



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

JOYCE CRISTHINY ALMEIDA

IMPLANTAÇÃO DE GESTÃO MANUTENÇÃO: ESTUDO DE CASO

CARAÚBAS

2021

JOYCE CRISTHINY ALMEIDA

IMPLANTAÇÃO DE GESTÃO MANUTENÇÃO: ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Jackson de Brito Simões

CARAÚBAS

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A447i Almeida, Joyce Cristhiny.
Implantação de gestão de manutenção: Estudo de
caso / Joyce Cristhiny Almeida. - 2021.
47 f. : il.

Orientador: Jackson de Brito Simões.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2021.

1. Manutenção. 2. Máquinas pesadas. 3. Melhoria
contínua. 4. Qualidade. I. Brito Simões, Jackson
de, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JOYCE CRISTHINY ALMEIDA

IMPLANTAÇÃO DE GESTÃO MANUTENÇÃO: ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Defendida em: 18/11/2021.

BANCA EXAMINADORA

Jackson de Brito Simões, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Dorgival Albertino da Silva Junior, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Victor Andrade Dantas, Prof. Me (Avaliador Externo)
Membro Examinador

RESUMO

Desvios nas condições ótimas das máquinas e equipamentos que integram um processo produtivo impactam diretamente na qualidade do produto ou serviço e tornam a manutenção um fator primordial para qualidade do processo. Nesse sentido, o escopo geral do trabalho visa identificar e propor soluções para a redução do número de corretivas que permeiam o sistema hidráulico de três máquinas de mesmo modelo, através de uma pesquisa aplicada, com objetivo majoritariamente exploratório e descritivo pelo método de estudo de caso. A análise foi sistematizada pelas ferramentas da qualidade e quantificadas através de algumas métricas definidas previamente. Foi alcançada uma redução superior a 20% no número de ocorrências de corretivas emergenciais e uma redução de 27,2% no consumo médio de óleo hidráulico, ratificando um comportamento de atenuação das falhas nestes componentes.

Palavras-chave: Manutenção. Máquinas Pesadas. Melhoria Contínua. Qualidade.

ABSTRACT

Deviations from the optimal conditions of machines and equipment that make up a production process directly impact the quality of the product or service and make maintenance a key factor in the quality of the process. In this sense, the general scope of the work aims to identify and propose solutions to reduce the number of correctives that permeate the hydraulic system of three machines of the same model, through an applied research, mostly exploratory and descriptive by the case study method. An analysis was systematized by quality tools and quantified through some metrics previously defined. A reduction of more than 20% was achieved in the number of occurrences of emergency corrections and a reduction of 27.2% in the consumption of medium hydraulic oil, confirming the behavior of mitigating mandatory component failures.

Keywords: Maintenance. Heavy machines. Continuous Improvement. Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva PF	18
Figura 2: Curva da Banheira.	19
Figura 3: Relação da disponibilidade e lucro na manutenção.	22
Figura 4: Exemplo de aplicação da ferramenta dos “cinco porquês”	24
Figura 5: Diagrama de Ishikawa	24
Figura 6: Etapas para implementar o Diagrama.	25
Figura 7: Etapas para implementação da Matriz de Causa e Efeito	26
Figura 8: Etapas para implementação do PFMEA.	28
Figura 9: Análise das causas de falhas em rolamentos pelo gráfico de Pareto.	30
Figura 10: Vista geral de máquina móvel e seus principais componentes	31
Figura 11: Detalhamento dos direcionadores e indicadores para avaliação do problema	35
Figura 12: Descrição das etapas do procedimento metodológico	36
Figura 13: Categorização das corretivas pelo sistema de falha	37
Figura 14: Manutenções corretivas por equipamento	38
Figura 15: Segmentação das corretivas por máquina e por sistema.....	39
Figura 16: Ocorrências de falha.	39
Figura 17: Consumo mensal de óleo hidráulico.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Redução percentual média do número de corretivas emergenciais....	43
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Detalhamento dos Pilares do TPM.....	16
Quadro 2: Exemplo de aplicação da Matriz de Causa e Efeito.	26
Quadro 3: Caracterização dos parâmetros de RPN	29
Quadro 4: Levantamento das causas potenciais pelo Diagrama de Ishikawa.....	40
Quadro 5: Ações prioritárias e descrição.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTO E PROBLEMA	11
1.2	JUSTIFICATIVA	12
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	14
2.1.1	Evolução e os tipos de Manutenção	14
2.1.2	Falha, defeito e pane	16
2.1.3	Curva PF e Curva da banheira	17
2.1.4	Principais indicadores de manutenção	19
2.1.5	Custos de Manutenção	21
2.2	QUALIDADE E MELHORIA CONTÍNUA	22
2.3	ANÁLISE DE FALHAS	23
2.3.1	Cinco porquês	23
2.3.2	Diagrama de Ishikawa	24
2.3.3	Matriz de Causa e Efeito	25
2.3.4	FMEA	27
2.3.5	Ferramentas Auxiliares	29
2.4	MÁQUINAS DE MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAL MÓVEL	31
2.5	SISTEMA HIDRÁULICO	31
3	METODOLOGIA	34
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA	34
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROCEDIMENTO DA PESQUISA	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1	ANÁLISE DOS DADOS	37
4.2	AVALIAÇÃO DA PROBLEMÁTICA	40
4.3	DEFINIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÕES	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E PROBLEMA

A busca por melhorias na qualidade e pela redução de custos, alinhada ao grande patamar competitivo do mercado, fomenta, em todos os setores da indústria, o aprimoramento dos produtos e processos internos, a fim de garantir melhores resultados financeiros e o aumento da satisfação do cliente (BARBOSA; TOMASZEWSKI; SILVA; 2017).

Diversas ferramentas gerenciais foram desenvolvidas ao longo dos anos a fim de garantir o controle de qualidade desses produtos e processos. Tais ferramentas são baseadas em métodos sistematizados que visam a eliminação de fontes de ineficiência, gargalos e de desperdícios, auxiliando na tomada de decisão e garantindo otimizações no desempenho operacional e organizacional das empresas (ECKES, 2001).

Desvios nas condições ótimas das máquinas e equipamentos que integram um processo produtivo impactam diretamente na qualidade do produto ou serviço e tornam a manutenção um fator primordial para a garantia da capacidade e qualidade da produção. A gestão estratégica associada à melhoria contínua surge como método eficaz para resolução de problemas, já que atua na análise e controle de falhas, alcançando melhorias expressivas nos indicadores de desempenho e performance (PYZDEK; KELLER, 2011).

Na gestão da manutenção, estes aspectos facilitam a identificação de pontos críticos do processo e a quantificação do desempenho, reduzindo ações corretivas e suas problemáticas associadas (tais como: lucro cessante, necessidade de compras em caráter emergencial, danos auxiliares ao equipamento e a falta de planejamento para a intervenção, que não ocorre de maneira programada), que tornam a manutenção corretiva “o tipo de manutenção mais dispendiosa, que toma mais tempo e traz mais prejuízo para a empresa. Chegando a ser, no mínimo, sete vezes mais cara que os demais tipos de manutenção” (TELES, 2019).

1.2 JUSTIFICATIVA

A ausência de um método estruturado para gestão da manutenção pode dificultar a identificação das causas raiz e dos modos de falha, inviabilizando as tratativas necessárias para o controle de corretivas, bem como, dos seus efeitos e consequências. Esses aspectos são primordiais para avaliação de criticidade e para a garantia da segurança, disponibilidade e custo dos ativos, contornando problemáticas associadas ao estoque de peças, ociosidade das máquinas e falta de produção (ECKES, 2001). Nesse contexto, a implementação de ferramentas sistemáticas manifesta-se com elevada propensão no que diz respeito ao planejamento e gestão de manutenção, sobretudo, porque a análise permite o direcionamento adequado das estratégias de manutenção para cada modo de falha identificado, possibilitando o melhor controle e otimização de indicadores (TELES, 2019).

Nessa conjuntura, o presente trabalho visa a implementação de ferramentas da qualidade a fim de sistematizar a análise de falhas que compreendem o sistema hidráulico de três máquinas (de mesmo fabricante, modelo e série) expostas a condições críticas de trabalho, justificando-se pela relevância do direcionamento de pesquisas voltadas para aplicação efetiva destas ferramentas no âmbito da manutenção, diante do possível e substancial impacto em termos de custo e incremento de produção. Destaca-se também a relevância de quantificar a contribuição do método no que tange a obtenção de resultados, sobretudo, por se tratar de uma metodologia que requer pouco ou nenhum investimento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O escopo geral do trabalho é direcionado à gestão de manutenção de máquinas do setor de operação de uma indústria a fim de identificar, avaliar e propor soluções para a redução do número de corretivas que permeiam o sistema hidráulico dessas máquinas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Analisar, quantitativa e qualitativamente, a problemática que permeia o grande número de corretivas no sistema hidráulico das máquinas que englobam o estudo de caso;
- b. Avaliar, através das ferramentas da melhoria contínua, as causas potenciais das corretivas;
- c. Propor soluções efetivas para melhoria dos resultados, quantificados através de métricas específicas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção pode ser definida como o conjunto de técnicas necessárias para o funcionamento adequado de máquinas e equipamentos, a fim de que sejam capazes de desempenhar a sua função requerida de projeto. A forma de atuação e o instante cuja a intervenção é realizada a diferencia em tipos distintos. A NBR 5462 (1994) classifica-a em: manutenção corretiva, preventiva ou preditiva (TELES, 2019).

2.1.1 Evolução e os tipos de Manutenção

O surgimento e evolução das técnicas de manutenção foi fomentada pelo desenvolvimento tecnológico no setor industrial. As primeiras práticas surgiram, ao final do século XIX, com o advento da mecanização da indústria, em resposta a produção em massa e as elevadas demandas do mercado, fazendo-se necessário o direcionamento de equipes específicas para reparo dos ativos (FAESARELLA; SACOMANO; CARPINETTI, 2006). Durante esse período, o conceito de manutenção era centralizado em ações corretivas realizadas após a ocorrência de uma falha, com o propósito de recolocar o item em condições operacionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994). Esse tipo de manutenção é considerado o mais primitivo, já que o equipamento permanece em operação até que o seu desempenho seja comprometido (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Após a Segunda Guerra Mundial, a manutenção preventiva ganhou destaque, sobretudo, sob a perspectiva de planejamento e controle destas intervenções, a fim de reduzir a probabilidade de falhas e de aumentar a vida útil dos componentes. Na preventiva, os componentes são substituídos de acordo com intervalos pré-determinados (com base no tempo de vida, no número de ciclos ou em outro referencial de medida) para conter/prevenir a redução do desempenho, obedecendo a um plano previamente definido para o equipamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994; TAKAHASHI; OSADA, 2010).

Com os avanços tecnológicos advindos da Terceira Revolução Industrial, na década de 1970, um novo conceito de manutenção, denominada “manutenção preditiva” foi, gradativamente, popularizando-se e ratificando a pertinência da

realização sistemática de técnicas como análise de vibrações, análise de óleo, termografia e ultrassom, por exemplo, favorecendo a identificação do potencial de falha ainda em estágio inicial e otimizando a vida útil dos equipamentos (TELES, 2019). A partir do monitoramento destes parâmetros, é possível acompanhar a condição da máquina e identificar, antecipadamente, a ocorrência de uma falha, tornando possível programar a sua parada. A manutenção avança, então, para um caráter detectivo, reduzindo o número de intervenções desnecessárias e aproveitando o máximo do ativo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994; TAKAHASHI; OSADA, 2010).

A partir da década de 1980, foi inserida na gestão de manutenção o conceito de “Manutenção Produtiva Total” ou *Total Productive Maintenance* (TPM), fundamentada em oito pilares (Quadro 1) e centrada na eliminação de falhas, defeitos de produção e do número acidentes, com a política de zero perdas, garantindo avanços ainda maiores na produtividade da organização (MEGIOLARO, 2015).

