solar térmica ou calor residual de processos industriais. Esses sistemas também apresentam custo de manutenção reduzido e elevada vida útil.

Considerando a elevação no consumo energético da sociedade e a notória limitação das fontes de energia atuais, a demanda por ações de eficiência energética apresenta-se como um caminho natural. Como os processos de climatização comercial são grandes consumidores de energia, uma demanda natural é o uso de tecnologias que tornem esses processos mais eficientes (Toigo, 2017).

5.2 Ciclo real de refrigeração

Os efeitos práticos que não são levados em conta no modelo ideal. Primeiramente, há a perda de pressão devido ao atrito do fluido refrigerante com as paredes da tubulação e durante sua passagem pelo condensador e pelo evaporador. O ciclo real também considera o superaquecimento na sucção do compressor, o que evita a entrada de líquido no compressor, e o sub-resfriamento do refrigerante na saída do condensador, melhorando a eficiência do dispositivo de expansão ao garantir que ele opere exclusivamente com líquido (Porto, 2017).

Além disso, o processo de compressão, que no ciclo teórico é considerado isentrópico, na prática é politrópico. Isso significa que a entropia do fluido na entrada do compressor é diferente da entropia na saída. Essas diferenças entre os ciclos teórico (representado em azul) e real (representado em vermelho) são ilustradas na Figura 9.

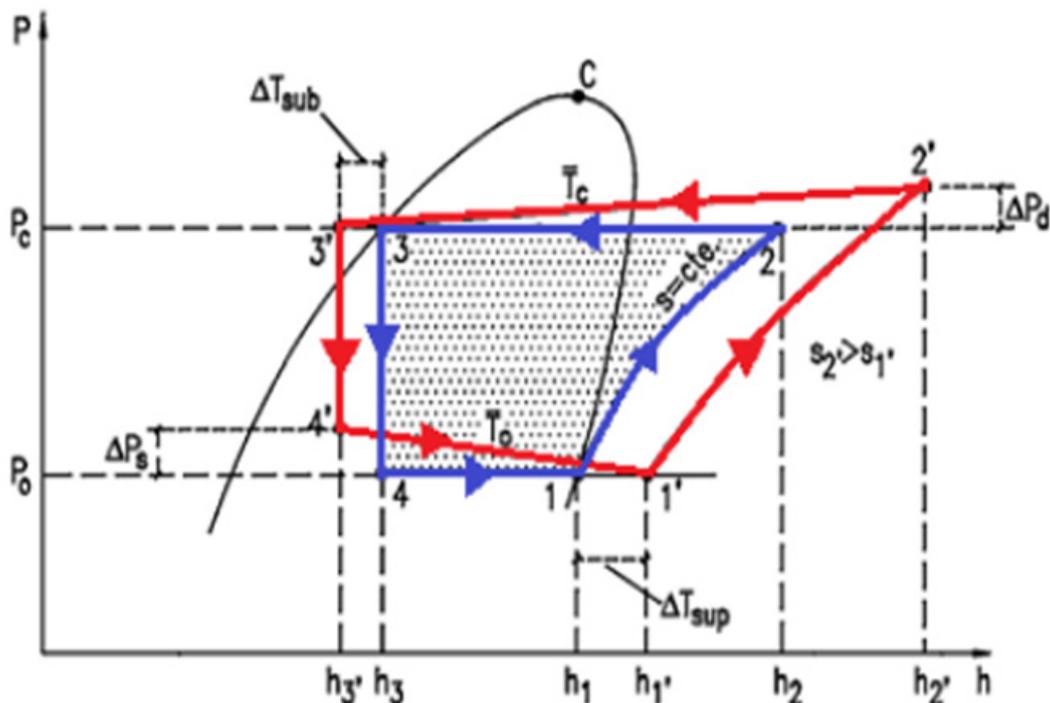


Figura 9. Diferenças entre o ciclo teórico e o real de refrigeração

Fonte: Adaptado de Venturini e Pirani (2015)

5.3 Coeficiente de Performance (COP)

Segundo Silva (2009), o ciclo de refrigeração começa com o processo de compressão, onde o vapor refrigerante é comprimido em um compressor, aumentando sua pressão e temperatura. Em seguida, o vapor de alta pressão é conduzido para o condensador, onde ocorre a liberação de calor para o ambiente circundante, resultando na condensação do vapor em líquido.

Conforme Silva (2017), após a condensação, o líquido de alta pressão é direcionado para a válvula de expansão, onde ocorre uma redução súbita da pressão, provocando uma diminuição significativa da temperatura e uma transformação do líquido em vapor de baixa pressão. Esse vapor então flui para o evaporador, onde absorve calor do ambiente a ser refrigerado, completando o ciclo.

Segundo Campos (2017), quanto aos pares de fluidos refrigerantes e absorventes, existem várias combinações disponíveis. Os mais comuns na refrigeração por absorção são os pares água-amônia e água-brometo de lítio. No par água-amônia, a água atua como absorvente e a amônia como refrigerante, enquanto no par água-brometo de lítio, a água assume o papel de refrigerante e uma solução de brometo de lítio é usada como absorvente.

Portanto, é possível aplicar esse processo com fluidos refrigerantes e absorventes que trabalham em conjunto, um responsável pela refrigeração e o outro pela absorção. Segundo Campos (2017), uma das razões para a crescente adoção da refrigeração por absorção na indústria é a alta demanda de energia dos sistemas de refrigeração por compressão.

Campos (2017) explica que o ciclo de absorção funciona da seguinte maneira: inicialmente, calor é fornecido ao gerador, onde a solução refrigerante-absorvente está em estado líquido. Esse aquecimento faz com que o fluido refrigerante evapore, deixando a solução com alto teor de absorvente. O vapor do fluido refrigerante é direcionado para o condensador, enquanto a solução com absorvente passa pela válvula redutora de pressão.

Segundo Campos (2017), o refrigerante condensado passa por uma válvula de expansão, onde a pressão é reduzida. Ao entrar no evaporador, o fluido refrigerante é capaz de resfriar. O vapor saturado é transferido de volta para o absorvedor, onde é absorvido pela solução, formando novamente uma solução líquida com alto teor de fluido refrigerante. Por fim, a bomba aumenta a pressão da solução, retornando-a para o gerador.

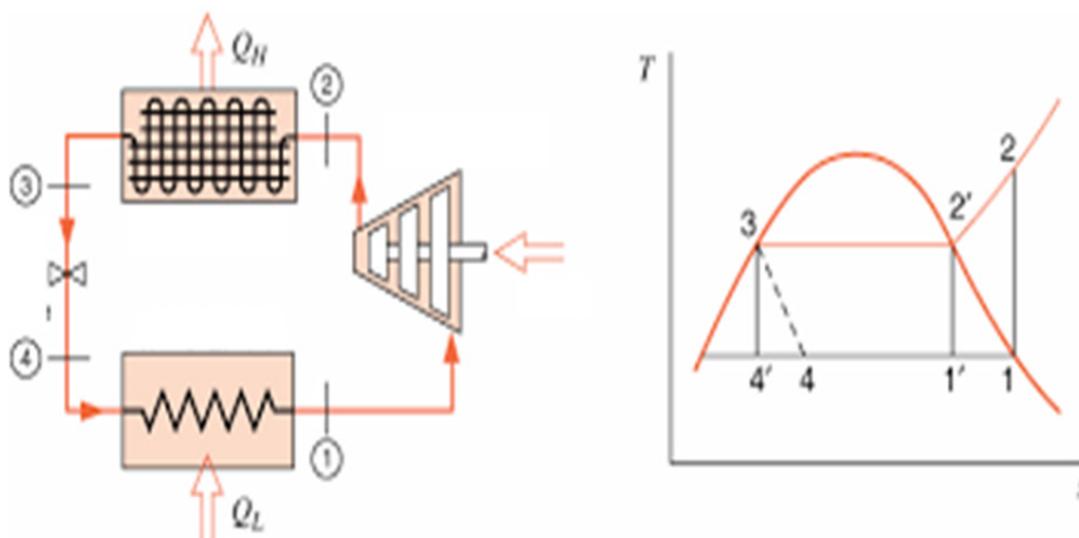


Figura 10. Sistema de refrigeração por compressão

Fonte: Campos (2017)

De acordo com Campos (2017), esse é o sistema mais amplamente utilizado na indústria, composto por quatro partes essenciais. Ele também esclarece o princípio de funcionamento desse sistema, destacando que o compressor eleva a pressão, temperatura e entalpia do vapor, transformando-o em vapor superaquecido, que é então direcionado para o condensador. No condensador, o calor é liberado, transformando o vapor em líquido.

5.4 Coeficiente de Performance (COP)

Venturini e Pirani (2015) observaram que o coeficiente de performance do ciclo (COP) é um parâmetro crucial que depende das temperaturas de condensação e evaporação do refrigerante. Eles explicaram que esse coeficiente varia entre o ciclo real e o ciclo ideal, sendo geralmente menor no ciclo real. Uma redução na temperatura de evaporação resulta em uma diminuição no COP.

Geniêr (2016) afirmou que a temperatura de condensação é um elemento chave no ciclo de refrigeração teórico, influenciando diretamente a eficiência do sistema. Geralmente, quanto mais baixa for a temperatura de condensação, mais eficiente será o sistema de refrigeração ou bomba de calor.

Da Costa (2017) ressaltou que o COP de um sistema de refrigeração ou bomba de calor é influenciado pela diferença de temperatura entre as temperaturas do ambiente e a temperatura de condensação. Quanto maior for essa diferença, maior será o COP.

Pauka (2016) destacou que temperaturas de condensação mais baixas podem resultar em melhorias no desempenho global do sistema, reduzindo as perdas de calor indesejadas ao redor do condensador e das tubulações de refrigerante. No entanto, é importante encontrar um equilíbrio entre a eficiência desejada e as restrições operacionais.

Ainda segundo Tassini (2012), o COP de aquecimento e refrigeração é utilizado para medir a eficiência de sistemas que podem fornecer calor e frio, como bombas de calor reversíveis. Ele representa a relação entre a quantidade total de energia térmica fornecida ou removida pelo sistema e a quantidade de energia elétrica consumida para realizar essas operações.

5.5 Sistemas de refrigeração em cascata com ejetores (SRCE)

Megdouli et al (2016), o sistema de refrigeração em cascata de simples estágio (SRCS) consiste em dois sistemas separados de ciclo de compressão de vapor, acoplados por meio de um condensador em cascata, conforme ilustrado na figura 11. Esses dois ciclos são conectados por um trocador de calor central, que atua como evaporador para o ciclo superior ou ciclo de alta temperatura (CAT) e como condensador para o ciclo inferior ou ciclo de baixa temperatura (CBT).

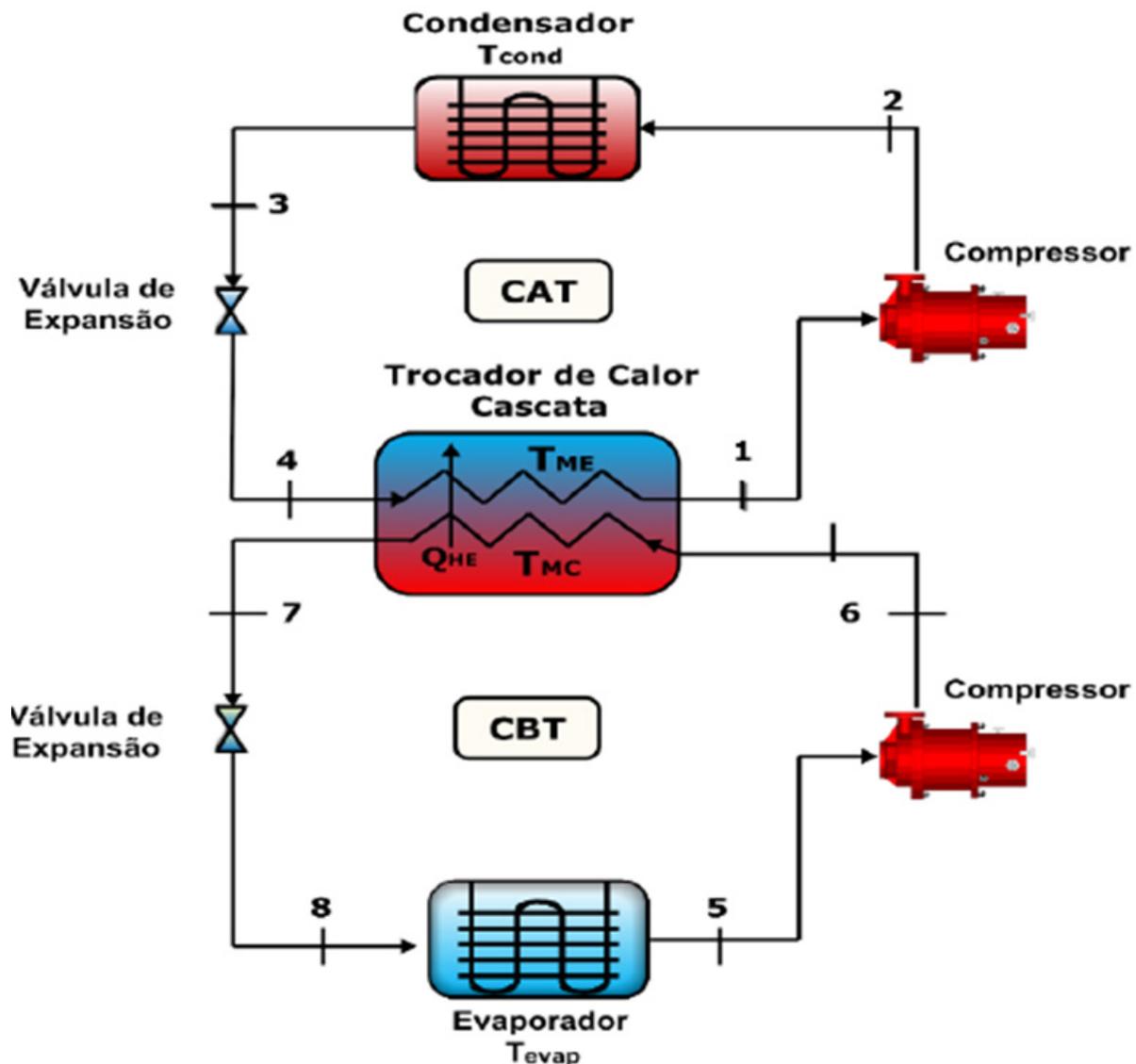


Figura 11. Sistema de refrigeração em cascata simples (SRCS)

Fonte: Massuchetto (2018),

Para contornar os problemas em processos que necessitam de baixas temperaturas de evaporação, é apropriado empregar sistemas de refrigeração em estágios, utilizando dois ou mais ciclos operando em série, conhecidos como ciclos em cascata. Sistemas de refrigeração em cascata (SRC) são amplamente utilizados em setores industriais como alimentos, farmacêuticos, e liquefação de petróleo, onde as temperaturas variam entre -30°C e -100°C (Megdouli *et al.*, 2016).

De acordo com Sachdeva, Jain e Kachhwaha (2014), no ciclo de refrigeração em cascata, é essencial haver uma diferença de temperatura entre os dois fluidos para que ocorra a transferência de calor. Esta diferença de temperatura é um parâmetro crucial no estudo do ciclo de refrigeração em cascata, pois influencia diretamente na determinação do coeficiente de desempenho.

Conforme Massuchetto (2018), como a temperatura de saturação do evaporador precisa ser mantida baixa em aplicações de sistemas de refrigeração em cascata (SRC), é fundamental também reduzir a pressão do condensador. Essa redução permite que o refrigerante entre em ebulição a temperaturas mais baixas, otimizando o desempenho do sistema. No entanto, esse processo pode levar a uma alta taxa de destruição de energia do

refrigerante antes de atingir o evaporador, impactando negativamente a eficiência global do sistema.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A termodinâmica aplicada aos sistemas de refrigeração é fundamental para a compreensão e otimização desses processos. Um sistema de refrigeração funciona com base no ciclo de compressão de vapor, que envolve a absorção de calor em um evaporador e a rejeição desse calor em um condensador. A eficiência do ciclo é medida pelo Coeficiente de Performance (COP), que é a razão entre o calor removido do espaço refrigerado e o trabalho realizado pelo compressor.

A escolha do fluido refrigerante é um dos fatores cruciais que influenciam a eficiência e o impacto ambiental dos sistemas de refrigeração. Refrigerantes tradicionais, como os clorofluorcarbonetos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs), têm sido gradualmente eliminados devido ao seu efeito nocivo na camada de ozônio e ao seu alto potencial de aquecimento global.

Além da seleção de refrigerantes, o projeto de componentes, como compressores, trocadores de calor e dispositivos de expansão, desempenha um papel vital na eficiência do sistema de refrigeração. Tecnologias avançadas, como compressores de velocidade variável, trocadores de calor de alta eficiência e controle eletrônico de expansão, têm demonstrado um potencial significativo para reduzir o consumo de energia.

A aplicação da termodinâmica aos sistemas de refrigeração também envolve uma análise profunda dos ciclos de operação e dos processos termodinâmicos envolvidos. Entender as perdas irreversíveis, como a entropia gerada por fricção e outras ineficiências, permite engenheiros identificar áreas para melhoria. A utilização de ferramentas de simulação e modelagem computacional permite a análise detalhada do comportamento termodinâmico do sistema, facilitando a concepção de sistemas mais eficientes e sustentáveis.

Referências

- AFONSO, Clito. **Termodinâmica para engenharia**. FEUP edições, 2012.
- BARONI, Luis Felipe Sverzut. **Utilização de alumínio recoberto por aspersão térmica em tubulação de condensadores evaporativos**. 2013.
- BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica**. Editora Blucher, 2018.
- CALDEIRA, Bruno Miguel Neutel et al. **Controlo avançado em instalações de frio industrial**. 2018. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- CAMPOS, Renner Augusto Toledo. **Análise Termodinâmica de um Sistema de Refrigeração por Absorção para Conforto Térmico de Ambientes**. Ilha Solteira, 2017.
- DA COSTA, Ennio Cruz. **Refrigeração**. Editora Blucher, 2017.
- GÓMEZ MARTÍNEZ, José Manuel. **Diseño y cálculo de condensadores evaporativos**. 2014.
- GUERESI, Andressa. **Análise de uma máquina de refrigeração industrial utilizando dois fluidos refrigerantes diferentes**. 2015.
- LOUREIRO, Ricardo Jorge Dias. **Projeto de um ciclo de refrigeração a CO₂ aplicado num supermercado**. 2019. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- MASSUCHETTO, Luiz Henrique Parolin. **Análise do desempenho termodinâmico de sistemas de refrigera-**



- ção em cascata utilizando misturas de refrigerantes contendo CO₂.** 2018. Tese de Doutorado. [sn].
- MEGDOULI, K. et al. Análise de desempenho de um ciclo combinado de compressão de vapor e ciclo ejetor para cogeração de refrigeração. **Revista Internacional de Refrigeração**, v. 74, p. 517-527, 2017.
- MENDES, Jair Eduardo Alves. **Eficiência energética aplicada na indústria de bebidas em sistemas de refrigeração e ar comprimido:** estudo de casos. 2014.
- MOROSI, Maurício Gonçalves. **Estudo e análise de sistemas de refrigeração industrial integrados a plantas de processo químico.** 2015.
- PAUKA, F. S. **Análise de Desempenho de um Ciclo Real de Refrigeração por Compressão de vapor** - UNIRV - Universidade de Rio Verde, Rio Verde - GO, Brasil, 2016.
- PEREIRA, Marcos Duran. **Análise da influência da vazão de água e vazão de ar na capacidade dos condensadores evaporativos em instalações frigoríficas industriais que utilizam amônia como fluido refrigerante.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 72936-72940, 2020.
- PORTO, Bernardo Sad; DOS SANTOS, Pedro Serrão. **Análise Comparativa Teórico e Experimental da Efetividade dos Trocadores de Calor de um Sistema de Refrigeração Automotiva por Ciclo de Compressão de Vapor.** 2017.
- REBELO, Rui Miguel Pinto Torres. **Uso de Fluidos Naturais em Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado.** 2017. Dissertação de Mestrado. Instituto Politecnico do Porto (Portugal).
- SILVA, Josinaldo Calixto da. **Análise Termodinâmica e de Transferência de Calor para Dimensionamento de um Sistema de Refrigeração por Absorção para Aplicações em Baixas Temperaturas Usando Gás Natural.** João Pessoa, 2009.
- SILVA, Marcos Santos da. **Automação para a melhoria na eficiência energética e redução no consumo de água das torres de resfriamento.** 2017.
- STOECKER, Wilbert F.; JABARDO, José Maria Sáiz. **Refrigeração industrial.** Editora Blucher, 2018.
- TASSINI, Jussara Oliveira. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial:** Estudo de caso. 2012.
- TOIGO, Éverton. **Desenvolvimento do projeto de uma bancada didática de refrigeração por compressão de vapor.** 2017.
- VILELA, Tatiana Filipa Grácio. **Otimização através de processos automatizados de funcionamento de sistemas de refrigeração em instalações industriais em função da previsão dos custos de energia.** 2016.



30

TECNOLOGIA DE MOTORES DOWNSIZING: SUSTENTABILIDADE
E PERSPECTIVAS FUTURAS NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA
ENGINE TECHNOLOGY DOWNSIZING: SUSTAINABILITY AND
FUTURE PERSPECTIVES IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Diego Carvalho Melo
Antônio Merval Mendes Tavares

Resumo

Este artigo visa apresentar a tecnologia de motores downsizing na indústria automobilística, com foco em seus princípios, eficiência, impacto ambiental e aplicabilidade em veículos híbridos, além de identificar tendências futuras para seu desenvolvimento e adoção. A metodologia empregada neste estudo consistiu em uma revisão bibliográfica de artigos científicos publicados entre 2020 e 2024, que abordam os aspectos fundamentais dos motores downsizing, suas características técnicas, eficiência energética e impacto ambiental. Além disso, foram analisadas pesquisas que exploram a integração desses motores em veículos híbridos e as tendências futuras na área. Os resultados revelam que os motores downsizing apresentam uma eficiência notável em comparação com os motores convencionais, proporcionando uma redução significativa no consumo de combustível e emissões de poluentes. Além disso, foi observado que esses motores demonstram uma viabilidade promissora em veículos híbridos, contribui assim para uma maior eficiência energética e redução das emissões. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que os motores downsizing representam uma importante inovação na indústria automobilística, oferecem uma solução eficaz para conciliar desempenho, eficiência e sustentabilidade. A integração desses motores em veículos híbridos mostra-se como uma estratégia viável para a redução do impacto ambiental e para o avanço em direção a uma mobilidade mais limpa e eficiente. As tendências futuras indicam uma crescente adoção desses motores, impulsionada pelo avanço tecnológico e pela necessidade de atender a regulamentações ambientais mais rigorosas.

Palavras-chave: Indústria automobilística. Motores de combustão. *Downsizing*.

Abstract

This article aims to present engine downsizing technology in the automobile industry, focusing on its principles, efficiency, environmental impact and applicability in hybrid vehicles, in addition to identifying future trends for its development and adoption. The methodology used in this study consisted of a bibliographical review of scientific articles published between 2020 and 2024, which address the fundamental aspects of downsizing engines, their technical characteristics, energy efficiency and environmental impact. In addition, research exploring the integration of these engines in hybrid vehicles and future trends in the area was analyzed. The results reveal that downsizing engines present remarkable efficiency compared to conventional engines, providing a significant reduction in fuel consumption and pollutant emissions. Furthermore, it was observed that these engines demonstrate promising viability in hybrid vehicles, thus contributing to greater energy efficiency and reduced emissions. Based on the results obtained, it was concluded that downsizing engines represent an important innovation in the automobile industry, offering an effective solution to combine performance, efficiency and sustainability. The integration of these engines in hybrid vehicles appears to be a viable strategy for reducing environmental impact and moving towards cleaner and more efficient mobility. Future trends indicate a growing adoption of these engines, driven by technological advancement and the need to meet stricter environmental regulations.

