



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



ANA PAULA DA SILVA CHAGAS FERREIRA

**PROPOSTA DE MELHORIAS PARA A ÁREA DE INTEGRIDADE
ESTRUTURAL: UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO PARA A
GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS DE UMA EMPRESA
DE MINERAÇÃO**

OURO PRETO – MG
2021

ANA PAULA DA SILVA CHAGAS FERREIRA

anpscferreira@gmail.com

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheira Mecânica.

Professor orientador: MSc. Sávio Sade Tayer

**OURO PRETO – MG
2021**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F383p Ferreira, Ana Paula Da Silva Chagas .
Proposta de melhorias para a área de integridade estrutural
[manuscrito]: um procedimento operacional padrão para a gerência de
manutenção e gestão de ativos de uma empresa de mineração. / Ana
Paula Da Silva Chagas Ferreira. - 2021.
59 f.

Orientador: Prof. Me. Sávio Sade Tayer.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Manutenção. 2. Administração de ativo e passivo - Controle de
ativos. 3. Estabilidade estrutural . 4. Ativos estruturais. I. Tayer, Sávio
Sade. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Ana Paula da Silva Chagas Ferreira

Proposta de melhorias para a área de integridade superficial: um procedimento operacional padrão para a gerência de manutenção e gestão de ativos de uma empresa de mineração.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovada em 25 de maio de 2021.

Membros da banca

MSc Sávio Sade Tayer - UFOP
DSc Washington Luís Vieira da Silva - UFOP
DSc Luís Antônio Bortolalia - UFOP

MSc Sávio Sade Tayer - UFOP



Documento assinado eletronicamente por **Sávio Sade Tayer, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/06/2021, às 17:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0177999** e o código CRC **1F8E32D4**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.005407/2021-53

SEI nº 0177999

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: (31)3559-1533 - www.ufop.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Fernanda e Amaro, que sempre me apoiaram e me amaram apesar das divergências de ideias. Agradeço também aos meus irmãos, Tiago e Ezequiel, por acreditarem que eu seria capaz. Agradeço aos professores Sávio Sade Tayer e Washington Luis Vieira pelas orientações e apoio quando tudo parecia perdido. Por fim, agradeço a UFOP pelo ensino de qualidade.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo definir diretrizes, por meio de um procedimento operacional padrão, para promover melhorias para a área de integridade estrutural como parte da gerência de manutenção e gestão de ativos de uma empresa do setor minerário levando em conta a importância da conservação estrutural dos ativos na cadeia produtiva. Inicialmente foi feita uma pesquisa exploratória em conjunto com um estudo teórico a fim de aliar práticas já realizadas em algumas empresas com publicações em livros, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses, garantindo embasamento para a tomada de decisões. Em seguida foi definida a metodologia do trabalho, que foi qualitativa, bibliográfica e de carácter exploratório, visto que buscou propor uma solução utilizando como base dados narrados de forma não numérica de documentos já publicados com o objetivo de indicar uma melhoria para o estudo, no caso um procedimento operacional padrão para a área de integridade estrutural. Como resultado houve a explanação acerca de cada tópico que envolve a planilha final sejam eles inventários de ativos estruturais, classificação de criticidade desses ativos, definição e execução de estratégias da área, bem como execução das atividades de manutenção estrutural. A proposta de melhoria, por meio de uma planilha que ilustra um procedimento operacional padrão, visa promover uma melhor gestão da área de integridade estrutural levando em consideração as normas vigentes, a segurança operacional, os custos de manutenção, a produtividade da empresa e um mapeamento assertivo dos ativos pertencentes a área, tudo isso resultando em um maior valor agregado a toda cadeia de uma empresa.

Palavras-chave: *Integridade Estrutural; Gestão de Ativos; Manutenção; Ativos Estruturais*

ABSTRACT

The present work aims to define guidelines, through a standard operating procedure, to promote improvements in the area of structural integrity as part of the maintenance management and asset management of a company in the mining sector taking into account the importance of structural conservation of active in the production chain. Initially, an exploratory research was carried out in conjunction with a theoretical study in order to combine practices already carried out in some companies with publications in books, course completion papers, dissertations and theses, guaranteeing a basis for decision making. Then the work methodology was defined, which was qualitative, bibliographic and exploratory in nature, since it sought to propose a solution using non-numerically narrated data from documents already published in order to indicate an improvement for the study, in the case a standard operating procedure for the area of structural integrity. As a result, there was an explanation about each topic that involves the final spreadsheet, whether they are inventories of structural assets, the classification of criticality of these assets, the definition and execution of strategies in the area, as well as the execution of structural maintenance activities. The improvement proposal, through a spreadsheet that illustrates a standard operating procedure, aims to promote better management of the area of structural integrity taking into account the current rules, operational safety, maintenance costs, company productivity and a mapping assertive of the assets belonging to the area, all resulting in a greater added value to the entire chain of a company.

