

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA – CCET
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA – DEQ

LUANA SALGADO DUARTE

**Elaboração de Padrões de Manutenção Autônoma e
Preventiva de Bombas na Indústria de
Bens de Consumo: um Estudo de Caso**

SÃO CARLOS - SP
2024

LUANA SALGADO DUARTE

**Elaboração de Padrões de Manutenção Autônoma e Preventiva de Bombas na
Indústria de Bens de Consumo: um Estudo de Caso**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento
de Engenharia Química da
Universidade Federal de São
Carlos, para obtenção do título de
bacharel em engenharia
química.

Orientador: Prof. Dr. André
Bernardo

São Carlos - SP
2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA – CCET
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA – DEQ

Folha de aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da candidata Luana Salgado Duarte, realizada em 22/01/2024:

Prof. Dr. André Bernardo
Universidade Federal de São Carlos

Profa. Dra. Adriana Paula Ferreira Palhares
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dra. Vádila Giovana Guerra Bettega
Universidade Federal de São Carlos

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, **Telma** e **Idemir**, que me apoiaram em todos os momentos dessa trajetória e sempre disseram que eu poderia alcançar tudo que eu quisesse com esforço e dedicação.

Ao meu irmão, **Lucas**, que sempre acreditou em mim e apostou no meu potencial. À minha irmã, **Tammy**, que além de me ajudar nas matérias de matemática no início da graduação, sempre foi uma grande fonte de inspiração para mim.

À minha tia **Iraci**, que sem a ajuda ativa ao longo dos anos, não seria possível eu chegar até aqui.

À minha segunda família, meus amigos da graduação, **Anna Julia**, **Maria Julia**, **Laura**, **Luiza**, **Gabriele**, **Luanna**, **Ricardo**, **Henrique**, **Leonardo**, **Victor Sousa**, **Diego** e **Vitor Ikeda** (*In memoriam*), que estiveram comigo em cada riso e cada lágrima e que sem essa rede de apoio teria sido muito mais difícil.

Ao **Matheus**, que me acompanhou pela maior parte do tempo nessa jornada, nunca me deixando parar de acreditar em mim.

À Universidade Federal de São Carlos que me trouxe diversas oportunidades de crescimento, tanto na graduação, quanto em projetos de extensão. Aos professores que me auxiliaram nessa jornada, especialmente o professor **André**, orientador do trabalho, professora **Adriana** e professora **Vádila**.

Às pessoas do trabalho que me ajudaram no projeto, buscando tempo para me auxiliar, **Bruno**, **André** e **Lucas**.

RESUMO

No contexto atual de globalização, a competição de empresas pelo espaço na vida dos consumidores está cada vez mais acirrada. Cada aspecto do planejamento, da execução e da rotina em uma empresa é crucial para definir seu sucesso. A produtividade é um bem precioso que coloca uma organização à frente das outras ao entregar mais produtos disponíveis em gôndolas. A liderança de qualquer organização possui diversos setores e processos que devem ser cuidados, sendo um dos principais, os seus ativos. Em uma linha de produção, o que se tem de mais importante além das pessoas, são os equipamentos. Com isso, é de suma importância que os cuidados com as máquinas sejam elaborados e executados da melhor forma, estando entre os principais cuidados, a manutenção. Ao construir um planejamento bem estruturado considerando os diferentes tipos de manutenções existentes, as companhias garantem maior durabilidade de seus ativos. As vantagens vão desde um melhor gerenciamento de custos, à diminuição de paradas na linha de produção. Conforme os processos e os equipamentos evoluem, deve-se adaptar também os seus cuidados. Com isso, foi apresentada a rotina de manutenção autônoma e corretiva de bombas industriais em uma empresa de bens de consumo, identificando-se as principais causas de parada de produção. Foi elaborada uma matriz de criticidade utilizando-se critérios de segurança, qualidade, impacto no processo produtivo e indicadores de manutenção, sendo utilizada para a elaboração de padrões de manutenção para os modelos de bomba estudados.

Palavras-chave: Manutenção Corretiva; Manutenção Preventiva; Manutenção Autônoma; Bombas.

ABSTRACT

In the current context of globalization, the competition between companies for space in consumers lives is increasingly fierce. Every aspect of the planning, execution and routine in a company is crucial to defining its success. Productivity is a precious asset that puts an organization ahead of others by delivering more products available on shelves. The leadership of any organization has several sectors and processes that must be taken care of, one of the main ones being its assets. In a production line, the most important thing besides people is the equipment. Therefore, it is extremely important that machine care is designed and carried out in the best possible way, with maintenance being among the main precautions. By building a well-structured plan considering the different types of existing maintenance, companies ensure greater durability of their assets. The advantages include a better cost management and a reduction of downtime on the production line. As processes and equipment evolve, their maintenance must also be adapted. With this, the autonomous and corrective maintenance routine of industrial pumps in a consumer goods company was presented, identifying the main causes of production stoppages. A criticality matrix was created using criteria of safety, quality, impact on the production process and maintenance indicators, being used to develop maintenance standards for the pump models studied.

Keywords: Corrective Maintenance; Preventive Maintenance; Autonomous Maintenance; Pumps.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação de Bombas de Deslocamento Positivo.....	23
Figura 2 - Modelo de Bomba Pneumática de Duplo Diafragma	24
Figura 3 - Modelo de Bomba de Lóbulo	24
Figura 4 – Classificação de Turbobombas.....	25
Figura 5 - Funcionamento de Bomba Centrífuga.....	25
Figura 6 - Causas de Paradas por Tempo durante três meses na Linha de Produção 1.....	30
Figura 7 - Causas de Paradas por Tempo durante três meses na Linha de Produção 2.....	31
Figura 8 - Causas de Paradas por Tempo durante três meses na Linha de Produção 3.....	32
Quadro 1 - Nível de criticidade de equipamentos.....	36
Quadro 2 - Bombas selecionadas para o estudo.....	39

LISTA DE SIGLAS

NR – Norma Regulamentadora PIB – Produto Interno Bruto

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR – Norma Brasileira

MTBF - *Mean Time Between Failures* (Tempo Médio Entre Falhas)

MTTR - *Mean Time To Repair* (Tempo Médio Para Reparo)

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	DELIMITAÇÕES DO TEMA E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	11
1.2	OBJETIVOS.....	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.1	Objetivo Específicos.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	A EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA	13
2.2	A EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO	14
2.3	TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	14
2.3.1	Manutenção Corretiva	14
2.3.2	Manutenção Preventiva.....	15
2.3.3	Manutenção Preditiva.....	16
2.3.4	Manutenção Autônoma	17
2.4	INDICADORES DE MANUTENÇÃO.....	18
2.5	ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO.....	21
2.6	MODELOS DE BOMBAS INDUSTRIAIS	22
2.6.1	Bombas de Deslocamento Positivo	22
2.6.1.1	Bombas Pneumáticas.....	23
2.6.1.2	Bombas de Lóbulo.....	24
2.6.2	Turbobombas.....	25
3	METODOLOGIA.....	27
3.1	MÉTODOS DE PESQUISA.....	27
3.2	AMBIENTE DE PESQUISA.....	27
3.3	COLETA DE DADOS	29
4	RESULTADOS	30
4.1	IMPACTO NA LINHA DE PRODUÇÃO.....	30
4.2	ELABORAÇÃO DE MATRIZ DE CRITICIDADE.....	33
4.3	ANÁLISE DO FLUXO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO	34
4.4	ANÁLISE DA ROTINA DE MANUTENÇÃO AUTÔNOMA.....	35
4.5	MANUTENÇÃO PREVENTIVA E AUTÔNOMA.....	36
4.5.1	Bombas Centrífugas.....	37
4.5.2	Bombas de Lóbulo	37
4.5.3	Bombas Pneumáticas.....	38
4.6	ELABORAÇÃO DE PADRÃO.....	38
4.7	MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	39
5	CONCLUSÃO.....	41

1 INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial e com o avanço constante e acelerado da tecnologia, as indústrias visam cada vez mais uma maior produtividade sem comprometer custos. Todos os ramos industriais se deparam constantemente com inovações, competitividade e mutabilidade dos produtos e processos. Para garantir um espaço no mercado consumidor, é de extrema importância que exista um planejamento adequado para todas as áreas, bem como uma execução eficaz.

Em indústrias de bens de consumo podem existir milhares de equipamentos sendo operados concomitantemente. Cada um desses equipamentos deve ser utilizado da melhor forma, ou seja, garantindo aspectos como segurança e qualidade, além de um maior tempo de produção com menores custos.

A manutenção na indústria 4.0 é de suma importância para garantir que toda a cadeia produtiva esteja operando de forma adequada e segura. A limpeza, inspeção e troca de componentes de forma correta pode evitar incidentes tanto com pessoas, quanto ambientais. A Norma Regulamentadora 12 (NR12) evidencia a importância da segurança na manutenção industrial ao condicionar as formas de instalação, manutenção, limpeza e inspeção corretas para todo mantenedor.

Além da segurança, a garantia da qualidade é essencial. Na indústria, a qualidade é vista como a capacidade de uma linha de produção manter um padrão do produto produzido. Para tal, cada equipamento deve estar operando conforme o esperado, sendo possível através de um planejamento de manutenção adequado.