Keywords: Automotive industry. Combustion engines. Downsizing.

1. INTRODUÇÃO

A indústria automobilística tem sido historicamente impulsionada pelo desejo humano de mobilidade e velocidade. No entanto, esse avanço tecnológico muitas vezes ocorreu à custa de considerações ambientais e de eficiência energética. Nas últimas décadas, no entanto, um novo paradigma começou a emergir, com uma crescente preocupação com o impacto ambiental e a eficiência dos veículos.

Nesse contexto, os motores de combustão interna, que há muito tempo são o coração dos veículos automotores, têm sido alvo de intensa pesquisa e desenvolvimento. Uma das abordagens mais promissoras para enfrentar os desafios contemporâneos é a tecnologia de motores *downsizing*. Essa abordagem revolucionária busca reduzir o tamanho e o deslocamento dos motores, mantendo ou até mesmo melhorando seu desempenho e eficiência.

O presente artigo propõe uma análise abrangente da tecnologia de motores *downsizing* na indústria automobilística. Ao longo deste trabalho, investigou-se os princípios fundamentais dessa tecnologia, seus benefícios em termos de eficiência energética e redução de emissões, bem como sua relação com os veículos híbridos, que representam outra frente importante na busca por soluções sustentáveis para o transporte.

Assim, o objetivo geral do artigo corresponde a apresentar a tecnologia de motores *downsizing* na indústria automobilística, investigando sua eficiência, economia de combustível e impacto ambiental, bem como sua relação com veículos híbridos.

No que se refere aos objetivos específicos, são esses: a. Discutir os princípios e características da tecnologia de motores *downsizing*, incluindo sua definição, funcionamento e benefícios. b. Avaliar a eficiência dos motores *downsizing* em comparação com os motores convencionais, considerando aspectos como desempenho, consumo de combustível e emissões. c. Investigar o impacto ambiental dos motores *downsizing*, analisando sua contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos. d. Examinar a viabilidade e aplicabilidade dos motores *downsizing* em veículos híbridos, explorando sinergias entre essa tecnologia e sistemas de propulsão alternativos.

A compreensão dos motores *downsizing* é essencial não apenas para os engenheiros e projetistas de veículos, mas também para os formuladores de políticas públicas e os consumidores conscientes. Portanto, este artigo visa fornecer uma visão abrangente e atualizada sobre essa tecnologia inovadora, contribuindo para o avanço do conhecimento e para a promoção de práticas sustentáveis na indústria automobilística.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Para a realização da pesquisa implementou-se um levantamento bibliográfico em artigos e bases de dados acadêmicas, como *Web of Science*, *Scielo* e *Google Scholar*, utilizou-se os termos “*downsizing engines*”, “*compact engines*”, “*automotive industry*”, “*efficiency*”, “*emissions*”, “*hybrid vehicles*”, entre outros relacionados ao tema. A delimitação temporal, compreendeu o período dos últimos 5 anos para atender aos objetivos referentes às boas práticas de pesquisa. Outros filtros corresponderam ao uso das aspas, além da limitação da busca aos resumos dos artigos. Foram incluídos no corpus de análise so-



mente os artigos disponíveis na íntegra. Os artigos identificados foram avaliados quanto à relevância para o estudo, considerando critérios como ano de publicação, metodologia empregada, abordagem do tema e credibilidade das fontes. Assim, foram selecionados artigos que ofertaram informações pertinentes sobre a tecnologia de motores *downsizing*, sua eficiência, impacto ambiental e relação com veículos híbridos, visando responder aos objetivos da pesquisa.

2.2 Resultados e Discussão

2.2.1 Motores de combustão interna convencionais

Os motores de combustão interna têm sido a espinha dorsal da indústria automobilística por décadas, fornecendo a potência necessária para impulsionar veículos de todos os tipos. No entanto, à medida que as preocupações ambientais e de eficiência energética se tornam cada vez mais prementes, uma nova abordagem está ganhando destaque: o *downsizing* (DINIZ; BACARIN, 2020).

Os motores de combustão interna convencionais são sistemas mecânicos que convertem a energia térmica gerada pela queima de combustível em energia mecânica, impulsionando assim o movimento dos veículos. De acordo com Oliveira (2022), esses motores são amplamente utilizados na indústria automobilística devido à sua eficiência comprovada e à capacidade de proporcionar potência adequada para uma variedade de aplicações.

CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
Aplicação	Utilizados em automóveis, caminhões, locomotivas, aviões, embarcações, unidades de geração de energia e sistemas portáteis de energia.
Tipo de Construção do Motor	Motores alternativos (subdivididos pela disposição dos cilindros) ou motores rotativos.
Ciclo de Trabalho	Ciclos diesel ou otto de quatro tempos, admitindo ar atmosférico, comprimidos (misturas pré-comprimidas) ou turbocomprimidos (misturas comprimidas pelo compressor).
Disposição das Válvulas/Portas	Em motores de quatro tempos, válvulas no cabeçote; em motores de dois tempos, portas para entrada e saída de mistura e gases de exaustão.
Método de Preparação da Mistura	Por carburação, injeção de combustível direta ou indireta.
Ignição	Por centelha ou por compressão.
Tipo de Refrigeração	Utilização de água, ar, óleo, outros líquidos ou combinação destes.
Tipo de Combustível	Gasolina, óleo diesel, biodiesel, gás natural, gás liquefeito do petróleo, metanol, etanol, hidrogênio, bicompostíveis e multicompostíveis.

Tabela 1. Classificação dos motores de combustão interna

Fonte: Adaptado de Costa Melo (2014)

No que se refere a sua categorização quanto ao tipo de combustível observa-se o uso mais comum corresponde a motores a gasolina e motores a diesel, como observado por Yu (2021). Cada tipo possui características únicas em termos de ciclo de funcionamento,

combustível utilizado e aplicabilidade em diferentes contextos de uso.

Motores a gasolina são conhecidos por seu funcionamento com base no ciclo Otto, caracterizado pela ignição por centelha de uma mistura ar-combustível dentro da câmara de combustão. Segundo Gonçalves *et al.* (2020), esse ciclo é marcado por uma fase de admissão, durante a qual a mistura ar-combustível é aspirada para a câmara de combustão, seguida por uma fase de compressão, onde a mistura é comprimida pelo pistão. A ignição então ocorre por meio de uma vela de ignição, resultando em uma rápida expansão dos gases e no movimento do pistão, que impulsiona o funcionamento do motor.

Por outro lado, os motores a diesel operam com base no ciclo Diesel, que envolve a compressão adiabática do ar (que ocorre quando um gás sofre expansão ou compressão muito rapidamente, sem que haja tempo suficiente para transferências de calor), essa compressão acontece dentro da câmara de combustão até a temperatura de ignição do combustível diesel. Conforme descrito por Wolffenbüttel (2022), neste tipo de motor, apenas o ar é admitido na fase de admissão, e a compressão desse ar é suficiente para elevar sua temperatura a ponto de auto-ignição do diesel, sem a necessidade de uma vela de ignição. Esse processo resulta em uma combustão mais eficiente e uma maior eficiência térmica em comparação com os motores a gasolina.

Ambos os tipos de motores de combustão interna convencionais têm suas vantagens e desvantagens. Os motores a gasolina são geralmente mais adequados para aplicações de alta potência e alta rotação, enquanto os motores a diesel são mais eficientes em termos de consumo de combustível e adequados para aplicações de alta carga e torque, como veículos pesados e máquinas industriais, como ressaltado por Namar *et al.* (2021). No entanto, ambos os tipos de motores enfrentam desafios relacionados à eficiência energética, emissões de poluentes e dependência de combustíveis fósseis, impulsionando assim a busca por alternativas mais limpas e sustentáveis, como veículos elétricos e híbridos, como destacado por Sinigaglia (2022).

2.2.2 Downsizing

No que se refere a sua categorização quanto ao tipo de combustível observa-se o uso mais comum corresponde a motores a gasolina e motores a diesel, como observado por Yu (2021). Cada tipo possui características únicas em termos de ciclo de funcionamento, combustível utilizado e aplicabilidade em diferentes contextos de uso.

Motores a gasolina são conhecidos por seu funcionamento com base no ciclo Otto, caracterizado pela ignição por centelha de uma mistura ar-combustível dentro da câmara de combustão. Segundo Gonçalves *et al.* (2020), esse ciclo é marcado por uma fase de admissão, durante a qual a mistura ar-combustível é aspirada para a câmara de combustão, seguida por uma fase de compressão, onde a mistura é comprimida pelo pistão. A ignição então ocorre por meio de uma vela de ignição, resultando em uma rápida expansão dos gases e no movimento do pistão, que impulsiona o funcionamento do motor.

Por outro lado, os motores a diesel operam com base no ciclo Diesel, que envolve a compressão adiabática do ar (que ocorre quando um gás sofre expansão ou compressão muito rapidamente, sem que haja tempo suficiente para transferências de calor), essa compressão acontece dentro da câmara de combustão até a temperatura de ignição do combustível diesel. Conforme descrito por Wolffenbüttel (2022), neste tipo de motor, apenas o ar é admitido na fase de admissão, e a compressão desse ar é suficiente para elevar sua temperatura a ponto de auto-ignição do diesel, sem a necessidade de uma vela de



ignição. Esse processo resulta em uma combustão mais eficiente e uma maior eficiência térmica em comparação com os motores a gasolina.

Ambos os tipos de motores de combustão interna convencionais têm suas vantagens e desvantagens. Os motores a gasolina são geralmente mais adequados para aplicações de alta potência e alta rotação, enquanto os motores a diesel são mais eficientes em termos de consumo de combustível e adequados para aplicações de alta carga e torque, como veículos pesados e máquinas industriais, como ressaltado por Namar *et al.* (2021). No entanto, ambos os tipos de motores enfrentam desafios relacionados à eficiência energética, emissões de poluentes e dependência de combustíveis fósseis, impulsionando assim a busca por alternativas mais limpas e sustentáveis, como veículos elétricos e híbridos, como destacado por Sinigaglia (2022).

CARACTERÍSTICA	MOTOR TRADICIONAL	MOTOR DOWNSIZING
Tamanho	Maior	Menor
Consumo	Maior	Menor
Emissões	Maiores	Menores
Peso	Mais pesado	Mais leve
Tecnologia	Convencional	Avançada (turbo, injeção direta)
Potência	Estável	Mantida ou aumentada

Tabela 2. Comparativo motores tradicionais com motores downsizing

Fonte: Do autor (2024)

Assim, a tecnologia *downsizing* busca reduzir o tamanho e o deslocamento dos motores, mantendo ou até mesmo melhorando sua potência e eficiência. Isso é alcançado por meio de várias estratégias, como o uso de turbocompressores, injeção direta de combustível e sistemas de gerenciamento avançados. (TAVARES; FERMIANO; FONSECA, 2022).

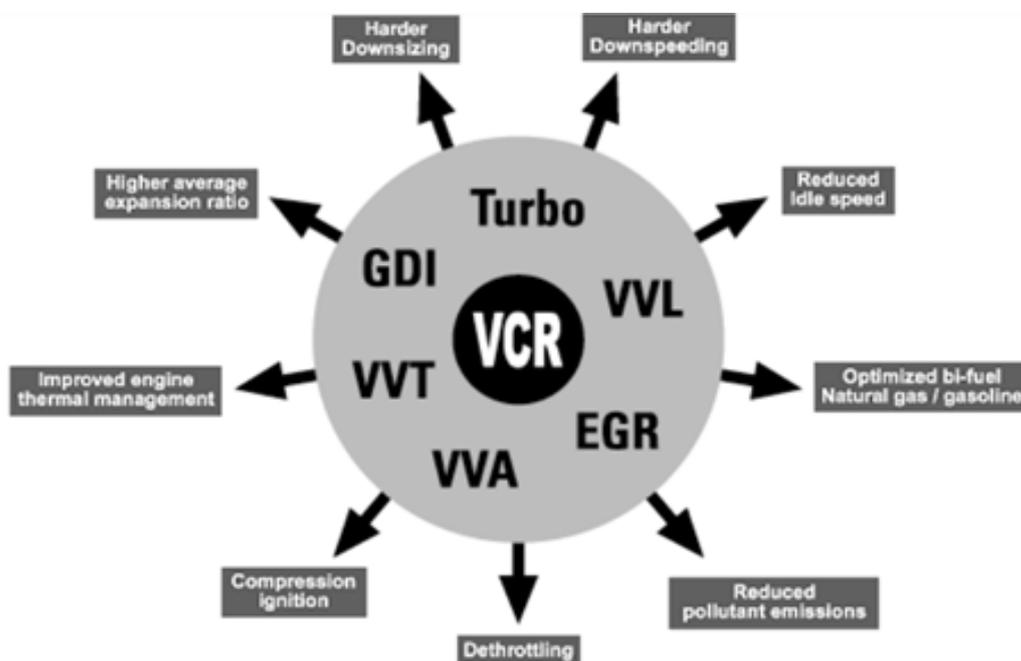


Figura 1. Tecnologias do downsizing

Fonte: MCE-5 VCRi (2024)

Ao discutir as tecnologias empregadas no downsizing, é possível incluir uma vasta gama de progressos que, ao longo dos anos, possibilitaram aprimorar a eficiência dos mo-

tores de combustão interna. No entanto, é possível destacar os mais relevantes, já que alguns desses avanços tiveram um impacto mais significativo.

A Figura 1 ilustra alguns dos progressos mais significativos no conceito de downsizing. De acordo com MCE-5 VCRi (2024), os benefícios primordiais do downsizing incluem: diminuição da rotação em ponto morto, otimização para a utilização de múltiplos tipos de combustível, redução na emissão de poluentes, potencial para aprimoramento dos motores de ignição por compressão, diminuição da temperatura operacional do motor e aumento das taxas de compressão, entre outros aspectos.

O *downsizing* é uma abordagem inovadora na indústria automobilística que visa reduzir o tamanho e o deslocamento dos motores, mantendo ou até mesmo melhorando sua potência e eficiência. Segundo Oliveira (2022), essa estratégia é baseada na maximização da eficiência volumétrica do motor, o que permite a produção de potência semelhante ou superior em cilindradas menores. Existem diversos tipos de motores *downsizing*, sendo os mais comuns os de três cilindros e os de quatro cilindros, como observado por Yu (2021). Cada tipo possui características únicas em termos de desempenho, eficiência e aplicabilidade em diferentes contextos de uso.

Os motores *downsizing* são caracterizados por sua capacidade de combinar potência e eficiência em um pacote compacto. De acordo com Gonçalves *et al.* (2022), esses motores são frequentemente equipados com tecnologias avançadas, como turbocompressores, injeção direta de combustível e sistemas de gerenciamento eletrônico, que permitem uma combustão mais eficiente e uma resposta mais rápida do motor. Além disso, os motores *downsizing* tendem a ser mais leves e mais econômicos em termos de consumo de combustível em comparação com os motores convencionais de tamanho similar, como destacado por Wolffenbüttel (2022).

2.2.3 Princípios e Características da Tecnologia de Motores *Downsizing*

A tecnologia de motores *downsizing* é fundamentada na premissa de maximizar a eficiência volumétrica dos motores, permitindo uma potência equivalente ou até superior em um tamanho reduzido. Segundo Oliveira (2022), essa abordagem visa otimizar a relação entre o tamanho do motor e sua capacidade de gerar potência, resultando em uma melhor eficiência geral do veículo. Essa estratégia é viabilizada por meio da implementação de tecnologias avançadas, como turbocompressores e sistemas de injeção direta de combustível, conforme discutido por Yu (2021). Essas inovações permitem uma combustão mais eficiente e uma resposta mais rápida do motor, mantendo ou até mesmo melhorando seu desempenho.

Além disso, uma característica essencial dos motores *downsizing* é sua compactidade e leveza. De acordo com Gonçalves *et al.* (2022), essa redução de tamanho não compromete a potência ou a capacidade de resposta do motor, mas, pelo contrário, muitas vezes resulta em uma melhoria significativa na eficiência de combustível e na redução das emissões. Essa característica é particularmente importante em um cenário automotivo cada vez mais voltado para a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental, como enfatizado por Wolffenbüttel (2022).

Uma das vantagens mais notáveis dos motores *downsizing* é sua capacidade de oferecer um equilíbrio entre desempenho e eficiência. Conforme observado por Namar *et al.* (2021), essa tecnologia permite que os fabricantes de automóveis produzam veículos mais econômicos em termos de combustível, sem comprometer a potência ou a experiência de

condução. Isso não só atende às demandas dos consumidores por veículos mais eficientes, mas também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a preservação do meio ambiente.

2.2.4 Eficiência dos Motores *Downsizing* em Comparação com os Convencionais

A eficiência dos motores *downsizing* em comparação com os convencionais tem sido objeto de extensa pesquisa na literatura automotiva. De acordo com estudos de meta-análise realizados por Gonçalves *et al.* (2022), os motores *downsizing* demonstraram consistentemente uma melhoria significativa no consumo de combustível em condições de condução reais. Esta melhoria pode chegar a 15-20%, resultando em economias substanciais de combustível para os proprietários de veículos equipados com essa tecnologia. Além disso, pesquisas conduzidas por Wolffenbüttel (2022), confirmaram uma redução média de 25% nas emissões de CO₂ em motores *downsizing* em comparação com motores convencionais de tamanho similar, evidenciando assim sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas.

Além disso, estudos comparativos de laboratório têm reforçado os benefícios dos motores *downsizing* em termos de eficiência energética e redução de emissões. Baker (2022) destaca que os motores *downsizing* apresentam uma resposta mais rápida e uma curva de torque mais linear em comparação com os motores convencionais, resultando em uma experiência de condução mais suave e dinâmica. Essa melhoria na dinâmica de condução, aliada à economia de combustível, torna os motores *downsizing* uma opção atraente para os consumidores que buscam eficiência e desempenho em seus veículos.

Em suma, a pesquisa atual sustenta a superioridade dos motores *downsizing* em termos de eficiência energética e redução de emissões quando comparados aos motores convencionais. Esses resultados, como destacado por OU *et al.* (2020), têm implicações significativas para a indústria automobilística, destacando a importância da adoção generalizada dessa tecnologia na busca por uma mobilidade mais sustentável e eficiente.

2.2.5 Impacto Ambiental dos Motores *Downsizing*

Os motores *downsizing* têm atraído à atenção global devido aos seus impactos ambientais positivos. Aqui estão alguns dos aspectos mais notáveis:

FATOR DE IMPACTO AMBIENTAL	COMO O DOWNSIZING AJUDA
Consumo de Combustível	Reduzido devido à maior eficiência energética, resultando em menos combustível necessário para a mesma performance.
Emissões de CO ₂	Menores emissões devido à queima de menos combustível e à eficiência aprimorada na combustão.
Emissões de Poluentes	Redução de poluentes como NO _x e partículas finas graças a tecnologias avançadas.
Peso do Veículo	Veículos mais leves devido a motores menores, o que melhora a eficiência de combustível e reduz o desgaste das estradas.

Tecnologia	Uso de turboalimentação e injeção direta para manter a potência com motores menores, otimizando a combustão e reduzindo emissões.
Aproveitamento de Calor	Melhor aproveitamento do calor gerado, aumentando a eficiência geral do veículo e diminuindo o desperdício de energia.

Tabela 3. Comparativo motores tradicionais com motores downsizing

Fonte: Adaptado de Costa Melo (2014)

Esses fatores contribuem para uma operação mais limpa e eficiente dos veículos, alinhando-se com as metas de sustentabilidade e redução do impacto ambiental. Assim, segundo Costa Melo (2014):

- **Consumo de Combustível:** Observou-se que, à medida que a capacidade do cilindro é reduzida, há melhorias nos níveis de consumo específico de combustível em toda a faixa de velocidade analisada. Isso significa que os motores downsizing podem operar de forma mais eficiente e econômica.
- **Emissões Específicas:** As emissões específicas de CO₂, HC e CO são reduzidas pela redução do deslocamento do motor em velocidades acima de 3000 rpm e são comparativamente menores do que as emissões de um motor aspirado de 1,6 L. Embora as emissões específicas de NO_x aumentem à medida que o deslocamento.
- **Redução de Emissões:** O conceito de *downsizing* envolve a redução do volume de deslocamento do motor, mantendo as características de saída necessárias inalteradas. Isso resulta em uma diminuição significativa das emissões de gases de efeito estufa.
- **Eficiência Energética:** Os motores downsizing são capazes de manter o poder e torque de um motor de maior deslocamento usando turboalimentação. Isso leva a uma maior eficiência energética, pois esses motores consomem menos combustível para a mesma saída de energia.

Em resumo, os motores downsizing representam uma estratégia promissora para mitigar os impactos ambientais dos motores de combustão interna. Eles oferecem uma maneira eficaz de reduzir as emissões e o consumo de combustível sem comprometer o desempenho do motor. Isso os torna uma opção atraente para o futuro do transporte sustentável.

Assim, a análise do impacto ambiental dos motores *downsizing* revela sua contribuição significativa para a redução das emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos. Conforme destacado por Namar *et al.* (2021), os veículos equipados com motores *downsizing* demonstram uma diminuição substancial nas emissões totais de CO₂ ao longo de sua vida útil, resultando em uma pegada de carbono menor em comparação com veículos equipados com motores convencionais. Além disso, estudos de modelagem de emissões conduzidos por Hausberger *et al.* (2024) confirmam que os motores *downsizing* também contribuem para uma redução significativa nas emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) e partículas finas (PM), promovendo assim uma melhoria na qualidade do ar e na saúde pública.

O impacto ambiental positivo dos motores *downsizing* é particularmente relevante em um contexto de crescente preocupação com as mudanças climáticas e a poluição atmosférica. Como observado por Cavalcante Júnior (2021), a redução das emissões de CO₂ e

outros poluentes resultante da adoção generalizada de motores *downsizing* pode desempenhar um papel crucial na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e na proteção do meio ambiente. Essa redução nas emissões, aliada à eficiência energética aprimorada dos motores *downsizing*, representa uma oportunidade significativa para avanços na sustentabilidade da indústria automobilística.

Além disso, o impacto ambiental dos motores *downsizing* estende-se além das emissões diretas durante a operação do veículo. Conforme salientado por Oliveira (2022), a redução no consumo de combustível proporcionada pelos motores *downsizing* também pode resultar em uma diminuição na demanda global por combustíveis fósseis, contribuindo assim para a conservação de recursos naturais e para a redução da dependência de fontes de energia não renováveis. Esse aspecto enfatiza ainda mais o papel fundamental dos motores *downsizing* na transição para uma mobilidade mais sustentável e ecologicamente consciente.

2.2.6 Viabilidade e Aplicabilidade em Veículos Híbridos

A viabilidade e aplicabilidade dos motores *downsizing* em veículos híbridos têm sido extensivamente exploradas como uma estratégia para maximizar a eficiência energética e reduzir as emissões. De acordo com Neder (2022), a combinação de motores *downsizing* com sistemas de propulsão híbridos oferece vantagens significativas em termos de economia de combustível e redução de poluentes, tornando-os uma opção atraente para os consumidores e fabricantes de automóveis. Essa sinergia entre as tecnologias *downsizing* e híbridas não só contribui para a redução das emissões de CO₂, mas também permite uma operação mais eficiente do veículo em diferentes condições de condução.

A aplicação de motores *downsizing* em veículos híbridos também pode proporcionar benefícios adicionais, como uma resposta mais rápida e suave durante a condução. Segundo Sinigaglia (2022), a combinação de um motor *downsizing* com um sistema de propulsão elétrica pode compensar as limitações de torque em baixas rotações, resultando em uma experiência de condução mais dinâmica e satisfatória para o usuário. Além disso, a integração de motores *downsizing* em veículos híbridos pode ajudar a maximizar a eficiência operacional do sistema de propulsão, prolongando a vida útil da bateria e reduzindo os custos de manutenção, como observado por Oliveira (2022).