Keywords: *Structural Integrity; Asset Management; Maintenance; Structural Assets*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de materiais e métodos.....	32
Figura 2 - Representação taxonômica de ativos industriais.	37
Figura 3 - Matriz de classificação de severidade de estruturas.	40
Figura 4 - Classificação de criticidade de estruturas	41
Figura 5 - Etapas para definição de uma estratégia de inspeção estrutural	43
Figura 6 - Processo de integridade estrutural	45
Figura 7 - Subprocessos de execução da manutenção da integridade estrutural.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução da Manutenção.....	19
Tabela 2 – Variáveis e Indicadores.....	32
Tabela 3 – Procedimento Operacional Padrão Ativos no escopo da integridade estrutural.....	35
Tabela 4 – Ativos no escopo da integridade estrutural.....	38
Tabela 5 – Ativos fora do escopo da integridade estrutural	39
Tabela 6 – Periodicidade de inspeções de acordo com o ambiente de exposição	44

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

CAPEX – *Capital Expenditure*

ISO – *International Organization for Standardization*

NBR – Norma Brasileira

OM – Ordem de Manutenção

OPEX – *Operational Expenditure*

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

PDF - *Portable Document Format*

POP – Procedimento Operacional Padrão

TPM – *Total Productive Maintenance*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Formulação do problema	13
1.2. Justificativa	15
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Geral.....	16
1.3.1. Específicos.....	16
1.3. Estrutura do Trabalho	16
2. Revisão Bibliográfica.....	17
2.1. Conceito de Manutenção	17
2.2. Evolução de Manutenção.....	17
2.3. Tipos de Manutenção.....	19
2.4. Falhas	21
2.5. Gestão de ativos	22
2.5.1. Ativos Estruturais.....	24
2.6. Procedimento Operacional Padrão.....	24
2.6.1. Treinamento	25
2.7. Integridade Estrutural	25
2.8 Considerações Finais	29
3. Metodologia.....	30
3.1. Tipo de Pesquisa	30
3.2. Materiais e Métodos.....	31
3.3. Variáveis e Indicadores.....	32
3.4. Coletas de Dados	33
3.5. Tabulação dos Dados	33
3.6. Considerações Finais	33
4. RESULTADOS.....	34
4.1. Criação de um Procedimento Operacional Padrão	34
4.2. Inventários de Ativos Estruturais.....	36
4.3. Classificação de Criticidade dos Ativos Estruturais	39
4.4. Estratégia de Manutenção Estrutural	41
4.4.1. Definição da Estratégia	42
4.4.2. Execução da Estratégia.....	44

4.5. Execução de Manutenções Estruturais	47
4.5.1. Execução da Inspeção Estrutural.....	47
4.5.2. Planejamento e Programação de Atividades	47
4.5.3. Execução de Tratamento Anticorrosivo	48
4.5.4. Execução de Recuperação Estrutural	50
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	53
5.1. Conclusões	53
5.2. Recomendações	53
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	55

1. INTRODUÇÃO

1.1. Formulação do problema

Desde o surgimento do termo de manutenção, em meados do século XVI, para Kardec & Nascif (2009) o novo padrão industrial no mundo foi se baseando em uma nova perspectiva das organizações que visam aprimorar seus respectivos projetos e, por conseguinte, reduzir perdas a partir de um planejamento estratégico. De acordo com Menegheli (*apud* YOSHINO, *et.al*, 2016), o cenário mercadológico passa a sofrer transformações significativas a partir da Revolução Industrial, visto que, as organizações capitalistas da época buscavam formas de aumentar a produtividade e qualidade de suas empresas. Isto é, como afirma Tavares (*apud* Otani & Machado, 2008, p. 5), “a história da manutenção acompanha o desenvolvimento técnico industrial da humanidade”.

Este novo período é caracterizado pelos processos de produção vinculados à formulação de metas de cada corporação. Ou seja, Kardec & Nascif (2009) afirma que a manutenção possui um caráter estratégico e é essencial para a produtividade da empresa. Nesse sentido, segundo Fogliato & Ribeiro (2009), dentro de uma empresa, a garantia para que as estruturas, máquinas e sistemas estejam operando de forma altamente produtiva sempre foi um ponto importante nas áreas de manutenção e produção. Dessa maneira, a ABNT-NBR 5462/1994 classifica manutenção como:

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. (...) Um conjunto de princípios para a organização e execução da manutenção (NBR 5462, 1994, p. 6).