A manutenção vem evoluindo conforme a indústria e o mundo globalizado também evoluem, contando com novas tecnologias para a sua predição. Utilizando-os de forma efetiva, tem-se uma otimização de recursos com uma maior garantia de segurança, qualidade e produtividade. No Brasil, os custos com manutenção por faturamento bruto são de cerca de 4,3% do Produto Interno Bruto (PIB) contra uma média mundial de 4,1% (Berto, 2018 *apud* ABRAMAN, 2003).

Dentre os tipos de manutenção mais amplamente conhecidos e aplicados na indústria, podem ser citadas a manutenção autônoma, manutenção preventiva,

manutenção preditiva e manutenção corretiva. A manutenção autônoma é o cuidado diário com os equipamentos na execução de limpezas, inspeções e lubrificações. A manutenção preventiva é a troca periódica de componentes de um equipamento, planejada com base em tempos de quebras e falhas anteriores. A manutenção preditiva é a utilização de sensores e tecnologias para o monitoramento do equipamento, de forma que se consiga prever uma falha. Por fim, a manutenção corretiva é aquela feita após a falha ou quebra, que não foi planejada.

Os equipamentos rotativos estão presentes em indústrias de bens de consumo e são responsáveis por converter energia mecânica em energia cinética. Dentre esses equipamentos estão as bombas industriais, que visam impulsionar fluidos através de movimento, com isso, possuem elementos rotativos que se desgastam com o movimento através do tempo. Seu tipo de manutenção varia principalmente de acordo com a sua classificação, como bombas cinéticas ou de deslocamento positivo, pois em cada caso tem-se componentes diferentes essenciais para seu funcionamento.

Deste modo, a análise dos aspectos de manutenções autônomas, corretivas, preventivas e preditivas, bem como a elaboração de padrões e melhorias, contribui para uma melhores estratégias de manutenção, levando à uma gestão de ativos inteligente.

1.1. DELIMITAÇÕES DO TEMA E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A manutenção correta e efetiva de equipamentos é um tema que tangencia diversos outros, afetando direta e indiretamente em segurança, qualidade, produtividade e custos. Todos esses fatores, se bem manejados, contribuem para uma organização bem estruturada e de bom desempenho.

Na literatura é possível encontrar diferentes abordagens e conceitos para os tipos de manutenção, bem como diferentes estratégias de aplicação. Para definir-se a melhor abordagem para uma companhia, deve-se levar em consideração o seguimento, a divisão de trabalho, bem como a cultura da empresa, além dos modelos de equipamento.

Com isso, o presente estudo de caso visa analisar o planejamento e o

controle de manutenções autônomas e preventivas de bombas industriais em uma empresa de bens de consumo, bem como avaliar a implementação de um padrão para bombas centrífugas, pneumáticas e de lóbulos utilizando-se uma matriz de criticidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar se o planejamento e controle de manutenção autônoma e preventiva contemplam de forma eficaz todas as bombas analisadas de um departamento de uma indústria de bens de consumo do estado de São Paulo, avaliando os modelos de bomba e suas respectivas manutenções preventivas e autônomas e elaborar padrões de manutenção para bombas centrífugas, pneumáticas e de lóbulos com base em matriz de criticidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Descrever como é a aplicação das técnicas de manutenção autônoma no ambiente de trabalho do setor de bens de consumo;
- ✓ Avaliar os dados de planejamento de manutenções autônomas e preventivas;
- ✓ Detectar manutenções preventivas e corretivas efetivadas pela organização no período de coleta de dados em bombas determinadas;
- ✓ Elaborar um padrão próprio de manutenção preventiva e autônoma para bombas centrífugas, de lóbulos e pneumáticas de acordo com as manutenções já existentes na companhia avaliada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA

As primeiras ferramentas foram criadas pelo homem há cerca de 2,5 milhões de anos atrás. À época, estas surgiram de forma a facilitar em atividades diárias como a caça e a coleta. Ao longo da história, da mesma forma que a maneira com a qual obtemos tudo o que consumimos e utilizamos evoluiu, as nossas ferramentas para tal também se tornaram mais complexas.

Datada do ano 120 a.c., a primeira máquina à vapor foi inventada por Heron de Alexandria, um matemático e físico. Chamada de eolípila, a máquina tinha uma esfera oca de metal sobre uma bacia de água, onde se esquentava para gerar vapor, gerando movimento. Já em 1712, Thomas Newcomen produziu o primeiro motor à vapor, que foi aperfeiçoado por James Watt em 1777 durante a primeira revolução industrial, que foi marcada pelo início da substituição de mão de obra por máquinas na Inglaterra.

A segunda revolução industrial, no século XIX, deu-se pela utilização de estratégias para aumentar os lucros, como as divisões de trabalho do fordismo e toyotismo. Foi marcada também pelo maior investimento no uso de eletricidade e petróleo. Já na terceira revolução industrial no século XX teve-se a expansão dos recursos tecnológicos, como a microeletrônica, a informática e a robótica (CARDOSO, 2016).

Sendo assim, ao longo da história é possível notar que os processos industriais, bem como os equipamentos vêm sendo adaptados e melhorados, de forma a se obter maiores eficiências com menores custos e, mais recentemente, buscando-se também a redução de impactos ambientais.

Com isso, chegamos até a maneira com a qual é organizado o setor industrial atualmente, com indústrias de base, que processam as matérias-primas, indústrias de bens intermediários que produzem equipamentos e, por fim, as indústrias de bens de consumo, que geram o que chega até o consumidor todos os dias no mundo todo.

A quarta revolução industrial, conhecida por Indústria 4.0, traz avanços mais profundos na tecnologia, como impressoras 3D, a inteligência artificial e a nanotecnologia (MACEDO, 2016). Com tantos avanços nas cadeias produtivas, é necessário também que haja uma evolução na forma com a qual cuidamos de tudo o

que engloba os processos industriais, incluindo a manutenção.

2.2 A EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

O termo "manutenção" começou a ser adotado na indústria em torno de 1950 nos Estados Unidos e sua origem remonta ao vocabulário militar, onde seu significado consistia em manter nas unidades de combate os materiais em um nível constante Monchy (1989) *apud* Wyrebsk (1997).

A manutenção mecânica e seus operadores surgiram com a primeira revolução industrial, ao se notar a necessidade de garantir o tempo de vida útil dos equipamentos. Já a manutenção elétrica surgiu apenas no século XX, com a expansão do uso de componentes elétricos em toda a cadeia de produção.

De acordo com SIEVULI (2001, *apud* MORAES, 2004), a manutenção pode ser dividida em três períodos. O primeiro se iniciou em 1930, com a manutenção corretiva, ou seja, àquela executada após a falha. O segundo, em 1940, trouxe a manutenção preventiva, onde se planejava, com base na experiência, uma manutenção antes da quebra, de forma a estender a vida útil do componente. A partir de 1970 teve-se o início do terceiro período, marcado pelo monitoramento dos equipamentos, análise de custo benefício na manutenção, pela confiabilidade e por prezar pela segurança dos trabalhadores.

2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

2.3.1 Manutenção Corretiva

Publicada em 1994, a norma NBR 5462 instituída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define como manutenção corretiva “A combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (ABNT — NBR 5462 / 1994). Em suma, a manutenção corretiva é a manutenção realizada após a ocorrência de uma falha, de forma a voltar o ativo ao seu estado de funcionamento devido.

Esse modelo de intervenção ocorre quando há uma quebra e ameaça à continuidade do processo produtivo, à segurança de qualquer pessoa ou ao meio ambiente e pode ser dividido em dois casos: manutenção corretiva planejada e não

planejada.

Segundo Fogliatto (2009), normalmente envolve maiores tempos de reparo (pois a atividade não foi planejada) e maiores custos, associados a horas mobilizadas, parada de linha, perdas de produção e perda da qualidade.

Existem casos onde, segundo Xenos (2014) “se o custo de reparar uma falha for inferior ao de prevenir, a opção pela manutenção corretiva torna-se viável”, sendo essa a manutenção corretiva planejada, pois ela já é esperada e decide-se deixar o equipamento operando até a falha.

Para a realização de manutenções desse tipo, é necessário considerar que haja sempre à disposição pessoas capacitadas para identificar e corrigir o problema. Também deve-se levar em conta se a falha no equipamento levaria à uma parada na linha de produção, tendo um impacto mais significativo e custoso.

No caso da manutenção corretiva ser planejada, reduz-se o tempo de reparo, pois é provável que já estejam disponíveis as peças e recursos necessários para o seu conserto. Já para manutenções corretivas não planejadas, onde as falhas e quebras não foram mapeadas, pode-se levar mais tempo, pela necessidade de se obter todos os materiais para a efetuação do reparo e com isso, segundo Oliveira, (2017) *apud* Kardec e Nascif (2007), traz maior custo.

A manutenção corretiva não pode ser completamente evitada devido ao número de variáveis que podem afetar o desempenho de um equipamento. Mesmo que ele esteja operando nas condições adequadas, podem ocorrer interferências externas, tais como material fora de especificação, condições climáticas ou quedas de energia que afetem o ativo.

2.3.2 Manutenção Preventiva

Ainda de acordo com a norma NBR 5462 (ABNT, 1994), a manutenção preventiva é definida como “Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, sendo destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.”.