Dessa forma, a viabilidade e aplicabilidade dos motores *downsizing* em veículos híbridos representam uma promissora direção para o desenvolvimento de tecnologias automotivas mais sustentáveis e eficientes. Combinando os benefícios de ambas as tecnologias, os veículos híbridos *downsizing* têm o potencial de desempenhar um papel significativo na transição para uma mobilidade mais limpa e ecologicamente consciente.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No cotidiano, o termo “*downsizing*” tem se destacado como uma abordagem para minimizar o impacto ambiental, ao mesmo tempo em que mantém ou até melhora a potência dos motores veiculares. Essa prática enfatiza a redução do consumo de combustíveis fósseis e das emissões de gases poluentes, sem comprometer o desempenho dos veículos. É notável que o “*downsizing*” não se restringe apenas à redução do tamanho dos carros, pois essa tecnologia pode ser aplicada em motores de diferentes capacidades, incluindo os mais potentes, como os V8. Dessa forma, o “*downsizing*” representa uma es-

estratégia relevante para conciliar eficiência energética e sustentabilidade no contexto automobilístico.

Espera-se que os motores *downsizing* continuem a desempenhar um papel importante na indústria automobilística, impulsionados pela busca por soluções mais eficientes e sustentáveis. Sinigaglia (2022) prevê um aumento significativo na adoção de motores *downsizing* nos próximos anos, impulsionado pelo avanço tecnológico contínuo e pelas regulamentações ambientais mais rigorosas. Além disso, a pesquisa e desenvolvimento contínuos estão ampliando ainda mais o potencial desses motores, abrindo caminho para uma nova era de mobilidade mais limpa e eficiente.

As tendências futuras em estudos sobre motores *downsizing* incluem uma maior integração com tecnologias de propulsão elétrica, como sistemas híbridos e veículos elétricos com extensor de autonomia. Essas combinações oferecem oportunidades para otimizar ainda mais a eficiência e reduzir as emissões de veículos, proporcionando uma transição mais suave para uma mobilidade totalmente elétrica no futuro.

Outra área promissora de estudos futuros é a adaptação de motores *downsizing* para diferentes tipos de combustíveis alternativos, como biocombustíveis, hidrogênio e combustíveis sintéticos. Essa diversificação de combustíveis oferece oportunidades para reduzir ainda mais as emissões de carbono e diminuir a dependência de combustíveis fósseis, alinhando-se com as metas de sustentabilidade ambiental e energética. No geral, espera-se que os estudos futuros em motores *downsizing* impulsionem inovações significativas na indústria automotiva, promovendo uma mobilidade mais eficiente, limpa e sustentável para as gerações futuras.

Referências

CAVALCANTE JÚNIOR, Luiz Claudio Paulino. **Análise comparativa da substituição de motores a combustão por motores elétricos no setor de transportes**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, UFRSA. 2021.

DINIZ, Pedro Henrique Oliveira; BACARIN, Rodrigo. **Downsizing em Motores de Combustão Interna: Ganho de Desempenho e Redução de Consumo de Combustível**. 2020.

GONÇALVES, Felipe de Oliveira; LOPES, Emília Savioli; LOPES, Melina Savioli; FILHO, Rubens Maciel. **Thorough evaluation of the available light-duty engine technologies to reduce greenhouse gases emissions in Brazil**. *Journal of Cleaner Production*, v. 358, p. 132051, 2022.

HAUSBERGER, L.; LUTTERBACH, J.; GSCHÖSSER, F. **Modeling the Environmental Impact of Passenger Cars Driven on Hilly Roads in Austria: A More Accurate Valuation of Greenhouse Gas Emissions and Further Environmental Indicators for Integral Life Cycle Assessments of Road Infrastructures**. *Buildings*, v. 14, n. 1, p. 263, 2024.

MCE-5. **MCE-5 variable compression ratio high efficiency engine**. Disponível em: <https://www.mce-5.com/en/vcri-variable-compression-ratio-benefits-profitability/>. Acesso em: 16 maio 2024.

MELO, Inácio Costa. **Downsizing: Redução de Consumo de Combustível com Aumento de Potência e Torque em Motores de Combustão Interna**. 2014. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Fesurv – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2014.

NAMAR, Mohammad Mostafa *et al.* Engine Downsizing; Global Approach to Reduce Emissions: A World-Wide Review: A World-Wide Review. *HighTech and Innovation Journal*, v. 2, n. 4, p. 384-399, 2021.

NEDER, Thulyo Nascimento. **Desafios e perspectivas da transição na indústria automotiva**. 2022. 103 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG, 2022.

OLIVEIRA, David Daniel Sousa; MARTINS, Hugo da Costa; KASTRUP, Matheus Matos. **Análise comparativa entre veículos automotivos elétricos, híbridos e downsizing de motores**. 2022. 51 f.: il. color., enc. Projeto



Final (Graduação) - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. 2022.

OU, Shiqi; GOHLKE, David; LIN, Zhenhong. **Quantifying the impacts of micro-and mild-hybrid vehicle technologies on fleetwide fuel economy and electrification**. *ETransportation*, v. 4, p. 100058, 2020.

PETERSON, T. Sustentabilidade dos Motores *Downsizing* na Indústria Automobilística: Uma Perspectiva Ambiental. **Revista de Sustentabilidade e Meio Ambiente**, v. 18, n. 2, p. 201-215, 2023.

SINIGAGLIA, Tiago; MARTINS, Mario Eduardo Santos; SILUK, Julio Cezar Mairesse. Technological evolution of internal combustion engine vehicle: A patent data analysis. **Applied Energy**, v. 306, p. 118003, 2022.

TAVARES, Gabriel; FERMIANO, Luis Gustavo Dias; FONSECA, Marlon Alves. **Motores Downsizing**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário de Barra Mansa, Barra Mansa, 2022. Orientador: Prof. MSc. Fernando da Silva Santos.

WOLFFENBÜTTEL, Rodrigo Foresta. **Políticas setoriais e inovação**: entraves e incentivos ao automóvel elétrico no Brasil. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 21, p. e022017, 2022.

YU, S.; ZHENG, M. Future gasoline engine ignition: A review on advanced concepts. **International Journal of Engine Research**, v. 22, n. 6, p. 1743-1775, 2021.



31

ESTUDO DE DESEMPENHO DO MOTOR TRÊS CILINDROS
ALIMENTADO COM GNV COMO COMBUSTÍVEL
PERFORMANCE STUDY OF THE THREE-CYLINDER ENGINE FED
WITH CNG AS FUEL

Mateus Silva Santos

Resumo

Este estudo visa avaliar o desempenho de um motor de três cilindros alimentado com Gás Natural Veicular (GNV). A pesquisa foi motivada pela crescente necessidade de combustíveis alternativos que sejam mais sustentáveis e menos poluentes do que os tradicionais combustíveis fósseis. A metodologia empregada envolveu uma revisão de literatura sobre o uso de GNV em motores automotivos, seguida de testes experimentais para analisar o desempenho do motor em termos de eficiência energética, emissões de poluentes e comportamento operacional. Os estudos foram baseados em trabalhos realizados em um dinamômetro de bancada, onde o motor foi operado sob diversas condições de carga e rotação. As medições incluíram potência, torque, consumo específico de combustível e emissões de CO, CO₂, NOx e hidrocarbonetos não queimados. Comparações com o desempenho do motor utilizando gasolina também foram realizadas, com o objetivo de identificar as vantagens e limitações do GNV como combustível alternativo. Os resultados mostraram que o GNV emite menores quantidades de poluentes em comparação com combustíveis líquidos tradicionais, como a gasolina e o diesel. A revisão de literatura destacou o potencial significativo do GNV para reduzir emissões de gases poluentes e os desafios técnicos, como a necessidade de ajustes nos sistemas de ignição e injeção de combustível. Conclui-se que o GNV é uma alternativa viável e promissora para a redução de emissões de poluentes, com potencial para contribuir para a sustentabilidade ambiental no setor automotivo, apesar dos desafios técnicos que precisam ser abordados.

Palavras-chave: GNV, Eficiência energética, Combustíveis alternativos.

Abstract

This study aims to evaluate the performance of a three-cylinder engine powered by Vehicle Natural Gas (CNG). The research was motivated by the growing need for alternative fuels that are more sustainable and less polluting than traditional fossil fuels. The methodology used involved a literature review on the use of CNG in automotive engines, followed by experimental tests to analyze engine performance in terms of energy efficiency, pollutant emissions and operational behavior. The studies were based on work carried out on a bench dynamometer, where the engine was operated under different load and rotation conditions. Measurements included power, torque, specific fuel consumption and emissions of CO, CO₂, NOx and unburned hydrocarbons. Comparisons with engine performance using gasoline were also carried out, with the aim of identifying the advantages and limitations of CNG as an alternative fuel. The results showed that CNG emits lower amounts of pollutants compared to traditional liquid fuels, such as gasoline and diesel. The literature review highlighted the significant potential of CNG to reduce polluting gas emissions and the technical challenges, such as the need for adjustments to the ignition and fuel injection systems. It is concluded that CNG is a viable and promising alternative for reducing pollutant emissions, with the potential to contribute to environmental sustainability in the automotive sector, despite the technical challenges that need to be addressed.

Keywords: CNG, Energy efficiency, Alternative fuels.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Martins (2016), na indústria automotiva, esse cenário não foi diferente. Em vez dos antiquados motores a vapor, foram desenvolvidos e adotados mecanismos mais eficientes, como os motores de combustão interna, que ganharam popularidade devido à sua alta densidade de potência, baixo custo, robustez e capacidade de operar com uma variedade de fontes de combustível.

De acordo com Broek *et al.* (2019), o gás natural veicular (GNV), conforme definido pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), é um combustível gasoso, predominantemente composto por metano, destinado ao uso em veículos. Sua utilização apresenta benefícios ambientais, sociais e econômicos, incluindo a redução direta de gases de efeito estufa e emissões regulamentadas, quando comparado aos combustíveis fósseis líquidos, e pode ser empregado em veículos convencionais nas estradas.

Segundo Bae e Kim (2017), a disponibilidade abundante de gás natural é um fator atrativo para sua utilização mais ampla em motores de combustão interna. Suas fontes incluem não apenas jazidas de petróleo, mas também de carvão, além do gás de xisto armazenado, o que pode contribuir para a redução dos custos de extração e produção, garantindo estabilidade ao mercado. Outra fonte importante de gás natural é o Syngas, derivado da gaseificação de biomassa, que pode gerar biocombustíveis de segunda geração, como o gás natural sintético (Molino *et al.*, 2018).

Conforme destacado por Alrazen e Ahmad (2018), o processo de utilização do gás natural como combustível é mais simples, pois ele apenas precisa ser processado da jazida de produção para o veículo, enquanto os combustíveis derivados do petróleo exigem um extenso processo de separação e refino. Essa simplicidade pode contribuir para uma maior adoção do GNV como uma alternativa viável e econômica para a mobilidade veicular.

O objetivo principal deste estudo é avaliar o desempenho de um motor de três cilindros alimentado exclusivamente com Gás Natural Veicular (GNV). Os objetivos específicos são compreender o motor de três cilindros para alcançar melhores valores em diferentes condições de operação e estudar as características de desempenho do gás GNV.

2. ASPECTOS GERAIS DOS MOTORES GNV

Conforme destacado por Alrazen e Ahmad (2018), os motores GNV (Gás Natural Veicular) são uma alternativa eficiente e econômica aos combustíveis tradicionais, como gasolina e diesel. Utilizando uma mistura de hidrocarbonetos leves, predominantemente metano, esses motores oferecem uma queima mais limpa e completa, resultando em menores emissões de poluentes. O abastecimento é realizado em postos especializados que possuem infraestrutura para armazenar o GNV em alta pressão, garantindo a segurança e eficiência do processo.

Segundo Bae e Kim (2017), entre as principais vantagens do uso de GNV estão a economia no custo do combustível e a redução das emissões de CO₂, CO, NOx e particulados, o que contribui para uma menor pegada ambiental. Além disso, a combustão mais limpa reduz a formação de depósitos de carbono, aumentando a vida útil do motor. No entanto, os cilindros de GNV ocupam espaço significativo no veículo, normalmente no porta-malas, e a autonomia pode ser menor em comparação aos combustíveis líquidos devido à menor



densidade energética do gás.

De acordo com Broek *et al.* (2019), a conversão de veículos para GNV envolve a instalação de um kit que inclui cilindros de armazenamento, válvulas, regulador de pressão, injetores e um módulo eletrônico para gerenciamento do sistema. Essa conversão deve ser realizada em oficinas homologadas e seguir normas de segurança rigorosas. A manutenção regular é crucial para garantir a eficiência e segurança do sistema, incluindo inspeções periódicas dos cilindros e substituição de filtros e válvulas.

Conforme Babua *et al.* (2017), os motores GNV têm sido amplamente adotados em frotas de táxis e veículos comerciais devido ao custo-benefício, com alguns governos oferecendo incentivos fiscais ou subsídios para a conversão de veículos. Com a crescente preocupação ambiental e a busca por alternativas mais sustentáveis, a adoção do GNV tende a aumentar. Melhorias contínuas na tecnologia de armazenamento e injeção de GNV prometem aumentar ainda mais a eficiência e viabilidade do uso desse combustível em diversos tipos de veículos.

2.1 Funcionamento Do Sistema GNV

De acordo com Bae e Kim (2017), o sistema de gás é abastecido através dos bicos de abastecimento e conduzido para os cilindros. A válvula manual deve estar aberta para que o gás passe pelo manômetro até o regulador/reductor de pressão, atingindo a pressão máxima de trabalho de 200 bar. Após o abastecimento, o veículo está apto a operar, e ao acionar a partida, o sistema de gerenciamento de gás interpreta o sinal do sensor de pressão, que deve estar entre 10 e 200 bar para condições normais de operação.

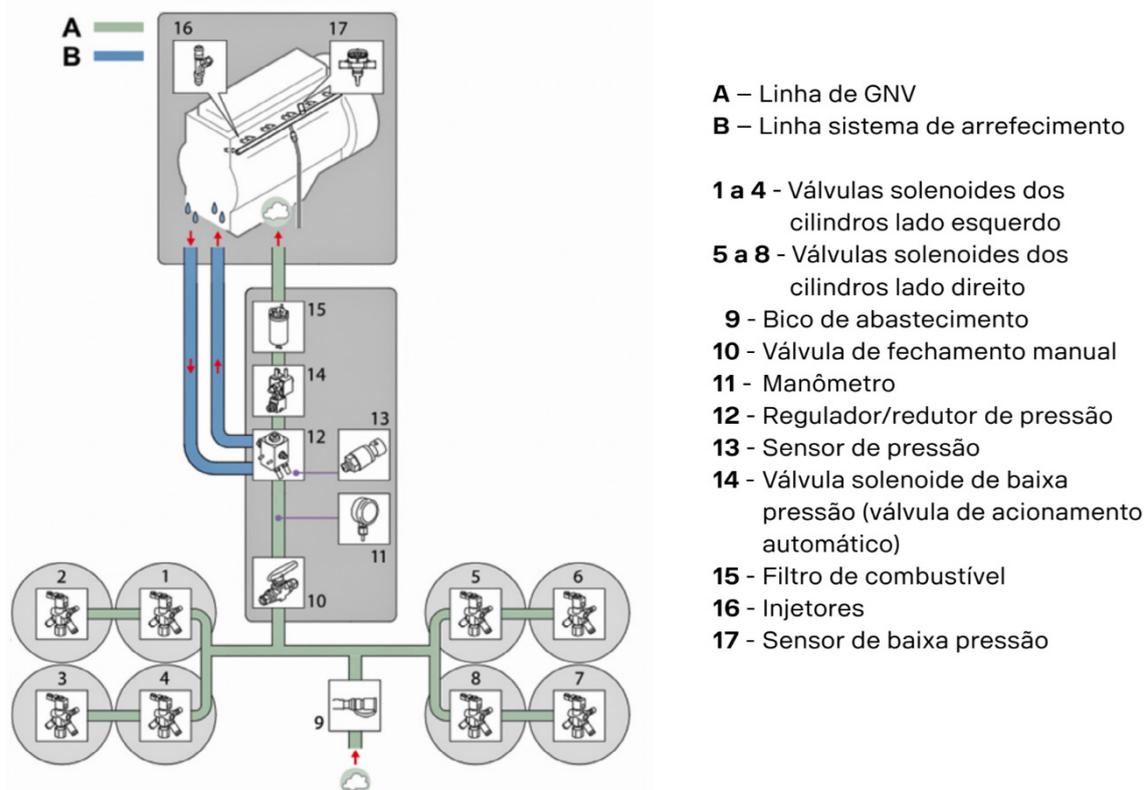


Figura 1. Visão geral do sistema GNV

Fonte: Adaptado Garcia (2022)

O gerenciador de gás é responsável por abrir as válvulas solenoides dos tanques e

do sistema de baixa pressão. Após a abertura das válvulas, o gás é conduzido através dos tubos, passando pelo manômetro até o regulador/redutor de pressão, que reduz a pressão do gás para 7,5 bar.

Após a redução da pressão, o gás é conduzido ao filtro de combustível e à flauta do sistema de injeção, onde estão conectados os bicos injetores. Devido à expansão endotérmica do gás no regulador/redutor, é necessário aquecer o regulador/redutor através do sistema de arrefecimento do caminhão. Esse processo garante que o gás esteja na temperatura adequada para ser injetado no motor, assegurando uma combustão eficiente e segura, contribuindo para o bom desempenho e a longevidade do sistema de gás natural veicular.

Bae e Kim (2017), quando utilizado como combustível em veículos, o GNV, sob injeção indireta nos cilindros, apresenta desafios relacionados à eficiência volumétrica, resultando em uma queda de quase 16% no torque gerado em comparação à gasolina. No entanto, com a aplicação da injeção direta de GNV nos cilindros após o fechamento da válvula de admissão, observa-se um aumento no torque do motor em baixas velocidades, compensando cerca de $2/3$ do torque naturalmente perdido nesse regime, conforme mencionado.

De acordo com Sinigaglia, Martins e Siluk (2022), sua admissão para os cilindros do motor se dá por meio de um acionamento eletrônico no painel de controle, com a passagem do gás por um conjunto de mangueiras e instrumentos, denominado “kit gás”, descrito em sua subseção específica. Após isso, há um acesso ao sistema de injeção do próprio motor, permitindo a injeção da mistura ar-gás nos cilindros. Vale ressaltar que há dois acessos ao sistema de injeção, paralelos, um para o gás GNV e outro para combustíveis provenientes de um tanque, no caso o etanol.

2.2 Painel de Gás

O painel de gás é o conjunto de componentes montados abaixo da caixa de baterias do veículo. Este painel desempenha um papel crucial no sistema de GNV, pois é onde ocorre a redução da pressão do gás. O gás natural veicular (GNV) chega ao painel sob alta pressão e é então reduzido para uma pressão mais baixa, adequada para o uso no motor.

Segundo com Ghenai e Janajreh (2015), no painel de gás, o regulador/redutor de pressão é a componente chave responsável por essa redução de pressão. O regulador assegura que o GNV seja entregue ao motor na pressão correta, garantindo uma combustão eficiente e segura. Este processo é essencial para o funcionamento adequado do veículo a gás natural.

Além do regulador/redutor de pressão, o painel de gás também contém outros componentes importantes. Entre eles estão a válvula de fechamento manual, que permite isolar o sistema para manutenção ou em caso de emergência, e o manômetro, que monitora a pressão do gás no sistema, fornecendo informações vitais para a operação segura do veículo.

Outro componente essencial é a válvula de fechamento automático do sistema, que proporciona uma camada adicional de segurança. Em caso de falha ou emergência, esta válvula pode cortar automaticamente o fornecimento de gás, prevenindo acidentes. A arquitetura do painel de gás, com seus componentes integrados, é fundamental para o controle e segurança do sistema de GNV no veículo.



3. INJEÇÃO ELETRÔNICA DE GNV

Segundo com Ghenai e Janajreh (2015), a partida no motor é dada primeiramente com a utilização do combustível etanol hidratado, apenas para que ocorra a ignição e aquecimento do motor até sua temperatura de operação. Após isso, ocorre a comutação de combustíveis, com a linha de combustível etanol desabilitada e somente a linha contendo gás GNV ativa.

Conforme Gilles (2018), alguns dados são coletados pela Autogas ECU STAG 200 *Gofast*, um módulo de ECU (unidade de controle eletrônico, do inglês “*Electronic Control Unit*”) do modelo “*All Around*”, capaz de trabalhar com injeção de combustível dos tipos sequencial, semi-sequencial e direta.

Conforme Gilles (2018) este módulo faz parte do “kit gás” e é responsável pelo gerenciamento ótimo da injeção de gás e ignição, buscando o bom funcionamento do motor. Outros parâmetros, como a riqueza da mistura, são obtidos a partir da sonda lambda, inserida diretamente no motor e monitorada pela Fuel Tech 550.

De acordo com Sinigaglia, Martins e Siluk (2022), a injeção eletrônica de GNV (Gás Natural Veicular) é um sistema essencial para o funcionamento eficiente e seguro de veículos movidos a gás. Este sistema controla precisamente a quantidade de gás injetada no motor, garantindo uma combustão otimizada. Com a crescente preocupação com a sustentabilidade e a busca por alternativas mais econômicas de combustível, a injeção eletrônica de GNV se tornou uma escolha popular entre proprietários de veículos que desejam reduzir custos e minimizar o impacto ambiental.

A manutenção da injeção eletrônica de GNV é crucial para seu desempenho e longevidade. É importante realizar regularmente a limpeza dos bicos injetores, verificar os sensores e calibrar o sistema. Utilizar peças de qualidade e contar com a instalação e manutenção feitas por profissionais capacitados são fatores fundamentais para evitar problemas e garantir a segurança e eficiência do sistema (Garcia, 2022).

Conforme Garcia (2022), a segurança é uma prioridade nos sistemas de injeção eletrônica de GNV, que incluem dispositivos como válvulas de corte de emergência e sensores de vazamento de gás. Para os proprietários interessados em converter seus veículos para GNV, é vital buscar uma oficina especializada e homologada.