Vale destacar que a manutenção carrega um papel estratégico para a gestão de ativos. Antes de qualquer coisa, ativos por definição da Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (2013) “é algo que tenha valor real, ou potencial, para uma organização”, sejam eles físicos ou não-físicos. Do ponto de vista financeiro, os ativos são recursos que ficam sob controle da empresa e possibilitam benefícios para o seu futuro. Concomitante a isso, a gestão de ativos, para Pereira (2016)

Nesse estudo entende-se a gestão de ativos como o gerenciamento dos ativos da empresa, desde a aquisição até seu descarte, englobando o acompanhamento de todo o seu ciclo de vida e controles que suportem o registro das informações e os valores dos ativos, de forma a agregar valor à empresa (PEREIRA, 2016, p. 23).

Dessa forma, a fim de reduzir os custos, melhorar a eficiência, atribuir valor aos seus produtos e evitar riscos, a gestão de ativos, por meio do controle do estado de conservação, garante enorme influência sobre a valoração dos bens (PEREIRA, 2016). Sob outra ótica, “é o conjunto de boas práticas que visam gerir de forma coordenada, otimizada, sustentável e sistêmica o negócio (ASSUMPCÃO, 2015, p. 27).

Nessa direção, a evolução de manutenção foi possível através do aprimoramento de técnicas - trazidas para o setor de mineração - para a sustentação e preservação de indústrias brasileiras, garantindo aos ativos das empresas maior segurança operacional e redução de custos de manutenção estrutural. Para além da gestão de ativos, áreas como integridade estrutural são de suma importância para evitar falhas estruturais em função de erros de projetos, alterações sem uma avaliação prévia e o processo de degradação natural que precisam ser acompanhadas regularmente. Para a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP), integridade seria

Processo sistemático baseado na inspeção do equipamento, na avaliação das indicações resultantes das inspeções, no exame físico do equipamento por diferentes técnicas, na avaliação dos resultados deste exame, na caracterização por severidade e tipo dos defeitos encontrados, e na verificação da Integridade do equipamento através de análise estrutural. (ANP, 2009, p. 7).

Em outras palavras, para que as estruturas e equipamentos não entrem em colapso é necessário realizar um planejamento de atividades que envolvem a área de integridade estrutural, sendo devidamente estruturada e aprimorada, para evitar perdas de produção que podem impactar no futuro da corporação. Vale destacar que fenômenos como a corrosão, principal agente causador de degradação nas indústrias, consiste no desgaste de corpos quaisquer através de uma transformação química oriunda do contato com o meio ambiente, ao qual a estrutura ou equipamento está inserido (PANNONI, 2004). Em ambientes industriais, o nível de classificação quanto à corrosão está entre a mais elevada segundo a Norma Brasileira Regulamentadora NBR 6181 de 2003. De acordo com Pastoukhov (1995) o fenômeno de fratura em materiais é estudado mecanicamente pela integridade estrutural.

A instituição de integridade estrutural dentro de uma empresa ocorre gradualmente e deve obedecer a um documento pré-estabelecido dentro da gerência de manutenção e gestão de ativos, de forma a organizar o que deve ou não entrar em seu escopo (equipamentos, máquinas e estruturas), bem como definir responsabilidades (quem é responsável pela definição das atividades e quem irá exercê-las), listas de tarefas (definidas mediante a análise do que está ou não inserido na área) e como deverão ser realizadas as atividades desta mesma área. Nesse

sentido, este trabalho tem o intuito de abordar técnicas e estratégias para formular e desenvolver diretrizes dentro da área de integridade estrutural.

Diante dos fatores apresentados, surge a seguinte pergunta:

Como propor melhorias para a área de integridade estrutural, a partir de um Procedimento Operacional Padrão (POP), da gerência de manutenção e gestão de ativos de uma empresa do setor de mineração?

1.2. Justificativa

Através de procedimentos e métodos, vinculado a um plano de fiscalização e investigação, é possível viabilizar uma ação segura e responsável. Ao tratar do Sistema Minas-Rio, Assumpção (2015) destaca o bom desempenho de suas estruturas metálicas a partir da integração da área de gestão de ativos com integridade estrutural.

De acordo com Viana (2002) novas tecnologias presentes nos equipamentos visam a garantir produtividade dos processos, exigindo que haja também um planejamento a respeito da disponibilidade dos mesmos, tendo em vista que a inatividade e baixa eficiência não são mais justificáveis nos meios produtivos. Nesse sentido, para a preservação e aprimoramento da manutenção de empresas, a área de integridade estrutural é relevante visto que, o planejamento e a padronização são as bases para melhorar o gerenciamento da manutenção, bem como a gestão de ativos. Xenos (1998) destaca que para a aplicação de um plano de manutenção, é preciso definir seus respectivos padrões

(...) os padrões de manutenção devem conter, entre outras informações, instruções detalhadas sobre o que inspecionar, reformar ou trocar, com que frequência, por que e como estas tarefas devem ser executadas. Assim, na base das informações contidas nos padrões, é possível elaborar planos de manutenção que definem, para cada tarefa, suas respectivas datas de execução. (XENOS, 1998, p. 172).