A manutenção preventiva entra em cena a partir do momento em que evitar que uma falha ou quebra aconteça seja mais benéfico do que corrigi-la. Sendo assim, esta visa garantir o bom funcionamento contínuo dos equipamentos de forma a não afetar a eficiência da produção, a qualidade e a segurança.

Visto que a manutenção preventiva é um plano sistêmico para evitar que os equipamentos cheguem a um ponto de falha ou quebra, é necessário montar um cronograma de quando cada manutenção preventiva deve ser feita e como. Quanto mais dados referentes ao equipamento for possível coletar, mais precisa será a construção desse cronograma.

Para isso, pode-se executar um mapeamento de possíveis falhas em cada componente do equipamento, a periodicidade com a qual cada uma acontece, seus impactos no processo produtivo, seus custos e a complexidade dos reparos. A comunicação com o fornecedor do equipamento também pode ser um bom aliado na hora de entender a durabilidade esperada para cada componente.

De acordo com Tavares (1999), esse modelo de manutenção surgiu após a segunda guerra mundial, quando notou-se a importância de impedir falhas através de atividades sistêmicas, ao invés de somente corrigi-las, devido à necessidade do aumento de rapidez da produção. Neste período, as organizações passaram a ter times cuidando tanto do planejamento, quanto da execução dos serviços de prevenção de falhas e quebras. Com o aumento da complexidade do serviço, a exigência no nível de conhecimento técnico da equipe também aumentou.

Esse modelo de manutenção é fortemente recomendado quando a falha pode gerar riscos à segurança e saúde dos trabalhadores ou um risco ao meio ambiente. Quando a falha não interfere nesses fatores, a decisão pode ser tomada com base no melhor custo, considerando-se o preço dos componentes, as pessoas que são capacitadas para executar o serviço e o possível tempo de parada na produção.

2.3.3 Manutenção Preditiva

Com o crescente uso da tecnologia na indústria, nos anos 70 foi iniciado o uso da manutenção preditiva como recurso para auxiliar na predição de falhas. A manutenção preditiva busca efetuar ações prévias à falha, de modo a evitar que chegue à quebra, evitando assim uma manutenção corretiva.

Se difere da manutenção preventiva pois, enquanto essa utiliza uma frequência fixa de manutenção, a manutenção preditiva é utilizada para efetuar uma intervenção apenas quando os dados e parâmetros do equipamento indicam que existe uma necessidade real.

Apesar do custo inicial da manutenção preditiva ser mais alto, pois deve-se

instalar os sensores por mão de obra especializada, a manutenção preditiva pode reduzir a necessidade de ações no equipamento, diminuindo a necessidade de mão de obra constante, de custo e de parada de processo, podendo fornecer um melhor custo benefício a longo prazo. Para Otani e Machado (2008) ela proporciona uma operação contínua pelo maior tempo possível.

Para adotar a abordagem preditiva, é essencial inicialmente verificar se o equipamento possibilita a coleta de dados durante seu funcionamento. Se sim, faz-se a conexão dos dados enviados pelo equipamento com o planejamento de manutenção preventiva. Com isso, tem-se dados suficientes, como temperatura e vibração, para avaliar o momento mais oportuno para realizar uma intervenção e prever os recursos de pessoas e materiais que serão necessários.

Dessa forma, a manutenção preditiva possibilita a otimização da substituição ou reforma de componentes e permite que se observe quando este estiver no fim da vida útil (XENOS, 2014).

2.3.4 Manutenção Autônoma

Após a separação das atividades de operação e manutenção ocasionada por um movimento nas indústrias do Japão, o surgimento da manutenção autônoma trouxe novamente a responsabilidade de cuidado do equipamento para o operador. Através da rotina de manutenção, o operador busca desacelerar a deterioração dos equipamentos, bem como controlar possíveis falhas e contaminações (MENDES et. al, 2023).

Diferente dos outros modelos de manutenção, a manutenção autônoma consiste em um conjunto de atividades diárias realizadas pelos operadores para manter a funcionalidade do equipamento.

As principais tarefas envolvidas na rotina de manutenção autônoma são a limpeza, a inspeção e a lubrificação (OLIVEIRA, 2017). Ao realizar tais atividades, os operadores adquirem mais conhecimento sobre o equipamento e seus componentes, desenvolvendo sua capacidade técnica.

Além disso, o momento de realizar a manutenção autônoma é propício para encontrar possíveis defeitos que não seriam vistos durante o tempo de produção normal. Dessa forma, pode-se resolver as inconformidades antes que estas causem impacto no processo produtivo, podendo gerar um novo plano de manutenção

preventiva, ou a redução da periodicidade de um plano já existente.

Para garantir o sucesso da manutenção autônoma, é importante garantir que cada equipamento tenha um responsável pela sua execução e que este esteja capacitado para realizar a tarefa. O responsável deve conhecer os pontos corretos de lubrificação, os pontos de limpeza e os produtos que podem ou não ser utilizados. Para efetuar a inspeção de forma clínica, deve-se ter conhecimento sobre o estado correto de cada componente e um olhar atento para possíveis defeitos.

Um documento que informe a frequência da realização da manutenção, cada ponto a ser limpo e lubrificado e como deve ser feito é interessante para que, na necessidade de substituir um mantenedor ou em caso de dúvidas, a manutenção não seja prejudicada.

Vale ressaltar que uma limpeza feita com produtos incorretos ou uma lubrificação excessiva podem causar danos não só ao equipamento, reduzindo sua vida útil, como também pode causar contaminação no produto caso esteja em contato, podendo até levar à problemas de qualidade.

2.4 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Os indicadores são amplamente utilizados para ter-se uma maior compressão do sistema de manutenção através de medidas. Eles são de grande auxílio para a tomada de decisão de times de manutenção e gerentes quando é preciso entender o cenário atual e priorizar. Dentre os mais aplicados estão o MTBF, o MTTR, a disponibilidade, a confiabilidade e o *backlog*.

Com o auxílio desses indicadores, pode-se definir a criticidade de um equipamento, definindo assim a melhor estratégia na priorização de compras e estocagem de peças, bem como a ordem das atividades de manutenção.

a) Criticidade

A criticidade busca entender o nível de importância de um equipamento num processo produtivo e o impacto que uma falha nesse equipamento poderia gerar. É um aspecto importante de ser compreendido tanto por afetar no planejamento de custos de um setor, quanto para ter-se dimensão da probabilidade de falhas que possam acarretar em riscos de qualidade, segurança das pessoas e meio ambiente.

A criticidade pode levar em conta fatores como os impactos em segurança e qualidade, impacto em tempo de produção, bem como os demais indicadores que serão citados abaixo, sendo usualmente aplicados o MTBF e o MTTR na construção de uma matriz de criticidade.

b) MTBF

O Tempo Médio Entre Falhas (*Mean Time Between Failures* - MTBF) reflete a frequência de intervenções no equipamento durante determinado tempo específico. (MEGIOLARO, 2015 *apud* MARTINS, 2012).

Para o cálculo do MTBF é necessário primeiramente se obter o tempo total trabalhado, podendo ser representado em horas ou minutos (T_{total}). Para isso, deve-se somar o tempo total de produção ao tempo de parada não planejada, que seria o tempo total planejado para operar. Com esse valor em mãos, divide-se pelo número de intervenções efetuadas dentro desse tempo total trabalhado (n), obtendo-se o MTBF de acordo com a seguinte equação:

$$MTBF = \frac{T_{total}}{n} \quad (\text{Equação 1})$$

c) MTTR

O MTTR é também chamado de Tempo Médio Para Reparo (*Mean Time To Repair* - MTTR). Esse indicador demonstra o tempo médio de duração de uma manutenção na qual o equipamento permanece não operando (MEGIOLARO, 2015 *apud* MARTINS, 2012).

Para o cálculo do MTTR deve-se obter o tempo de paradas não planejadas para realizar uma manutenção ($T_{npman.}$) e dividir esse valor pelo número de intervenções dessa finalidade (n), de acordo com a Equação 2.

$$MTTR = \frac{T_{npman.}}{n} \quad (\text{Equação 2})$$

d) Disponibilidade

A disponibilidade (DISP) é um indicador que visa demonstrar a probabilidade de um determinado equipamento estar em condições de operação considerando os dois indicadores já citados acima, MTBF e MTTR (MEGIOLARO, 2015 apud HANSEN, 2006). O tempo em que o equipamento não está em condição de operar é demonstrado pelo tempo em que este permaneceu parado para a realização de uma manutenção.