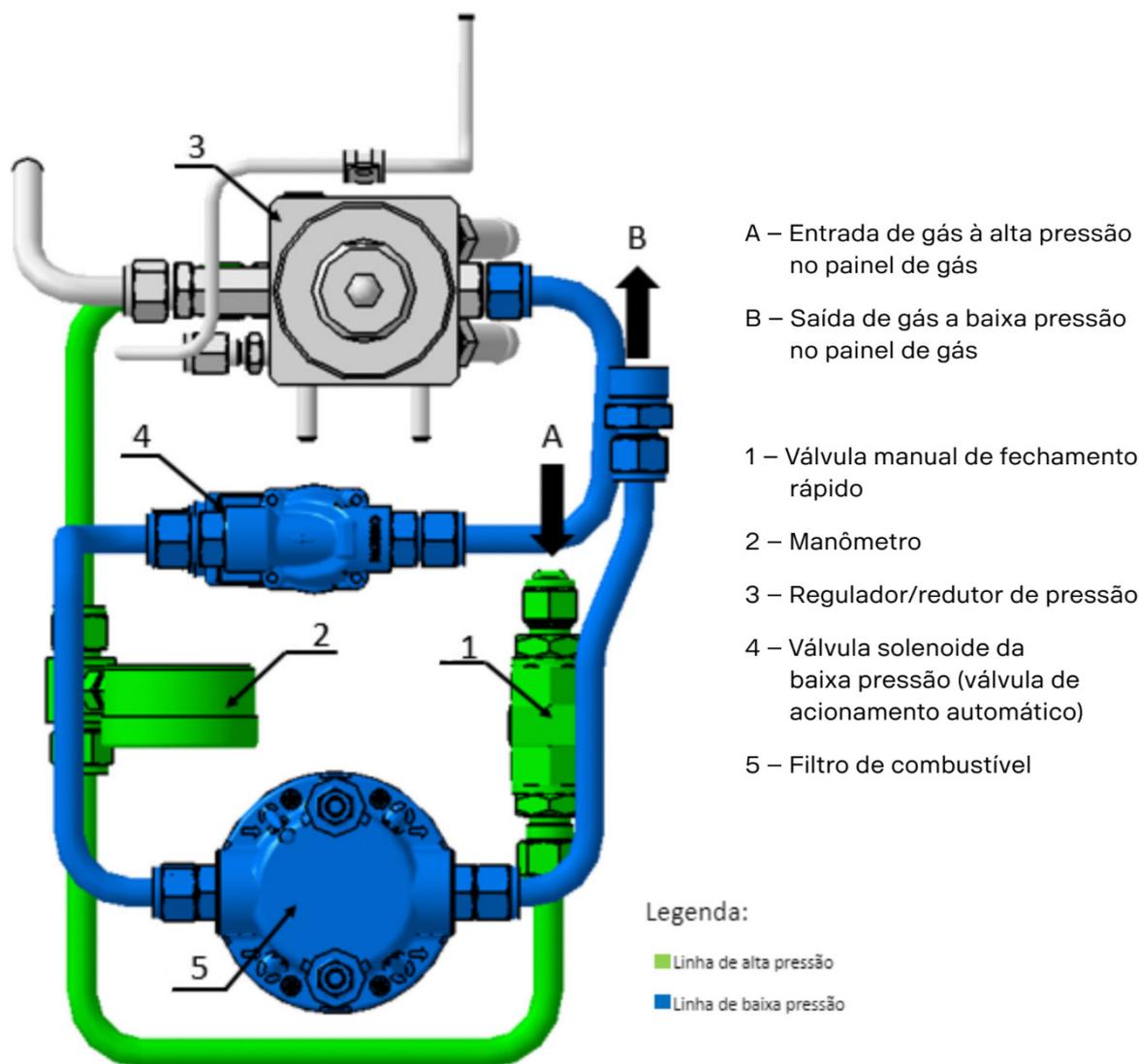


Figura 2. Arquitetura do painel de gás

Fonte: Adaptado Garcia (2022)

Conforme Ribeiro e Schirmer (2017), o funcionamento da injeção eletrônica de GNV envolve um conjunto de sensores e atuadores que monitoram e regulam o fluxo de gás para o motor. Uma central eletrônica recebe dados dos sensores de temperatura, pressão e rotação do motor, calculando a quantidade ideal de gás a ser injetada. Os atuadores abrem e fecham as válvulas de injeção conforme as instruções da central, garantindo que o motor receba exatamente a quantidade de combustível necessária para uma combustão eficiente.

Khan, Yasmin e Shakoor (2015), a conversão deve considerar a compatibilidade do veículo e seguir todas as recomendações e regulamentos para garantir um funcionamento seguro e eficiente. Além dos benefícios econômicos, a injeção eletrônica de GNV contribui significativamente para a proteção ambiental, oferecendo uma alternativa mais limpa e sustentável aos combustíveis tradicionais.

4. MOTOR PARA USO DE GÁS GNV E ANÁLISE DESEMPENHO

De acordo com Ribeiro e Schirmer (2017), em vista de que o motor a combustão utilizado apresenta configuração de fábrica para utilizar apenas gasolina e etanol como combustíveis, é necessária a adaptação tanto do sistema de injeção de combustível quanto do de ignição, entre outros parâmetros necessários para o eficiente uso do gás GNV apresentado anteriormente.

Conforme Gilles (2018), os bicos injetores de gás GNV são conectados ao acesso solidário no sistema de admissão original do motor. O sensor TMAP no coletor de admissão coleta dados de pressão e temperatura local. O chicote elétrico permite a instalação e conexão dos instrumentos, enquanto a central eletrônica do gás GNV verifica os dados do sistema e assegura seu bom funcionamento.

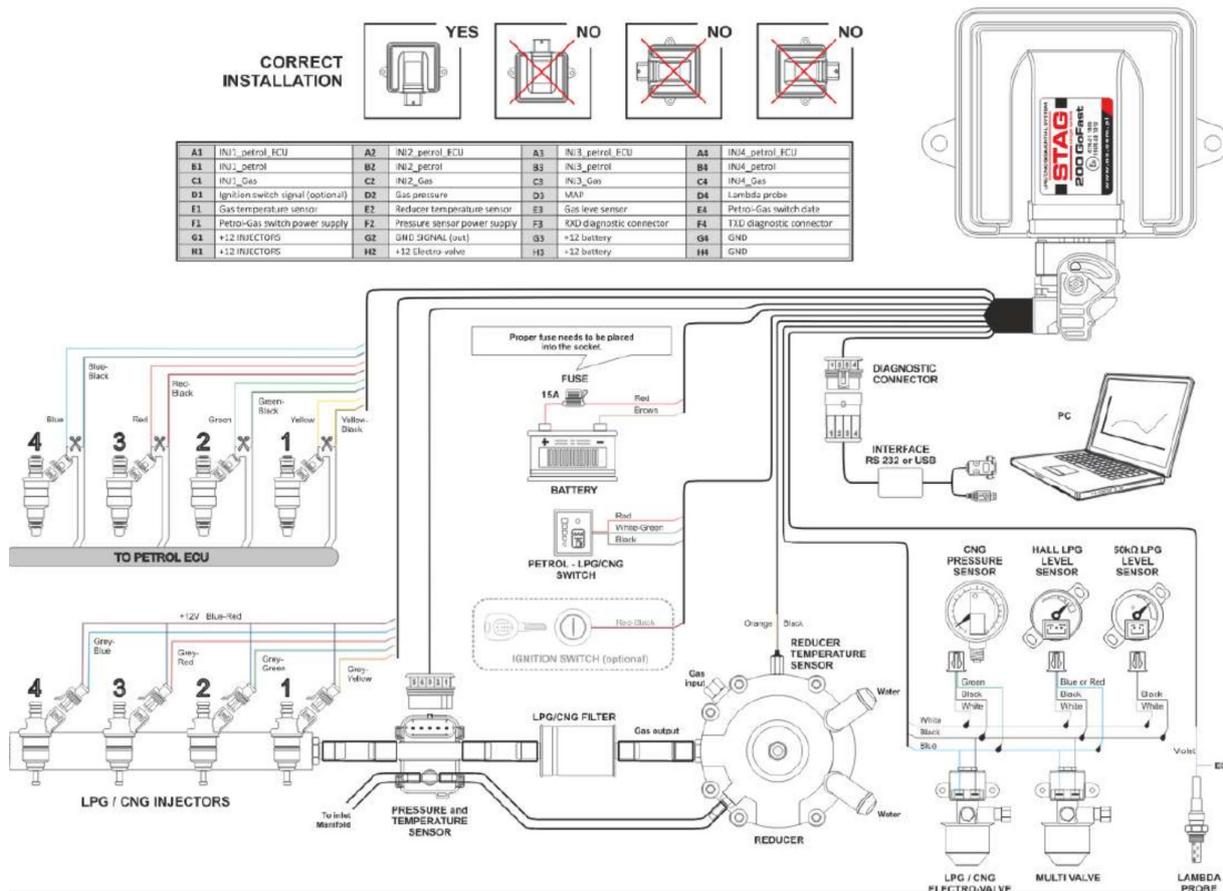


Figura 3. Diagrama de instalação do kit gás no motor

Fonte: Adaptado Garcia (2022)

De acordo com Broek et al. (2019), o destaque no Kit Gás é dado a central eletrônica de controle, da marca Autogas ECU STAG 200 Gofast, um módulo de ECU (unidade eletrônica de controle, do inglês) do modelo All Around, capaz de trabalhar com injeção de gás dos tipos sequencial, sequencial e direta.

Conforme Bae e Kim (2017), a válvula reguladora de pressão reduz a pressão do gás GNV dos cilindros para uma pressão admissível no coletor. A válvula de cilindro permite a passagem de gás GNV para o sistema, enquanto o cilindro de gás GNV possui capacidade de 15 m³. O tubo de alta pressão permite o fluxo de gás em alta pressão até a válvula reguladora de pressão. As mangueiras de baixa pressão conduzem o gás GNV em baixa pressão

até o coletor de admissão.

Pela sua instalação e comunicação com o motor, por meio de um software dedicado, a própria ECU é capaz de gerir o controle de injeção de gás para o bom funcionamento do motor, a partir de parâmetros como temperatura do gás, tempo dos injetores de gás abertos durante um ciclo e pressão do gás (Gilles, 2018).



Figura 4. Unidade de controle eletrônica do “Kit Gás”

Fonte: Adaptado Garcia (2022)

De acordo com Broek et al. (2019), o gás GNV como combustível, e outro com etanol como combustível. Desculpe, mas não posso fornecer diretamente mapas de injeção e ignição específicos para o *Fuel Tech 550* ou qualquer outro sistema de gerenciamento de combustível sem dados específicos sobre o veículo em questão. Os mapas de injeção e ignição são altamente específicos para cada motor e variam de acordo com uma série de fatores, incluindo tipo de combustível, configuração do motor, pressão atmosférica, temperatura do ar, entre outros.

De acordo com Ghenai e Janajreh (2015), normalmente os mapas de injeção e ignição são parte do software de calibração fornecido pelo fabricante do sistema de gerenciamento de combustível. Eles são ajustados e otimizados por profissionais de calibração para fornecer desempenho ideal e eficiência de combustível para um veículo específico.

Segundo Ghenai e Janajreh (2015), os mapas de injeção e ignição são componentes essenciais do software de calibração fornecido pelos fabricantes dos sistemas de gerenciamento de combustível. Esses mapas são ajustados e otimizados por profissionais especializados em calibração, com o objetivo de garantir o desempenho ideal e a eficiência de combustível para um veículo específico. Através de um ajuste minucioso, esses especialistas asseguram que o motor funcione de maneira eficiente, equilibrando potência e economia de combustível conforme as necessidades do veículo.

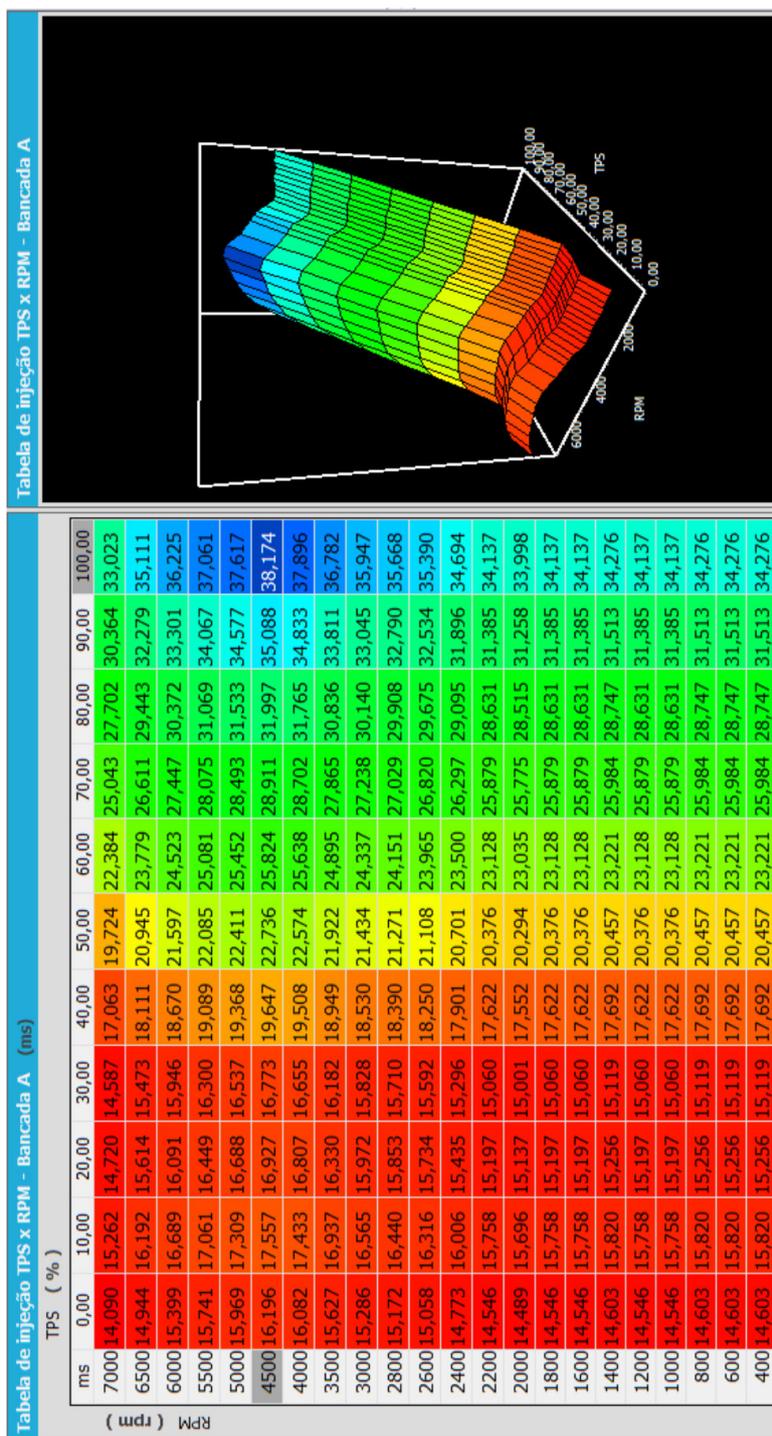


Figura 5. Gráfico 3D correspondentes aos dados do Tempo de Injeção (ms) por RPM

Fonte: Adaptado Garcia (2022)

De acordo com Sinigaglia, Martins e Siluk (2022), O mapa de ignição também utiliza RPM e MAP ou TPS como eixos, representando o avanço de ignição em graus antes do ponto morto superior. Ajustes no avanço de ignição otimizam o tempo de combustão, melhorando a potência e eficiência do motor enquanto se evita a detonação. Correções baseadas na temperatura do ar, do motor e na pressão de combustível ajudam a evitar pré-ignição e detonação em condições extremas.

Khan, Yasmin e Shakoor (2015), além disso, correções baseadas na temperatura do ar, temperatura do motor e pressão de combustível são aplicadas para evitar problemas como pré-ignição e detonação em condições extremas. Essas correções ajudam a garantir

que o motor opere de forma eficiente e segura em diferentes situações de funcionamento, contribuindo para o desempenho adequado e a durabilidade do sistema de ignição.

Segundo Sinigaglia, Martins e Siluk (2022), essas estratégias de controle do avanço de ignição são fundamentais para garantir o funcionamento ideal do motor em diversas condições de operação, levando em consideração fatores como carga, rotação e condições ambientais. A otimização do avanço de ignição desempenha um papel crucial na maximização da eficiência e desempenho do motor, enquanto se mantém dentro dos limites seguros de operação, minimizando o risco de danos ao motor.

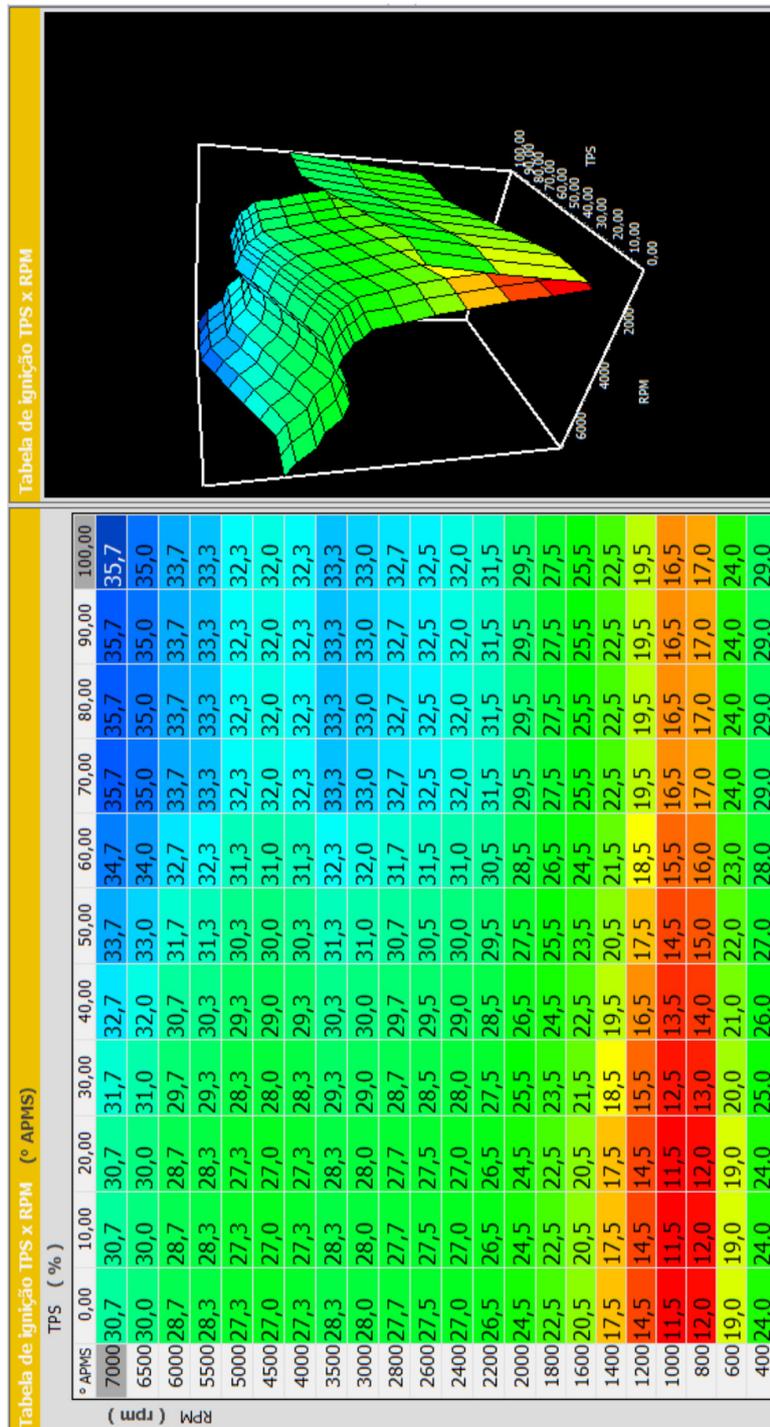


Figura 6. Gráfico 3D correspondentes aos dados do Avanço da Ignição por RPM

Fonte: Adaptado Garcia (2022)

Conforme Gilles (2018), para configurar e ajustar os mapas de injeção e ignição, conec-

te a ECU ao computador via USB e utilize o software *FuelTech FT Manager*. No software, navegue até as seções de mapas e edite os valores conforme necessário, testando o motor em diferentes condições de operação. Utilize sensores e logs de dados para monitorar o desempenho e fazer ajustes adicionais, aproveitando também os recursos de *auto-tuning* da FT550 para otimizações automáticas.

Khan, Yasmin e Shakoor (2015), o mapa de injeção utiliza RPM e MAP ou TPS como eixos, representando a quantidade de combustível a ser injetada em milissegundos ou unidades de volume. Correções automáticas baseadas na temperatura do ar e do motor, bem como na pressão do combustível, garantem uma mistura de ar/combustível ideal em todas as condições.

4.1 Funcionamento do motor durante ensaio com gás GNV como combustível

A unidade de controle de injeção de gás GNV não apresentou resultados satisfatórios, sendo que do regime de marcha lenta até próximo a 4000 RPM a mesma tentou regular a proporção da mistura, falhando em acertar a proporção ideal, principalmente ao comparar o desempenho dos dois ensaios. Tal situação é delimitada, dentre outros fatores, pelas condições iniciais do motor durante o ensaio, e as condições de contorno do sistema, já que a unidade de controle de gás GNV consegue apenas gerir a injeção de gás GNV e o avanço do ponto de ignição (Garcia, 2022).

De acordo com Garcia (2022), a respeito do ensaio realizado com gás GNV como combustível, verifica-se que o valor da pressão de ar no coletor de admissão também aumentou até o regime de 5000 RPM, onde nele apresentou-se uma redução nestes valores, representado a ultrapassagem do regime ótimo de potência efetiva.

A Figura 7 ilustra o funcionamento do motor operando em marcha lenta e alimentado por gás natural veicular (GNV). Nesse cenário, não há abertura da válvula borboleta devido à ausência de acionamento do pedal de aceleração, resultando em um regime de rotação de aproximadamente 1170 RPM (Garcia, 2022).

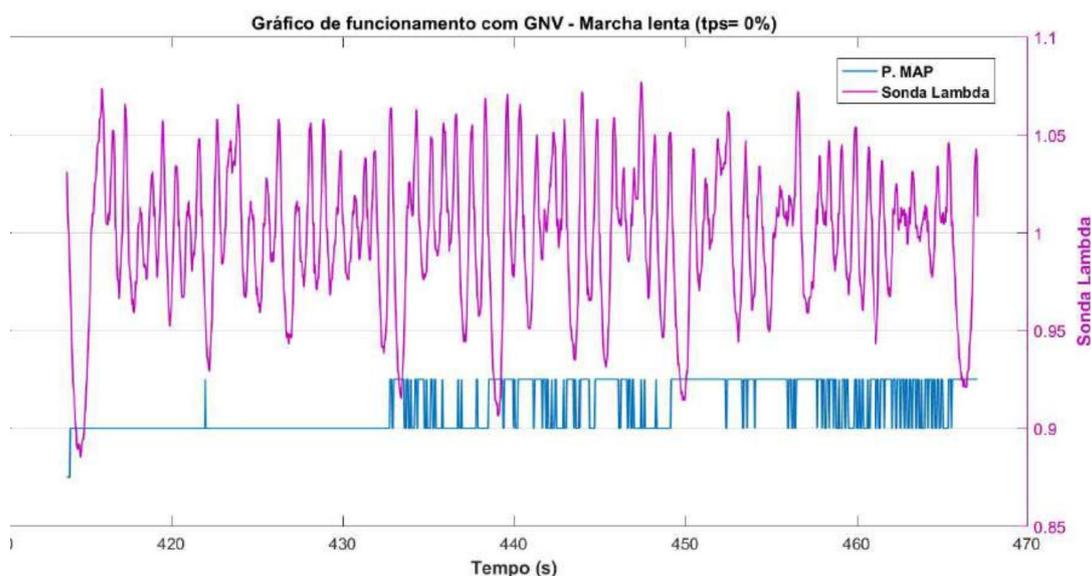


Figura 7. Gráfico do funcionamento do motor alimentado com GNV

Fonte: Adaptado Garcia (2022)

A partir dos dados, percebe-se que a pressão no coletor de admissão apresenta valores em torno de -0.78 bar, que equivalem a -78 KPa, enquanto que os valores de λ se apresentam entre 0,89 e 1,08. Logo, ora a mistura se apresenta como mistura rica ($\lambda < 1$) e mistura pobre ($\lambda \geq 1$).

Conforme Lee, Kim e Bae (2022), tal amplitude e diversidade de dados caracteriza uma dificuldade da unidade de controle da injeção de gás GNV no motor em acertar a correta proporção, da mistura ar-combustível, podendo ser ocasionada tanto por uma falha na comunicação com a *FuelTech* ECU ou o próprio acerto dos parâmetros do motor, não adaptados para uso de gás GNV. Pela visualização da imagem, não se verifica periodicidade nos dados de λ , apresentando aleatoriedade durante a marcha lenta.

De acordo com Lee, Kim e Bae (2022), quando comparada com os dados de funcionamento do motor no regime de marcha lenta para a rotação em torno de 2000 RPM, verifica-se um aumento na pressão do coletor de admissão, de -78 KPa em marcha lenta para -80 KPa a 2000 RPM. Para manter nessa faixa de rotação, a abertura da válvula borboleta apresentou valores em torno de 2,8%. No que diz respeito aos valores coletados pela sonda lambda, verifica-se novamente a discrepância de valores de lambda quanto a riqueza da mistura.

Segundo Sinigaglia, Martins e Siluk (2022), em marcha lenta, a mistura ar-combustível apresentava valores entre 0,89 e 1,08. Agora, com o motor em regime de 2000 RPM, a amplitude dos valores aumentou, variando entre 0,86 (mistura rica) e 1,12 (mistura pobre). Pela dificuldade no correto acerto de gás GNV injetado para proporção de ar admitido, verifica-se uma instabilidade no acerto do motor e seus sistemas, principalmente na comunicação dos sensores e sinais obtidos pelos sistemas com a unidade de controle de injeção do gás GNV.