Ou seja, a realização de um Procedimento Operacional Padrão (POP) é de suma importância, pois se torna possível mitigar os erros, garantindo assim, boas práticas e de qualidade a partir de um padrão operacional. Diante disso, a integridade estrutural está associada ao caráter estratégico dos processos que envolvem a manutenção e a gestão de ativos. Pela definição de Fachinelli & Alberdi (2014), a integridade estrutural pode definir necessidades, coletar, avaliar as ações para a tomada de decisão. Sendo assim, quanto mais organizada for a estruturação do processo de manutenção estrutural de uma empresa, maior poderá ser o potencial estratégico da gestão de ativos.

A construção de um POP torna-se significativa à aplicação de um planejamento de uma gerência de manutenção e gestão de ativos, aliando planos teóricos bem definidos com um escopo de funções, responsabilidades e atividades práticas que devem ser obedecidas para que haja êxito na cadeia de produção estabelecida.

1.3. Objetivos

1.3.1. Geral

- Propor melhorias para a área de integridade estrutural a partir de um Procedimento Operacional Padrão da gerência de manutenção e gestão de ativos de uma empresa de mineração.

1.3.1. Específicos

- Realizar um estudo bibliográfico acerca do conceito de manutenção, sua evolução ao longo do tempo e seus tipos; do conceito de falhas, do conceito gestão de ativos, bem como ativos estruturais; e da integridade estrutural e o que a envolve (corrosão, inspeção, tratamento anticorrosivo e recuperação estrutural).
- Elaborar um procedimento operacional padrão de forma detalhada aplicando como base um plano de ação.

1.3. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho tem o objetivo de discutir questões relacionadas à área de integridade estrutural a fim de promover melhorias. Diante disso, o primeiro capítulo tem o intuito de apresentar a formulação do problema, introduzindo o primeiro contato com o assunto tratado; a justificativa para a realização deste trabalho; e os objetivos geral e específicos (o que se deve esperar sobre o trabalho em questão). No segundo capítulo há a fundamentação bibliográfica que visa tratar e avaliar os conceitos através da fundamentação teórica apresentada neste trabalho, tais como manutenção, gestão de ativos e integridade estrutural. O terceiro capítulo mostra a metodologia adotada para que se chegasse ao objetivo proposto, bem como todo seu desenvolvimento. No quarto capítulo é mostrado o resultado obtido de acordo com a metodologia adotada e com base na pergunta problema proposta no início do trabalho. E finalmente no quinto capítulo são apresentadas as conclusões com base nos resultados, os pontos que necessitam de melhorias e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conceito de Manutenção

Kardec, Nascif & Baroni (2002, p.22) definem a manutenção como a atividade que tem como finalidade “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados”.

Xenos (1998) enfatiza uma explicação um pouco mais completa elucidando que a manutenção consiste em ações que têm como objetivo mitigar as falhas de equipamento como resultado do uso ou desgaste natural, onde tais falhas são prejudiciais ao sistema produtivo e interferem diretamente, de forma negativa, na produtividade das empresas. Dessa maneira, ele afirma (1998, p.18).

Todas essas manifestações têm uma forte influência negativa na qualidade e baixa produtividade, principalmente em empresas nas quais os equipamentos desempenham um papel fundamental na produção. Baixa qualidade e produtividade acabam colocando em risco a sobrevivência da empresa. Como a manutenção dos equipamentos pode desempenhar um papel importante na melhoria da produtividade, os ganhos potenciais com a melhoria do seu gerenciamento não podem ser simplesmente desprezados.

Nesse sentido, pode-se perceber que, atualmente, a atividade não é vista somente como um conjunto de ações corretivas e preventivas. Sua definição agora envolve aspectos humanos, de confiabilidade e de custos, o que torna a área uma parte fundamental dentro de qualquer indústria e abre um leque para diversos estudos que poderão desenvolver o setor e promover ganhos significativos.

2.2. Evolução de Manutenção

O termo manutenção passou a ter sua importância no decorrer do século XX, Monbray (1991) afirma que no período após a Segunda Guerra Mundial surgiram os primeiros estudos para a transformação da manutenção em um sistema planejado, garantindo a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos para longos períodos de produção.

Além disso, o autor (MONBRAY, 1991) indica que a partir do final do século XX houve o nascimento do gerenciamento da manutenção, onde o planejamento das atividades, alinhado ao desenvolvimento de sistemas computacionais, colaborou com a efetividade da manutenção

como um todo e priorizou objetivos como a diminuição de quebras e perdas, e aumento de produtividade e qualidade.