Para calcular a disponibilidade, divide-se o valor obtido de MTBF através da Equação 1, pela soma do MTBF mais o MTTR obtido pela Equação 2, seguindo assim a Equação 3.

$$DISP = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (\text{Equação 3})$$

Com isso, tem-se o tempo pelo qual o equipamento esteve sob alguma atividade de manutenção e, portanto, não poderia ser utilizado na produção.

e) Confiabilidade

A confiabilidade (C), de acordo com a NBR-5462, é a probabilidade de um equipamento realizar sua função por uma determinada quantidade de tempo. Para ser calculado, é utilizado também o valor obtido de MTBF, portanto ambos devem estar na mesma base de tempo (horas ou minutos). O cálculo é feito conforme a Equação 4:

$$C = e^{-\lambda \cdot t} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde,

C = confiabilidade

e = 2,7182 (número de Euler) $\lambda = 1/MTBF$ (taxa de falha)

t = tempo (horas ou minutos)

f) *Backlog*

O *backlog* é uma medida de acúmulo de tarefas que visa entender a quantidade de tarefas pendentes de execução pela disponibilidade de mão de obra para realizá-las (TAVARES, 2019). Para calcular o backlog, deve-se somar a quantidade de homem hora (HH) para a realização de cada tarefa planejada, pendente e programada e dividir esse valor pela quantidade de homem hora disponível, conforme a Equação 5.

$$Backlog = \frac{\sum HH Planejada + \sum HH Pendente + \sum HH Programada}{\sum HH Disponível} \quad (\text{Equação 5})$$

Para o cálculo do denominador, utiliza-se a Equação 6, onde o fator de produtividade representa a parcela de tempo real em que a mão de obra está disponível.

$$HH Disponível = HH total \times \text{fator de produtividade (\%)} \quad (\text{Equação 6})$$

2.5 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

O planejamento das estratégias de manutenção que serão implementadas em cada componente para cada equipamento leva tempo e é contínuo. Quando ocorre uma manutenção corretiva não planejada, pode-se criar a partir disso um plano de manutenção preventiva, da mesma forma se durante a manutenção autônoma for notado um defeito que não estava mapeado.

Assim como o objetivo da manutenção preventiva é evitar a necessidade de manutenções corretivas, a manutenção preditiva visa dar mais previsibilidade para as manutenções preventivas. Todos os modelos de manutenção são importantes e devem trabalhar em conjunto para garantir o bom funcionamento de toda a cadeia produtiva. A matriz de criticidade pode ser um recurso eficaz na definição do nível de manutenção que um equipamento precisa ter, uma vez que, quanto mais crítico, mais robusto deve ser o planejamento.

De acordo com a Associação Brasileira de Manutenção, em 2007 cerca de 41,17% das empresas brasileiras não possuíam um plano de engenharia de manutenção. Além disso, muitas empresas definem as atividades de manutenção

com base na experiência e não utilizando ferramentas de análise mais precisas.

Para se obter um resultado satisfatório na área de manutenção, segundo Flogliato (2009), as atividades de manutenção preditiva e preventiva devem estar devidamente documentadas em planilha, incluindo: sistema, subsistema, conjunto, componente, descrição detalhada da atividade, periodicidade e responsável.

2.6 MODELOS DE BOMBAS INDUSTRIAIS

Por definição, as bombas são máquinas cujo objetivo é deslocar líquidos, sejam eles puros, misturas, pastas ou suspensões, por meio de escoamento. Estas operam transformando trabalho mecânico, geralmente recebido por um motor, em energia hidráulica, podendo ser na forma de energia cinética, potencial ou de pressão.

A maneira com a qual a bomba executa essa transformação de trabalho mecânico para energia hidráulica geralmente é utilizada para fazer sua classificação dentre os diferentes tipos de bombas (Mattos, 1989).

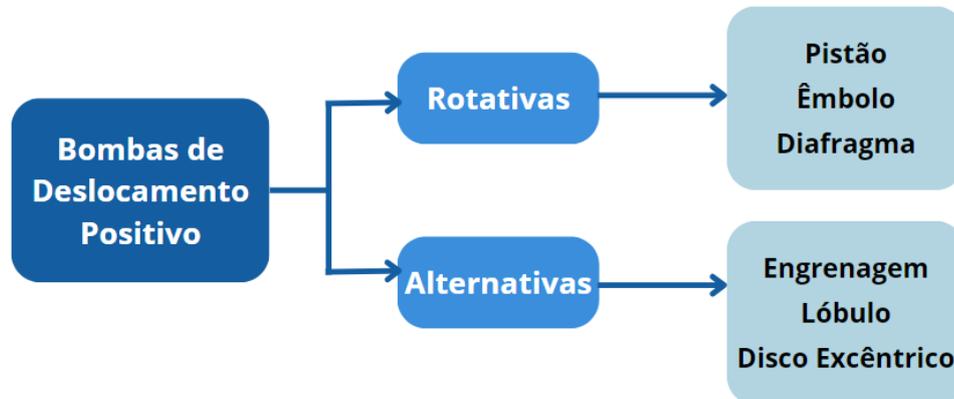
A primeira classe mais comum de se encontrar na indústria são as bombas volumétricas, também chamadas de bombas de deslocamento positivo, podendo ser alternativas ou rotativas. Uma bomba alternativa importante nos processos é a bomba pneumática de duplo diafragma. Já dentre as rotativas estão as bombas de lóbulo e de engrenagem, bem como as bombas de disco excêntrico.

A segunda classe são as turbobombas, caracterizadas por possuírem um rotor que transforma a energia mecânica em energia cinética, sendo a mais encontrada a bomba centrífuga.

2.6.1 Bombas de Deslocamento Positivo

As bombas de deslocamento positivo são caracterizadas por possuírem um espaço interno no qual o fluido é armazenado e, através da ação de um componente rotativo ou pistão, esse fluido se desloca para fora do sistema. Com isso, deslocam sempre um mesmo volume de fluido a cada volta ou ciclo, por isso são chamadas também de bombas volumétricas (SOARES, 2021).

Figura 1: Classificação de Bombas de Deslocamento Positivo.



Fonte: Baseado em Mattos, 1989.

As bombas de deslocamento positivo que impulsionam os fluidos de forma intermitente são chamadas de bombas alternativas. Já as bombas de deslocamento positivo que impulsionam os fluidos de forma a gerar um escoamento contínuo são chamadas de rotativas (SANTOS, 2007).

2.6.1.1 Bombas Pneumáticas

As bombas pneumáticas são bombas de deslocamento positivo do tipo alternativas. Nas bombas alternativas, o fluido recebe a força através do contato direto com um pistão, êmbolo ou, no caso das bombas pneumáticas, de uma membrana chamada de diafragma (Krüger, 2018).

Dois diafragmas compõem essa bomba, onde as duas membranas se movimentam de maneira alternada, gerando movimento no fluido no sentido de descarga. A energia cinética é gerada nas membranas através de uma válvula central alimentada geralmente por ar comprimido .

Suas vantagens incluem não sofrer cavitação, não ocasionar vazamentos, por não terem selo mecânico ou vedações rotativas que possam desgastar, além de se ajustarem bem aos processos de filtração.

Figura 2: Modelo de Bomba Pneumática de Duplo Diafragma.



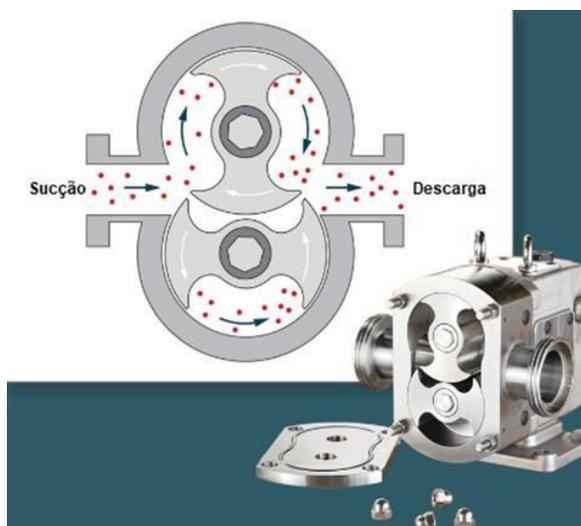
Fonte: Adaptado de Instruval Equipamentos Industriais.

2.6.1.2 Bombas de Lóbulo

As bombas de lóbulo são bombas de deslocamento positivo que possuem dois rotores lobulares que giram em direções opostas sem se tocar, em uma câmara, gerando um vácuo no lado de sucção, por onde entra o fluido (ROMFELD, 2018).

Dentre suas vantagens, estas podem trabalhar com fluidos de baixa a alta viscosidade, são resistentes à entupimentos e por ser geralmente feita de aço inoxidável, tem boa qualidade sanitária.

Figura 3: Modelo de Bomba de Lóbulo.

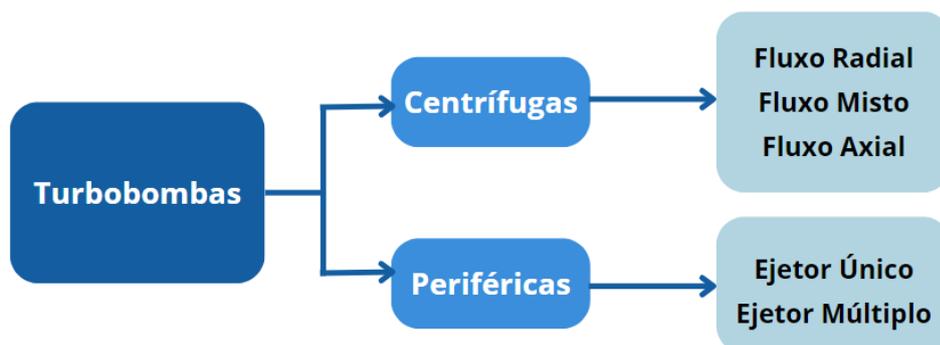


Fonte: Adaptado de Ampco Pumps Company.