Entre os pilares da TPM encontra-se a manutenção autônoma (MA), na qual os operadores desenvolvem atividades tais como: rotinas de inspeção, lubrificação e limpeza, dando suporte ao setor de manutenção e garantindo o maior comprometimento e motivação dos operadores com o estado das máquinas. A MA se estabelece como um dos marcos do TPM, pois as atividades de manutenção passam a ser vistas como responsabilidade de todos os colaboradores, assinalando a integração homem-máquina-empresa, com o intuito de assegurar não apenas a simples restauração dos ativos, mas a máxima produtividade da empresa. A manutenção passa a ser vista como fator estratégico fundamental nos processos produtivos e essencial para alcance dos objetivos e metas dentro das organizações. Nesse momento, entram em destaque também questões relacionadas à segurança e ao meio ambiente, as quais se tornaram primordiais para assegurar a sobrevivência das empresas no mercado (GOMES; LIMA; SILVA, 2012).

Novas estratégias de manutenção têm surgido com o objetivo de garantir avanços ainda maiores em termos de otimização dos processos e desempenho operacional (KENNEDY, 2002). Dentre elas, encontra-se a Manutenção Centrada na Confiabilidade ou *Reliability Centered Maintenance* (RCM), centralizada no gerenciamento dos ativos, a fim de assegurar a disponibilidade e confiabilidade, através do monitoramento da condição do equipamento, estruturada por ferramentas de suporte a decisão, análise de riscos e dos modos e efeitos de falha. Para isso,

houve o desenvolvimento de diversas técnicas e o avanço de sistemas especializados para apoiar a gestão de manutenção (MOUBRAY, 2000).

Quadro 1: Detalhamento dos Pilares do TPM.

Controle inicial do equipamento	Eliminar problemas e mau funcionamento de novos equipamentos; aprender com sistemas existentes para implantar iniciativas de melhoria de manutenção de sistemas novos.
Melhoria individual	Identificação e eliminação de todas as perdas e aumento da eficiência do sistema com melhoria do OEE (Eficiência Global do Equipamento).
Manutenção Planejada	Planejamento eficiente e efetivo da manutenção para otimizar a vida útil do equipamento; controle do MTBF, MTTR e disponibilidade.
Qualidade da manutenção	Atingir zero defeitos; acompanhar a resolução de problemas de equipamentos.
Treinamento e Educação	Transmitir conhecimento; controle de qualidade; explorar habilidades interpessoais e polivalência dos trabalhadores; alinhar os funcionários a metas organizacionais; realizar avaliação periódica; manter atualização.
Segurança, Saúde e Ambiente	Certificar-se da segurança no ambiente de trabalho; fornecer um ambiente de trabalho adequado; eliminar os incidentes com lesões; fornecer procedimentos operacionais padrão.
Gerenciamento	Melhorar a interação entre as várias funções do negócio; otimizar os processos; diminuir os custos; manter o escritório e áreas de trabalho organizados.
Manutenção Autônoma	Promover a ideia que o próprio operador realize as limpezas, lubrificações, apertos, ajustes, inspeções, reajustes nos equipamentos de produção.

Fonte: Megiolaro (2015).

2.1.2 Falha, defeito e pane

De acordo com a NBR 5462 (1994), o defeito de um item é caracterizado pelo desvio de uma característica em relação a seus requisitos, gerando anormalidades

em sua condição de operação. Essa anormalidade pode vir a impactar a sua performance e promover a perda da função de projeto, marcando a ocorrência de uma falha. Quando essa falha promove a perda total da sua função requerida é denominada de “funcional”; caso contrário (quando ocorre somente desvios de desempenho) a falha é descrita como “potencial” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994; FIGUEIREDO, 2019).

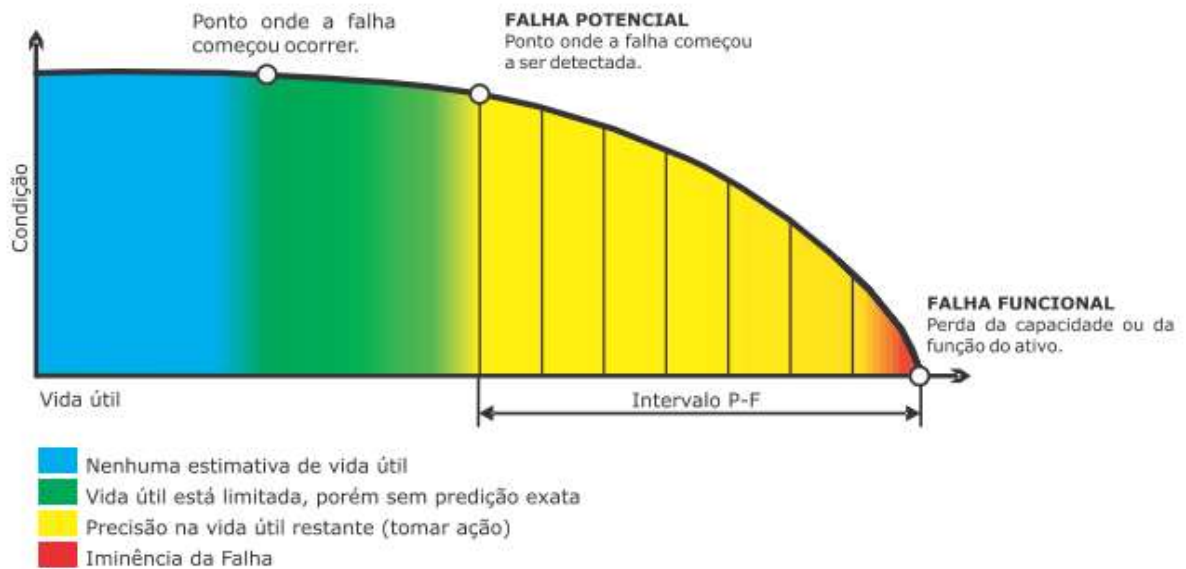
A pane, por sua vez, é o estado que marca a incapacidade operacional do ativo, ocasionada por um evento não-programado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994). Existem inúmeras causas possíveis para a ocorrência dessas falhas, dentre as quais incluem questões operacionais, fim de vida útil e a ausência de manutenção adequada, por exemplo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

2.1.3 Curva PF e Curva da banheira

A curva de Potencial de Falha, em inglês *Potential Failure* (PF), comumente denominada por Curva PF (Figura 1), descreve a performance de um equipamento ao longo do tempo. Após a ocorrência da falha potencial, se o defeito não for diagnosticado e tratado, o desempenho operacional se apresentará em queda de rendimento até que ocorra a falha funcional, caracterizando a pane do equipamento (TELES, 2019).

De acordo com os conceitos de falha potencial e funcional supracitados, a manutenção corretiva pode ser subdividida, de acordo com o momento em que se é realizada a intervenção, em corretiva emergencial ou não-programada (após a falha funcional ou pane do equipamento) e em corretiva programada (definida previamente, após identificação da falha potencial) (TELES, 2019).

Definir o intervalo entre a ocorrência das falhas potencial e funcional de um componente facilita a programação e o planejamento da intervenção no equipamento, reduzindo as chances de corretivas não programadas (TELES, 2019). Através da manutenção preditiva, é possível monitorar a condição do item através de parâmetros de desempenho e prever/identificar anormalidades causadas pelo surgimento de uma falha potencial, permitindo que a intervenção ocorra no momento adequado e garantindo que o equipamento opere continuamente pelo maior tempo possível (OTANI; MACHADO, 2008).

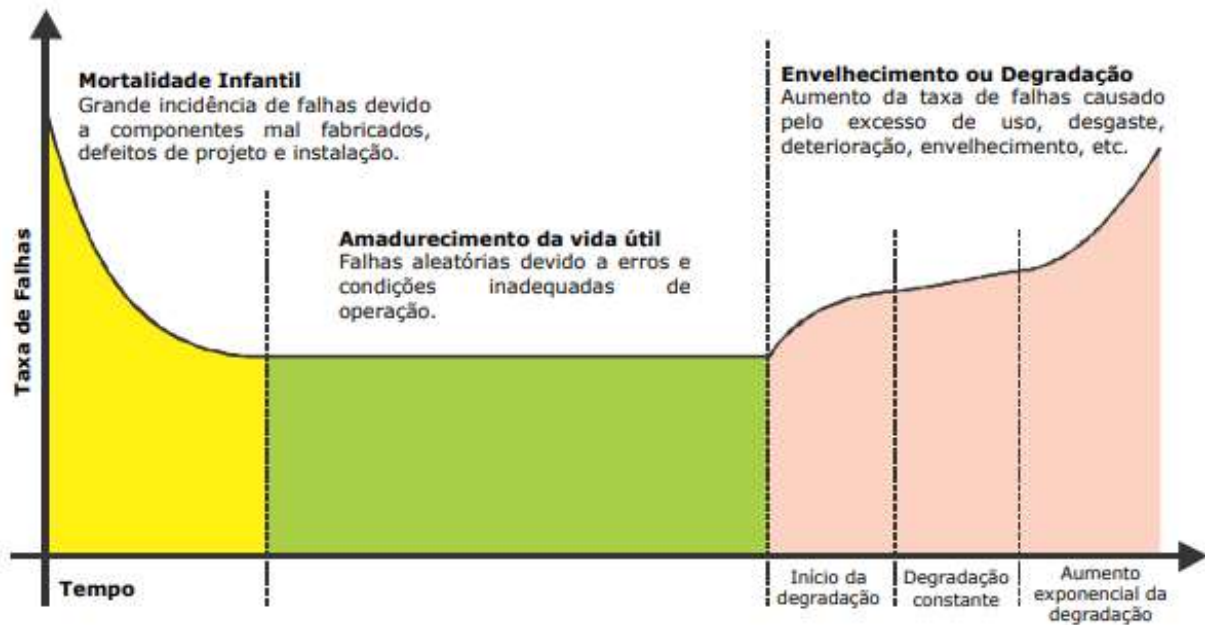
Figura 1: Curva PF

Fonte: Baran (2011).

A probabilidade de ocorrência, bem como, os padrões de falha ao longo do tempo de vida útil de um equipamento apresentam, em geral, o comportamento descrito pela “curva da banheira” (Figura 2) (KARDEC; NASCIF, 2009). Esta curva é utilizada para caracterizar o desempenho do ativo, fundamentando-se em três perfis de falha: mortalidade infantil, amadurecimento da vida útil e falhas por envelhecimento ou degradação, pelas quais se obtém o perfil de curva resultante, conhecida pelo formato característico de “banheira”.

Durante o início da vida útil, há uma taxa relativamente elevada de falhas (região de mortalidade infantil) derivadas, sobretudo, de problemas de projeto, fabricação, instalação ou montagem inadequada do equipamento. À medida que estes problemas são contornados, as taxas de falhas tendem a cair, atingindo certa estabilidade (região de aleatoriedade). Nesta região, em que grande parcela das ocorrências são provenientes de eventos aleatórios, o equipamento atinge maior eficiência e produtividade. Quando vai atingindo o final de sua vida útil, problemas por desgaste (corrosão, trincas, fadiga, deterioração etc.) tendem a se tornar prevaletentes, maximizando as falhas, que atingem perfil crescente (KARDEC; NASCIF, 2009).

Figura 2: Curva da Banheira.



Fonte: Baran (2011).

As técnicas de inspeção preditiva são escolhidas de acordo com critérios como criticidade e o modo de falha previsto para o item, sendo realizadas por intermédio de equipamentos (sensores, analisadores, monitores) ou por amostragem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994). Por se tratar de uma manutenção centrada no acompanhamento, a sua implementação torna-se mais onerosa, sobretudo, pela necessidade de instrumentos de medição e de uma maior qualificação da mão-de-obra (MARCORIN; LIMA, 2003). Em alguns casos, a preditiva é de difícil execução ou o alto custo não se justifica, sendo realizados procedimentos de manutenção preventiva para reduzir os riscos de quebra (TAKAHASHI; OSADA, 2010). Esse tipo de manutenção, no entanto, só se torna pertinente para componentes que apresentam falha por desgaste, sobretudo, sob um ritmo constante, não devendo ser aplicada para estimar os outros padrões de falha (MARCORIN; LIMA, 2003).