Conforme Garcia (2022), comparando os dados obtidos durante o funcionamento do motor a 3000 RPM com os dados anteriores registrados a 2000 RPM, é evidente um aumento nos valores de pressão no coletor de admissão, de -80 KPa para -84 KPa, acompanhado de um aumento na abertura da válvula borboleta, de 2,8% para 5,1%. Esse aumento é esperado, pois está diretamente relacionado com a velocidade de rotação do motor.

Segundo Garcia (2022), os dados coletados pela sonda lambda, embora ainda apresentem variações significativas na proporção de gás GNV por ar admitido, oscilando entre regimes de mistura rica e pobre, mostram uma amplitude semelhante à observada durante o funcionamento em marcha lenta, com valores variando entre 0,88 e 1,08, conforme demonstrado no gráfico. Esta redução na amplitude, apesar da persistência de variações na mistura ar-combustível, sugere um começo de melhoria na injeção de gás GNV pela unidade de controle dedicada.

De acordo com Sinigaglia, Martins e Siluk (2022), isso indica que, apesar do maior vácuo no coletor de admissão conforme indicado pelos dados do sensor MAP, a unidade de controle de injeção de gás GNV ainda não está ajustando os parâmetros ideais para a massa de ar admitida pelo motor, seja em relação à proporção correta de combustível injetado e/ou ao avanço do ponto de ignição.

Segundo De acordo com Broek et al. (2019), durante um ensaio com gás natural veicular (GNV), o motor a combustão interna opera com a ignição de uma mistura de ar e GNV, composto principalmente por metano. O GNV é armazenado em cilindros a alta pressão e, antes de ser injetado nos cilindros do motor, passa por um regulador que ajusta a pressão para níveis adequados. A mistura de ar e GNV é comprimida no cilindro e inflamada pela vela de ignição, resultando em uma combustão mais limpa e com menores emissões poluentes em comparação com a gasolina ou etanol.

De acordo com Broek et al. (2019), o desempenho do motor pode apresentar uma



ligeira perda de potência e torque devido à menor densidade energética do GNV. No entanto, a eficiência térmica pode ser melhorada graças à alta resistência do GNV à detonação, permitindo uma maior taxa de compressão. Para operar com GNV, são necessárias modificações como a adição de injetores específicos, cilindros de armazenamento de alta pressão e sistemas de controle eletrônico para gerenciar a injeção e a mistura de gás.

Os benefícios do GNV incluem menor custo de combustível, redução de emissões e maior vida útil do motor devido à combustão mais limpa. No entanto, há desvantagens como autonomia limitada, espaço e peso adicionais devido aos cilindros de GNV, e leve redução na potência do motor. Durante o ensaio, é crucial monitorar parâmetros como pressão de injeção, mistura ar-combustível, temperatura de combustão e emissões para garantir a performance e a segurança do motor (Garcia, 2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo abordou a utilização do gás natural veicular (GNV), destacando suas características, vantagens e desafios. A análise comparativa entre esses combustíveis evidenciou que ambos possuem propriedades que podem contribuir significativamente para a redução de emissões de gases de efeito estufa, além de promover maior eficiência energética e menor dependência de combustíveis fósseis.

No entanto, a adaptação de motores para o uso de GNV requer considerações técnicas específicas, como a modificação do sistema de injeção e a necessidade de uma ignição mais eficiente para lidar com a baixa velocidade de propagação da chama do gás natural.

A correta calibragem dos sistemas de injeção e ignição é crucial para garantir o desempenho ideal e a segurança do motor, destacando a importância de uma unidade de controle eletrônico avançada, como a Autogas ECU STAG 200 Gofast. Os ensaios demonstraram que, embora o GNV possa levar a uma ligeira perda de potência e torque, sua alta resistência à detonação permite uma maior taxa de compressão, potencialmente aumentando a eficiência térmica do motor.

Para trabalhos futuros, é recomendável aprofundar a investigação sobre a otimização dos sistemas de injeção e ignição para combustíveis alternativos, especialmente GNV, em motores flex-fuel. Estudos experimentais detalhados, com foco em diferentes regimes de operação e condições ambientais, podem fornecer dados valiosos para aprimorar os mapas de injeção e ignição. Além disso, a análise dos impactos econômicos e ambientais da ampla adoção de GNV em frotas de veículos comerciais e de transporte público pode oferecer insights importantes para políticas públicas e incentivos governamentais.

Referências

- ALMEIDA, T. B. et al. **Seleção de atributos usando abordagem wrapper para classificação multirrótulo**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.
- BABUA, V.; KRISHNAB, R.; MANIC, N. Revisão sobre a detecção de adulteração em combustíveis através de técnicas computacionais. **Materials Today, ScienceDirect**, n.4, p.1723-1729, 2017.
- BAZEIA, D.; PEREIRA, M. B. P. N.; BRITO, A. V.; OLIVEIRA, B. F.; RAMOS, J. G. G. S. *A novel procedure for the identification of chaos in complex biological systems*. *Scientific reports*, v. 7, p. 44900, 2017.
- BROEK, J. van den; ABEGG, S.; PRATSINIS, S. E.; GÜNTNER, A. T. *Highly selective detection of methanol over ethanol by a handheld gas sensor*. *Nature Communications*, 2019.
- GARCIA, Marcos Paulo Ribeiro. **Estudo de desempenho de motor três cilindros alimentado com GNV como combustível**. 2022. 118 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

- GHENAI, Chaouki; JANAJREH, Isam. Combustion of renewable biogas fuels. *J. Energy Power Eng*, v. 9, n. 10, p. 831-843, 2015.
- GILLES, T. *Automotive Engines: Diagnosis, Repair and Rebuilding*. 8ª ed. Nova York: Cengage Learning, 2018.
- LEE, Sanguk; KIM, Gyeonggon; BAE, Choongsik. Efeito da injeção e do tempo de ignição em um motor de combustão de carga estratificada pobre em hidrogênio. *Revista Internacional de Pesquisa de Motores*, v. 5, p. 816-829, 2022.
- RIBEIRO, Camilo Bastos; SCHIRMER, Waldir Nagel. Panorama dos combustíveis e biocombustíveis no Brasil e as emissões gasosas decorrentes do uso da gasolina/etanol. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 2, n. 2, 2017.
- SINIGAGLIA, Tiago; MARTINS, Mario Eduardo Santos; SILUK, Julio Cezar Mairesse. Technological evolution of internal combustion engine vehicle: **A patent data analysis**. *Applied Energy*, v. 306, p. 118003, 2022.
- VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Constituição dos motores**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Departamento de Engenharia. Área de Máquinas e Energia na Agricultura, 2016.
- YAKIN, Ahmet; BEHÇET, Rasim. Efeito de diferentes tipos de combustíveis testados em um motor a gasolina no desempenho e nas emissões do motor. *Revista Internacional de Energia de Hidrogênio*, v. 66, p. 33325-33338, 2021.
- ALMEIDA, T. B. et al. **Seleção de atributos usando abordagem wrapper para classificação multirrótulo**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.
- AMORESANO, A.; IODICE, P.; LANGELLA, G. **Etanol nas misturas de combustíveis da gasolina_ efeito no consumo de combustível e nas emissões de motores fora do motor dos SI em condições frias de operação**. Engenharia Térmica Aplicada, ScienceDirect, n.130, p.1081-1089, 2018.
- ÁVILE, LORENA MORINE; SANTOS, AMANDA P. F. DOS; MATTOS, DANIELLE I. M. DE; SOUZA, CRISTIANE GINENES DE; ANDRADE, DÉBORA FRANÇA DE; D'ÁVILA, LUIZ ANTONIO. **Determinação de etanol na gasolina por cromatografia líquida de alta eficiência**. Combustível, ScienceDirect, n.212, p.236-239, 2018.
- BABUA, V.; KRISHNAB, R.; MANIC, N. **Revisão sobre a detecção de adulteração em combustíveis através de técnicas computacionais**. Materials Today, ScienceDirect, n.4, p.1723-1729, 2017.
- BAZEIA, D.; PEREIRA, M. B. P. N.; BRITO, A. V.; OLIVEIRA, B. F.; RAMOS, J. G. G. S. **A novel procedure for the identification of chaos in complex biological systems**. Scientific reports, v. 7, p. 44900, 2017.
- BROEK, J. VAN DEN; ABEGG, S.; PRATSINIS, S.E.; GÜNTNER, A.T. **Highly selective detection of methanol over ethanol by a handheld gas sensor**. Nature Communications, 2019.
- GILLES, T. **“Automotive Engines: Diagnosis, Repair and Rebuilding”**. Cengage Learning, 8ª edição. Nova York: Estados Unidos. 2018.
- RIBEIRO, Camilo Bastos; SCHIRMER, Waldir Nagel. Panorama dos combustíveis e biocombustíveis no Brasil e as emissões gasosas decorrentes do uso da gasolina/etanol. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 2, n. 2, 2017.
- GHENAI, Chaouki; JANAJREH, Isam. Combustion of renewable biogas fuels. *J. Energy Power Eng*, v. 9, n. 10, p. 831-843, 2015.
- GARCIA, Marcos Paulo Ribeiro. **Estudo de desempenho de motor três cilindros alimentado com GNV como combustível**. 2022. 118 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- CENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A.; KANOĞLU, Mehmet. **Termodinâmica: uma abordagem de engenharia**. Nova York: McGraw-hill, 2016.
- LEE, Sanguk; KIM, Gyeonggon; BAE, Choongsik. Efeito da injeção e do tempo de ignição em um motor de combustão de carga estratificada pobre em hidrogênio. *Revista Internacional de Pesquisa de Motores*, v. 5, pág. 816-829, 2022.
- SINIGAGLIA, Tiago; MARTINS, Mario Eduardo Santos; SILUK, Julio Cezar Mairesse. Technological evolution of internal combustion engine vehicle: A patent data analysis. *Applied Energy*, v. 306, p. 118003, 2022.
- VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Constituição dos motores**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro–Departamento de Engenharia. Área de Máquinas e Energia na Agricultura, 2016.
- YAKIN, Ahmet; BEHÇET, Rasim. Efeito de diferentes tipos de combustíveis testados em um motor a gasolina no desempenho e nas emissões do motor. *Revista Internacional de Energia de Hidrogênio*, v. 66, pág. 33325-33338, 2021.



32

A IMPORTÂNCIA DA IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE GESTÃO
DE MANUTENÇÃO

THE IMPORTANCE OF IMPLEMENTING MAINTENANCE
MANAGEMENT SYSTEMS

Nilton Santos Silva
Ronaldo de Jesus Barros

Resumo

O estudo aborda a importância da implementação de sistemas de gestão de manutenção, focando na estratégia preventiva para otimizar o desempenho operacional e maximizar a produtividade nas organizações industriais. Considerando as restrições temporais e financeiras, destaca-se a relevância da manutenção preventiva na garantia de operações contínuas e na prevenção de falhas inesperadas. O objetivo central é analisar os impactos da implementação de manutenções preventivas na produtividade industrial. Os objetivos específicos incluem a identificação de conceitos-chave relacionados à manutenção, especialmente à preventiva, visando compreender como práticas proativas influenciam positivamente a eficiência e o desempenho dos processos industriais. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa descritiva, por meio de revisão de literatura. A análise envolve artigos, livros, monografias do Google Acadêmico, Scielo, Lilacs e banco de teses e dissertações de universidades brasileiras. A leitura analítica das teorias busca fornecer respostas ao problema de pesquisa. O período de busca abrange os últimos 10 anos. Ao abordar o impacto da manutenção preventiva na produtividade, o estudo destaca a importância de alinhar a gestão de ativos à eficiência produtiva. A estratégia preventiva não apenas reduz o tempo de inatividade e custos associados à manutenção corretiva, mas também contribui para a sustentabilidade, prolongando a vida útil dos equipamentos. A pesquisa reforça a necessidade de práticas proativas para fortalecer a qualidade do produto, garantir a segurança no trabalho e economizar custos, atendendo à demanda por eficiência operacional em ambientes industriais.

Palavras-chave: Manutenção Preventiva, Equipamentos, Produtividade, Gestão

Abstract

The study addresses the importance of implementing maintenance management systems, focusing on preventive strategies to optimize operational performance and maximize productivity in industrial organizations. Considering temporal and financial restrictions, the relevance of preventive maintenance in ensuring continuous operations and preventing unexpected failures stands out. The central objective is to analyze the impacts of implementing preventive maintenance on industrial productivity. The specific objectives include the identification of key concepts related to maintenance, especially preventive maintenance, aiming to understand how proactive practices positively influence the efficiency and performance of industrial processes. The research adopts a descriptive qualitative approach, through a literature review. The analysis involves articles, books, monographs from Google Scholar, Scielo, Lilacs and a bank of theses and dissertations from Brazilian universities. The analytical reading of theories seeks to provide answers to the research problem. The search period covers the last 10 years. When addressing the impact of preventive maintenance on productivity, the study highlights the importance of aligning asset management with productive efficiency. The preventive strategy not only reduces downtime and costs associated with corrective maintenance, but also contributes to sustainability, extending the useful life of equipment. The research reinforces the need for proactive practices to strengthen product quality, ensure workplace safety and save costs, meeting the demand for operational efficiency in industrial environments.

Keywords: Preventive maintenance, Equipment, Productivity, Management.



1. INTRODUÇÃO

A otimização do desempenho operacional e a maximização da produtividade são pilares fundamentais para o sucesso de qualquer organização. Em um cenário onde a eficiência é a chave para se manter competitivo, a manutenção desempenha um papel crucial na garantia da operação contínua e confiável de equipamentos, serviços e instalações. No entanto, a necessidade de minimizar custos e maximizar a produção muitas vezes impõe restrições temporais e financeiras que podem impactar a eficácia das atividades de manutenção.

Nesse contexto, a manutenção preventiva surge como uma abordagem estratégica de extrema importância. Ela não apenas visa assegurar o funcionamento ininterrupto das operações, mas também prevenir a degradação prematura de equipamentos, reduzir o risco de falhas inesperadas e garantir a qualidade dos produtos ou serviços oferecidos. A implementação eficaz da manutenção preventiva não somente está relacionada à redução de tempo de inatividade não planejado, mas também à otimização dos recursos, ao aumento da vida útil dos equipamentos e à minimização dos custos associados à manutenção corretiva.

A manutenção preventiva desempenha um papel fundamental ao preservar e otimizar equipamentos, evitando a progressão de problemas menores para danos graves. Isso reduz o tempo de inatividade e os custos de reparo. Além disso, contribui para a sustentabilidade, prolongando a vida útil dos equipamentos e diminuindo o impacto ambiental relacionado à produção e descarte. Na produção, assegura qualidade consistente dos produtos, fortalecendo a reputação e satisfação do cliente, ao mesmo tempo que reduz retrabalho e desperdício.

A justificativa para a implementação de manutenções preventivas é baseada na otimização do funcionamento dos equipamentos, na redução de paradas não planejadas, no aumento da disponibilidade, na melhoria da qualidade do produto, na segurança no trabalho e na economia de custos. Ao adotar essa abordagem, as empresas podem alinhar a manutenção de seus ativos à eficiência produtiva, maximizando os benefícios em termos de fluxo de trabalho contínuo, qualidade e economia.

A crescente demanda por eficiência operacional em ambientes industriais tem conduzido à adoção de estratégias de manutenção mais proativas. Nesse contexto, o problema de pesquisa que será abordado neste estudo consiste: Qual é o impacto da implementação de estratégias de manutenção preventiva nos níveis de produtividade de uma organização?

O objetivo geral deste estudo é analisar os impactos da implementação de manutenções preventivas na produtividade industrial. Para atingir esse propósito, o objetivo específico foi compreender a identificação dos principais conceitos e características associados à manutenção preventiva.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A metodologia empregada adotou uma abordagem qualitativa descritiva, centrada na revisão de literatura. Essa escolha metodológica permitiu a síntese de informações já

disponíveis, assim como a formulação de conclusões a partir do tema em questão. Para a condução do estudo, foi conduzida uma revisão abrangente da literatura, abrangendo artigos, livros e monografias disponíveis em fontes como Google Acadêmico, Scielo, Lilacs, além do banco de teses e dissertações de universidades brasileiras.

Durante o processo de pesquisa, foi realizada uma análise criteriosa dos materiais, permitindo que as teorias identificadas conduzissem à resposta para o problema de pesquisa delineado. O período considerado para a busca bibliográfica abarcou os últimos 10 anos.

2.2 Resultados e Discussão

A implementação de estratégias de manutenção preventiva tem sido objeto de estudo e aplicação em diversas organizações, buscando compreender seu impacto nos níveis de produtividade. Para elucidar essa questão, diferentes teorias têm sido exploradas e relacionadas aos desafios contemporâneos enfrentados pelas empresas (Souza, 2017).

Inicialmente, a história da manutenção, desde suas origens nas primeiras máquinas têxteis a vapor até sua evolução para práticas mais sofisticadas, destaca a importância crescente atribuída a essa função ao longo do tempo. A transição do conceito de “conservação” para “manutenção” reflete a mudança de paradigma em direção a abordagens mais proativas na gestão de equipamentos e instalações industriais (Souza, 2017).

A distinção entre manutenção operacional preventiva e manutenção da produção ressalta a complexidade crescente dessa função, que não se limita apenas à preservação dos equipamentos, mas também influencia diretamente a eficiência e a confiabilidade dos processos produtivos (Xenos, 2014). No contexto contemporâneo, a integração do planejamento e controle da manutenção com a execução e engenharia de manutenção é essencial para assegurar uma abordagem holística na gestão dos recursos e na promoção da eficiência operacional (Tavares, 2014).

Portanto, a capacitação contínua das equipes de manutenção emerge como um elemento crucial para o sucesso das estratégias preventivas, uma vez que profissionais qualificados não apenas realizam as tarefas de forma mais eficiente, mas também contribuem para a melhoria contínua dos processos e equipamentos (Tavares, 2014).

Dessa forma, a implementação eficaz de estratégias de manutenção preventiva pode gerar impactos positivos nos níveis de produtividade de uma organização, garantindo a operação confiável dos equipamentos, reduzindo custos associados a falhas e interrupções não planejadas e promovendo uma cultura de excelência operacional e inovação (Ayres, 2014).

A efetiva necessidade de promover transformações suscita reflexões entre os colaboradores, dadas as velocidades requeridas para a atualização dos processos produtivos. A pressão constante por atualização tem demandado respostas ágeis e um crescente processo de conscientização acerca dos potenciais em falhas nos equipamentos (Ayres, 2014).

O processo de manutenção pode ser compreendido como um conjunto específico de atividades necessárias para restaurar ou conservar um determinado equipamento, seguindo um método estabelecido de acordo com as condições especificadas pelo fabricante (Branco Filho, 2014). A ação de manutenção não deve ser apenas eficiente, mas também eficaz. Isso implica não apenas consertar ou instalar o equipamento no menor tempo possível, mas também garantir que o equipamento esteja prontamente disponível para operação, prevenir falhas indesejadas e reduzir os riscos de interrupções não planejadas



na produção.

Diversas organizações envolvem ações de manutenção em várias capacidades e formas. A forma como essas ações são classificadas e estruturadas depende das necessidades, atividades desempenhadas, tamanho da empresa e características dos produtos ou serviços oferecidos. Em muitas indústrias, a produção é erroneamente enfocada apenas na operação ou no método produtivo, quando na verdade o processo produtivo abrange tanto a operação quanto a manutenção. Ambas têm importância igual dentro de uma empresa produtiva (Branco Filho, 2014).

Além do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), a execução e a engenharia de manutenção também estão integradas à gerência de manutenção. A equipe de manutenção consiste em profissionais técnicos, incluindo equipes eletroeletrônicas e mecânicas, que são responsáveis pelo planejamento, acompanhamento da produção e execução das tarefas de manutenção em equipamentos e sistemas como parte da estratégia produtiva (Tavares, 2014).

A metodologia *Total Productive Maintenance* (TPM) é uma abordagem que visa otimizar a utilização dos equipamentos, minimizando custos e maximizando a eficiência operacional ao longo do ciclo de vida dos ativos. Ao avaliar os custos totais dos equipamentos em relação ao tempo e às intervenções necessárias, a TPM busca identificar oportunidades de melhoria contínua (Tavares, 2014).

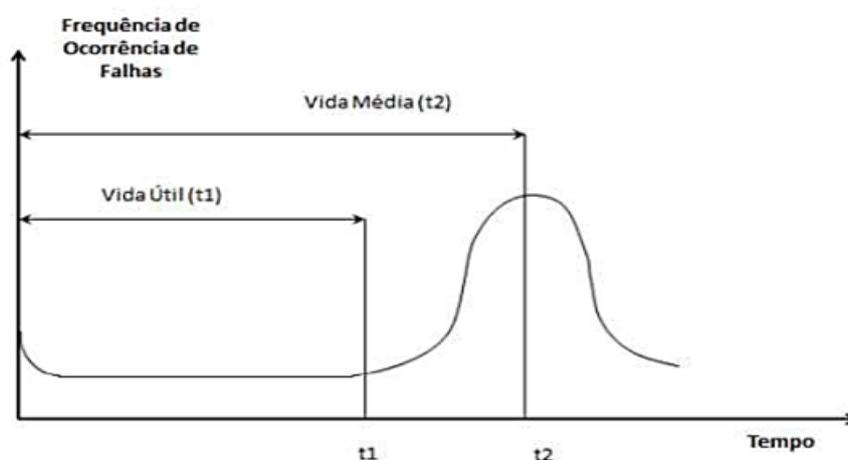


Figura 1. Desgaste de um Equipamento

Fonte: Ayres (2014).

Além disso, essa metodologia estende suas intervenções para além da manutenção, alcançando outras áreas, como a operação, onde a eficiência e a produtividade também podem ser aprimoradas. Essa abordagem holística envolve a participação de todas as áreas da empresa, promovendo uma cultura de colaboração e responsabilidade compartilhada (Ayres, 2014).

Ao implementar a TPM, ocorrem mudanças significativas nos comportamentos e nas práticas de trabalho, criando um ambiente mais atrativo e motivador para os colaboradores. Cada membro da equipe desempenha um papel fundamental na busca por melhorias contínuas, contribuindo para o sucesso geral da organização. Essa metodologia não se limita a um tipo específico de processo produtivo ou organização, sendo adaptável e aplicável em diversos contextos industriais e empresariais. Através da TPM, as empresas podem alcançar níveis mais elevados de eficiência, qualidade e competitividade no mercado (Tavares, 2014).

A capacitação constante e a qualificação das equipes de manutenção são de extrema importância. De acordo com Tavares (2014), um profissional mal preparado não apenas levará mais tempo para concluir uma tarefa, mas também pode introduzir ou agravar problemas nos equipamentos. A qualificação profissional é essencial para desenvolver habilidades que contribuam para a qualidade do serviço, eficiência na execução das tarefas, redução de tempo e melhorias nos equipamentos e instalações.

A implementação de estratégias de manutenção preventiva tem um impacto significativo nos níveis de produtividade de uma organização. A manutenção preventiva é uma prática que visa garantir o funcionamento contínuo e eficiente dos equipamentos, evitando interrupções não programadas na produção (Schoeps, 2016)

Quando aplicada de forma planejada, a manutenção preventiva permite antecipar desgastes e realizar intervenções antes que ocorram falhas, eliminando a necessidade de paradas inesperadas e minimizando a necessidade de equipamentos sobressalentes. Isso resulta em uma operação mais eficiente e confiável, o que pode levar a uma maior disponibilidade dos equipamentos e redução de custos em comparação com a manutenção corretiva (Tavares, 2014).

Giurlani (2018) ressalta que um programa de manutenção bem estruturado possibilita a troca de peças conforme o desgaste previsto, ampliando os intervalos entre as paradas para manutenção e gerando economias significativas para a empresa. A adoção de uma estratégia de manutenção preventiva, é fundamental para justificar os benefícios da redução de custos e aumento da produtividade. Isso inclui a implementação de planos de inspeção, calibração, lubrificação e limpeza, bem como a consideração de trocas de componentes de forma programada (Souza, 2014).