2.6.2 Turbobombas

As turbobombas são aqueles modelos que possuem um componente giratório com pás, geralmente chamado de rotor ou impelidor. Dentre as turbobombas, tem-se as centrífugas e periféricas.

Figura 4: Classificação de Turbobombas.

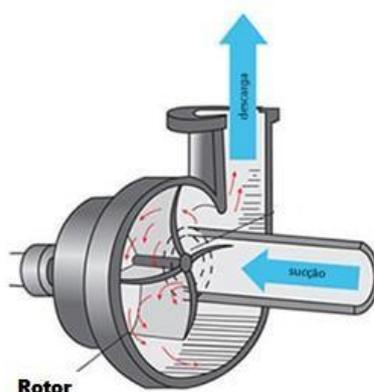


Fonte: Baseado em Mattos, 1989.

O funcionamento das bombas centrífugas consiste no rotor giratório gerar uma aceleração sobre o líquido, de forma que esse adquira energia cinética, ocasionando no escoamento. Ela possui uma zona de sucção com baixa pressão, e uma zona de descarga, com maior pressão (GOUVEA, 2008).

A direção de escoamento do fluido não é necessariamente na mesma direção com a qual o rotor gira, pois isso depende das características da bomba. O modelo de rotor pode ser aberto, semiaberto ou fechado, podendo também ter um variado número de pás, de acordo com as necessidades do processo.

Figura 5: Funcionamento de Bomba Centrífuga.



Fonte: Adaptado de Loxam Degraus.

As bombas centrífugas são as mais utilizadas nas indústrias, especialmente para água. Dentre suas vantagens pode-se citar a flexibilidade de operação, opera à pressão constante se a vazão se mantiver e possuem baixo custo.

3 Metodologia

3.1 MÉTODOS DE PESQUISA

A fim de seguir um padrão que demonstre o modelo de pesquisa e a confiabilidade dos dados apresentados, a definição da metodologia é um ponto de suma importância.

Visto que a pesquisa tem como objetivo analisar e comparar o procedimento de manutenção autônoma e preventiva e a ocorrência de manutenções corretivas para diferentes tipos de bomba em uma indústria de bens de consumo, foi utilizada a metodologia descritiva. Nesse modelo, busca-se relatar as características de um fenômeno ou processo, aprofundando-se na realidade, porém, não se estende no porquê dos fatos (GIL, 2008), ou seja, foram analisados os modelos de planejamento de manutenção preventiva e autônoma atuais aplicados na empresa estudada.

Visando uma coleta padronizada dos dados, utilizou-se a observação sistemática no acompanhamento das atividades dos mantenedores e operadores, bem como a análise de dados documentados. Inicialmente foi utilizada uma abordagem qualitativa, analisando-se o conteúdo das programações de manutenções autônomas e preventivas. A seguir, na coleta de dados, fez-se uma pesquisa quantitativa a respeito de quantidade de tarefas assignadas para cada equipamento e os impactos em paradas de produção ocasionadas por eles.

3.2 AMBIENTE DE PESQUISA

As práticas de manutenção em todas as suas formas são meios utilizados para preservar o pleno funcionamento dos equipamentos e seus componentes, tendo assim uma maior garantia de qualidade dos produtos e segurança dos colaboradores da organização. A presente pesquisa buscou coletar e analisar os dados de planejamento de manutenções preventivas e autônomas, bem como a ocorrência de manutenções corretivas em uma empresa de produção de amaciantes e sabões líquidos na cidade de Louveira, em São Paulo.

A empresa foi selecionada para a realização do estudo devido ao fato de que

a autora é funcionária da empresa e atua no setor de produção de amaciante e sabão líquido. Sendo assim, foi-se utilizado o processo de amostragem denominado amostragem por conveniência por Vergara (2008), sendo utilizados critérios qualitativos e quantitativos para a análise de resultados. O setor foi escolhido devido ao fato de, além de ser o setor onde a autora atua, ter maior proximidade com os processos de engenharia química, com a presença de equipamentos como bombas e trocadores de calor.

Com isso, definiu-se o setor como sendo o da produção dos líquidos de amaciante e sabão líquido, onde são recebidas as matérias primas, produz-se a fórmula base para cada um dos dois produtos e então são adicionados os produtos que caracterizam cada versão, como os perfumes específicos e os corantes, além de se efetuar ajustes de viscosidade. Após esse processo, os líquidos são enviados para as linhas de embalagem, onde serão colocados nas garrafas, serão adicionadas as tampas e rótulos, então as garrafas prontas são colocadas nas caixas e, por fim, estas são postas em *pallets*. Vale ressaltar que em ambas as partes do processo, são retiradas amostras periodicamente para efetuar testes de qualidade.

No setor escolhido, atuam operadores técnicos mecânicos e eletricitas, havendo ainda uma equipe de planejadores de manutenção, responsáveis por garantir que as manutenções preventivas e autônomas aconteçam na frequência e forma corretas, além de efetuarem manutenções corretivas quando necessário.

Os equipamentos foram escolhidos com base na relação com o curso de engenharia química, uma vez que as bombas são equipamentos estudados nas disciplinas de operações unitárias da indústria química, sendo equipamentos cruciais para um bom funcionamento de processos e de extrema importância que sejam compreendidos pelo profissional da engenharia química. Para a melhor compreensão do presente estudo, os equipamentos foram divididos em grupos:

Grupo I: bombas centrífugas

Grupo II: bombas de deslocamento positivo pneumáticas

Grupo III: bombas de deslocamento positivo do tipo lóbulo

Para delimitar o ambiente de pesquisa de forma que se pudessem obter dados mais profundos de cada bomba avaliada, foram selecionados três equipamentos para cada grupo listado acima. As bombas de mesmo modelo serão aqui representadas no mesmo grupo, independente da sua atuação ser nas linhas de amaciante ou nas

linhas de sabão líquido, para facilitar a compreensão.

Os equipamentos selecionados são bombas do tipo centrífugas, pneumáticas e de lóbulo. Ao selecionar três bombas para cada grupo, buscou-se abranger diferentes níveis de criticidade do processo.

3.3 COLETA DE DADOS

Para a elaboração do estudo das manutenções existentes no processo, foi efetuado o acompanhamento diário do processo de organização das manutenções autônomas e preventivas, bem como a ocorrência de manutenções corretivas, entre os períodos de 03 de julho de 2023 e 23 de setembro de 2023.

Também utilizou-se o software de gerenciamento de processos, SAP, para coletar dados de todos os tipos de manutenção para cada equipamento avaliado. Como recurso auxiliar, realizaram-se entrevistas semiestruturadas com os planejadores de manutenção da área para maior compreensão dos processos de manutenção.

4 RESULTADOS

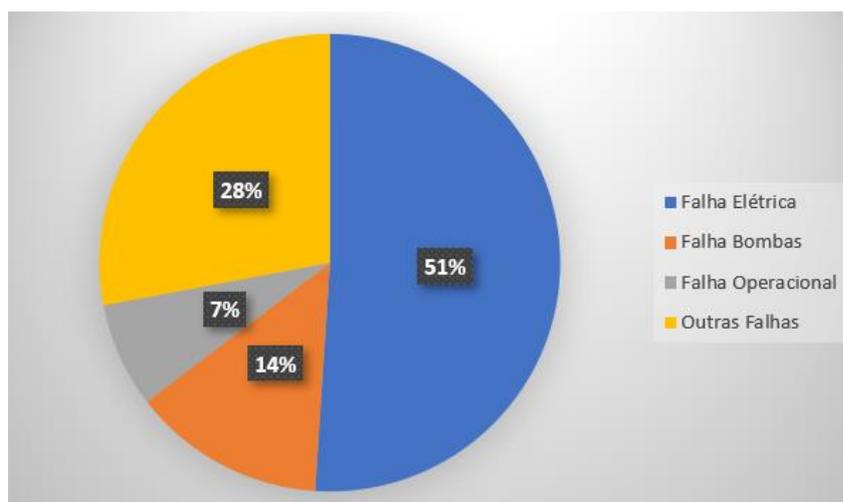
4.1 IMPACTO NA LINHA DE PRODUÇÃO

Utilizando-se de plataformas de histórico de dados, observou-se paradas geradas nas linhas de produção de envase ocasionadas pelo departamento de produção dos líquidos, que foi escolhido para o presente estudo, durante três meses. Na plataforma consultada é possível identificar quantas paradas de produção cada linha de produção teve, quanto tempo cada parada durou e o motivo descrito pelos operadores.

Com os dados, dividiu-se as paradas entre falhas elétricas, podendo ser em painéis ou na própria lógica dos sistemas, falhas operacionais, representando falhas por parte dos operadores na execução dos procedimentos de rotina, falhas em bombas, que podem ser quebras ou falhas e, por fim, outras falhas podem representar problemas com matéria-prima, falhas na execução de testes para projetos e entre outros.

A linha de produção 1 analisada é responsável pelo envase de amaciante de apenas um tamanho, tendo muito impacto em um único tipo de produto.

Figura 6: Causas de Paradas por Tempo durante três meses na Linha de Produção 1.