Kardec & Nascif (2009) caracterizam a evolução histórica da manutenção em gerações, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Evolução da Manutenção

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração	Quinta Geração
1940 – 1950	1960 - 1970	1980 - 1990	2000 - 2010	A partir de 2010
<p>Conserto após avaria</p> <p>Todos os equipamentos falham com o tempo</p>	<p>Maior disponibilidade das instalações</p> <p>Maior vida útil dos equipamentos</p> <p>Menores custos</p> <p>Início do planejamento da manutenção</p>	<p>Maior disponibilidade e confiabilidade das instalações</p> <p>Maior segurança</p> <p>Maior qualidade dos produtos</p> <p>Ausência de danos ao meio ambiente</p> <p>Maior efetividade de custo</p>	<p>Gestão de risco aplicada aos ativos</p> <p>Confiabilidade humana</p> <p>Novos métodos preditivos</p> <p>Acuracidade na medição e demonstração de resultados</p> <p>Ausência de danos ao meio ambiente</p>	<p>Gerenciamento de ativos</p> <p>Otimização do ciclo de vida dos ativos</p> <p>Influência da manutenção nos resultados do negócio</p> <p>Excelência da Engenharia de Manutenção</p>

Fonte: Adaptado de Kardec & Nascif (2009).

A Tabela 1 adaptada de Kardec & Nascif (2009) indica que, apesar do termo manutenção ter surgido séculos antes, o período pós Segunda Guerra Mundial mostrou, constantemente, a necessidade de aprimorar a gestão de manutenção das indústrias uma vez que o objetivo delas era alcançar o aumento da produtividade. Em outras palavras, a manutenção deixa de ter um papel secundário na indústria e se constitui como elemento estratégico. Nesse sentido, Kardec & Nascif (2009) discutem a evolução da manutenção em cinco gerações. A primeira geração foi caracterizada pelo conserto dos equipamentos apenas após a identificação das falhas, para além das habilidades estarem voltadas somente para os reparos. A simplicidade dos equipamentos, seus superdimensionamentos e pouca mecanização atrelados a uma indústria que não tinha como fator relevante a produtividade, e a manutenção desempenhava um papel voltado para tarefas simples de limpeza e lubrificação dos equipamentos industriais. (MOUBRAY & SIQUEIRA *apud* BARAN, *et al.* 2011).

Diferente do que foi visto na primeira, com a diminuição da mão de obra e grande procura por produtos, a segunda geração passou por um aumento da mecanização dos equipamentos somado ao início de instalações industriais cada vez mais complexas, resultando em custos de manutenção cada vez mais elevados (MOUBRAY & SIQUEIRA *apud* BARAN, *et al.* 2011).

Por esses motivos houve a necessidade por se obter maior disponibilidade e vida útil dos equipamentos, as empresas começaram a utilizar a curva da banheira como forma de analisar o comportamento dos ativos e ocorreu o início da atividade de planejar a manutenção como forma de mitigar possíveis paradas (KARDEC & NASCIF, 2009).

A terceira geração, que teve início na década de 80, foi atribuída nas atividades industriais a ideia de gerenciar os próprios equipamentos, promovendo aumento da produtividade e qualidade de produção (YOSHINO, 2016). Nessa época, pautas relacionadas ao meio ambiente foram essenciais para o desenvolvimento da manutenção na utilização de softwares e o monitoramento de condições na manutenção preditiva. (KARDEC & NASCIF, 2009).

A quarta geração foi marcada pela gestão de ativos de maneira estratégica, de meados dos anos 90 até os dias atuais, Yoshino (2016), cita que:

A quarta geração nos dias atuais está mais preocupada com a gestão de seus ativos de forma estratégica ao negócio da empresa com visão realista de todo processo gerencial e industrial considerando fatores de vida útil e econômica dos ativos atuando principalmente em geração de valores das organizações, levando em consideração valores tangíveis e intangíveis (YOSHINO, 2016, p. 6).

Por último, a quinta geração - a partir de 2010 - acrescenta a gestão de ativos como uma coordenação que une áreas voltadas para manutenção de equipamentos e estruturas de uma empresa com o objetivo de fazer com que os ativos operem dentro de sua máxima eficiência, minimizando cada vez mais os riscos ao negócio devido a baixas produtividades em paradas devido a falhas não previstas e promovendo a excelência da engenharia de manutenção (KARDEC & NASCIF, 2009).

2.3. Tipos de Manutenção

Existem muitos tipos de manutenção e o intuito deste tópico é apresentar alguns exemplos. Antes disso, Vianna (2002) caracteriza que os tipos de manutenção representam as formas como devem ser efetuadas as intervenções nos equipamentos de uma determinada

empresa. Um exemplo é a manutenção corretiva, de acordo com Souza (*apud* Yoshino, *et. al*, 2016, p. 8).