2.1.4 Principais indicadores de manutenção

Os indicadores de manutenção constituem um aspecto importante na gestão estratégica de uma empresa, fornecendo informações de desempenho e performance globais do processo. Essas informações contribuem para a priorização de ações,

tomada de decisão e para o direcionamento dos recursos financeiros, auxiliando na padronização das informações e quantificação dos resultados, tornando-os de fácil e rápido entendimento para todos os colaboradores (PYZDEK; KELLER, 2011).

Através dessas métricas é possível mensurar, sobretudo, o rendimento dos equipamentos e dos sistemas produtivos frente às ações de manutenção, avaliando aspectos como disponibilidade, confiabilidade e produtividade, por exemplo (MEGIOLARO, 2015). O conceito de produtividade está associado a capacidade de produção da empresa, ou seja, a efetividade pela qual as entradas podem ser transformadas em produtos finais, objetivando a máxima produção, através de operações mais enxutas e menos onerosas, requerendo a menor quantidade de recursos possíveis (PYZDEK; KELLER, 2011).

Já a disponibilidade é descrita pela NBR 5462 (1994) como a “capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado”. Em termos gerais, dita a parcela de tempo que o equipamento ficou operacionalmente disponível. Esse indicador está intimamente relacionado à confiabilidade e a manutenibilidade do equipamento, que determinam, respectivamente, a probabilidade de o equipamento operar satisfatoriamente durante um período especificado e a possibilidade de se executar uma intervenção corretiva rápida e eficaz, a fim de manter ou recolocá-lo em condições de operar, atendendo as suas funções requeridas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

Através do controle desses indicadores, é possível assegurar outros dois indicadores: o MTBF e o MTTR. O tempo médio entre falhas do ativo, comumente designado pela sigla MTBF (*Mean Time Between Failures*) determina o tempo médio entre uma falha e outra do equipamento. Já o MTTR (*Mean Time to Repair*) ou tempo médio para reparo, determina o tempo de parada não planejadas de um equipamento para manutenção (MEGIOLARO, 2015). Esses indicadores podem ser estimados, respectivamente, através das Equações 1 e 2:

$$MTBF = \frac{\sum (\text{tempo em operação até a falha})}{\sum (\text{número de falhas})} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$MTTR = \frac{\sum (\text{tempo de máquina parada})}{\sum (\text{número de paradas})} \quad (\text{Eq. 2})$$

Nesse sentido, a garantia da confiabilidade de um ativo favorece, dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido, à obtenção de um sistema com poucas paradas não programadas. Todavia, é importante assegurar ainda que diante de uma parada, o tempo de retorno para operação seja otimizado, visto o impacto do MTTR na disponibilidade do ativo. Além disso, é importante atentar-se para fatores como treinamento dos mantenedores, disponibilidade de peças, limpeza e condição geral do equipamento, que também impactam diretamente nestes indicadores (MARCORIN; LIMA, 2003).

2.1.5 Custos de Manutenção

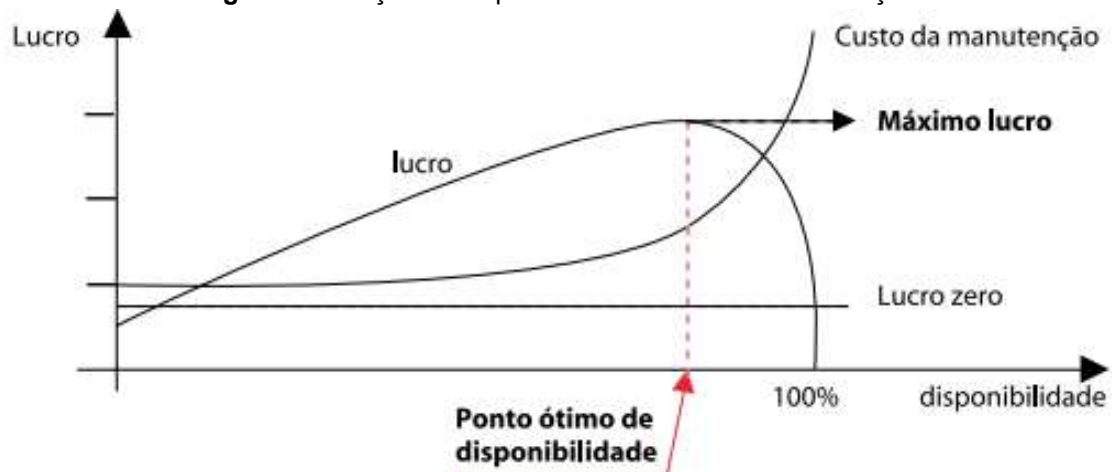
O interesse na redução expressiva no número de falhas e, conseqüentemente, o aumento da disponibilidade, são obtidos através de investimentos cada vez maiores em manutenção. O direcionamento desses recursos engloba a análise da criticidade que o ativo apresenta ao processo produtivo, justificando-se apenas se os custos da indisponibilidade forem maiores do que os custos para evitar a falha. Caso contrário, a manutenção corretiva será a mais recomendada (MARCORIN; LIMA, 2003).

Essa correlação entre custo de manutenção e lucro assume comportamento diretamente proporcional até o ponto ótimo de disponibilidade (Figura 3). A partir desse ponto, os custos de manutenção se ampliam, reduzindo o lucro operacional do ativo e inviabilizando a aplicação de recursos financeiros para assegurar maiores índices de disponibilidade.

A indisponibilidade operacional das paradas não-programadas é considerada um custo indireto, enquanto os impactos na qualidade dos produtos, perda de clientes e os prejuízos à imagem da empresa são considerados custos induzidos. Os custos diretos, por sua vez, englobam fatores como mão-de-obra, ferramentas/instrumentos e peças, por exemplo, que podem impactar consideravelmente, mesmo não havendo efetivamente a parada do equipamento (TELES, 2019).

Nesse sentido, além da criticidade do ativo, definir a política de manutenção adequada para cada equipamento com base na análise destes custos, bem como, o conhecimento do ponto ótimo é um fator primordial para se garantir a melhor relação custo/benefício e atingir valores de máximo lucro (PYZDEK; KELLER, 2011).

Figura 3: Relação da disponibilidade e lucro na manutenção.



Fonte: Marcorin e Lima (2003).

2.2 QUALIDADE E MELHORIA CONTÍNUA

Até os anos de 1970, com a alta demanda definindo a dinâmica do mercado, o grande desafio da indústria era a expansão da sua capacidade produtiva. Com a reversão deste quadro, a oferta passou a se sobressair sob a demanda e a qualidade dos produtos se acentuou como uma grande vantagem competitiva. Diante deste cenário, houve maiores exigências pelo controle de qualidade dos itens fabricados e um enorme investimento em gestão de qualidade nas empresas (FAESARELLA; SACOMANO; CARPINETTI, 2006).

Uma série de programas (além de normas, ferramentas e metodologias auxiliares com enfoque na qualidade) foram, então, desenvolvidos, culminando no movimento conhecido como Gestão Total da Qualidade (Total Quality Management – TQM) (REIS, 2003). O TQM fundamenta-se em “identificar e administrar as atividades necessárias para a maximização da competitividade de uma empresa através da melhoria contínua da qualidade de seus produtos, serviços, processos e recursos humanos” (FAESARELLA; SACOMANO; CARPINETTI, 2006). Nesse sentido, enquanto o TQM busca sistematizar a gestão e garantir o controle de qualidade, a TPM, visa melhorar a eficiência envolvendo os operadores dos equipamentos na manutenção contínua das máquinas que utilizam.

Os conceitos e princípios que se estabelecem em torno da melhoria contínua e da qualidade total são auxiliados por metodologias e ferramentas, organizacionais ou estatísticas, comumente aplicadas durante a implementação de uma ou mais fases do

projeto. Dentre elas, podem ser citadas: Diagrama de Pareto, FMEA, Diagrama de causa e efeito, cartas de controle etc. (FAESARELLA; SACOMANO; CARPINETTI, 2006).

É importante ressaltar, nesse sentido, a importância de se compreender pontualmente cada pilar do TPM e como eles influenciam na gestão da qualidade de uma empresa, visto que, embora sejam aplicadas as ferramentas de melhoria contínua, fatores como: falta de capacitação, aplicação de modelos gerenciais inadequados e erros na tomada de decisão, por exemplo, impactam substancialmente nos resultados (GONZÁLEZ; SOUZA, 2015).

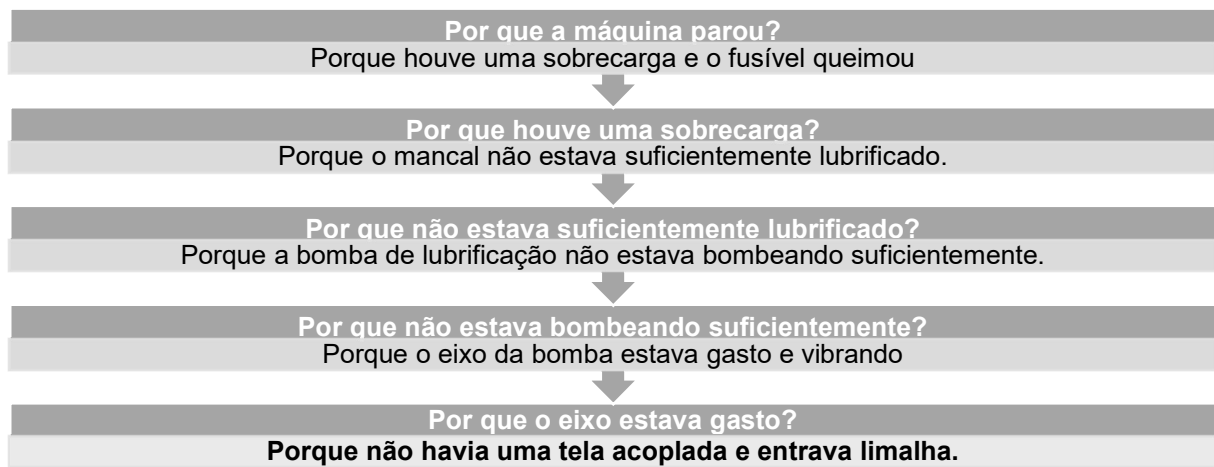
2.3 ANÁLISE DE FALHAS

O objetivo geral da análise de falhas é eliminar, através da identificação da(s) causa(s) raiz(es), os problemas que estão impactando o processo, serviço ou produto a fim de melhorar o desempenho operacional (GONZÁLEZ; SOUZA, 2015). Existem diversas metodologias/ferramentas consolidadas para análise de falhas: cinco porquês, Diagrama de Ishikawa, Matriz Causa e Efeito e o FMEA, além de ferramentas auxiliares para análise de dados e priorização de problemas (FAESARELLA; SACOMANO; CARPINETTI, 2006). Após a análise das causas raízes da falha, são definidas as contramedidas necessárias e montado um plano de ação, que deve ser aplicado, avaliando-se os impactos das ações implementadas e a efetividade nos resultados esperados.

2.3.1 Cinco porquês

A ferramenta dos “cinco porquês” é uma abordagem científica útil para se definir a causa raiz de um problema, em geral escondida em sintomas óbvios (OHNO, 1997). É bastante aplicado para análises simplificadas ou como ferramenta auxiliar em problemas mais complexos. Embora o método denomine-se “cinco porquês”, pode-se utilizar, de acordo com a problemática, menos ou mais etapas (AGUIAR, 2014). O primeiro “por quê” deve ser descrito utilizando o próprio problema. Nas etapas seguintes, utiliza-se a resposta obtida pela etapa anterior, até que se obtenha a causa raiz do problema (OHNO, 1997). A Figura 4 exemplifica a análise de um problema através do método.

Figura 4: Exemplo de aplicação da ferramenta dos “cinco porquês”.