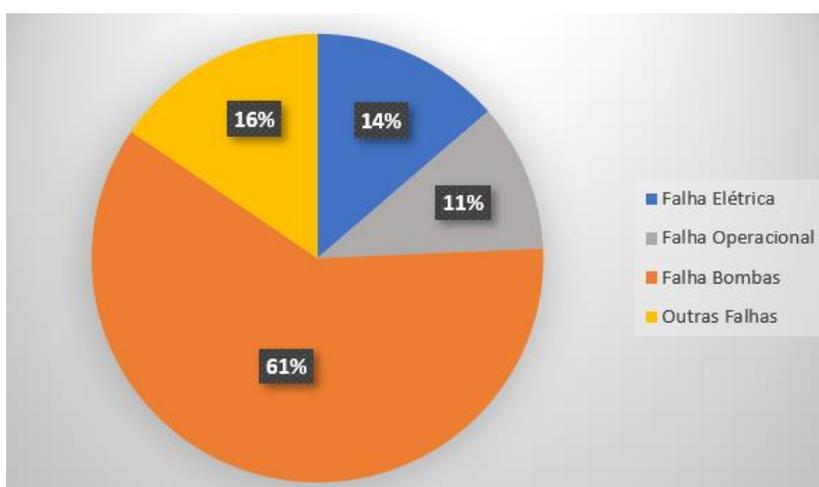
Fonte: Autora.

Conforme o gráfico da linha de produção 1 analisada, cerca de 13,5% do tempo de parada de produção nos últimos 3 meses foi ocasionada por falhas relacionadas às bombas. Todas as falhas analisadas foram ocasionadas em bombas de injeção de

matéria-prima, sendo necessária a parada para reparo da bomba e correção do produto, para evitar-se problemas de qualidade.

A segunda linha de produção analisada é responsável pelo envase de amaciantes em garrafas de diferentes tamanhos. Sendo assim, é uma linha de produção que impacta na disponibilidade de uma variada gama de produtos.

Figura 7: Causas de Paradas por Tempo durante três meses na Linha de Produção 2.

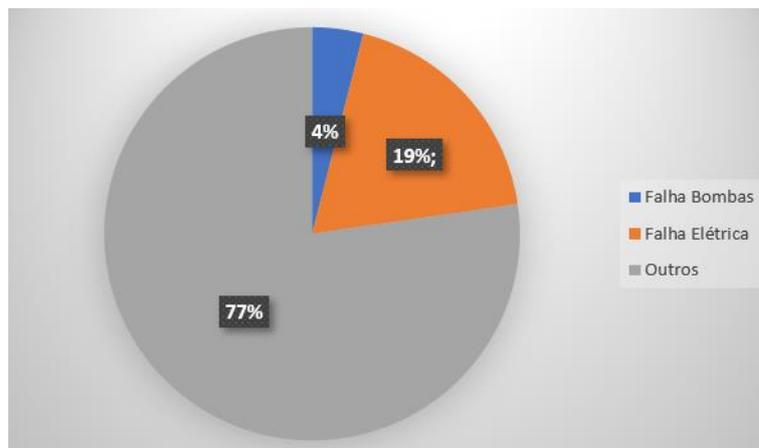


Fonte: Autora.

A linha de produção 2 foi muito afetada por falhas em bombas, representando 60,65% do tempo de linha parada gerada pelo departamento estudado em questão. As causas de falhas foram variadas, porém, em sua maioria, foram relacionadas à bombas de deslocamento positivo.

A linha de produção 3 analisada é uma linha que envasa tanto amaciante quanto sabão líquido em diferentes tamanhos, impactando uma extensa gama de produtos.

Figura 8: Causas de Paradas por Tempo durante três meses na Linha de Produção 3.



Fonte: Autora.

A linha de produção 3 foi a menos afetada por falhas relacionadas à bombas nos três meses avaliados no presente trabalho. Foi ocasionada apenas uma parada gerada por um defeito na válvula de ar de uma bomba pneumática.

A média de tempo de parada ocasionado por bombas nos três meses avaliados foi de cerca de 48 minutos. Em todas as paradas haviam peças de reposição necessárias e pessoas capacitadas para realizar a intervenção. Os tempos de parada variaram de acordo com o nível de complexidade da resolução do problema.

Visto que todas as paradas de produção são registradas no sistema com a descrição do motivo da parada colocada pelos operadores de produção presentes no momento, é possível avaliar quais foram as causas mais frequentes dos impactos em produção.

Cerca de 38% das paradas poderiam ter sido evitadas com um sistema mais adequado de manutenção autônoma, tendo sido causadas por limpeza inadequada ou falta de reapertos durante a inspeção.

Além disso, 17% das paradas poderiam ser evitadas com manutenção preventiva, efetuando a troca de um componente com uma periodicidade menor ou estabelecendo um planejamento de troca de um componente importante, como um selo mecânico.

Com isso, pode-se dizer que cerca de 45% das quebras ou falhas que ocasionaram paradas em linhas de produção ou não poderiam ter sido evitadas, pois não se pode prever todas as variáveis de um processo, ou poderiam ter tido

indicação através de sensores de manutenção preditiva.

4.2 ELABORAÇÃO DE MATRIZ DE CRITICIDADE

Aplicando o conceito de criticidade ao planejamento de manutenção, é possível categorizar os níveis para cada equipamento, viabilizando a construção de uma hierarquia de prioridades.

Com isso, foi elaborada uma matriz de criticidade (Quadro 1) levando em conta os indicadores de manutenção, além de possíveis impactos em segurança, qualidade, meio ambiente e produtividade para o departamento estudado.

Quadro 1: Nível de criticidade de equipamentos.

Fatores de Avaliação	Níveis de criticidade		
	A	B	C
Segurança de Pessoas	Acidente grave com necessidade de afastamento.	Acidente sem gravidade.	Sem acidente.
Segurança do Meio Ambiente	Contaminação Ambiental.	Acidente reversível de baixo impacto ambiental.	Sem impacto ambiental.
Qualidade do produto	Queda significativa de qualidade, produto não pode ser liberado.	Queda leve de qualidade, gerando necessidade de ajustes na produção.	Sem queda de qualidade.
Tempo de utilização	Acima de 85%	Entre 45% e 85%	Abaixo de 45%
Condição de entrega	Causa parada em mais de uma linha de produção.	Há parada em apenas uma linha de produção.	Não há parada na linha de produção,.
MTBF	< 24 h	24 h < MTBF < 72 h	> 72 h
MTTR	> 2 h	30 min < MTTR < 2 h	< 30 min

Fonte: Autora.

O fator mais importante é a segurança, para isso foram colocados como nível mais crítico os equipamentos que, em caso de falha, poderiam causar acidentes graves, que são aqueles nos quais o colaborador precisaria ficar afastado do trabalho. Em segundo, como criticidade média seria um acidente leve, onde não há necessidade de afastamento. Por fim, os equipamentos que em caso de falhas não gerariam risco às pessoas.

Para segurança do meio ambiente, tem-se como menos crítico os equipamentos que não interfeririam no meio ambiente em caso de falha, como médio, os equipamentos que interfeririam de forma reversível e leve e, nos casos mais graves, os que poderiam causar uma contaminação ambiental.

Para qualidade, nos casos mais críticos seriam os equipamentos que poderiam causar falhas graves no produto, no qual ele não poderia ser liberado para a comercialização, como no caso de uma contaminação microbiológica. Nos casos intermediários seriam os impactos que podem ser revertidos com ajustes no produto, como nível de concentração de matéria-prima. Os menos críticos seriam os equipamentos que, em caso de falha, não afetariam a qualidade do produto.

Para tempo de utilização foi considerada a frequência com a qual o equipamento é utilizado e, para condição de entrega, o impacto que o equipamento tem no setor de produção como um todo.

Para adequar um equipamento ao seu nível de criticidade, foi considerado que caso ele cumpra qualquer requisito de um nível mais crítico, ele se localiza naquele nível.

4.3 ANÁLISE DO FLUXO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO

Para a melhor compreensão os processos de manutenção, foi acompanhado o dia a dia dos planejadores de manutenção do departamento. Com isso, possibilitou-se futuramente uma elaboração de padrões nos sistemas.

Na rotina da empresa estudada, cada operador é responsável por um equipamento ou conjunto de equipamentos. Dessa forma, o operador deve garantir que seja feita a manutenção autônoma na frequência correta, conforme estabelecido pelos planejadores de manutenção.

O sistema disponibiliza diariamente as próximas atividades de manutenção autônoma que devem ser feitas na semana, incluindo limpeza, inspeção e lubrificação. O operador efetua a tarefa dentro do prazo estabelecido e confirma no sistema.

Para manutenções preventivas, os responsáveis são os planejadores de manutenção do departamento. Estes devem garantir a compra e a disponibilidade de todas as peças que deverão ser trocadas no tempo correto. Além disso, devem efetuar a troca dos componentes também dentro do período pré-estabelecido e

mostrado no sistema.

Os planejadores de manutenção também são responsáveis por garantir que todas as manutenções preventivas estejam contempladas no sistema e com a periodicidade correta, de maneira a evitar falhas e quebras. Além de mapear defeitos identificados pelos operadores, garantindo que sejam reparados.

Em caso de falhas e quebras não planejadas, ou seja, necessidade de manutenções corretivas, os planejadores de manutenção devem executar os reparos e, se necessário, ter o auxílio dos operadores do departamento.