(...) a manutenção corretiva é aquela que mantém em operação o equipamento ou a unidade produtiva, e quando ocorre uma falha ela se preocupa com o fato de que os serviços sejam prestados no melhor prazo possível, a fim de permitir a imediata retomada das operações, dentro dos níveis de qualidade e segurança exigidos.

No que diz respeito à manutenção corretiva, ela pode ser subdividida de duas maneiras: não-planejada e planejada. Na primeira não há tempo para a preparação dos serviços, acarretando na falha ou queda de desempenho de forma inesperada, causando transtornos à produção (VIANA, 2002). Pinto & Xavier (2001, p. 36) descrevem a manutenção corretiva não planejada como a “atuação da manutenção em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho inferior ao esperado”. Em contrapartida a manutenção corretiva planejada dá-se quando é decidido gerencialmente que o equipamento irá operar até a falha ou baixa no desempenho (VIANA, 2002).

Outra forma de manutenção é a manutenção preventiva. Por definição a “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item” como afirma a Norma Brasileira Regulamentadora ABNT-NBR 5462/1994 (1994, p. 7). Além disso, visa atuar previamente no equipamento com o objetivo de mitigar a possibilidade de que a falha se concretize, ou seja, uma intervenção prevista e programada para antes da quebra do equipamento (NUNES, 2001).

Além disso, se tratando da manutenção preditiva, o objetivo é determinar o instante em que deve ocorrer a parada para intervenção do equipamento. A definição de Nascif (*apud* Otani & Machado, *et. al*. 2008, p. 8) sobre a manutenção preditiva

(...) é a atuação realizada com base na modificação de parâmetro de condição ou desempenho do equipamento, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. A manutenção preditiva pode ser comparada a uma inspeção sistemática para o acompanhamento das condições dos equipamentos.

Vale destacar a diferença entre a manutenção corretiva e preditiva

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

por dia. Portanto, o tempo perdido de produção não pode ser recuperado (OTANI & MACHADO, 2008, p. 4).

Em meados dos anos 60, a Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance*), desenvolvida no Japão, tem o objetivo de aumentar a confiabilidade dos equipamentos e a qualidade da produção das empresas (NETTO *apud* COSTA, *et al.* 2013). Tavares (1999) destaca que este tipo de manutenção atua junto a linha de produção promovendo o que é chamado de “Quebra Zero”, “Defeito Zero” e “Acidente Zero”, onde a responsabilidade sobre as máquinas e equipamentos da empresa cabe a todos da organização, levando também ao surgimento da Manutenção Autônoma, onde os próprios operadores são capacitados a efetuar pequenos reparos e avaliações nos equipamentos que operam.

Para Osada & Yoshikazu (1993, p. 21) a TPM é: “uma manutenção preventiva mais ampla, baseada na aplicabilidade econômica vitalícia de equipamentos, matrizes e gabaritos que desempenham os papéis mais importantes na produção”.

Por fim, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (*Reliability Centered Maintenance*) realiza uma análise nos sistemas sejam estes processos, equipamentos ou máquinas, para além de verificar quais são as melhores práticas e meios de uso com o objetivo de promover um aumento da confiabilidade dos mesmos (MARCORIN & LIMA, *apud* COSTA, *et al.* 2013).

Souza & Lima (2003) afirmam que, devido à quantidade e a relevância dos dados gerados pelo levantamento realizado neste tipo de manutenção, o desempenho das operações tem uma melhora significativa oriunda de tomadas de decisões mais assertivas com relação ao reparo dos equipamentos, das estimativas sobre a vida útil dos mesmos e a melhora dos indicadores de segurança no ambiente de trabalho.

2.4. Falhas

Com o passar dos anos, percebeu-se a necessidade de aliar alto desempenho a vida útil, sendo tal combinação essencial para o perfeito funcionamento do sistema produtivo, conferindo grandes resultados com menor número de paradas devido a falhas nos equipamentos e também melhor efetividade nas paradas anuais programadas para manutenção. Como afirma Duarte (2010), a falha de um componente em uma estrutura mecânica pode ocorrer devido a diversos fatores: carga aplicada muito acima da dimensionada em projeto, desgaste, temperatura, desalinhamento, influência do meio ambiente, manutenção inadequada, fatores metalúrgicos, operação incorreta e etc.

A falha pode ser caracterizada quando um componente, equipamento ou sistema não consegue mais desempenhar a função para a qual foi projetado de forma total ou parcial como indicados nos três tipos a seguir: a falha total ou permanente, que é a incapacidade de execução da tarefa; a falha parcial ou temporária, onde a execução ocorre, porém de forma abaixo do esperado; e a falha gradual ou intermitente, quando há progressão da anomalia ao longo do tempo podendo ser prevista através de ensaios visuais ou exames mais elaborados tais como líquido penetrante, ultrassom, estanqueidade, partículas magnéticas, radiografia e entre outros (OAKLAND, 1994).