É importante, no entanto, ressaltar que programas de manutenção preventiva podem se tornar ineficientes se não forem bem gerenciados. Muitas vezes, a periodicidade das intervenções é baseada na experiência ou recomendações conservadoras dos fabricantes, em vez de uma análise lógica (Campos, 2014).

Portanto, a gestão eficaz da manutenção preventiva, conforme destacado por Siqueira (2015), é crucial para o sucesso das operações de uma organização. Isso requer uma abordagem inovadora que leve em consideração a complexidade dos equipamentos e as mudanças no ambiente externo da empresa.

O papel do Engenheiro Mecânico, conforme enfatizado por Campos (2019), é fundamental na supervisão e gestão eficiente da manutenção preventiva para garantir resultados organizacionais positivos. A implementação de estratégias de manutenção preventiva é fundamental para conservar e garantir o bom funcionamento dos equipamentos, evitando paradas não programadas. Quando bem administrada, essa prática contribui significativamente para o sucesso do negócio, controlando custos, programando trabalhos e antecipando problemas potenciais (Ribeiro, 2017).

A manutenção preventiva, segundo Schoeps (2016), é uma prática que visa manter o controle contínuo sobre os equipamentos, permitindo operações adequadas para a conservação e o bom funcionamento. Essa abordagem técnica enfatiza o conhecimento dos equipamentos e seus processos de instalação, sendo responsável por intervenções planejadas que minimizam interrupções não programadas na produção.

Ao ser programada, a manutenção preventiva antecipa desgastes, eliminando a necessidade de equipamentos sobressalentes e permitindo um planejamento de custos para a manutenção, o que contribui para uma operação eficiente. É importante notar que a manutenção preventiva é mais econômica do que a manutenção corretiva, resultando

em maior disponibilidade e confiabilidade para empresas que dependem de equipamentos mecânicos para sua lucratividade (Tavares, 2014).

Souza (2017) enfatiza que é função do Gerente de Manutenção estabelecer uma estratégia justificando a Manutenção Preventiva em equipamentos mecânicos, destacando benefícios como redução de custos e aumento da produtividade. A adoção de planos de inspeção, calibração, lubrificação e limpeza, bem como a consideração de trocas de componentes, pode ser apresentada como uma estratégia de curto prazo para obter resultados positivos.

De acordo com a ABNT (2015), a Manutenção Preventiva é definida como a intervenção realizada em intervalos predeterminados para reduzir a probabilidade de degradação ou falhas. Contudo, muitos programas de manutenção preventiva podem ser ineficientes, realizando tarefas com frequência excessiva ou desnecessárias. A periodicidade é frequentemente baseada na experiência ou nas recomendações conservadoras dos fabricantes, em vez de usar uma análise lógica (Campos 2019).

A gestão da manutenção preventiva é uma estratégia crucial para organizações, pois permite o gerenciamento eficiente de ativos e aumenta a eficácia das operações. Isso exige uma abordagem inovadora que leve em conta a complexidade dos equipamentos e as mudanças no ambiente externo da organização (Siqueira, 2015).

O Engenheiro Mecânico desempenha um papel fundamental na supervisão da manutenção preventiva, assegurando resultados organizacionais por meio de uma gestão eficiente (Campos, 2019). Em síntese, a manutenção preventiva é uma estratégia que visa a conservação e o bom funcionamento dos equipamentos, evitando paradas não programadas. Quando bem administrada, contribui para o sucesso do negócio ao controlar custos, programar trabalhos e antecipar problemas potenciais (Ribeiro, 2017).

Baseando-se em Neves (2016), a manutenção preditiva apresenta vantagens significativas, como intervenção mínima na planta, potencial para recuperar os investimentos a médio prazo e redução das interrupções na produção. No entanto, para alcançar tais resultados, é imprescindível contar com uma equipe altamente treinada e um sistema tecnológico robusto com suporte eficaz em medição e monitoramento.

Segundo Neves (2016), embora a manutenção detectiva compartilhe características semelhantes com a preditiva, sua principal distinção reside na capacidade de identificar e tratar falhas ocultas. Quando empregada adequadamente, essa abordagem permite detectar tais falhas antes que causem impactos significativos. Assim como na manutenção preditiva, a principal desvantagem da detectiva é a necessidade de operadores bem capacitados e dedicados aos sistemas de controle.

Segundo Seixas (2014), a manutenção preditiva é uma filosofia que visa evitar a tendência a reparos excessivos. Essa prática se revela economicamente vantajosa ao antecipar as necessidades de manutenção, evitando custos desnecessários associados a intervenções não programadas. A abordagem proposta por Seixas destaca a importância dos estudos de engenharia de manutenção, os quais são fundamentais para a definição de ciclos otimizados e a realização de intervenções planejadas (Seixas, 2014).

A aplicação eficiente da manutenção preditiva traz consigo uma série de benefícios, tais como a redução de paradas não programadas, o aumento da vida útil dos equipamentos e a minimização dos custos de manutenção. A previsibilidade proporcionada por essa abordagem permite uma gestão mais eficaz dos recursos, impactando positivamente na produtividade e na rentabilidade da empresa (Seixas, 2014).

2.2.1 Planejamento e Organização do Processo de Manutenção

De acordo com Nascif e Dorigo (2014), o planejamento e organização do processo de manutenção eram originalmente vistos como atividades para administrar recursos e garantir a carga horária de trabalho adequada. No cenário atual, o planejamento e o acompanhamento da manutenção evoluíram para incluir o controle e a resolução de problemas no processo produtivo, a fim de manter a competitividade no mercado, sem comprometer a busca pela excelência dos resultados e a detecção de falhas que poderiam danificar os equipamentos.

Branco Filho (2014) menciona que a filosofia de planejamento e controle da manutenção preventiva foi adotada por países mais desenvolvidos há muitos anos, e no Brasil começou a ser implementada a partir dos anos 90. Isso se deveu à mudança de foco das organizações, de busca de retorno financeiro para considerar a qualidade de serviços e produtos como um requisito crucial, impulsionado pela influência da indústria oriental.

A evolução das organizações é evidente, com modificações nas estratégias, colaboradores e tecnologias. Isso gerou a necessidade de adaptação por meio de técnicas como a Polivalência e o TPM, que são eficientes na detecção de falhas em equipamentos. Centros de qualificação, como os Cequal, foram criados para corrigir deficiências antigas e qualificar a mão de obra em manutenção, com o Programa Nacional de Qualificação e Certificação de pessoal na área de manutenção (PNQC) (Kardec; Nascif 2016).

A inserção diversificada desses colaboradores resultou em tratamento variado e acompanhamento das operações e prevenção de anomalias em equipamentos. O PCM (Planejamento e Controle da Manutenção) orienta as estratégias de prevenção a serem implementadas pelo setor, buscando aprimorar os processos (Oliveira, 2018).

Cabral (2014) enfatiza que as ações relacionadas ao PCM devem estar integradas a outras atividades da organização, uma vez que todos os departamentos têm o mesmo objetivo final. Desde o início do processo, as atribuições, indicadores, metas de desempenho, procedimentos e planos de ação devem ser definidos, assim como estratégias de auditoria. Segundo Rodrigues (2017), o controle é:

A medição, verificação e acompanhamento são essenciais para atingir metas e manter resultados desejados. Essas práticas permitem o controle eficaz das variáveis de um processo, garantindo que os objetivos sejam alcançados. Além disso, esse monitoramento contínuo também abre espaço para melhorias e aprimoramentos, tornando-se fundamental em contextos de gestão e planejamento (Rodrigues, 2017, p.28).

A manutenção preventiva, dentro dessa estratégia, é fundamental para garantir a qualidade e o molde do produto final, impactando positivamente na produtividade. No entanto, não se trata apenas de uma simples inspeção, mas de uma vertente crucial que agrega valor e conservação ao produto final (Daronco, 2014).

As estratégias preventivas incluem diferentes canais, como vistorias, promoções de vendas, negociações pessoais e a promoção de produtos ou serviços mais elaborados, com o objetivo de evitar efeitos corretivos. Essas estratégias não apenas detalham o produto, mas também fortalecem a organização como um todo (Blume; Ledermann, 2016). Independentemente dos canais utilizados, é essencial que essas estratégias contribuam para a valorização do produto final e facilitem sua venda.

A aplicação da manutenção preventiva deve ser adaptada ao ramo de negócio de



cada organização, considerando suas necessidades específicas. Em projetos, é comum definir a manutenção periódica antes de operar os equipamentos, assegurando que eles atendam às demandas organizacionais. A gestão da qualidade no processo de manutenção preventiva é crucial para a produção de insumos de qualidade, o que impacta a percepção dos clientes e a satisfação dos colaboradores (Castelo, 2018).

A satisfação do colaborador que lida com equipamentos verificados está relacionada a estratégias e treinamentos implementados pela organização, garantindo que os procedimentos corretos sejam seguidos. A qualidade na satisfação do colaborador é mais relevante do que o preço do equipamento em muitos casos, uma vez que a qualidade do equipamento influencia diretamente a satisfação do usuário e a produtividade (Carvalho, 2014).

A gestão da qualidade na manutenção preventiva utiliza o ciclo PDCA (Planejar, Dirigir, Controlar e Agir) como uma ferramenta inovadora para melhorar os processos de manutenção. A relação entre a qualidade e a satisfação do colaborador é crucial para o sucesso da produção. O contato direto entre colaboradores e líderes influencia as práticas de manutenção preventiva (Borgman, 2015).

O sistema de Qualidade Total é essencial para atender às necessidades das organizações, oferecer confiança, custo reduzido, segurança e distribuição eficiente. O controle total envolve ações estruturadas com base no ciclo PDCA para manter a qualidade total dos equipamentos (Campos, 2014). As dimensões de qualidade incluem as características do serviço ou produto, o custo-benefício e o cumprimento de compromissos (Campos, 2014).

2.2.2 Contribuições do PCM para o Desempenho Operacional

Xenos (2014) salienta que o gestor do departamento de manutenção desempenha um papel crucial ao definir as estratégias mais adequadas para a realização da manutenção preventiva. Isso inclui a alocação eficiente de recursos, como mão-de-obra, tempo e financeiros, visando melhorar a confiabilidade dos processos e identificar e corrigir possíveis gargalos na produção.

A implementação da manutenção preventiva representa uma evolução na abordagem da gestão de ativos e operações industriais. Surgiu em resposta à necessidade de aprimoramento nas linhas de produção, levando à criação de equipes especializadas em reparos de máquinas. Essa abordagem estruturada permite às equipes realizar reparos de forma mais eficiente, otimizando o tempo necessário para esses serviços (Xenos, 2014).

A adoção da manutenção preventiva oferece contribuições significativas para o desempenho operacional. Ao identificar e corrigir possíveis gargalos na produção, a equipe de manutenção melhora o desempenho das máquinas e equipamentos. Essa abordagem proativa resulta em uma produção mais eficiente e confiável, contribuindo diretamente para os objetivos organizacionais (Xenos, 2014).

O Planejamento e Controle da Manutenção, conforme delineado por Xenos (2014), emerge como uma peça fundamental na gestão de ativos e operações industriais, destacando a importância de estratégias bem definidas e alocação eficiente de recursos para otimizar a confiabilidade dos processos. A implementação do PCM não apenas atende às exigências operacionais, mas também impulsiona a eficiência global da organização, promovendo uma abordagem proativa para a manutenção industrial.

A manutenção preventiva é crucial para reduzir o tempo de inatividade não planejado e garantir que máquinas e equipamentos estejam sempre operando eficientemente. Além disso, ao realizar manutenção regular, a confiabilidade dos equipamentos aumenta,

contribuindo para uma vida útil mais longa e menos interrupções no processo produtivo. Isso também se reflete na qualidade do produto final, pois equipamentos bem mantidos tendem a operar de forma consistente, reduzindo retrabalhos e aumentando a satisfação do cliente. Por fim, a manutenção preventiva não apenas ajuda a reduzir custos a longo prazo, mas também melhora a eficiência operacional e garante a segurança no local de trabalho, conforme as normas e regulamentações (Carvalho, 2014).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nesta pesquisa, foram elucidados conceitos fundamentais relacionados à gestão da manutenção, destacando-se o seu enfoque na preservação integral de máquinas e equipamentos por meio de ações e técnicas que viabilizam o planejamento eficaz do funcionamento desses ativos. Conseqüentemente, observa-se que as atividades de manutenção adquirem crescente relevância para as organizações, consolidando-se como um setor estratégico.

Os diversos tipos de manutenção mais reconhecidos foram abordados, ressaltando-se que cada um deles apresenta benefícios específicos. Diante disso, as organizações devem avaliar suas demandas e viabilidade de investimento para a implementação dos tipos de manutenção mais adequados às suas necessidades. Em todas essas abordagens, a redução de custos, o aumento da produção, a preservação de ativos e as melhorias nos resultados são aspectos comuns.

Por fim, este estudo destacou os inúmeros benefícios que a gestão da manutenção pode proporcionar às organizações ao ser incorporada em seus processos, com ações direcionadas à manutenção. Na indústria, especificamente, evidenciaram-se melhorias na qualidade, garantia de confiabilidade dos produtos ou serviços, redução de falhas, maior segurança nos processos, minimização de perdas de materiais, aumento da produtividade e melhoria nos resultados globais.

Assim, os objetivos foram plenamente atingidos, respondendo à problemática de pesquisa. Conclui-se que a aplicação planejada de diversos tipos de manutenção proporciona resultados operacionais e financeiros excelentes. Recomenda-se a continuidade de estudos e pesquisas nessa área crucial para a academia, empresas, gestores e empresários, visando aprimorar constantemente as práticas de gestão da manutenção.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- AYRES, Antônio de Pádua Salmeron. **Gestão de Logística e Operações**. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2014.
- BLUME, M.; LEDERMANN, M. **Gestão de produtos e marcas**. Ijuí: Ed. UNIJUÍ, 2016.
- BOGMAN, Itzhak Meir. **Marketing de Relacionamento**: estratégias de fidelização e suas implicações financeiras. São Paulo: Nobel, 2015.
- BRANCO FILHO, Gil. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2014.
- CABRAL, José Saraiva. **Organização e Gestão da Manutenção**. Lisboa: Editora Lidel, 2014.
- CAMPOS, V. F. **Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. Fundação Christiano Ottoni -- Escola de Engenharia — UFMG. Belo Horizonte, 2019.



- CARVALHO, M. M. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2 ed. Elsevier: ABEPRO, 2014.
- CASTELO, L. F. **Planejamento estratégico**. 5. ed. Rio Grande do Sul, 2018.
- COSTA, Eudes Luiz. **Gestão em processos produtivos**. Curitiba: Ibpex, 2018.
- DARONCO, E. **Gestão Manutenção**. Ijuí: Ed. UNIJUÍ, 2014.
- GIURLANI, S. Segurança e Manutenção: Binômio para a Eficiência Industrial. **Revista Manutenção**. 63 — ABRAMAN. Rio de Janeiro, março.2018.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção -- Função estratégica**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2016.
- NEVES, E. S. **Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade como Ferramenta de Melhoria de Performance num Setor de Indústria Metalúrgica de Grande Porte**. Minas Gerais. Monografia: Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), 2016.
- OLIVEIRA, Valter Castelhana de. **A Seleção de Sistemas Integrados de Gestão Empresarial para Corporações**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento de Sistemas de Informação) — Instituto de Informática, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018.
- PEREIRA, Mário. **Engenharia de manutenção: teoria e prática**. Ed. Edufscar. São Paulo. 2014.
- RIBEIRO, J. L. D. **Apostila de Confiabilidade de Sistemas**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica — UFRGS. Porto Alegre, 2017.
- RODRIGUES, Marcelo. **Gestão da Manutenção Elétrica, Eletrônica e Mecânica: manual do professor**. Curitiba: Base Editorial, 2017.
- SCHOEPS, Wolfgang. **Manual de Administração da Produção**. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getulio Vargas, 2016.
- SEIXAS, E. **Manutenção focada em gestão de ativos**. Manaus: 2º Seminário Amazonense de Manutenção, 2014.
- SIQUEIRA, K. T. **Crítérios para a escolha de Sistema de Gerenciamento da Manutenção**. Revista Manutenção nro. 57 — ABRAMAN. Rio de Janeiro, março de 2015.
- SOUZA, Valdir Cardoso. **Organização e Gerência da Manutenção** — Planejamento, Programação e Controle da Manutenção. 3ª Ed, revisada. São Paulo:2017.
- TAVARES, L. A. **Administração Moderna de Manutenção**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Novo Polo, 2014.
- XENOS, Harilaus. **Gerenciamento a manutenção produtiva**. Ed. Falconi. São Paulo. 2014.



33

A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA
THE IMPORTANCE OF MAINTENANCE MANAGEMENT IN THE
INDUSTRY

Jaílton Rogerio Mendonça Privado

Resumo

A gestão de manutenção desempenha um papel crucial na indústria, sendo um componente essencial para garantir a eficiência operacional, a confiabilidade dos equipamentos e a sustentabilidade a longo prazo. Este artigo discute a importância fundamental da gestão de manutenção e seus impactos positivos na indústria. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa descritiva, utilizando revisão de literatura nos últimos 10 anos. A importância da gestão da manutenção foi destacada, indo além da simples correção de falhas, visando à eficiência operacional e à prevenção proativa de problemas. Este estudo tem como objetivo geral analisar a importância da gestão da manutenção na indústria contemporânea como um elemento essencial para o sucesso operacional e competitivo. Para atingir esse objetivo, são propostos dois objetivos específicos: primeiro, conceituar a gestão da manutenção, explorando suas dimensões e papel estratégico nas organizações industriais e o segundo apresentar e discutir os tipos de manutenção existentes no mercado, destacando suas características, vantagens e desvantagens. Em suma, a pesquisa sublinha a importância de escolher estratégias de manutenção alinhadas aos objetivos da organização. A transição de uma abordagem corretiva para preventiva e preditiva foi enfatizada como crucial para otimizar a eficiência operacional, reduzir custos a longo prazo e aumentar a confiabilidade dos ativos industriais. Essas práticas, alinhadas à metodologia de manutenção de classe mundial, contribuem para a gestão eficiente dos ativos industriais, promovendo a confiabilidade das máquinas e a produtividade.

Palavras-chave: Gestão, Manutenção, Industrial, Implementação.

Abstract

Maintenance management plays a crucial role in the industry, being an essential component in ensuring operational efficiency, equipment reliability and long-term sustainability. This article discussed the fundamental importance of maintenance management and its positive impacts on the industry. The research adopted a descriptive qualitative approach, using a literature review over the last 10 years. The importance of maintenance management was highlighted, going beyond simple fault correction, aiming at operational efficiency and proactive problem prevention. This study has the general objective of analyzing the importance of maintenance management in contemporary industry as an essential element for operational and competitive success. To achieve this objective, two specific objectives are proposed: first, to conceptualize maintenance management, exploring its dimensions and strategic role in industrial organizations and the second to present and discuss the types of maintenance existing in the market, highlighting their characteristics, advantages and disadvantages. In short, the research highlights the importance of choosing maintenance strategies that are aligned with the organization's objectives. The transition from a corrective to a preventive and predictive approach was emphasized as crucial to optimizing operational efficiency, reducing long-term costs and increasing the reliability of industrial assets. These practices, aligned with world-class maintenance methodology, contribute to the efficient management of industrial assets, promoting machine reliability and productivity.

Keywords: Management, Maintenance, Industrial, Implementation.

1. INTRODUÇÃO

A eficaz gestão da manutenção desempenha um papel vital no cenário industrial, atuando como um alicerce para o sucesso operacional e competitivo das empresas. Ao longo das últimas décadas, especialmente a partir dos anos 90, tem-se observado um crescente reconhecimento da relevância da manutenção como um componente estratégico dentro das grandes organizações. Nesse contexto, a habilidade de conciliar estratégias eficientes de manutenção com os objetivos de produção tornou-se um fator determinante para o alcance de metas como qualidade aprimorada, eficiência nos custos, prazos de entrega otimizados e redução de impactos ambientais.

O presente cenário econômico global ressalta a interconexão entre a competitividade de uma empresa e sua capacidade de gerenciar recursos de maneira eficaz, mantendo um enfoque firme nas necessidades e expectativas dos clientes. Com o dinamismo e a constante evolução do mercado, as organizações estão continuamente buscando abordagens inovadoras e ferramentas que as auxiliem nesse desafio.

A gestão eficiente da manutenção desempenha um papel crucial no funcionamento e na prosperidade da indústria moderna. Essa importância fundamenta-se em uma série de razões sólidas, que abrangem desde a garantia da operacionalidade contínua dos equipamentos até o impacto positivo nos resultados financeiros e na competitividade das empresas.

A relevância da gestão da manutenção na indústria vai muito além da simples manutenção de equipamentos. Ela exerce uma influência direta sobre a produtividade, eficiência, inovação, segurança e competitividade das empresas. Optar por investir em uma gestão de manutenção sólida não apenas representa uma decisão inteligente, mas também se configura como uma necessidade vital para qualquer indústria que almeje prosperar em um ambiente competitivo e em constante transformação.

A otimização da manutenção, através de abordagens preventivas e preditivas, reduz os custos operacionais, preserva o capital financeiro e aumenta a eficiência ao evitar interrupções. Além disso, a gestão adequada desempenha um papel chave na adaptação ágil da indústria às demandas do mercado, permitindo a introdução de inovações tecnológicas e processuais para manter a relevância e satisfação dos clientes.

Diante da crescente complexidade dos processos industriais e da necessidade de maximizar a eficiência operacional, surge o desafio de como otimizar a gestão da manutenção industrial. Nesse contexto, o problema de pesquisa que se apresenta é: Quais são as principais ferramentas e tecnologias disponíveis para a gestão da manutenção industrial e de que forma elas contribuem para a eficiência, a confiabilidade dos equipamentos e a redução dos custos operacionais?

O objetivo geral da pesquisa foi estudar a relevância da gestão da manutenção na indústria como um componente essencial para a eficiência operacional. Já os objetivos específicos foram: Definir o conceito de gestão da manutenção e apresentar os diferentes tipos de manutenção disponíveis no mercado.



2. DESENVOLVIMENTO

Ao longo da história, a preocupação com a manutenção passou por diversas fases de desenvolvimento. Embora os cuidados para conservar equipamentos datem desde tempos remotos, a ênfase na manutenção se intensificou durante a revolução industrial do século XVIII, acompanhando os avanços tecnológicos e as necessidades da indústria (Wyrebsk, 2017).

Durante essa época, a continuidade da produção era o foco central da manutenção, com o intuito de evitar acidentes e falhas que pudessem afetar o processo produtivo. Inicialmente, a responsabilidade pela manutenção recaía sobre os operadores, que recebiam treinamento para realizar os reparos (Wyrebsk, 2017).

A Primeira Guerra Mundial trouxe avanços na manutenção, quando a abordagem corretiva passou a ser priorizada. No entanto, apenas no período pós-guerra, durante a década de 30, a necessidade de expandir a produção gerou mudanças significativas. O monitoramento baseado no tempo começou a ganhar destaque, dando origem à manutenção preventiva (Souza, 2015).

Nos anos 40 e 50, com a crescente ocorrência de manutenções e os altos custos de reposição de peças, as indústrias implementaram o setor de manutenção, aprimorando a gestão e o planejamento das atividades. A prevenção de falhas demonstrou ser mais vantajosa em relação aos custos e interrupções na produção (Souza, 2015).

A partir dos anos 60, com a chegada dos computadores, houve um avanço significativo no controle e análise de falhas. Surgiram abordagens como a Manutenção Preditiva, baseada em previsões de falhas apoiadas em análises estatísticas. Nesse período, também surgiu o conceito japonês de Gestão de Manutenção, chamado Total Productive Maintenance (TPM), visando aumentar a confiabilidade dos equipamentos e aprimorar a qualidade dos processos (Souza, 2015).

A manutenção, em uma visão abrangente, pode ser definida como o conjunto de ações destinadas a reparar um equipamento ou máquina que tenha sofrido uma falha, independentemente de sua natureza. Além disso, abrange a aplicação de práticas de conservação com o objetivo de estender a vida útil do equipamento (Kardec; Nascif, 2019).