Em casos de manutenção que exigem fornecedores e terceirizados, como calibração de equipamentos, os planejadores de manutenção deverão agendar e acompanhar as visitas, bem como as atividades.

4.4 ANÁLISE DA ROTINA DE MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

A manutenção autônoma visa garantir que o equipamento cumpra seu tempo de vida útil efetuando serviços de cuidado com seus componentes. Esta pode ser dividida em três grandes pilares: limpeza, inspeção e lubrificação.

A limpeza é efetuada pelo operador responsável pelo equipamento e deve ser feita de acordo com o procedimento, de maneira a se garantir que sejam utilizados os produtos corretos nos pontos certos do equipamento. Para isso, existe um documento descrevendo o passo a passo para cada atividade de limpeza

Todas as atividades de limpeza se encontram no sistema da empresa, podendo ser acessado por qualquer operador. Diariamente a liderança da área revisa quais são os próximos pontos onde devem ser feitas as limpezas para que se reforce com os operadores a importância de executar a tarefa.

Para o procedimento de inspeção de bombas durante a manutenção autônoma, tem-se como objetivo verificar possíveis anomalias nos componentes, como desgastes e defeitos. Para que seja executado de maneira eficiente, é importante que o operador conheça o equipamento.

A lubrificação é um procedimento de manutenção autônoma que é aplicado para reduzir o atrito e possíveis desgastes em pontos específicos das bombas onde há movimentação. A tarefa de lubrificar os componentes necessários das bombas ocorre com uma periodicidade que varia de acordo com o modelo e fornecedor do equipamento.

Todos os operadores possuem nível técnico de estudos, tendo conhecimento para a resolução de pequenos defeitos e anomalias que possam encontrar em seus equipamentos. Ainda assim, todos os operadores passam por treinamentos de cada pilar de manutenção autônoma, para garantir que sigam o padrão.

Dentre as paradas ocasionadas por falhas em bombas, foi identificada uma parada de produção causada por obstrução que poderia ser evitada com um procedimento de limpeza correto. Ainda dentre as paradas citadas, houve uma parada por porca solta dentro da bomba, que poderia ter sido evitada com uma correta inspeção e reaperto.

4.5 MANUTENÇÃO PREVENTIVA E AUTÔNOMA

Visando abranger diferentes modelos de bombas, com diferentes tipos de criticidade, foram selecionadas doze bombas cujas características podem ser vistas no Quadro 2. Seu nível de criticidade foi definido com base na sua atuação de acordo com o Quadro 1.

Quadro 2: Bombas selecionadas para o estudo.

Código	Tipo de Bomba	Criticidade	Área
1	Centrífuga	C	Sabão Líquido
2	Centrífuga	B	Sabão Líquido
3	Centrífuga	B	Sabão Líquido
4	Lóbulo	B	Amaciante
5	Lóbulo	C	Amaciante
6	Lóbulo	B	Sabão Líquido
7	Pneumática	B	Amaciante
8	Pneumática	A	Amaciante
9	Pneumática	B	Amaciante

É possível ver que a maioria das bombas possui um impacto médio na produção, devido principalmente à possibilidade de gerar paradas em linhas de produção, causando impactos financeiros significativos, além do tempo de operação.

3.7.1 Bombas centrífugas

Para o estudo foram selecionadas três bombas centrífugas considerando diferentes atuações e níveis de criticidade. A bomba 1 é responsável pela limpeza completa das linhas, tendo um nível de criticidade baixo (C), visto que o dia de limpeza pode ser remanejado em um dia. A bomba 2 efetua o transporte de uma matéria-prima para um tanque, bem como a bomba 3. Com isso, a segunda e a terceira bomba apresentam níveis de criticidade médio (B), podendo causar incidentes de qualidade ou parada na produção para ajuste.

A primeira bomba possui uma manutenção preventiva de limpeza interna. Usualmente, os procedimentos de limpeza são classificados como manutenção autônoma, porém, quando necessitam de maior tempo e mão de obra mais especializada, sendo um procedimento mais complexo, pode ser alocado como manutenção preventiva. A segunda e a terceira bombas possuem como manutenção preventiva a troca de selo mecânico anual e a troca de óleo.

Ou seja, ao estabelecer um padrão de planejamento de manutenção preventiva para bombas centrífugas, a bomba 1 deveria ter um procedimento de troca de selo mecânico, assim como a troca de óleo.

Todas as bombas possuem como manutenção autônoma a inspeção mensal ou a revisão trimestral.

3.7.2 Bombas de Lóbulo

As bombas de lóbulo são modelos de bomba de deslocamento positivo rotativo e aqui foram consideradas três bombas do departamento.

A primeira bomba (bomba 4) é responsável por transportar o líquido para a linha de envase, tendo um nível de criticidade médio (B) por poder parar uma linha de produção em caso de falha. A segunda bomba (bomba 5) é responsável por transportar um químico classe A, tendo um nível de criticidade alto (A) devido ao risco de segurança. A terceira bomba (bomba 6) transporta uma matéria-prima para o

tanque de mistura, sendo classificada como nível médio (B) por afetar qualidade.

A primeira e a segunda bomba possuem uma manutenção preventiva anual programada, cuja finalidade é a troca do selo mecânico. Já a terceira tem como manutenção preventiva trimestral a troca de óleo da bomba e do redutor.

A primeira bomba apresentou no último ano a necessidade de apenas uma manutenção corretiva, sendo essa referente à vazamento. As outras duas bombas não apresentaram necessidade de intervenção não planejada.

Como manutenção preventiva para bombas de lóbulo, tem-se como padrão a troca dos selos mecânicos uma vez ao ano e a cada três anos a troca dos rolamentos. Todas as bombas possuem como manutenção autônoma a inspeção mensal ou a revisão trimestral.

3.7.3 Bombas Pneumáticas

As bombas pneumáticas de duplo diafragma são bombas de deslocamento positivo alternativas e possuem o benefício de poder ser utilizadas com diversos tipos de produtos químicos, já que pode-se ter a aplicação de diversos materiais nos diafragmas.

Para o estudo, foram selecionadas três bombas pneumáticas do processo. A primeira (bomba 7) executa a drenagem de um tanque, tendo criticidade média (B) por poder gerar atraso significativo na produção e/ou problemas de qualidade. A segunda (bomba 8) executa a drenagem de um ponto de uma linha, tendo criticidade baixa (C), por não causar parada de produção. A terceira (bomba 9) é responsável pela injeção de uma matéria-prima, sendo classificada como criticidade média (B), por poder levar a problemas de qualidade ou parada na produção.

Para a manutenção preventiva, as três bombas possuem a troca dos diafragmas programada com uma frequência anual. Todas as bombas possuem como manutenção autônoma a inspeção mensal ou a revisão trimestral.

3.8 ELABORAÇÃO DE PADRÃO

Para bombas centrífugas, recomenda-se como manutenção preventiva a troca anual do selo mecânico, bem como a troca trimestral de óleo da bomba e do redutor. Recomenda-se como manutenção autônoma a inspeção do anel de vedação e rolamentos, visto que são componentes essenciais e que sofrem desgaste com o

tempo.

Para as bombas pneumáticas, a troca dos diafragmas é programada com uma frequência anual. Recomenda-se também como manutenção autônoma a inspeção da vedação das esferas e sedes, além de checar possíveis desgastes na válvula de ar comprimido.

Para bombas de lóbulo, recomenda-se como manutenção preventiva a troca do selo mecânico anualmente. A troca de rolamentos é indicada de ser realizada a cada três anos.

Levando-se em conta os níveis de criticidade, para equipamentos de criticidade nível C, não há a necessidade de ter planos de manutenção preditiva e a manutenção preventiva pode ser aplicada apenas para um componente específico. Mas para esses casos, pode ser mantida a manutenção corretiva planejada, tendo peças reservas preparadas para uma possível falha.

Para equipamentos de criticidade nível B, é recomendado que se tenham planos de manutenção preventiva para todos os componentes críticos, visando evitar uma quebra que poderia ocasionar em paradas na produção ou impactos em segurança e meio ambiente.

Já para uma criticidade nível A, tem-se os equipamentos mais críticos do sistema, portanto recomenda-se que seja aplicada a manutenção preditiva nestes, através da utilização de sensores como de temperatura e vibração.

3.9 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva é uma tecnologia muito recente na empresa em questão, sendo assim ainda está sendo estudada a melhor forma de empregar e utilizar seus dados.

Para a manutenção preditiva são utilizados sensores remotos que são acoplados aos equipamentos, não havendo a necessidade de intervenção para efetuar medições. Os dados de todos os equipamentos podem ser acessados através de uma plataforma do fornecedor se tiver o acesso autorizado. Na plataforma são encontrados dados de vibração, temperatura e horímetro.

Quando há alguma alteração no equipamento, é aberto e enviado um alerta ao responsável indicando qual variável está fora dos padrões. Com isso, o responsável

pode avaliar a necessidade de intervir na máquina.

Além disso, a plataforma possui os dados dos indicadores de disponibilidade e confiabilidade que são calculados automaticamente a partir dos dados coletados pelos sensores.

A plataforma também disponibiliza a possibilidade de inserir dados sobre o ativo, como o modelo do equipamento, potência, temperatura limite, RPM, entre outros. Dessa forma, todas as informações sobre o equipamento podem ficar concentradas.