Nesse contexto, muitas empresas adotaram em seus departamentos um sistema de tratamento de falhas nos equipamentos. A criação de um sistema de falhas é uma forma que a indústria pode planejar para não ficar, como afirma Xenos (1998), em um ciclo vicioso de falhas. Cada empresa deve elaborar um procedimento para a ocorrência de falhas tendo como norte os itens a seguir, segundo Xenos (1998, p.84).

1. Detecção e relato da falha;
2. Ação corretiva para remover o sintoma;
3. Registro de análise de falhas para identificar suas causas fundamentais;
4. Planejamento e execução das contramedidas para bloquear as causas fundamentais;
5. Acompanhamento da execução de contramedidas;
6. Análise periódica dos registros de falhas para identificar falhas crônicas e prioritárias e definir projetos com metas;
7. Execução dos projetos através do ciclo PDCA de solução e problemas.

2.5. Gestão de ativos

Para uma gestão de ativos eficaz e eficiente, é preciso levar em consideração as falhas presentes e traçar um planejamento para sua mitigação, como discutido no tópico anterior. Como dito anteriormente pela Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN) ativos é algo que tenha valor real, ou potência. Na concepção de Campbell (*apud*, PEREIRA, *et. al*, 2016, p. 20), a definição de valor

(...) pode variar entre os diferentes tipos de organização e seus públicos de interesse, podendo ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro. Para muitas organizações, ativos físicos referenciam os equipamentos, inventários e propriedades de posse da organização e contrapõem-se os ativos intangíveis, não físicos, como alugueis, marcas, ativos digitais, propriedade intelectual, licença de uso, reputação e acordos.

Ainda sob o olhar do mesmo autor (*apud*, PEREIRA, *et. al*, 2016, p. 20), ativos fixos podem ser considerados: “Imóveis e instalações; Plano e produção; Bens móveis; Infraestrutura; Tecnologia da informação”.

Kardec & Nascif (2009) abordam a gestão de ativos como importante parte estratégica das empresas a partir da quinta geração da manutenção que ocorre desde 2010. O *Asset Management Industrial* (Gestão de Ativos Industriais) só veio a ser amplamente empregado nas indústrias devido às dificuldades cada vez maiores das economias globalizadas a partir da última década, onde as empresas necessitavam de altos indicadores, tanto econômicos quanto técnicos, para acelerar a arrecadação de lucros, resultando num maior valor de mercado para as mesmas (ABRAMAN, 2008). Segundo a Abramam (2008), a gestão de ativos:

- Promoveu a unificação das etapas: desde o estudo para a aquisição de equipamentos, compras, instalações, operações, manutenções e descartes;
- Atuou na gestão global dos custos da planta;
- Levou em consideração aspectos econômicos da manutenção e não somente técnicos.

Desta maneira as empresas aprenderam a gerir suas plantas aliando os gastos do *Capex* (investimentos) aos gastos do *Opex* (operação e manutenção) evitando déficit de dinheiro resultante de uma gestão que antes era feita separadamente e definindo o custo geral, tanto de cada equipamento quanto de toda a planta (ABRAMAN, 2008). Com relação à gestão de ativos, sua aplicação

(...) se dá por meio de sistemas de cálculo que simulam o desempenho técnico e financeiro dos ativos em diversas situações e cenários de performance. Na compra de um equipamento, por exemplo, em que vários candidatos são avaliados, é possível simular o quanto sua manutenção e operação custarão ano a ano e assim decidir pela aquisição daquele que melhor atende aos objetivos corporativos. Situações ligadas à política de manutenção preventiva, ao dimensionamento de estoques de peças de reposição, à modificação/*upgrade* de máquinas ou à substituição de equipamentos em fim de vida, entre outras, podem ser simuladas e minuciosamente analisadas (FERREIRA, 2009, p. 26).

Logo, utilizando-se dessas simulações e cálculos, a gestão de ativos promove a assertividade nos pareceres técnicos e econômicos aliando-os e garantindo que seja possível uma boa qualidade técnica dos ativos de uma empresa sem que haja gastos que superem sua capacidade financeira, mantendo-a competitiva (FERREIRA, *apud* ABRAMAN, *et al*.2008).