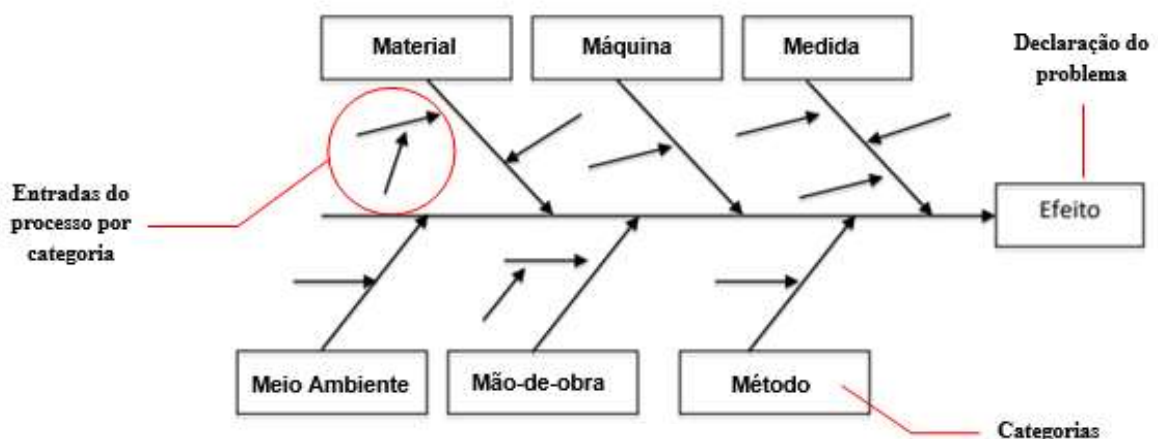


Fonte: Adaptado de Ohno (1997).

2.3.2 Diagrama de Ishikawa

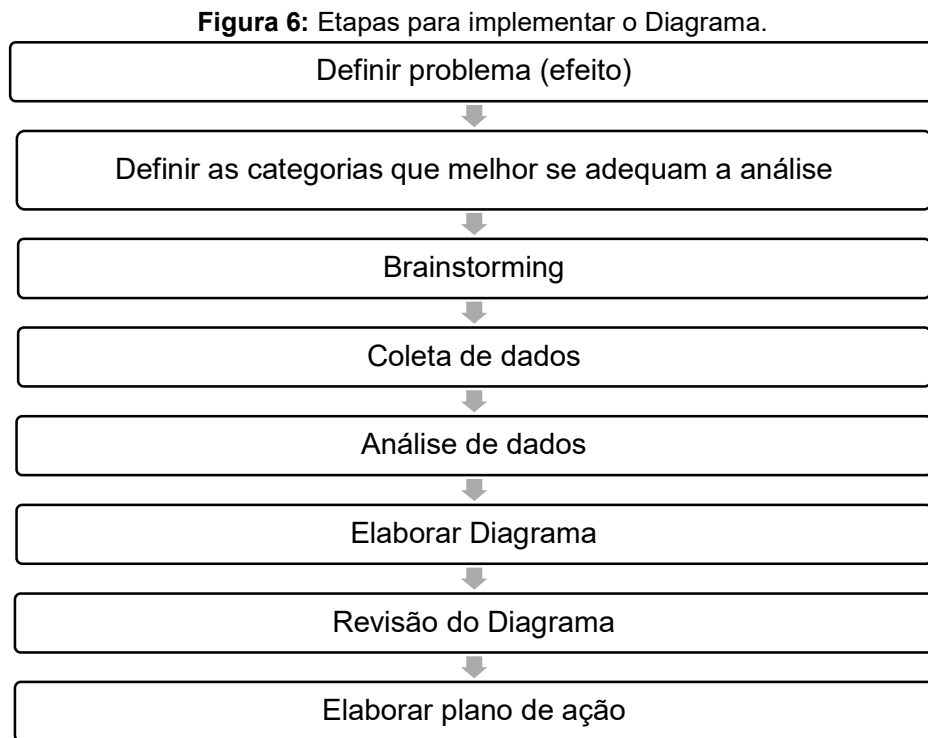
Criado na década de 1960 por Kaoru Ishikawa, o Diagrama de Ishikawa (Figura 5) busca determinar as causas raízes de um problema, fundamentando-se na análise dos fatores que englobam o processo, estabelecendo uma relação de causa e efeito. A categorização dos fatores de influência (em geral, utiliza-se o 6M: métodos, materiais, mão de obra, máquina, meio ambiente e medidas) facilita a definição das entradas do processo, as quais são levantadas através da técnica de *brainstorming* (tempestade de ideias). No *brainstorming*, reúne-se um grupo de pessoas com o objetivo principal de debater e coletar o maior número de informações possíveis acerca de um problema comum (AGUIAR, 2014).

Figura 5: Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Adaptado de Aguiar (2014).

A Figura 6 define as etapas para elaboração do Diagrama.



Fonte: Autoria própria (2021).

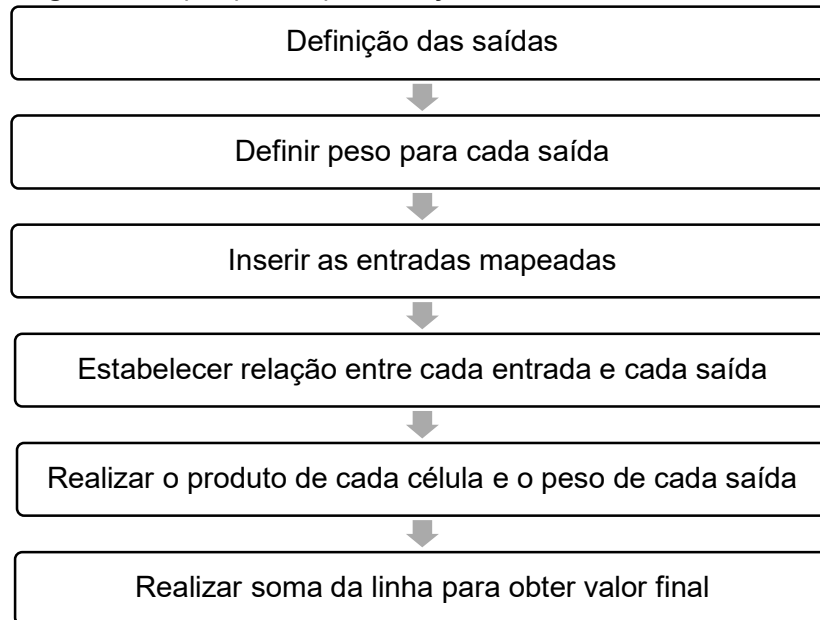
2.3.3 Matriz de Causa e Efeito

A matriz de Causa e Efeito (Quadro 2) procura estabelecer o impacto que as variáveis de entrada promovem nas variáveis de saída, através da análise da correlação entre elas. Tratando-se de uma matriz, o processo no qual o problema está inserido passa por uma abordagem analítica totalmente distinta da obtida pelo uso do Diagrama, podendo, inclusive, ser utilizada como ferramenta complementar ao uso do Diagrama, a fim de avaliar as entradas levantadas, priorizando as de maior impacto (PYZDEK; KELLER, 2011).

O esquema que define a implementação da Matriz é ilustrado na Figura 7. Definem-se as saídas e as suas respectivas criticidades, através da atribuição de pesos entre 5 e 10 (quanto maior o peso, maior o impacto). Após inserir as entradas mapeadas, estabelece-se a correlação com cada saída, atrelando as seguintes pontuações: 0 (nenhuma correlação), 1 (correlação fraca), 3 (correlação moderada), 5 (correlação forte). Em seguida realiza-se o produto do obtido nas correlações com

o peso definido para cada saída. Por fim, somam-se os valores calculados para se chegar ao valor final (PYZDEK; KELLER, 2011).

Figura 7: Etapas para implementação da Matriz de Causa e Efeito.



Fonte: Autoria própria (2021).

Quadro 2: Exemplo de aplicação da Matriz de Causa e Efeito.

ENTRADAS	SAÍDAS			RESULTADOS FINAIS
	Y1: Tempo de preparação (peso 5)	Y2: Quantidade de hambúrgueres descartados (peso 10)	Y3: Itens corretos na bandeja (peso 8)	
X1: Tempo excessivo para embalar hambúrguer	5	0	1	33
X2: Tempo de espera do cliente muito alto	5	0	0	25
X3: Ingredientes fora do padrão de qualidade	3	5	1	73
X4: Procedimento de montagem de difícil compreensão	5	5	3	99

Fonte: Grupo Voitto (2020).

O exemplo de aplicação da Matriz de Causa e Efeito ilustra 4 entradas associadas a 3 saídas de pesos distintos, dentre as quais encontra-se a saída Y2, que

apresenta peso máximo, de acordo com a criticidade avaliada durante construção da matriz. Foram obtidos diferentes valores para os resultados finais, que ressaltaram diferentes graus de impacto para cada entrada mapeada. As entradas de maiores impactos devem ser priorizadas e tratadas.

2.3.4 FMEA

A metodologia de Análise dos Modos e Efeitos de Falha, comumente denominada apenas pela sigla “FMEA” (do inglês *Failure Mode and Effects Analysis*), é fundamentada na identificação, avaliação e hierarquização das falhas potenciais de um produto ou processo, direcionando ações que possam eliminar ou reduzir a probabilidade de suas ocorrências, a fim de maximizar a confiabilidade do produto/processo (SAKURADA, 2001).

Usualmente, a metodologia contempla a avaliação de produtos e processos, classificando-se em FMEA de produto ou DFMEA (*Design Failure Mode and Effects Analysis*) e FMEA de processo ou PFMEA (*Process Failure Mode and Effects Analysis*). Enquanto o DFMEA direciona-se para o desenvolvimento de um novo produto, explorando os seus riscos de acordo com especificações do projeto, o PFMEA avalia os riscos de processos e as possíveis formas de não conformidades durante planejamento e execução (STAMATIS, 2003). Para o âmbito da manutenção, PFMEA é mais utilizado, visto que se direciona para análise de processos já existentes. O método estrutura-se em etapas bem definidas, como ilustrado na Figura 8.

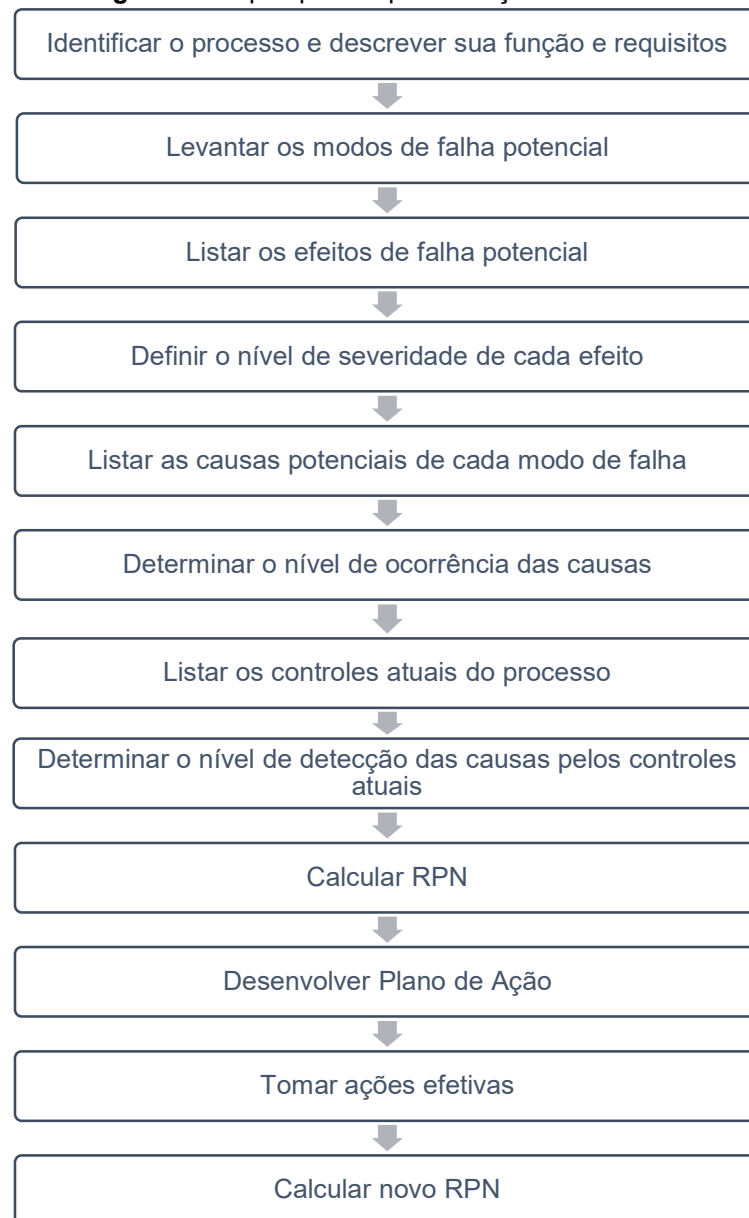
O modo de falha designa-se à forma pela qual o defeito se manifesta no item, ou seja, a forma como a falha ocorre. Já o efeito de falha diz respeito a como é percebida a ocorrência no sistema; “são os resultados produzidos quando estes vêm a ocorrer, são as consequências do modo de falha” (SAKURADA, 2001). Definir as causas desse efeito pormenoriza os motivos que o levaram a ocorrer, seja por fatores ambientais, erros humanos, componentes da vizinhança ou no próprio componente (SAKURADA, 2001).