Quando considerada em um contexto mais amplo, a manutenção tem como objetivo garantir o pleno funcionamento do equipamento, indo além de uma simples correção momentânea, como ressaltado por Kardec e Nascif (2019):

A razão de ser da Manutenção é para que não haja necessidade dela; estamos nos referindo à manutenção corretiva não planejada. Essa afirmação pode parecer paradoxal à primeira vista, no entanto, ao aprofundarmos a análise, compreendemos que o campo da manutenção está evoluindo, onde os profissionais da área devem estar cada vez mais qualificados e equipados para prevenir falhas, e não simplesmente para remediar suas consequências (Kardec; Nascif, 2019, p. 9).

Complementando essa perspectiva, Kardec e Nascif (2019) também enfatizam que as atividades relacionadas à manutenção devem evoluir da eficiência para a eficácia. Isso implica que a restauração de equipamentos e instalações não deve se limitar apenas à rapidez, mas deve buscar a completa restauração das funções dos equipamentos utilizados nas operações, visando prevenir falhas e minimizar os riscos de interrupções não planejadas na produção.

Alinhada a essas visões, Freitas (2016) explora o propósito da manutenção e os diversos benefícios que a adoção de estratégias de manutenção pode trazer para a indústria. Isso inclui a redução das perdas de maquinário e a mitigação dos riscos ambientais e humanos provenientes de falhas e quebras de equipamentos. A autora destaca:

As ações de manutenção têm como objetivo evitar a deterioração dos equipamentos e instalações, causada tanto pelo uso inadequado quanto pelo desgaste natural. Essa degradação pode se manifestar por meio do declínio no desempenho, interrupções na produção, fabricação de itens com qualidade insatisfatória, impactos ambientais negativos, entre outros. Essas manifestações exercem um impacto substancialmente adverso na qualidade e produtividade, podendo inclusive ameaçar a sobrevivência da empresa (Freitas, 2016, p. 15).

Nesse contexto, é importante destacar que a concepção de manutenção, enquanto um procedimento destinado a restaurar de maneira eficaz a capacidade produtiva do equipamento, transcende a simples reintegração desse equipamento à linha de produção. Isso se deve ao fato de que esse processo acarreta benefícios adicionais para a indústria, incluindo a mitigação de acidentes e prejuízos, resultando na operação do equipamento com total confiabilidade (Kardec; Nascif, 2019).

A garantia da vida útil, conservação e funcionalidade das instalações e equipamentos é crucial para a manutenção eficaz do sistema. Para alcançar esse objetivo, é fundamental adotar uma variedade de ferramentas e estratégias, resumidas no conceito de políticas de manutenção (Carpinetti, 2016). Essas políticas compreendem um conjunto de conceitos, técnicas e regras elaboradas para operacionalizar a manutenção, atendendo às necessidades específicas da indústria (Ohta, 2020).

O quadro 1 apresenta as principais políticas de manutenção, delineando as ações necessárias em cada modelo. Essas políticas representam abordagens distintas para a gestão da manutenção, cada uma com suas características e benefícios próprios. Ao compreender e aplicar adequadamente essas políticas, as organizações podem otimizar seus processos de manutenção, maximizando a disponibilidade e confiabilidade de seus ativos (Carpinetti, 2016).

Políticas de Manutenção		
Grupo	Base da Política de Manutenção	Ação da Manutenção
Manutenção Corretiva	Manutenção Baseada na Falha	Reparar
Manutenção Preventiva	Manutenção Baseada no Uso	Inspecionar
	Manutenção Baseada no Tempo	Reparar
	Manutenção Baseada no Projeto	Substituir
Manutenção Preditiva	Manutenção Baseada na Detecção	Inspecionar
	Manutenção Baseada na Condição	Inspecionar

Figura 1. Principais Políticas Manutenção

Fonte: Carpinetti (2016)

É possível afirmar que a busca principal na linha de produção não se limita apenas à confiabilidade e qualidade do que é produzido. Em muitos contextos, existe uma preferência por abordagens de manutenção que visem a redução de custos, o que conseqüentemente leva à busca pelo investimento mínimo em procedimentos de manutenção (Santos, 2018). Nesse sentido, é válido analisar as vantagens e desvantagens dos tipos de manutenção estudados, comparando suas especificidades e benefícios para possibilitar uma escolha eficaz e alinhada às prioridades da organização e do gestor de manutenção (Kardec; Nascif, 2019).

No que concerne à Manutenção Corretiva, observa-se que ela visa à redução de custos com a manutenção da linha de produção. Nesse método, máquinas e equipamentos são utilizados até que apresentem falhas ou quebra, momento em que são avaliadas as necessidades de reparo ou substituição. Quando ocorre de maneira não-planejada, os riscos de prejuízos são maiores, pois a produção precisa ser interrompida até que o reparo ou substituição seja realizado (Santos, 2018).

Conforme Santos (2018), a Manutenção Corretiva tem como objetivo corrigir falhas resultantes do desgaste e deterioração dos equipamentos ou máquinas. As correções necessárias podem variar, incluindo alinhamentos, substituição de peças, reparos, balanceamento ou até mesmo a substituição do próprio equipamento.

Segundo Souza (2015), a Manutenção Corretiva envolve quatro etapas: detecção da falha ou quebra, isolamento do componente afetado, eliminação da falha ou reparo da quebra e, por fim, verificação da correção. No que diz respeito às vantagens desse tipo de manutenção, Souza (2015) explica que há uma redução nas perdas de produtividade e nos custos com equipes de manutenção. Isso ocorre porque as equipes são acionadas somente quando os equipamentos precisam de reparo ou substituição.

2.1 A Importância dos Processos de Manutenção

Os processos de manutenção desempenham um papel crucial no desenvolvimento das atividades industriais, e as metodologias adotadas podem influenciar de maneiras distintas nesse processo. A decisão sobre como aplicar essas metodologias cabe aos gestores, considerando que, mesmo máquinas com princípios semelhantes podem apresentar peculiaridades diferentes em determinados contextos (Ferreira, 2017).

A análise de saúde da máquina visa identificar alternativas para melhorar a disponibilidade e o funcionamento contínuo das máquinas. As diversas formas de manutenção compartilham o objetivo comum de prolongar a funcionalidade dos equipamentos, muitas vezes exigindo intervenções apenas quando necessário (Queiroz, 2018).

Ao longo do tempo, observou-se uma evolução na abordagem da manutenção, com a introdução de alternativas que fortaleceram os processos produtivos (Santos, 2021). A busca por novas formas de pensar possibilitou estabelecer metas centradas na confiabilidade do equipamento, visando um setor produtivo mais eficiente (Oliveira *et al.*, 2020).

Em cada geração, identificou-se uma metodologia fundamental que orienta a abordagem da manutenção, sendo essencial compreender os principais tipos de manutenção e como cada um contribui para as atividades industriais (Ribeiro *et al.*, 2017).

O avanço tecnológico permitiu alinhar informações e técnicas de maneira mais assertiva, aumentando a capacidade de análise e resolução de problemas relacionados à manutenção. Cada prática requer estudo aprofundado não apenas dos equipamentos, mas também do modelo de atuação da equipe, visando reduzir o tempo de inatividade das

máquinas no chão de fábrica (Khaira *et al.*, 2018).

2.2 Tipos de Manutenção e Suas Vantagens

Por outro lado, a Manutenção Corretiva pode apresentar desvantagens significativas em comparação com outros tipos de manutenção. Esperar pela quebra de um equipamento aumenta a probabilidade de paradas prolongadas na produção (Santos, 2018). Além disso, a natureza urgente desse tipo de manutenção pode exigir a contratação de equipes terceirizadas e a aquisição emergencial de peças, limitando a possibilidade de comparação de preços e resultando em atrasos no recebimento das peças substitutas (Bonifácio, 2017).

Portanto, embora a Manutenção Corretiva possa parecer mais econômica e menos dispendiosa em termos de capital, seu uso inadequado pode levar a paradas totais na produção, diminuição da disponibilidade de produtos e riscos à integridade dos colaboradores, espaço de produção e meio ambiente (Santos, 2018).

Assim, como abordado no primeiro capítulo deste trabalho, com os avanços industriais, a Manutenção Corretiva foi gradualmente substituída, já que a expansão da produção exigia redução nas paradas para evitar prejuízos no abastecimento e qualidade dos produtos (Souza, 2015). Dessa forma, a manutenção evoluiu, incorporando monitoramento de equipamentos para detectar desgastes e falhas. A partir dos anos 60, a Manutenção Preditiva surgiu com a contribuição dos computadores na detecção de problemas na linha de produção (Kardec; Nascif, 2019).

De acordo com Santos (2018), em comparação com a Manutenção Corretiva, a Manutenção Preditiva requer maior investimento, incluindo contratação de pessoal dedicado à análise das condições das máquinas e compra de equipamentos especializados em monitoramento e avaliação dos componentes da linha de produção.

Contudo, Souza (2015) afirma que a diferença de investimento entre Manutenção Preditiva e Manutenção Corretiva não é desvantajosa, considerando que os prejuízos causados pela espera da quebra dos equipamentos geralmente são maiores do que os ocorridos em abordagens baseadas na Manutenção Preditiva.

Segundo Telang (2016), a Manutenção Preditiva permite um acompanhamento contínuo de máquinas e equipamentos, garantindo sua confiabilidade e disponibilidade. Isso proporciona um entendimento mais profundo dos equipamentos. O autor destaca ainda que a Manutenção Preditiva oferece várias vantagens em relação às abordagens corretivas e preventivas. Ela implica em paradas somente quando os equipamentos mostram sinais de falha, evitando paradas desnecessárias ou não planejadas, o que ajuda a evitar desperdício de tempo (Telang, 2016).

A metodologia PDCA (Plan, Do, Check, Act) pode ser aplicada tanto na manutenção preditiva quanto na preventiva, representando uma ferramenta valiosa para a elaboração de projetos que promovem evolução incremental e ajustes graduais e contínuos. Essa abordagem centraliza os esforços de forma mais clara, uma vez que os pontos de melhoria são definidos de maneira precisa ao longo das iterações, devido à natureza cíclica inerente a essa ferramenta (Santos, 2018).

Segundo Bonifácio (2017), as vantagens do ciclo PDCA incluem oportunidades de aprendizado contínuo, padronização dos processos, agilidade nos procedimentos, definição clara do planejamento, solução mais eficaz e inteligente de falhas e quebras, entre outros benefícios.



Dessa forma, é evidente que a escolha da metodologia para elaboração do planejamento desempenha um papel fundamental nos processos de manutenção. Isso porque essas metodologias possibilitam a organização das etapas do processo e auxiliam na definição eficaz e ágil dos objetivos e ações, destacando sua relevância no âmbito da Gestão de Manutenção (Santos, 2018).

A manutenção corretiva é necessária quando é preciso intervir em uma máquina ou equipamento que já não está em condições de operar, sendo uma resposta direta a um problema existente (Zhao *et al.*, 2019). Essa abordagem avalia o equipamento apenas no momento em que ele para de funcionar, ou seja, quando soluções paliativas não são mais viáveis.

Entretanto, esse tipo de manutenção não proporciona um controle visual efetivo sobre os equipamentos e dispositivos em um parque fabril, podendo resultar em atrasos indesejados na produção (Santos, 2021). Metodologias de manutenção desempenham um papel crucial nos processos industriais, visando identificar anomalias no sistema para desenvolver estratégias e tratamentos eficazes.

A manutenção preditiva, por sua vez, é uma ferramenta essencial no mercado, representando uma abordagem proativa em comparação com a reatividade da manutenção corretiva (Remédios, 2018). Esta forma de manutenção envolve conhecimentos especializados relacionados aos elementos e equipamentos, tornando a abordagem mais técnica. A ênfase está na avaliação do perfil de vida útil dos elementos, utilizando dados para prever quando será necessário realizar a troca de um material, por exemplo (Oliveira *et al.*, 2020).

Para obter uma visão abrangente sobre os equipamentos e compreender o comportamento deles em determinados cenários, a manutenção de classe mundial estabeleceu metodologias para medir as principais características das máquinas. Nesse contexto, é essencial avaliar o comportamento de um equipamento em relação ao Tempo Médio Entre Falhas (TMEF), entender o tempo que os mantenedores levam para devolver uma máquina à produção (TMPR) e, conseqüentemente, analisar o número de ordens corretivas ao longo do tempo para compreender a disponibilidade da máquina no processo produtivo (Ribeiro *et al.*, 2017).

Essa mudança de foco visa não apenas corrigir falhas quando surgem, mas antecipar e prevenir problemas, otimizando a eficiência operacional e reduzindo custos a longo prazo. Essas práticas alinhadas com a metodologia de manutenção de classe mundial proporcionam uma gestão mais eficiente dos ativos industriais, promovendo maior confiabilidade e disponibilidade das máquinas, o que, por sua vez, contribui para o aumento da produtividade e a redução de paradas não planejadas (Santos, 2021).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou compreender a relevância da gestão da manutenção na indústria, explorando a evolução histórica, os tipos de manutenção e as metodologias associadas. O objetivo geral de analisar a eficiência operacional foi atingido ao destacar a importância da transição para abordagens preventivas e preditivas. A resposta para o problema de pesquisa revelou que a escolha estratégica de métodos de manutenção alinhados aos objetivos organizacionais é fundamental para a otimização dos processos.

No entanto, é importante reconhecer as limitações deste estudo. A abordagem qualitativa descritiva, baseada em revisão de literatura, pode apresentar uma visão mais teórica do que prática. Além disso, a análise se concentrou em informações disponíveis nos últi-

mos 10 anos, o que pode limitar a consideração de avanços recentes na área.

Recomenda-se, portanto, pesquisas futuras que incorporem estudos de caso e dados mais recentes para uma análise mais abrangente. A complexidade da gestão da manutenção industrial requer uma abordagem multifacetada, e a constante evolução tecnológica destaca a importância de atualizações contínuas. Este trabalho, apesar de suas limitações, oferece uma base sólida para a compreensão da gestão eficiente da manutenção e destaca a necessidade de adaptação constante às demandas do mercado.

Referências

BONIFÁCIO, M. A. **Manutenção Industrial: Sustentabilidade baseada na prevenção**. SIMPEP, ano XIV, nov. 2017.

FREITAS, L.F. **Elaboração de um plano de manutenção em uma pequena empresa do setor metal mecânico de Juiz de Fora com base nos conceitos da Manutenção Preventiva e Preditiva**. 96 páginas. Trabalho de conclusão de curso (Graduação)- Universidade Federal de Juiz de Fora – Faculdade de Engenharia – 2016.

KHAIRA, A.; DWIVEDI, R. **A state of the art review of analytical hierarchy process**. *Materials Today: Proceedings*, Elsevier, v. 5, n. 2, p. 4029–4035, 2018.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2019.

OLIVEIRA, André Finco; BONORA, Taicimara Ferreira; KLOSS, Tiago de Almeida. **Método De Tomada De Decisão Ahp Aplicado Na Gestão Da Manutenção Industrial: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE BENS DE CONSUMO**. Universidade tecnológica federal do paraná campus Curitiba engenharia de controle e automação engenharia elétrica. Curitiba. 2020.

QUEIROZ, Ellen Ohana Costa. **Gestão da manutenção predial no setor público a partir do estudo de caso do edifício da Escola de Ciências e Tecnologia/UFRN**. 2018. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

REMÉDIOS, E. **Contribuição para a implementação da Manutenção Produtiva Total - Caso de estudo Riberalves**. Dissertação, Departamento de Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.2018.

RIBEIRO, M. B.; DUARTE, V. D.; SALGADO, E. G.; CASTRO, C. V. **Prioritization of critical success factors in the process of software development**. *IEEE Latin America Transactions*, IEEE, v. 15, n. 1, p. 137–144, 2017.

SANTOS, R.S. **Manutenção Preventiva e Corretiva estudo de caso: máquinas de envase de manteiga em pote em uma fábrica de laticínio**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2018.

SANTOS, Luiz Gustavo Silva dos. **Avaliação da Manutenção Predial em Instituições Federais de Educação Superior: um estudo de caso**. 2021. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração Universitária, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

SOUZA, C. J. A. de. **Melhorar a performance da linha de produção utilizando a ferramenta TPM**. Trabalho de conclusão do curso (Engenharia da Produção) - Centro universitário Eurípides de Marília. Marília, 2015.

TELANG, A. **Comprehensive Maintenance Management: Policies, strategies and Options**, PHI, New Delhi, 2016.

WYREBSK, J. **Manutenção Produtiva Total**. Um modelo Adaptado. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 20017.

ZHAO, Y.; NASRULLAH, Z.; LI, Z. **PyOD: A Python Toolbox for Scalable Outlier Detection**. *Journal of Machine Learning Research*, v. 20, n. 96, p. 1-7, 2019.





34

GESTÃO DA MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA

MANUFACTURING MANAGEMENT IN INDUSTRY 4.0: A
SYSTEMATIC REVIEW OF LITERATURE

Jose Marcio Santos da Silva

Resumo

Este estudo tem como objetivo descrever os procedimentos e ferramentas existentes na indústria convencional, destacando a transição que está ocorrendo devido às tecnologias emergentes no mercado, rumo ao cenário da Indústria 4.0. A elaboração deste estudo comparativo visa conceituar de maneira objetiva o tema em questão, apresentando as tecnologias atualmente em uso no setor secundário, ao mesmo tempo em que as compara com os avanços característicos da quarta revolução industrial. O trabalho justifica-se para abordar este tema reside na necessidade premente de compreender os desafios, tendências e estratégias na evolução constante da gestão de manutenção, especialmente diante do contexto da Indústria 4.0. A metodologia adotada neste estudo será a revisão bibliográfica, uma abordagem reconhecida por sua capacidade de fornecer uma visão abrangente e aprofundada do estado atual do conhecimento. O objetivo geral deste estudo é realizar uma análise aprofundada das ferramentas da gestão da manutenção em sintonia com os estudos já mencionados na indústria contemporânea. Em específico, almejamos realizar um exame detalhado dos métodos de tomada de decisão empregados na gestão da manutenção na era da Indústria 4.0. Espera-se que este trabalho contribua para o aprimorar o conhecimento nessa área crucial, fornecendo insights valiosos para profissionais, gestores e pesquisadores interessados na otimização da gestão de manutenção, alinhada aos paradigmas da Indústria 4.0. Ao compreender as abordagens emergentes e as melhores práticas, este estudo visa oferecer subsídios para a implementação de estratégias eficazes e existentes no contexto da gestão da manutenção na indústria moderna.

Palavras-chave: Gestão da manutenção, Indústria 4.0, Organização

Abstract

This study aims to describe the procedures and tools existing in conventional industry, highlighting the transition that is occurring due to emerging technologies in the market, towards the industry 4.0 scenario. The preparation of this comparative study aims to objectively conceptualize the topic in question, presenting the technologies currently in use in the secondary sector, while at the same time comparing them with the advances characteristic of the fourth industrial revolution. The work to address this topic is justified by the pressing need to understand the challenges, trends and strategies in the constant evolution of maintenance management, especially in the context of Industry 4.0. The methodology adopted in this study will be bibliographic review, an approach recognized for its ability to provide a comprehensive and in-depth view of the current state of knowledge. The general objective of this study is to carry out an in-depth analysis of maintenance management tools in line with the studies already mentioned in the contemporary industry. Specifically, we aim to carry out a detailed examination of the decision-making methods used in maintenance management in the industry 4.0 era. It is expected that this work will contribute to improving knowledge in this crucial area, providing valuable insights for professionals, managers and researchers interested in optimizing maintenance management, aligned with Industry 4.0 paradigms. By understanding emerging approaches and best practices, this study aims to provide support for the implementation of effective and existing strategies in the context of maintenance management in modern industry.

Keywords: Maintenance management, Industry 4.0, Organization.



1. INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0, tem transformado profundamente a forma como as organizações industriais operam e interagem com o mundo ao seu redor. No cerne dessa revolução encontra-se a convergência entre tecnologias digitais avançadas, automação e análise de dados, resultando em processos de produção mais eficientes, customização em massa e tomada de decisões embasada em informações precisas. Nesse contexto, a gestão da manutenção emerge como um elemento fundamental para garantir o desempenho, a confiabilidade e a sustentabilidade das operações industriais.

O gerenciamento de manutenção sempre desempenhou um papel crucial nas indústrias, assegurando que equipamentos, máquinas e instalações operem de forma contínua e eficiente. No entanto, a era da Indústria 4.0 introduz um conjunto inovador de ferramentas e abordagens que revolucionam a maneira como a manutenção é concebida e executada. A interconexão de dispositivos por meio da Internet das Coisas (IoT), a análise avançada de dados em tempo real, a inteligência artificial e a aprendizagem de máquina permitem a transição de uma abordagem reativa de manutenção para uma abordagem mais preditiva e proativa.

Nessa perspectiva, a realização de uma revisão sistemática da literatura sobre a gestão da manutenção na Indústria 4.0 se mostra essencial. Uma análise abrangente das pesquisas existentes oferece insights valiosos sobre as tendências, os desafios e as melhores práticas nesse domínio em constante evolução. Compreender como as organizações estão adotando e se adaptando às novas tecnologias, bem como examinar os impactos dessas mudanças, é fundamental para direcionar futuras pesquisas e orientar profissionais da indústria na otimização de suas estratégias de manutenção.

Na Indústria 4.0 é essencial para garantir o desempenho eficiente e produtivo das operações industriais, incorporando tecnologias avançadas como a IoT, IA, análise de dados e automação. A implementação de sensores inteligentes e monitoramento em tempo real permite a detecção precoce de problemas, reduzindo significativamente o tempo de inatividade não programado e melhorando a eficiência operacional.

A revisão sistemática da literatura se justifica pela necessidade de compreender os desafios, tendências e estratégias na evolução constante dessa área. Além de consolidar conhecimento, a revisão contribuirá para disseminar melhores práticas, impulsionando a eficiência operacional e a inovação em empresas que buscam se destacar na Indústria 4.0.

A manutenção vai exigir mudanças positivas na maneira de gerir e as indústrias, e necessário entender os tipos de ferramentas e as qualidades e que vai estar presente neste novo modelo. Quais são as abordagens emergentes e as melhores práticas na gestão da manutenção, impulsionadas pela Indústria 4.0, conforme evidenciado pela literatura atual?

Este estudo tem como objetivo geral realizar uma análise aprofundada das ferramentas da gestão da manutenção em consonância com os avanços tecnológicos na indústria contemporânea. O objetivo específico desta pesquisa é estudar os métodos de tomada de decisão utilizados na gestão da manutenção na Indústria 4.0.

2. MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: TECNOLOGIAS AVANÇADAS PARA EFICIÊNCIA E INOVAÇÃO

A evolução das práticas de manutenção reflete uma integração cada vez mais profunda de tecnologias avançadas, como IoT, machine learning e IA, que capacitam as organizações a prever falhas e recomendar ações para maximizar a eficiência operacional. Os Gemba Walks, antes realizados de forma presencial, agora são conduzidos digitalmente, permitindo que os gestores acessem dados em tempo real sobre equipamentos e operações, elevando significativamente sua compreensão dos processos em curso (Sanitá; Campos, 2020).

A gestão de ativos orientada por dados proporciona insights cruciais para a otimização do ciclo de vida dos equipamentos, fundamentando decisões relativas a reparos e substituições. A capacidade dos próprios equipamentos em detectar e corrigir problemas, combinada com plataformas colaborativas, fomenta uma abordagem de manutenção mais eficaz e compartilhada entre as equipes (Marinelli, 2021).

Além disso, a aplicação da realidade aumentada e virtual simplifica o suporte remoto e o treinamento, enquanto a integração da gestão do conhecimento com o aprendizado de máquina impulsiona a melhoria contínua dos processos de manutenção. Essas inovações convergentes estão transformando fundamentalmente a maneira como as organizações abordam a manutenção, capacitando-as a serem mais proativas, eficientes e adaptáveis em um ambiente em constante evolução (Sanitá; Campos, 2020).