Para estabelecer critérios de prioridade na implementação de sensores de manutenção preditiva, pode-se seguir pelo nível de criticidade. Quanto maior for a criticidade do equipamento e mais difícil for monitorá-lo através de outras ferramentas, maior a prioridade na implementação do sensor.

A única bomba do estudo que possui um sensor de manutenção preditiva atualmente é a bomba número 8, de criticidade nível A. De acordo com o histórico de dados da plataforma do sensor para essa bomba, sua disponibilidade atual apresentada é de 94,91% e sua confiabilidade está em 100%.

5 CONCLUSÃO

A manutenção industrial possui diversos pilares que devem ser planejados e estruturados para ter-se êxito. Um único equipamento pode ter planos de diversos tipos de manutenção, entre manutenção autônoma, preventiva, corretiva e preditiva, que devem ser planejados de forma interconectada.

Para a manutenção de bombas industriais, dependendo do modelo de bomba e da sua atuação, podem ocorrer problemas de qualidade, por contaminação ou injeção de quantidades incorretas de matéria prima.

O planejamento de manutenção deve levar em conta a manutenção autônoma, mantendo um padrão de limpeza, inspeção e lubrificação corretos e uma frequência adequada. Na manutenção autônoma é importante que o mantenedor tenha atenção à possíveis defeitos e desgastes, podendo contribuir com uma manutenção preventiva.

Para a manutenção preventiva, devem ser considerados os componentes essenciais do equipamento, bem como os pontos de maior desgaste. Para cada modelo de bomba tem-se a recomendação de quais componentes devem ser trocados com uma certa frequência, porém podem haver variações de acordo com o fornecedor.

A manutenção corretiva pode ser pensada intencionalmente quando a quebra ou falha do componente não causar grandes impactos financeiros ou de segurança. Deve-se levar em conta também a necessidade de ter a disponibilidade dessas peças e de pessoas capacitadas para efetuar o reparo.

A manutenção preditiva é uma tecnologia relativamente nova que pode auxiliar na redução de manutenções corretivas e pode adequar a frequência de manutenções preventivas, reduzindo custos à longo prazo.

As bombas industriais são equipamentos de extrema importância para o

funcionamento de diversos segmentos fabris. Estabelecer um padrão para a sua manutenção de acordo com o seu modelo garante que haja uma maior proteção contra falhas e quebras.

Conforme visto no presente trabalho, tanto um bom planejamento, quanto uma boa execução dos modelos de manutenção podem evitar grandes impactos na cadeia produtiva.

O padrão de planejamento da manutenção também deve estar alinhado com o padrão na execução. Dessa forma, todos os mantenedores que forem executar as tarefas seguirão todos os procedimentos necessários de forma satisfatória.

A estrutura e divisão de trabalho para a manutenção autônoma é eficiente, visto que todos os equipamentos possuem responsáveis e tarefas claras. O ponto de melhoria foi observado no conteúdo e periodicidade das tarefas. Apesar de simples, a manutenção autônoma poderia ter evitado cerca de 38% das paradas, um número significativo. Com isso, a implementação de planos mais completos de limpeza, inspeção e lubrificação, conforme sugerido, poderiam evitar perdas de processo.

Além disso, ajustes no cronograma de manutenção preventiva poderiam ter evitado 17% das paradas. Com isso, é essencial que o time de planejamento de manutenção revise os cronogramas de trocas de componentes de maneira a se garantir que todos os equipamentos estão devidamente cobertos por padrões adequados, conforme mencionado.

Considerar o nível de criticidade da bomba para a linha de produção também é importante no momento do planejamento, de forma que se possa otimizar gastos e entender os principais pontos de atenção. Dessa forma, com o auxílio da matriz de criticidade, é possível se definir onde colocar mais recursos financeiros e de pessoas, de forma a se evitar maiores impactos em todos os pilares avaliados, tais como segurança, qualidade e tempo de produção.

Com a matriz de criticidade e os planejamentos já existentes, foi possível elaborar uma sugestão de padrão de manutenção autônoma e preventiva para bombas centrífugas, pneumáticas e de lóbulos, com base nas paradas de produção já ocorridas.

Com isso, pode-se dizer que todo o processo de revisão de equipamentos na indústria, do estabelecimento de quais procedimentos de manutenção serão feitos, a

forma que deverá ser executado e sua frequência é essencial para ter-se uma empresa competitiva no mercado, cuidando de seus ativos e pessoas.

REFERÊNCIAS

ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos). Disponível em: <<https://abramanoficial.org.br/>> Acesso em: 5 Dez. 2023

AMPCO. **Positive displacement pumps comparisons.** Disponível em <<https://www.ampcopumps.com/pt/positive-displacement-pumps-comparisons/>>. Acesso em: 12 dez.2023

BERTO, A. M.; DIAS JUNIOR, C. M.; CESCONE TO, S. M.; SOUZA, G.P. **Manutenção e Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) como elementos de redução dos custos de produção – um estudo simulado.** R. Gest. Industr., Ponta Grossa, v. 14, n. 1, p. 234-248, jan./mar. 2018. Disponível em: < file:///C:/Users/win10/Downloads/6766-31782-1-PB.pdf> Acesso em: 20 dez.2023.

CARDOSO, Marcelo de Oliveira. **Indústria 4.0: A Quarta Revolução Industrial.** 2016. Monografia (Especialização em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2016.

FARAH, Artur Alves. **Implementação de um Sistema de Planejamento e Controle da Manutenção em uma Indústria de Produtos Químicos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) — Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2017.

FOGLIATO, Flavio. **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** São Paulo: Grupo GEN, 2009.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOUVEA, Marcos. **Estudo de Confiabilidade em Bombas Centrífugas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade São Francisco. Campinas, 2008.

HANSEN, Robert C. **Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros.** Tradução: Altair Flamarion Klippel. Porto Alegre. Bookman, 2006.

INSTRUVAL. **Bomba pneumática de diafragma: funcionamento simples e eficiente.** Disponível em <https://instruval.net/bomba-pneumatica-de-diafragma-funcionamento-simples-e-eficiente/>>. Acesso em: 11 dez.2023

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção: função estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KRUGER, Marcia. **Análise do Custo X Benefício Para a Substituição de Bomba de Duplo Diafragma Utilizada em Pintura de Moldes de uma Fundição**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Faculdade SATC. Criciúma, 2018.

LOXAM. Entenda o funcionamento de uma bomba centrífuga. Disponível em <<https://degraus.com.br/entenda-o-funcionamento-de-uma-bomba-centrifuga/>>. Acesso em: 12 dez.2023

MACEDO, Daniel Almeida de. **A quarta revolução industrial**. 2016. Disponível em: <<http://www.gazetadigital.com.br/conteudo/show/secao/60/materia/467815/t/aquarta-revolucao-industrial>>. Acesso em: 17 dez.2023.

MARTINS, Ana Patrícia Riberio de Almeida Pires **A Influência da Manutenção Industrial no Índice Global de Eficiência (OEE)**. Dissertação (Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial) — Universidade Nova de Lisboa, 2012.

MEGIOLARO, Marcello Rodrigo de Oliveira. **Indicadores de Manutenção Industrial Relacionados à Eficiência Global de Equipamentos** (Trabalho de Conclusão de Curso) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

MENDES, Gabriela. et. al. **TPM e Manutenção Planejada: Estudo de caso em um Indústria de Biscoitos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Centro Universitário dos Guararapes. Recife, 2021.

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/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022-1.pdf>>. Acesso: 20 dez.2023.

MONCHY, François. **A Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 1987.

MORAES, Paulo Henrique de Almeida. **Manutenção produtiva total: estudo de caso em uma empresa automobilística**. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Socioprodutivos) – Universidade de Taubaté. Taubaté, 2004.

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

OLIVEIRA, Rafaela. **Análise da Implementação do Programa de Manutenção Autônoma: Estudo de Caso em uma Empresa de Mineiração de Bauxita**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas) — Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2017.

OTANI, Mario; MACHADO, Waltair. **A Proposta de Desenvolvimento de Gestão da Manutenção Industrial na Busca da Excelência ou Classe Mundial**. Revista Gestão Industrial, ISSN 1808-0448 / v. 04, n. 02: p. 01-16, 2008. UniversidadTecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2008.

ROMFELD, Rafael. **Implementação de Melhorias em Máquina Protótipo de Colagem Sob Pressão de Peças Cerâmicas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná . Curitiba, 2018

SANTOS, S. L. **Bombas e Instalações Hidráulicas**. São Paulo: LCTE, 2007.

SOARES, Frederico. **Sistema de Tratamento de Falhas Para Bombas de Deslocamento Positivo: o Caso de uma Empresa do Setor de Mineração**. Monografia (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2021.

TAVARES, Lourival Augusto. **Administração Moderna da Manutenção**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Novo Polo Publicações, 1999.

TAVARES, Maria Carolina. **Aplicação de Ferramentas da Qualidade para Análise de Problemas Relacionados à Backlog**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, 2019.

VERGARA, Sylvia Constant. **Métodos de Pesquisa em Administração**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

WYREBSK, Jerzy. **Manutenção Produtiva Total – Um Modelo Adaptado**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1997.

XENOS, Harilaus Georgius. **Gerenciamento da Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora Indg, 2004.