Cada evento de falha apresenta um índice de risco (RPN), descrito pela Equação 3, que é útil para quantificar o impacto da falha e auxiliar na priorização de ações e na tomada de decisão. O RPN é definido através da definição do grau de severidade (avalia como o efeito de falha afeta o sistema), da ocorrência (descreve a

probabilidade da causa ocorrer) e da detecção da falha (indica as chances de ser identificada).

$$\text{RPN} = \text{Severidade} \cdot \text{Ocorrência} \cdot \text{Detecção} \quad (\text{Eq. 3})$$

Figura 8: Etapas para implementação do PFMEA.



Fonte: Autoria própria (2021).

É importante ressaltar que a detecção da falha mede a eficiência dos controles existentes no processo, sendo este, outro aspecto importante a ser analisado durante o FMEA. A avaliação qualitativa desses indicadores e a atribuição de valores para quantificá-los pode ser realizada através de parâmetros pré-definidos, como ilustrado no Quadro 3.

Quadro 3: Caracterização dos parâmetros de RPN.

Pontuação	Severidade	Ocorrência	Deteção
1	Mínima: o cliente mal percebe que a falha ocorreu.	Remota: Dificilmente ocorre a causa da falha.	Muito grande: certamente será detectada.
2 ou 3	Pequena: Ligeira deterioração no desempenho e leve descontentamento do cliente.	Pequena: A causa ocorre em pequena escala.	Grande: a probabilidade de ser detectada é alta.
4 ou 5 ou 6	Moderada: Deterioração significativa no desempenho com descontentamento do cliente.	Moderada: Por vezes acontece a causa que leva a falha.	Moderada: Provavelmente será detectada.
7 ou 8	Alta: O sistema deixou de funcionar e há grande descontentamento do cliente.	Alta: A causa da falha ocorre com certa frequência.	Pequena: Provavelmente não será detectada.
9 ou 10	Muito Alta: O sistema deixou de funcionar e há grande descontentamento do cliente, além de afetar a segurança.	Muito Alta: A causa da falha ocorre em vários momentos.	Muito Pequena: Certamente não será detectada.

Fonte: Grupo Voitto (2020).

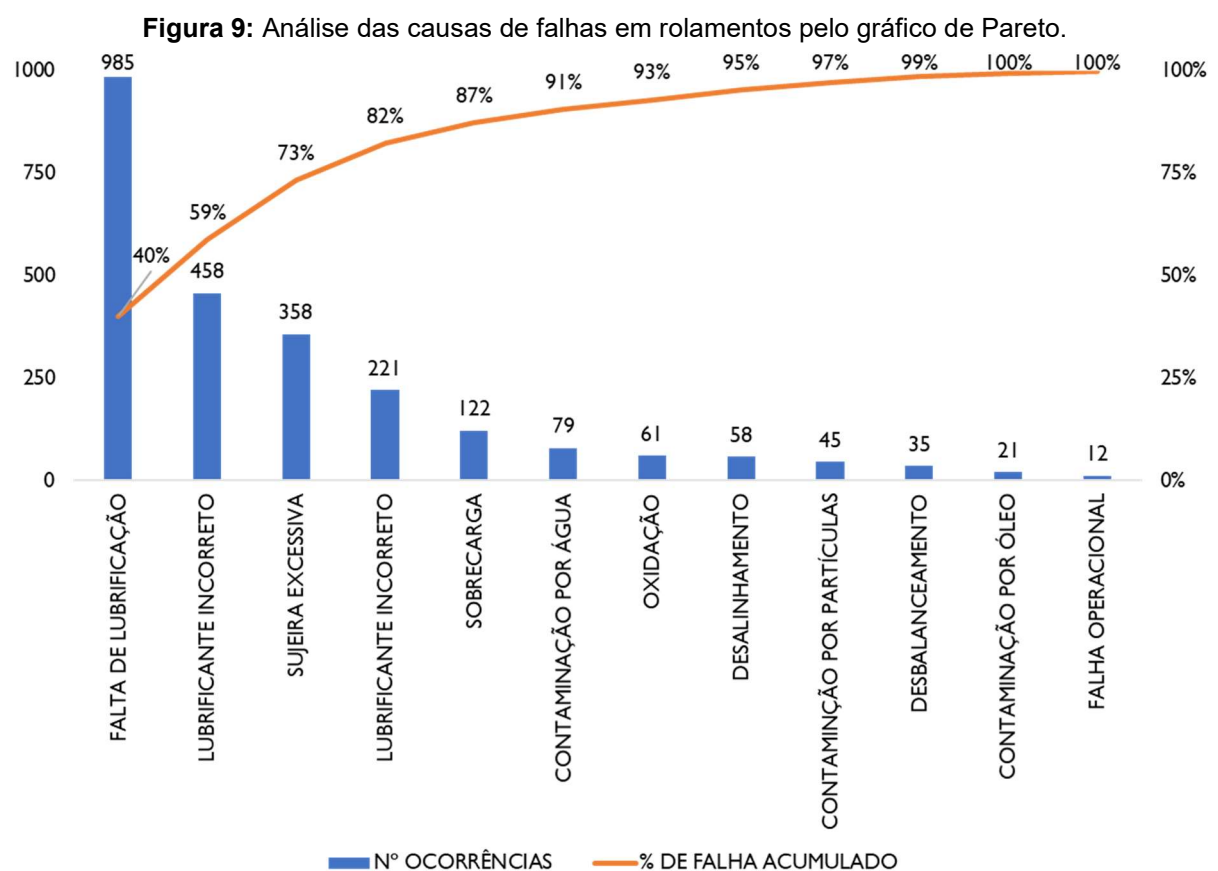
Uma relação bem definida entre a causa, modo e efeito de falha, pode impactar positivamente não apenas a análise da confiabilidade, mas também no que se refere aos processos de manutenção a serem adotados. Há, no entanto, diferentes modos de falha que podem se manifestar da mesma maneira (mesmo efeito de falha), aumentando o grau de complexidade da análise (SAKURADA, 2001).

Outro aspecto importante a ser abordado na análise do FMEA é a causa geradora do modo de falha. Embora muitos modos de falha sejam inerentes ao item em análise, o estudo das causas permite aprofundar a relação entre o item e a função e gerar procedimentos mais consistentes para aproveitar bem os efeitos, nas suas primeiras manifestações, no sentido de tomar as providências requeridas antecipando-se à perda da função devido à ocorrência do modo de falha (SAKURADA, 2001).

2.3.5 Ferramentas Auxiliares

2.3.5.1 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto (Figura 9) é, fundamentalmente, um gráfico de barras, organizado de forma ordenada que permite visualizar as causas prioritárias, classificando-as por ordem e importância. Essa priorização torna-se ainda mais expressiva quando se compreende o princípio de Pareto, que afirma que 20% das causas são responsáveis por 80% dos resultados. Essa proporção, válida para diversas relações de causa e efeito, ratifica o grande impacto que pode ser causado nos resultados da empresa, se identificadas as causas mais relevantes, aplicando as contramedidas necessárias para controlá-las (CAMPOS, 2004).



Fonte: Adaptado de Teles (2019).

2.3.5.2 5W2H

A ferramenta busca auxiliar no planejamento das ações que compõem um plano, através do detalhamento das atividades a serem executadas (prazos, planejamento de recursos, mão de obra, fornecedores etc.) a fim de se assegurar uma gestão de projeto clara e eficiente. A ferramenta faz uso de 7 perguntas, descritas

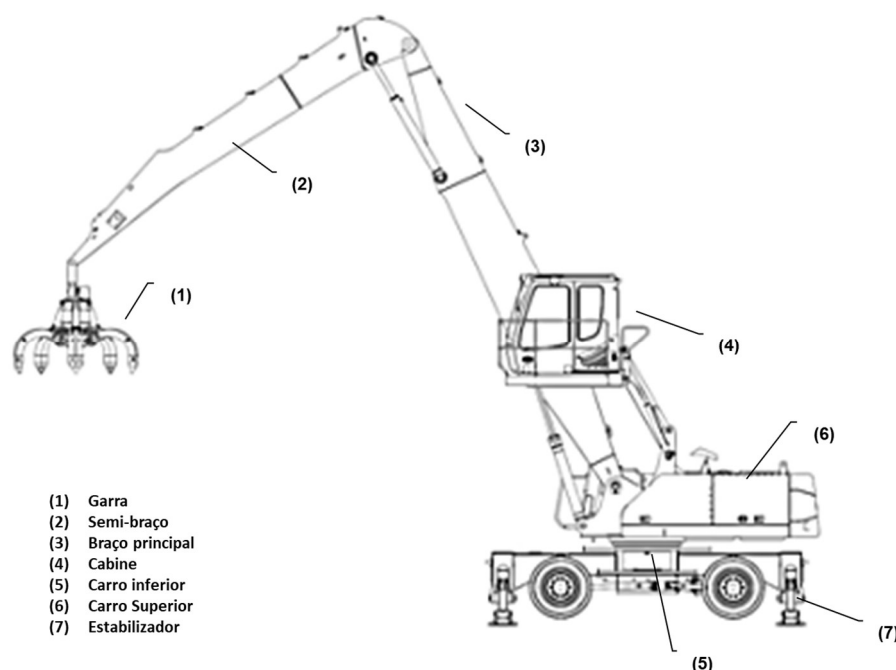
abaixo, as quais são utilizadas como direcionadores, para estratificar as informações e melhor definir o plano de ação (MARSHALL JÚNIOR et al., 2010).

- What (O quê?): Estabelece quais objetivos e/ou metas do plano de ação;
- Why (Por quê?): Descreve o motivo/razão pela qual será executada a atividade;
- Who (Quem?): Estabelece o responsável pela atividade;
- When (Quando?): Define data/cronograma para finalização das atividades;
- Where (Onde?): Determina o local/área/setor onde a tarefa será executada;
- How (Como?): Descreve como a tarefa será executada;
- How Much (Quanto?): Define o custo estimado para realização da atividade.

2.4 MÁQUINAS DE MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAL MÓVEL

As máquinas de movimentação de material móvel (Figura 10), comumente chamados de “manipuladores”, são equipamentos de elevado grau de complexidade que permitem a movimentação de materiais de um local para outro, através da utilização de garras hidráulicas para captura de um certo volume de material. A garra é suspensa por um semibraço, conectado por pinos a um braço principal, ligado à estrutura superior do equipamento. A garra é suspensa por um semibraço, conectado por pinos a um braço principal, ligado à estrutura superior do equipamento.

Figura 10: Vista geral de máquina móvel e seus principais componentes.



Fonte: Adaptado de Sennebogen (2018).

O movimento do conjunto é executado através de cilindros hidráulicos alimentados por fluido em alta pressão proveniente de bombas. O equipamento também é capaz de rotacionar a estrutura superior, em relação ao carro inferior, pela ação de motores hidráulicos, denominados motores de giro, que transmitem a energia do fluido de alta pressão para caixas de redução (comando de giro).

2.5 SISTEMA HIDRÁULICO

A hidráulica engloba conceitos “da pressão estática e dinâmica do fluido para transmitir forças e potências em forma de movimentos lineares ou rotacionais, que são proporcionados pela associação de um conjunto de componentes” (VINADÉ, 2003). A força de trabalho e a velocidade de acionamento nas instalações hidráulicas podem ser compreendidas através das correlações das propriedades do fluido com grandezas como a pressão e a vazão, respectivamente. A relação de transmissão da força e do curso, bem como, de transmissão da pressão é fundamentada pelo princípio de Pascal, pelo qual permite-se compreender a possibilidade de elevação de grandes massas a partir de pequenos esforços (MOREIRA, 2012).