Nos últimos 50 anos, houve uma mudança significativa na gestão da manutenção industrial, de uma preocupação secundária para uma preocupação estratégica chave para as empresas. Neste período, a função de manutenção passa de uma simples resposta a falhas para um importante papel estratégico no alcance dos objetivos de negócio (Santos *et al.*, 2019).

A integração bem-sucedida em uma organização exige atender às necessidades de diversas partes interessadas, incluindo gestão, administração, logística e tecnologia. Esse processo aumenta a complexidade dos trabalhos de manutenção, o que representa uma grande oportunidade para o setor empresarial e contribui para o crescimento do setor em todo o mundo (Sanitá; Campos, 2020).

Em geral, a inovação está associada a mudanças e novos produtos, materiais, processos, serviços e estruturas organizacionais. No contexto industrial, as novas tecnologias impulsionaram a produção em massa, para conceitos de produção enxuta e previsível, dando uma maior visão sobre as capacidades dos ativos da empresa (Kappes, 2021).

As reformas podem ser divididas em três gerações, de 1930 a 2000. Estes desenvolvimentos são impulsionados por inovações em processos, serviços e estruturas organizacionais. Enquanto isso, uma nova perspectiva sobre manutenção está emergindo à medida que a manutenção avança em direção a uma abordagem mais previsível, abordando desafios relacionados à gestão do ciclo de vida dos ativos e contribuindo para o avanço da tecnologia de produção (Marinelli, 2021).

A manutenção evoluiu de uma série de ações realizadas pelos gestores para reparar equipamentos após uma pane (corretiva) para um nível estratégico dentro da empresa (manutenção proativa). A manutenção corretiva é o trabalho realizado com o objetivo de recuperar o equipamento após a detecção da falha (Santos *et al.*, 2019). Já a manutenção preventiva é um método que visa reduzir o risco de falha do equipamento por meio de intervenções regulares realizadas durante a operação do equipamento para evitar falhas



repentinamente. Apesar das vantagens deste método, a desvantagem é que muitas intervenções e ferramentas podem gerar problemas (Santos *et al.*, 2019).

Além disso, a manutenção preventiva é uma estratégia que consiste na substituição, renovação ou reconstrução de peças em intervalos definidos ou adaptativos, independentemente da condição atual. Esse modelo de gestão de manutenção é considerado uma política de manutenção de longo prazo que inclui atividades como reparos programados e remoções programadas (Marcon; Thomaz; Bresciani, 2019). No âmbito da manutenção preventiva, as falhas são cuidadosamente monitorizadas e registradas numa base de dados. Estas informações devem ser utilizadas como base para a implementação de procedimentos gerais de manutenção. Indicadores de confiabilidade dos equipamentos, como tempo médio entre falhas (MTBF) e tempo médio para reparo (MTTR), são derivados de dados registrados em tempo real sobre o desempenho dos equipamentos (Cardoso; Regattieri, 2020).

Ambas as métricas fornecem uma estimativa do tempo entre dois erros e o tempo médio necessário para recuperar o sistema quando esses erros ocorrem. Embora os processos de degradação dos equipamentos sejam diferentes em cada caso e as causas da incerteza, as informações contidas nas medições de MTBF e MTTR permanecem as mesmas (Cardoso; Regattieri, 2020).

Como resultado, a manutenção preditiva é uma abordagem de manutenção especializada baseada em políticas de redução de erros. Neste método, a intervenção de manutenção é realizada quando a taxa de falhas e outras variáveis de confiabilidade do equipamento atingem um nível especificado. Sempre que um desses indicadores ultrapassa os limites estabelecidos, são implementadas medidas de manutenção para restaurar o equipamento à sua condição original ou a um bom estado para os limites (Pires; Okada, 2020).

2.1 Planejamento e Controle da Manutenção - PCM e a gestão da manutenção

Segundo Filho (2018) conceitua o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) como um conjunto de ações voltadas para a preparação, programação e verificação dos resultados da execução das tarefas de manutenção, comparando-os com valores preestabelecidos. Além disso, destaca a necessidade de adotar medidas corretivas para alinhar a execução das tarefas aos objetivos e à missão da empresa, utilizando os meios disponíveis. Por sua vez, Campos (2020) propõe que o PCM assume a responsabilidade de definir a periodicidade dos planos de manutenção e os procedimentos presentes nas Ordens de Serviço (OS), os quais devem ser verificados pelos técnicos de campo durante a realização dos serviços.

É essencial que o setor de PCM opere em harmonia com a gerência e a disponibilidade do setor de Planejamento e Controle de Produção (PCP) na elaboração e revisão da programação das manutenções. Esse alinhamento visa minimizar as perdas de produtividade decorrentes do tempo de máquina parada (Campos, 2020). De acordo Campos (2020) ressalta que o PCM fortalece o ciclo de gerenciamento da manutenção em uma organização. Destaca-se que as informações cotidianas presentes nas OS, como dados sobre a máquina, tempo de execução, componente defeituoso, sintomas apresentados, causa do defeito, serviço realizado e técnico responsável, são levantadas e analisadas pelo setor, visando aprimorar a gestão na empresa.

A gestão de manutenção tem como estratégia estabelecer novos padrões, modificar

com os padrões de produção, identificar e lidar com desgastes, reparos ou substituições e seguir programas de manutenção preventiva, como trocas de óleo com métodos pré-estabelecidos (Kappes, 2021). Inspeções e ajustes regulares devem ser realizados para manter seu equipamento em boas condições de funcionamento por muito tempo. Isso nos permite produzir produtos de alta qualidade e reduzir a ocorrência de falhas graves. Mais importante ainda, o principal objetivo da manutenção de equipamentos é manter as operações e reduzir ao máximo o tempo de inatividade (Kappes, 2021).

No contexto dos equipamentos mecânicos, a manutenção inclui atividades como reparação, substituição e fornecimento dos equipamentos necessários. Parte dessa gestão é o monitoramento contínuo para garantir o bom funcionamento e correção de desvios que ocorrem durante o processo produtivo (Reis *et al.*, 2019).

Mudanças de qualquer tipo, mesmo que por pouco tempo, podem reduzir a eficiência da máquina e a quantidade de perdas de produção. Por esta razão, é importante que as organizações desenvolvam e implementem uma estratégia de manutenção sólida (REIS *et al.*, 2019). A má manutenção dos equipamentos pode gerar danos, incluindo perda de produção, retrabalho de projetos, desperdícios e materiais não utilizados, paralisações de obras e descarte de máquinas e equipamentos antes de sua vida útil (Valentim, 2019).

2.2 PCM na indústria 4.0

O termo “Indústria 4.0” teve origem em Hanover, Alemanha, em 2011, durante uma reunião entre investidores, representantes políticos e universitários. O objetivo era alinhar e aprimorar as tecnologias em desenvolvimento com o setor secundário alemão. A fusão do mundo virtual com o real, por meio de processos ciber-físicos, tornou-se crucial para o desenvolvimento da Indústria 4.0, permitindo a criação de fábricas inteligentes capazes de monitorar e tomar decisões virtuais sobre variáveis de gestão (Dias, 2019).

A evolução do trabalho no setor de PCM, que inicialmente ocorria de maneira manual, utilizando caneta e papel. Ao longo dos anos, houve uma modernização parcial com a introdução de computadores para auxiliar na organização e disposição dos dados coletados. A gestão do PCM envolve a coleta, armazenamento e análise de dados provenientes das Ordens de Serviço, com o desenvolvimento de diagnósticos para aprimorar a produtividade (Cardoso, 2020).

A manutenção industrial tem avançado na aplicação de ferramentas de gestão de operações. A Indústria 4.0 projeta a manutenção preditiva como elemento fundamental nessa mudança de paradigma, permitindo que o maquinário e outros sistemas fabris demonstrem em tempo real sua eficiência e necessidades de manutenção aos gestores (Silva, 2018).

Foi apontado por Lima *et al.*, (2019), essas falhas podem ser evitadas ou gerenciadas através do estabelecimento de uma estratégia para o sistema de manutenção de equipamentos da organização. Isso inclui identificar e implementar atividades como a organização de atividades de manutenção de equipamentos dentro da organização (Lima *et al.*, 2019). As principais tarefas são inspecionar o equipamento, limpá-lo adequadamente e lubrificá-lo quando necessário. Inclui também a atualização de edifícios e instalações, além da substituição de equipamentos quando necessário. A implementação de novas ferramentas é outra responsabilidade importante, assim como o desenvolvimento e entrega das ferramentas mais importantes para um trabalho eficaz (Amorim *et al.*, 2019).

As funções auxiliares, por outro lado, concentram-se em aspectos adicionais. Isto inclui a manutenção integral de todo o edifício, o estabelecimento de medidas de prevenção

de incêndios, a boa gestão do armazenamento, as auditorias relacionadas com a manutenção e o reforço da segurança no local de trabalho, incluindo inspeções, e a determinação da utilização adequada dos equipamentos (Amorim *et al.*, 2019).

Muitos setores industriais dependem fortemente de manutenção adequada para garantir o bom funcionamento de ferramentas e equipamentos. Um exemplo bem conhecido é a indústria de processamento de alimentos, desde máquinas robustas até equipamentos portáteis que requerem manutenção. A indústria de fabricação de plásticos também é popular e utiliza equipamentos pesados e leves, necessários para proteção (Santos *et al.*, 2019).

A manutenção também desempenha um papel importante em negócios como restaurantes, especialmente em cozinhas comerciais que precisam ser bem feitas para fornecer um serviço de alta qualidade. Na indústria da construção, a manutenção se estende a equipamentos elétricos, equipamentos de transporte e equipamentos de segurança necessários para garantir um ambiente de trabalho seguro e produtivo (Santos *et al.*, 2019).

Outro exemplo popular é a indústria automobilística, onde a gestão da manutenção desempenha um papel importante na fabricação e montagem de veículos. Portanto, para atender às crescentes necessidades de produção neste setor, é importante implementar métodos robustos de manutenção para manter e reparar os equipamentos regularmente (Santos *et al.*, 2019).

Muitas empresas adotam a abordagem de dizer que uma propriedade não deve ser reparada a menos que esteja danificada. Porém, é importante compreender a importância da manutenção, principalmente nas indústrias que desempenham um papel importante na era da Indústria 4.0 (Martínez-Ávila *et al.*, 2019).

O primeiro argumento enfatiza a importância da manutenção para proteger a segurança dos trabalhadores e das máquinas. A manutenção preventiva faz com que os equipamentos funcionem sempre em condições seguras, elimina possíveis problemas antes que quebrem e reduz riscos (Santos *et al.*, 2019).

Borlido (2017) define uma fábrica inteligente como aquela que “opera com máxima eficiência enquanto máquinas inteligentes interconectadas colaboram entre si, com os trabalhadores, com fornecedores e clientes, e com a cadeia analítica e dinâmica criada para autorregular-se”. Neste contexto, muitas tecnologias emergentes terão aplicabilidade neste cenário na nova revolução industrial em relação à gestão de manutenção, tais como Realidade Aumentada (RA), Nuvem de Dados, Internet das Coisas (IoT) e Big Data. A figura 2 abaixo apresenta os potenciais mudanças decorrentes das tecnologias emergentes.

Além disso, a importância da gestão da manutenção depende da eficácia do equipamento. Devido ao desgaste natural, as máquinas se desgastam com o tempo. O gerenciamento correto da manutenção preventiva garante que as máquinas funcionem em ótimas condições e tenham maior vida útil (Santos *et al.*, 2019). As abordagens emergentes na gestão da manutenção impulsionadas pela Indústria 4.0 estão revolucionando a forma como as empresas lidam com a manutenção de seus equipamentos e ativos. Com o avanço da tecnologia, novas práticas e ferramentas estão sendo adotadas para otimizar a eficiência e reduzir os custos associados à manutenção (Cardoso, 2020).

Uma dessas abordagens é a Manutenção Preditiva, que utiliza tecnologias avançadas, como sensores IoT (Internet das Coisas) e análise de big data, para monitorar continuamente o estado dos equipamentos. Isso permite identificar padrões de desempenho e antecipar falhas, realizando intervenções precisas antes que ocorram paradas não planejadas na produção (Lima *et al.*, 2019).



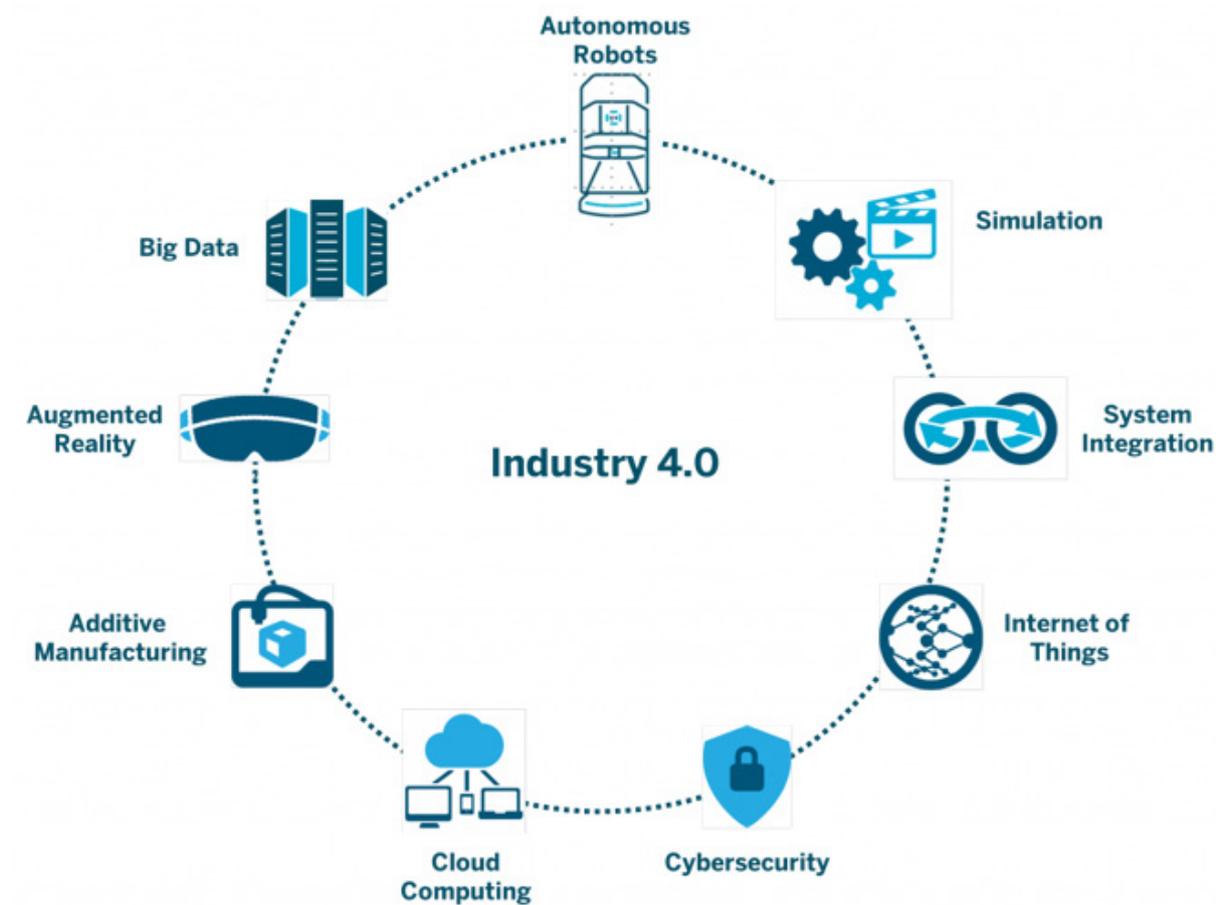


Figura 2: Tecnologias na indústria 4.0

Fonte: Borlido (2017)

Além disso, a Manutenção Baseada em Condição (MBC) está se tornando cada vez mais popular. Nesse modelo, os equipamentos são monitorados em tempo real, e as decisões de manutenção são baseadas nas condições reais de funcionamento, em vez de intervalos de tempo fixos. Isso maximiza a vida útil dos ativos e reduz os custos de manutenção. Outra prática emergente é a Realidade Aumentada (RA) e a Realidade Virtual (RV), que estão sendo usadas para fornecer suporte remoto aos técnicos de manutenção. Com essas tecnologias, os especialistas podem visualizar informações sobre os equipamentos sobrepostas ao mundo real, facilitando diagnósticos mais rápidos e precisos e reduzindo o tempo de inatividade.

O artigo de Lima *et al.* (2019) destaca o papel fundamental do Big Data como uma ferramenta imprescindível para os gestores que buscam uma abordagem mais versátil na tomada de decisões. Ao processar uma enorme quantidade de dados simultaneamente, o Big Data oferece uma base de informações robusta e confiável, facilitando a análise e a identificação de padrões relevantes para o negócio.

Além disso, o conceito dos 3Vs - volume, velocidade e variedade - ressalta a capacidade do Big Data de lidar com a ampla gama de dados em termos de quantidade, velocidade de processamento em tempo real e diversidade de fontes e estruturas. A figura 3 do artigo ilustra de forma visual a interdependência e correlação entre esses três aspectos, destacando como eles se complementam para fornecer uma compreensão abrangente e ágil do ambiente empresarial (Santos *et al.*, 2019).

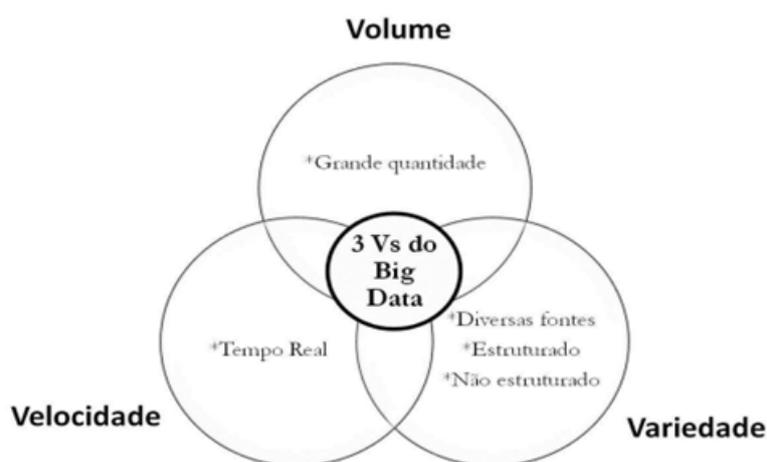


Figura 3: Tecnologias na indústria 4.0

Fonte: Lima *et al.*, (2019).

A integração de sistemas de gestão da manutenção com sistemas de gestão de ativos (GMAO) e sistemas de gestão da produção (MES) também está se tornando essencial. Isso permite uma visão holística das operações, facilitando a tomada de decisões baseadas em dados em tempo real e garantindo uma manutenção eficiente e coordenada (Santos *et al.*, 2019).

Em resumo, as abordagens emergentes na gestão da manutenção impulsionadas pela Indústria 4.0 estão transformando radicalmente a forma como as empresas mantêm seus equipamentos. Ao adotar tecnologias avançadas e práticas inovadoras, as organizações podem aumentar a eficiência operacional, reduzir os custos e garantir uma produção mais confiável e sustentável (Santos *et al.*, 2019).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se, portanto, que a gestão da manutenção na indústria 4.0 surge como um auxílio dinâmico para o funcionamento contínuo do setor secundário, visando atender à demanda produtiva da sociedade por produtos de alta qualidade, baixo custo e menor tempo de fabricação. Para alcançar esse objetivo, torna-se indispensável a adoção das tecnologias emergentes.

Ao avaliar o alcance desses objetivos, observamos que o estudo proporcionou uma compreensão aprofundada das ferramentas de gestão da manutenção na era da Indústria 4.0. Foram identificadas abordagens emergentes e melhores práticas, contribuindo para o entendimento das mudanças e desafios nesse cenário tecnológico.

Quanto à resposta para o problema de pesquisa, pudemos destacar tendências e estratégias na gestão da manutenção impulsionadas pela Indústria 4.0, oferecendo insights valiosos para profissionais e gestores interessados na otimização de suas práticas. Entretanto, é importante mencionar algumas limitações deste estudo. A revisão bibliográfica, embora proporcionasse uma visão abrangente, pode não ter capturado todas as nuances e casos específicos do cenário industrial. Além disso, a dinâmica constante da tecnologia pode tornar algumas informações rapidamente desatualizadas.

Recomendações para pesquisas futuras incluem a realização de estudos de caso práticos para validar as conclusões teóricas apresentadas aqui. Além disso, a continuidade da monitorização das tendências tecnológicas na Indústria 4.0 é crucial para manter a rele-

vância das estratégias de gestão de manutenção.

Referências

- BORLIDO, David José Araújo. **Indústria 4.0 – Aplicação a Sistemas de Manutenção**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto – Portugal, p. 31-34, 40.
- CARDOSO, E. V.; REGATTIERI, C. R. **Indicadores de manutenção industrial: um estudo de caso da gestão estratégica impactando nos resultados corporativos do ramo de equipamentos agrícolas**. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 603–612, 2020.
- GAIO, Evandro Dias. **Proposta de um plano de manutenção de um equipamento industrial através da utilização de ferramentas da manutenção centrada em confiabilidade**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, 2019.
- KAPPES, Jeovane Júnior. **Aplicação dos conceitos de manufatura enxuta na produção de bens de capital sob encomenda [dissertação]: um estudo de caso de um produto do setor metal-mecânico**. Florianópolis, SC, 2021.
- LIMA, Byanca Porto *et al.*, **Análise para implementação de um sistema de gestão da manutenção em uma empresa de locação de equipamentos para construção civil**. Cadernos UniFOA Especial Eng. Produção, Volta Redonda, n. 2, p. 15-39, ago. 2019.
- MARCON, Cassiano Alcides; THOMAZ, Maria Regina; BRESCIANI, Danrlei. **Implantação da manutenção preventiva em uma metalúrgica do oeste de Santa Catarina**. Revista Tecnologia, v. 9, nº 1, 2019.
- MARINELLI, Igor. **Da preventiva à preditiva, a evolução da gestão da manutenção**. Revista Manutenção, v.1 n.1, 01 jul. 2021
- MARTÍNEZ-ÁVILA, D. *et al.*, **Impactos de Big Data na Ciência e na Indústria 4.0**. In: Informação, conhecimento, ação autônoma e big data: continuidade ou revolução? [online]. Marília: Oficina Universitária; São Paulo: Cultura Acadêmica; FiloCzar, 2019.
- MENDES, Angélica Alebrant; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Estabelecimento de um plano de manutenção baseado em análises quantitativas no contexto da MCC em um cenário de produção JIT**. Production [online]. 2019, v. 24, n. 3, pp. 675- 686.
- PIRES, C. A.; OKADA, R. H. **Manutenção Preditiva: estratégia de produção e redução de custos**. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 635–647, 2020.
- REIS, Ana Carla Bittencourt *et al.*, **Diagnóstico da gestão da manutenção em indústrias de médio e grande porte da região metropolitana de Recife**. Production [online]. 2019, v. 23, n. 2, pp. 226-240
- SANITÁ, W. M.; CAMPOS, R. R. de. **PCM: planejamento e controle de manutenção**. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 673–685, 2020. DOI: 10.31510/infa.v17i1.791.
- SANTOS, Luís Márcio Alves. *et al.*, **A Importância da manutenção industrial e seus indicadores**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 11, Vol. 01, pp. 108-128. Novembro de 2019. ISSN: 2448-0959.
- VALENTIM, Édipo de castro. **Ferramentas da qualidade aplicadas ao gerenciamento de manutenção: Estudo de caso em uma frota de caminhões**. Revista Científica Multidisciplinar

O livro apresenta vários estudos da engenharia ambiental, engenharia produção, engenharia mecânica, engenharia de controle e automação, engenharia elétrica e engenharia química, onde abordam temas sobre processo produtivo, manutenção industrial, computação, comunicação, redes, IoT, resíduos sólidos, indústria 4.0, segurança do trabalho, sustentabilidade, projeto, dentre outros.