Entre as vantagens dos sistemas hidráulicos, encontram-se a transmissão de grandes forças com elevada precisão, a boa relação entre peso e potência dos acionamentos (permitindo posicionamentos precisos) além da consecução de movimentos uniformes e velocidades variadas. O fluido de trabalho deve transmitir adequadamente a energia de pressão, lubrificar as partes móveis, proteger peças metálicas contra o processo de corrosão, eliminar o calor do atrito decorrente do escoamento nas instalações e arrastar as partículas metálicas desprendidas no processo (MOREIRA, 2012).

O fluxo de óleo é forçado a passar por elementos filtrantes, a fim de remover essas impurezas do sistema, impedindo a contaminação e danos aos componentes hidráulicos e por um sistema para regulação da temperatura (trocador de calor), a fim de manter a temperatura do óleo nos parâmetros operacionais (GOMES, ANDRADE, FERRAZ; 2008).

Em termos gerais, o sistema hidráulico é subdividido em: sistema de acionamento, sistema de comando e controle e sistema de atuação. O sistema de acionamento é responsável por transformar a energia mecânica em energia hidráulica.

É composto por motor de acionamento, válvula de segurança, reservatório de óleo e por uma bomba. A energia do motor é transferida ao fluido através da bomba. A válvula é responsável pelo ajuste da pressão, a fim de que não seja atingida a pressão máxima do dispositivo, impedindo danos ao sistema. O reservatório, além de armazenar o óleo, recebe o óleo sem pressão da tubulação de retorno. O fluxo de óleo bombeado chega a um cilindro hidráulico que realizará trabalho através de um êmbolo (MOREIRA, 2012; GOMES, ANDRADE, FERRAZ; 2008).

No sistema de comando e controle atuam, sob o fluxo de óleo, válvulas a fim de bloquear, direcionar ou controlar a vazão do fluido. O acionamento das válvulas pode ocorrer através de acionamento mecânico (roletes, alavanca, retorno por mola etc.) ou acionamento elétrico (eletroválvulas). As válvulas direcionais comandam o sentido de fluxo do óleo hidráulico. As de bloqueio permitem que o fluxo de óleo seja unidirecional, pois restringem um sentido de escoamento. Já as válvulas de pressão, podem controlar a pressão através de dois princípios: limitação de pressão (aproximando-se da pressão máxima pré-determinada para o sistema, a válvula abre e o fluxo excedente retorna ao reservatório, reduzindo a pressão) ou regulação de pressão (há o bloqueio de conexões até que a pressão seja controlada). As válvulas de fluxo, por sua vez, dividem o fluxo, controlando a velocidade de escoamento.

No sistema de atuação, a conversão da energia hidráulica em energia mecânica é realizada por atuadores, através de movimentos lineares (atuadores lineares) ou rotativos (atuadores rotativos). Os cilindros hidráulicos são atuadores lineares compostos por uma camisa de cilindro, um pistão móvel e por uma haste ligada ao pistão. A haste se desloca linearmente guiada por embuchamentos removíveis, responsáveis por garantir, juntamente com os anéis de vedação, a vedação e o bloqueio de impurezas para dentro do sistema. O fluido hidráulico chega até os cilindros através de mangueiras hidráulicas, linhas de mangueiras e tubulações hidráulicas (GOMES, ANDRADE, FERRAZ; 2008).

3 METODOLOGIA

Nos tópicos seguintes, o trabalho será descrito no âmbito de pesquisa científica, quanto à natureza, objetivos, abordagem e aos procedimentos, bem como, no que se refere ao procedimento empregado para o seu desenvolvimento.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

O presente trabalho se configura como “pesquisa aplicada”, cuja finalidade é adquirir novos conhecimentos a fim de desenvolver ou aprimorar processos, com objetivo majoritariamente exploratório e descritivo, fundamentando-se na pesquisa bibliográfica acerca do tema em consonância com a colaboração técnica do nível operacional para análise de falhas que englobam as atividades de manutenção corretiva na empresa do setor de locação de máquinas e equipamentos móveis, que tem como cliente uma empresa de fabricação de aço, na unidade de Recife (PE) (local de aplicação do estudo). Nesse sentido, a pesquisa assume, através do método de estudo de caso, uma abordagem combinada, através de análises qualitativas e quantitativas das variáveis, sistematizadas pelas ferramentas da qualidade (TURRIONI; MELLO, 2012).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCEDIMENTO DA PESQUISA

O tema foi estabelecido através da constatação do grande número de corretivas e de alguns parâmetros associados, dentre os quais podem ser citados o elevado índice de retrabalho, o lucro cessante dos ativos e os desperdícios associados a grande reposição de componentes. A delimitação do escopo da pesquisa foi realizada por meio da avaliação dos percentuais de falhas estratificadas por sistema e por máquina, pela qual se definiu a análise das corretivas registradas do sistema hidráulico de três máquinas móveis (S1, S2, S3), de mesmo fabricante, modelo e série. Este levantamento foi realizado através das ordens de serviço (OSs) abertas no período de janeiro a junho de 2021, considerando todos os equipamentos móveis da unidade.

Diante do problema, foram levantados alguns direcionadores, através da avaliação de características técnicas do processo, consideradas críticas para atender

as necessidades do cliente. Através destes direcionadores, foram estabelecidos os indicadores (métricas) a fim de traduzir esses requisitos em parâmetros mensuráveis, os quais podem ser avaliados de acordo com especificações pré-definidas (Figura 11). A escolha destes parâmetros foi baseada, sobretudo, na sensibilidade destes indicadores no que se refere a qualquer variação obtida no processo e a disposição de informações para obtê-los sem grande complexidade.

Figura 11: Detalhamento dos direcionadores e indicadores para avaliação do problema.



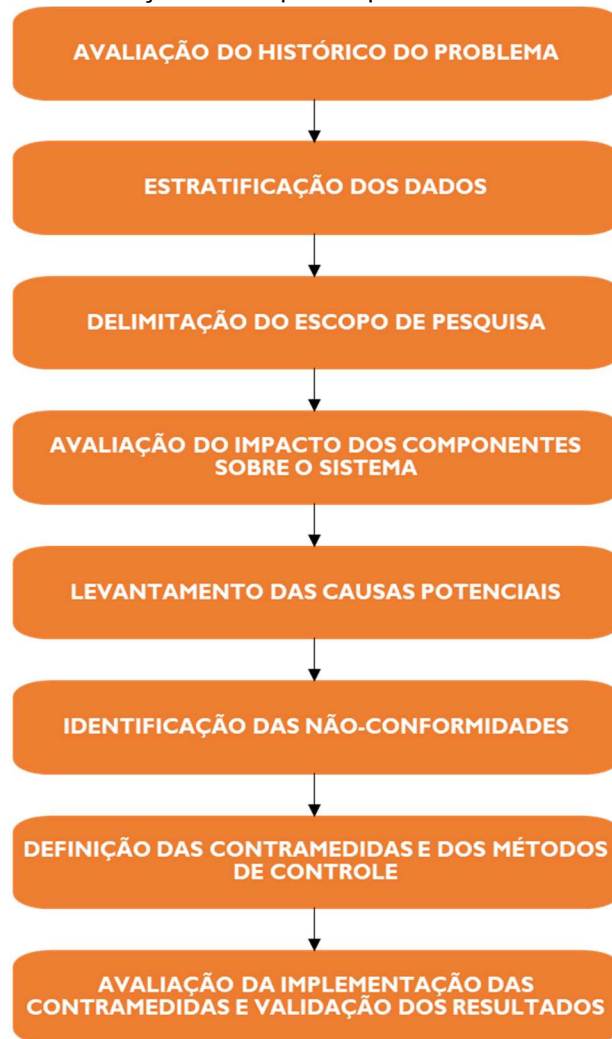
Fonte: Autoria própria (2021).

As falhas do sistema hidráulico dessas três máquinas foram subdivididas e quantificadas de acordo com cada componente descrito nas ordens de serviço abertas. A partir deste levantamento, foi efetuada a análise qualitativa dos dados, avaliando as causas potenciais no processo mapeado através do Diagrama de Ishikawa e do método dos cinco porquês. Foi utilizado o método dos 6Ms para categorizar as entradas (causas potenciais) e auxiliar durante o *benchmarking*, realizado com a equipe de manutenção.

Com base nas causas potenciais levantadas, foram avaliadas as condições do processo que corroboram com as não-conformidades identificadas, a fim de direcionar o planejamento das ações a serem implementadas e os pontos de controle relacionados. A partir disso, foram listadas algumas ações, priorizadas com base na facilidade de implementação e nos possíveis benefícios a curto prazo.

Após a efetiva implementação das ações previstas, os parâmetros definidos para a avaliação do problema foram quantificados e comparados, a fim de verificar o impacto das contramedidas tomadas. O comparativo foi realizado considerando a base de dados (janeiro a junho de 2021) e os meses em que as ações foram efetivamente implantadas (setembro e outubro de 2021). A Figura 12 descreve, de forma sucinta, cada etapa utilizada para aplicação do estudo de caso.

Figura 12: Descrição das etapas do procedimento metodológico.

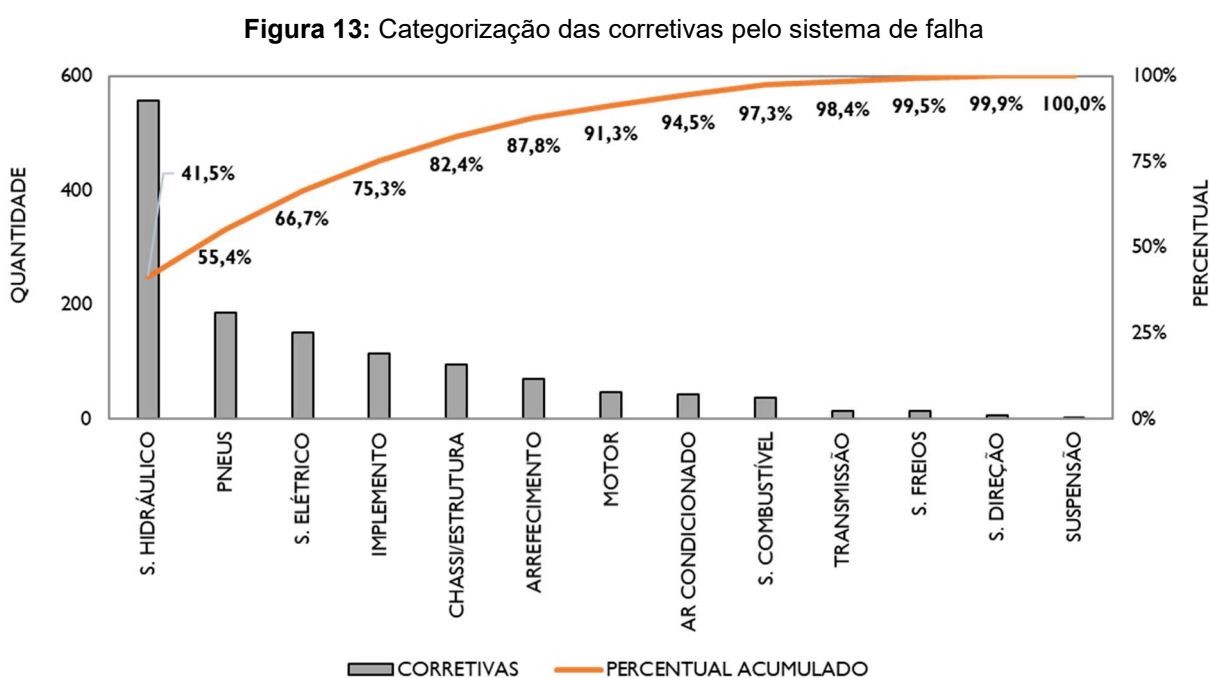


Fonte: Autoria própria (2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DOS DADOS

As manutenções corretivas foram quantificadas e categorizadas de acordo com o sistema que apresentou a falha, ilustradas através do Diagrama de Pareto (Figura 13). Para o período em análise, corresponderam a 83,3% das intervenções, contrapondo-se aos 16,7% das manutenções que foram realizadas preventivamente. O sistema hidráulico representou cerca de 41,5% do total de ocorrências (1339), seguido por pneus (13,9%), sobretudo, em decorrência de grande parcela da frota ser composta por empilhadeiras e pela severidade da operação (sucata) e os seus danos associados a estes componentes.

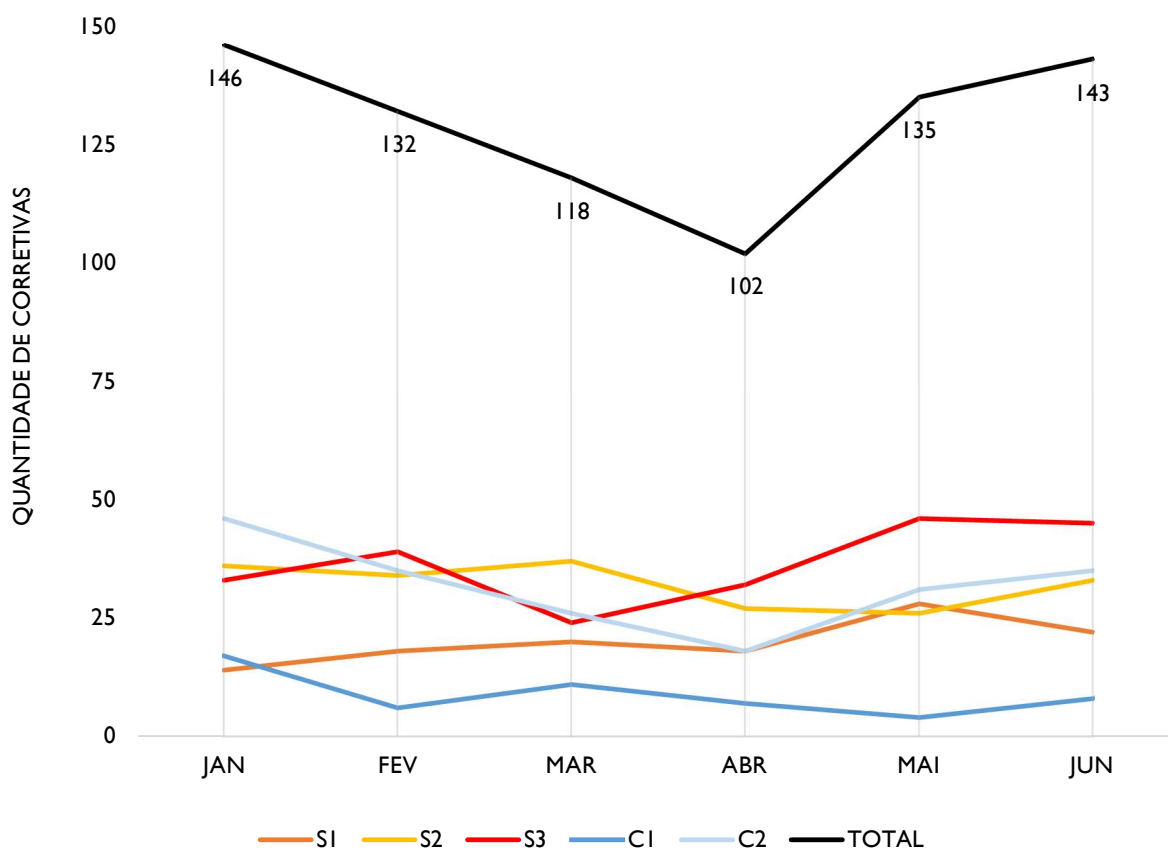


Fonte: Autoria Própria (2021).

O levantamento de dados foi também estratificado pelas máquinas que compõem a frota, a fim de legitimar quantitativamente aquelas que apresentaram maior quantidade de falhas. A Figura 14 descreve as ocorrências de falha dos cinco equipamentos (S1, S2, S3, C1, C2) com maiores índices de ações corretivas no período. Estes equipamentos são considerados os mais críticos do processo (sobretudo S1, S2 e S3), com indisponibilidade impactando diretamente na produção.

A instabilidade na performance destes equipamentos sugere a inexistência de uma gestão de manutenção adequada/eficiente.

Figura 14: Manutenções corretivas por equipamento



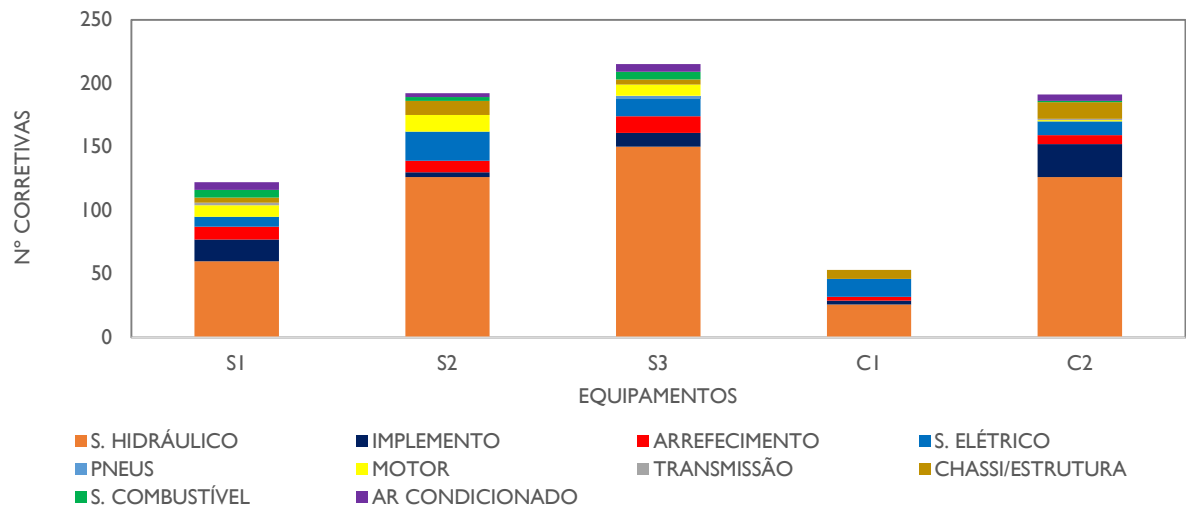
Fonte: Autoria própria (2021).

Além dos aspectos globais, a distribuição de ocorrências para as cinco máquinas foi avaliada de acordo com o sistema que apresentou a falha (Figura 15). No primeiro semestre as falhas do sistema hidráulico representaram 63,1% das ocorrências para estes ativos e 36,4% do total (considerando toda a frota).

Avaliando-se a criticidade e os seus respectivos impactos no processo produtivo, a problemática foi direcionada para a análise das corretivas do sistema hidráulico das máquinas S1, S2 e S3, visto os desperdícios relacionados aos vazamentos de óleo e de troca de componentes hidráulicos, além de fatores como lucro cessante e elevado grau de retrabalho. As máquinas são de mesmo modelo e série e encontram-se expostas as mesmas condições operacionais, em uma escala

de trabalho intermitente. A operação descrita refere-se à movimentação de sucata em um setor de produção de uma metalúrgica.

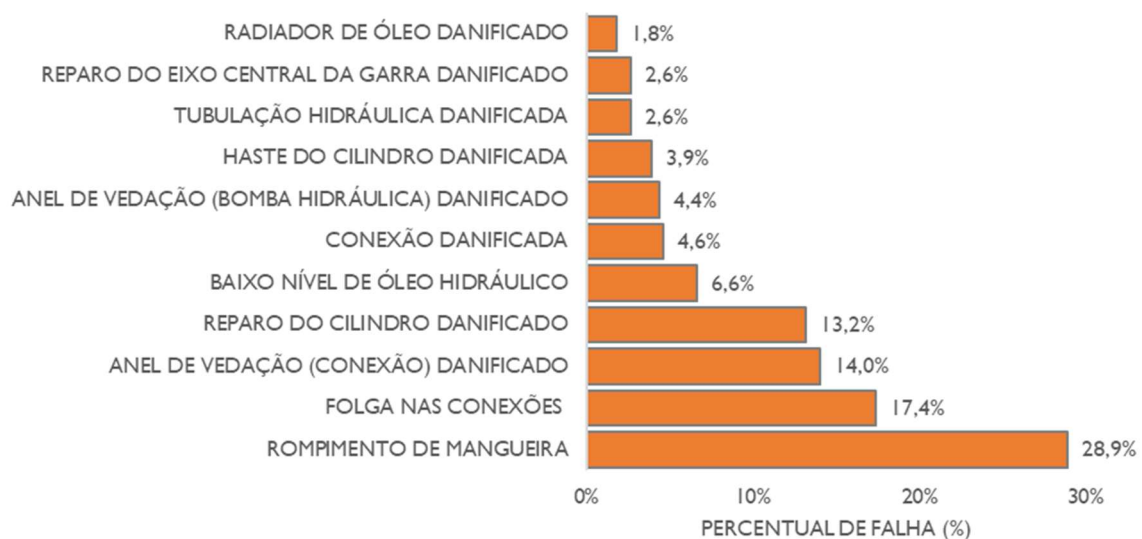
Figura 15: Segmentação das corretivas por máquina e por sistema



Fonte: Autoria própria (2021).

As falhas do sistema hidráulico dessas três máquinas foram estratificadas pelas ocorrências descritas em cada ordem de serviço (Figura 16). O rompimento de mangueiras representou quase 29% de total de falhas, seguida por folgas nas conexões (17,4%) e o rompimento dos anéis de vedação, instalados nos sulcos internos das conexões hidráulicas (14%). Tais ocorrências totalizaram 60,3% do percentual global e serão priorizadas para fins deste estudo.

Figura 16: Ocorrências de falha.



Fonte: Autoria própria (2021).

4.2 AVALIAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

Em termos qualitativos, esses parâmetros foram avaliados através do Diagrama de Ishikawa, auxiliado pelo método dos 5 porquês, para obtenção das causas potenciais do processo mapeado. Tais entradas encontram-se descritas no Quadro 4.

Quadro 4: Levantamento das causas potenciais pelo Diagrama de Ishikawa.

EFEITO DE FALHA	CATEGORIA	CAUSAS POTENCIAIS
Anel de vedação danificado	Material	Anel de vedação inadequado;
	Máquina	Pressão excessiva ou próxima a pressão de ruptura.
	Meio Ambiente	Contaminação do fluido;
	Método	falta de inspeções de rotina, MAs.
Rompimento de mangueira	Mão-de-obra	Impactos durante operação.
	Material	Raio de curvatura inadequado; prensagem da conexão insuficiente; excessivo contato contra objetos externos (outras mangueiras, abraçadeira, etc.).
	Máquina	Pressão excessiva ou próxima a pressão de ruptura.
	Meio Ambiente	Contaminação do fluido.
	Método	Falta de inspeções de rotina, MAs.
Folga nas conexões	Mão-de-obra	Impactos durante operação.
	Método	Falta de inspeções de rotina, MAs.

Fonte: Autoria própria (2021).

As causas potenciais foram avaliadas pontualmente a partir da análise de alguns aspectos. No caso das mangueiras, foi identificado grande número de corretivas associadas ao rompimento na região de união com a conexão (região de

prensagem), o que sugere inadequação no processo de prensagem. Foram visualizados também alguns casos em que a mangueira instalada era de comprimento inadequado, aumentando os esforços, sobretudo, na região de prensagem. Além disso, foram constatados rompimentos bem concentrados, sem sinais evidentes de corrosão ou desgaste da cobertura, salientando indícios de rompimento por pressão excessiva. Em outros casos, os rompimentos apresentaram sinais de erosão na região interna da mangueira, apontando a presença de partículas de contaminação colidindo no interior do componente. Por fim, foram visualizadas também algumas mangueiras com posicionamento inadequado, favorecendo o atrito entre os componentes, evidenciadas pelo desgaste na cobertura da mangueira. Impacto nos componentes (mangueiras e conexões) também foi apontado como causas potenciais. Esses impactos são decorrentes, sobretudo, de colisões entre os componentes e a sucata e são ocasionados, majoritariamente, por falhas de operação.

A falta de uma rotina de inspeção e de manutenção autônoma também foram levantadas como causas potenciais, sobretudo, em decorrência da folga das conexões, as quais seriam eficazes para verificar o torque dos componentes que apresentam maiores ocorrências de folga. Essas inspeções também favorecem a identificação prévia de defeitos, posicionamentos inadequados e iminência de vazamentos, por exemplo.

Através de um comparativo com técnicos de empresas do ramo (*benchmarking* competitivo) foi constatado que o anel de vedação utilizado poderia ser inadequado para aplicação. Para isto, foram levantadas algumas constatações quanto a dureza, seção transversal e resistência a altas temperaturas (em casos de superaquecimento do óleo hidráulico).

4.3 DEFINIÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÕES

Diante do que foi exposto, foram identificadas algumas práticas inadequadas no processo que favorecem a ocorrência das causas potenciais levantadas. Dentre elas, podem ser citadas: a ausência recorrente de tampões nas mangueiras e conexões, facilitando a contaminação do sistema hidráulico, sobretudo, por se tratar de um ambiente com grande exposição a poeira e outros agentes; mangueiras sem identificação, favorecendo aplicações incorretas na máquina; falta de acompanhamento efetivo no que se refere ao tempo até a falha dos componentes

(dificultando o controle de qualidade dos componentes junto ao fornecedor); ausência de habilidades dos operadores, prejudicando a operação e as manutenções autônomas.

Perante as causas potenciais levantadas e das observações supracitadas, foram estabelecidas algumas ações prioritárias para implementação, visto que planos de ação muito amplos geram maiores esforços e investimentos, acarretando em maiores riscos. Nesse sentido, como já afirmado, optou-se por ações de fácil implementação e de maior benefício à curto prazo, as quais encontram-se descritas no Quadro 5. As ferramentas definidas para auxiliar no controle e monitoramento do processo após a implementação do plano foram as auditorias e o acompanhamento do cumprimento das inspeções programadas para estas máquinas.

Quadro 5: Ações prioritárias e descrição.

AÇÃO	DESCRIÇÃO	MONITORAMENTO/CONTROLE
Eliminação das fontes de contaminação do fluido	Verificação e controle da exposição dos componentes (em estoque ou parados em manutenção) a poeira	Auditoria
Programação de Inspeções e Mas	Programação de paradas diárias para inspeções de rotina pelo time de manutenção junto a operação, averiguando-se conexões, vazamentos, posicionamento dos componentes etc.	Aderência do setor quanto a liberação das máquinas para inspeção
Substituição do anel de vedação utilizado	Substituição de anel de vedação de marca paralela (similar) por anel de vedação de marca genuína, de maior dureza e com material resistente a altas temperaturas	-
Verificação técnica das prensagens das mangueiras	Verificação da prensagem das mangueiras junto ao fabricante	-
Etiquetagem das mangueiras em estoque	Descrição da data de compra, código catalogado pelo fabricante e aplicação	Auditoria

Fonte: Autoria própria (2021).

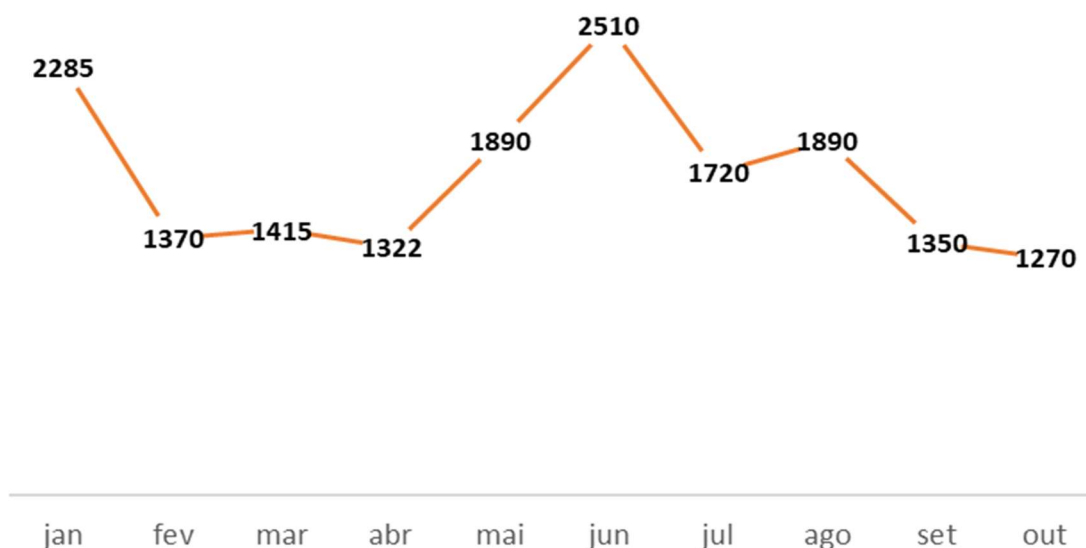
A implementação destas ações foi efetivamente alcançada somente a partir do mês de setembro, o que dificulta a análise dos resultados obtidos. No entanto, a redução do número de OSs abertas relacionadas ao sistema hidráulico e a redução de 27,2% no consumo médio de óleo hidráulico (Figura 18), com média de consumo caindo de 1798,7 litros no período de janeiro à junho de 2021 para 1310 litros nos meses de setembro e outubro, ratificam um comportamento positivo que pode indicar a atenuação das falhas nestes componentes assim como do índice de retrabalho do setor, colaborando diretamente para otimização dos serviços de manutenção na oficina, bem como, na melhoria de indicadores.

Tabela 1: Redução percentual média do número de corretivas emergenciais.

MÁQUINA MÓVEL	REDUÇÃO DE OCORRÊNCIAS (CORRETIVAS EMERGENCIAIS) (%)
S1	28,6
S2	18,8
S3	26,0

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 17: Consumo mensal de óleo hidráulico.



Fonte: Autoria própria (2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho foi desenvolvido fundamentando-se nas etapas estruturadas pelas ferramentas de qualidade que mais se adequavam ao processo e aos parâmetros pré-definidos. A redução do número de paradas não programadas, bem como, das perdas do processo, assinala alguns dos principais ganhos previstos através de uma gestão de manutenção eficiente. Estes resultados impactam diretamente nos custos e em fatores como retrabalho, disponibilidade e confiabilidade dos ativos, bem como, na disponibilidade do time de manutenção e na satisfação do cliente.

Dentre os principais obstáculos encontrados durante a aplicação da metodologia pode-se ressaltar, além do contexto organizacional, a ausência de um software de manutenção adequado para auxiliar no levantamento de alguns indicadores importantes para quantificação dos ganhos do processo, dificultando a análise dos dados e a avaliação efetiva de custos. Além disso, vale ser destacado também a exiguidade do tempo para implementar e avaliar de forma mais efetiva os resultados alcançados através das métricas traçadas.

No entanto, diante do exposto e dos resultados discutidos, os indicadores definidos apresentaram comportamento positivo após a aplicação das contramedidas explanadas, com a redução do número de corretivas que permeiam o sistema hidráulico dos equipamentos móveis e do consumo de óleo hidráulico associado a estas máquinas. Embora seja importante um período maior de avaliação destes dados a fim de fundamentar estes resultados, pode-se afirmar que os objetivos previamente traçados estão alinhados com os resultados obtidos.

Por fim, vale ressaltar a relevância de um método estruturado e da importância de se dispor de ferramentas eficazes para implementação de cada etapa do projeto, além de uma equipe alinhada com os princípios da melhoria contínua para obtenção de resultados concretos.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. C. **Análise de Causa Raiz: levantamento dos métodos e exemplificação**. 2014. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, p. 37. 1994.
- BARAN, L. R. **Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada na Redução de Falhas: Um Estudo de Caso**. 2011. 103 f. Monografia (Especialização em Gestão Industrial) – Curso de Especialização em Gestão Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.
- BARBOSA, F. C.; TOMASZEWSKI, L. A.; SILVA, M. M. S. Implantação da metodologia DMAIC em uma indústria de corte e dobra de aço para a construção civil: um estudo de caso. In: ANDRADE, D. F. **Seis Sigma: Coletânea de Artigos**. Editora Poisson, 2017. p. 137-151.
- CAMPOS, V. F. **TQC – Controle da Qualidade Total no estilo japonês**. 8. ed. Novo Lima: INDG, 2004.
- ECKES, G. **A Revolução Seis Sigma: O método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Campos, 2001.
- FAESARELLA, I. S.; SACOMANO, J. B.; CARPINETTI, L. C. R. **Gestão de Qualidade: Conceitos e Ferramentas**. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Departamento de Engenharia de Produção. São Carlos, 2006.
- FIGUEIREDO, D. L. **Gestão da Manutenção: Metodologias e Ferramentas para Análises de Falhas**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, IX., 2019, Ponta Grossa. Anais Eletrônicos. Ponta Grossa: 2019. Disponível em: <http://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10202019_011052_5dabdc30a9927.pdf> Acesso em: 17.jul.2021
- GOMES, M.; LIMA, C.; SILVA I. Implantação da Lubrificação Autônoma como Ferramenta Essencial do TPM: uma abordagem prática. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012, Bento Gonçalves. **Anais Eletrônicos...** Bento Gonçalves: ABEPRO, 2012. Disponível em: <www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_tn_sto_157_917_19700.pdf>. Acesso em: 12.jul.2021
- GONZÁLEZ, M. O. A.; SOUZA, D. M. O. **Gestão da qualidade no serviço público**. Natal: EDUFRN, 2015.
- KARDEC, A. E NASCIF, J. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

MARCORIN, W. R.; LIMA, C. R. C. Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos. **Revista de Ciência & Tecnologia**. v. 11, n. 22, p. 35-42, jul./dez, 2003.

MARSHALL JUNIOR, I. *et al.* **Gestão da qualidade**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2010.

MEGIOLARO, M. R. O. **Indicadores de manutenção industrial relacionados à eficiência global de equipamentos**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15030/1/PB_COELT_2015_1_09.pdf Acesso em: 03.jul.2021

MOREIRA, I. S. **Sistemas Hidráulicos Industriais**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (São Paulo). 2 ed. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2012.

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**, 2 ed. São Paulo: Aladon Ltda, 2000.

OHNO, T. **O sistema Toyota de Produção, além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**. v. 4, n. 2, p. 1-16, 2008. Disponível em: <https://docplayer.com.br/4794064-A-proposta-de-desenvolvimento-de-gestao-damanutencao-industrial-na-busca-da-excelencia-ou-classe-mundial.html> Acesso em: 10.ago.2021.

PYZDEK, T.; KELLER P. A. **Seis Sigma Guia do Profissional: Um Guia Completo para Green Belts, Black Belts e Gerentes em Todos os Níveis**. 3. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2011.

REIS, D. A. F. dos. **Seis sigma: um estudo aplicado ao setor eletrônico**. 2003. 127 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de análise dos modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 2001. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SENNEBOGEN. **Manual de Instruções**: Número da Máquina 825.0.2679. 2018.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution**.

Milwaukee: Quality Press, 2003.

TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **TPM/MPT: Manutenção Produtiva Total**. 4. ed. São Paulo: IMAN, 2010.

TELES, J. **Planejamento e Controle de Manutenção Descomplicado**: Uma metodologia passo a passo para implantação do PCM. 2 ed. Brasília: Editora ENGETELES, 2019.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção**: Estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. Itajubá: UNIFEI, 2012. Disponível em: <http://www.marco.eng.br/adm-organizacao-I/Apostila_Metodologia_Completa_2012_%20UNIFEI.pdf> Acesso em: 08.ago.21.

VINADÉ, C. A. C. **Sistematização do processo de projeto para confiabilidade e manutenibilidade aplicado a sistemas hidráulicos e implementação de um sistema especialista**. 2003. 233 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GRUPO VOITTO. **Green Belt em Lean Seis Sigma**. Juiz de Fora, 2020 (Apostila).