2.5.1. Ativos Estruturais

De acordo com Frazão (2020), os ativos de uma empresa são os bens e serviços que podem ser mensuráveis monetariamente e são resultados de uma compra ou são produzidos pela própria empresa. Ambos os casos devem promover algum benefício econômico, ou seja, devem contribuir direta ou indiretamente para a geração de lucro. Entende-se por ativos estruturais os ativos que contém as partes mais resistentes de uma construção, as estruturas (PULLAN & BHADESHIA, 2000). São as estruturas que absorvem e transmitem as cargas e garantem a segurança de uma construção (RICARDO, 1977).

Os materiais estruturais são os materiais aos quais são compostas as estruturas e estes devem conter altos valores de resistências à tração e à compressão, além de elasticidade e plasticidade, que conferem aos materiais a capacidade de voltar a sua posição original depois de sofrer uma tensão e um comportamento onde há uma deformação residual após sofrer uma tensão, respectivamente (PETRUCCI, 1976).

Segundo Bauer (2005), os principais materiais estruturais utilizados são os aços e suas ligas, a madeira e os diversos tipos de concreto. Sendo assim, uma estrutura é formada por elementos estruturais que associados são responsáveis por receber e transmitir os esforços solicitados às estruturas sofrendo as deformações e estes podem ser de diversos tipos: barras, formando vigas, pórticos, cabos e treliças; folhas ou estruturas de superfície formando chapas, placas, membranas e cascas; e blocos (HIBBELER, 2005).

2.6. Procedimento Operacional Padrão

Há múltiplos tipos de padrões de manutenção. Segundo Falconi (*apud* XENOS, *et. al.* 1998), o termo padrão tem sido recorrente no cotidiano das indústrias, a fim de definir um procedimento técnico, como procedimentos gerenciais. Nesse tópico será discorrido sobre os padrões técnicos que incluem procedimentos operacionais padrões (*standard operating procedure*), que determina as funções de acordo com as tarefas de manutenção (XENOS, 1998).

Basicamente esse procedimento trata de questões relacionadas à funcionalidade dos equipamentos. Xenos (1998, p. 185) afirma:

Os padrões técnicos estão diretamente relacionados com a execução de tarefas operacionais de manutenção. Para garantir mais rapidamente os resultados mencionados anteriormente, a padronização da manutenção deve começar pelos padrões técnicos, pois as tarefas operacionais de inspeção, troca de

peças, reforma e reparo tem um maior impacto sobre a qualidade e confiabilidade dos serviços de manutenção.

Diante disso, fica a pergunta, como formular bons padrões técnicos de manutenção? Três questões são essenciais para o cumprimento desses padrões: os padrões têm que ser claros e objetivos; os supervisores têm que incentivar o cumprimento dessas tarefas periodicamente; os técnicos de manutenção devem ser treinados para resolver tais problemas (XENOS, 1998).

O desafio das empresas será sempre o de elaborar um procedimento operacional na área de integridade estrutural de forma clara, objetiva, estruturada e alinhada aos objetivos da empresa. São questões que levam tempo e planejamento para o desenvolvimento da corporação. Mesmo o plano não sendo perfeito é necessário traçar pontos norteadores para obter uma melhoria contínua no procedimento de manutenção. Ou seja, os padrões de manutenção devem manter-se atualizados ao mesmo tempo em que os padrões, conforme o aprimoramento também vão mudando.

2.6.1. Treinamento

Para Xenos (1998, p. 281), “o desenvolvimento das habilidades das pessoas é a base do gerenciamento da manutenção em qualquer organização”, isso significa que para que a gestão exerça seu papel é preciso treinar e capacitar as pessoas envolvidas nas atividades de manutenção para que elas conheçam em detalhes como os sistemas funcionam e saibam como, quais as causas e de que forma agir para prevenir as ocorrências de falhas.

Com a padronização das ações de uma área o treinamento das pessoas torna-se essencial para que a atividade de manter seja realizada com excelência, já que tais profissionais precisam saber lidar com variadas situações sendo estas previstas ou não no dia a dia (XENOS,1998).

2.7. Integridade Estrutural

O estudo da integridade estrutural nas estruturas de máquinas, equipamentos e construções civis de uma empresa tem como objetivo avaliar tais estruturas por meio de inspeções para que haja a identificação dos danos sofridos pelas mesmas, principalmente o fenômeno da corrosão, classificando-as quanto aos fatores de risco e promovendo a recuperação ou tratamento dessas estruturas, assim proporcionando uma maior segurança nas plantas (PANNONI, 2004).

Para Bauer (2005), uma estrutura ou componente estrutural pode ser considerado íntegro quando “atende às funções para as quais foi projetado, suporta os carregamentos máximos de trabalho, e apresenta um comportamento confiável, previsível e repetitivo por tantos ciclos quanto forem necessários para sua vida em serviço.”

Bauer (2005) também expõe que a integridade estrutural é uma importante área que é resultado da aplicação de procedimentos e técnicas que são capazes de estabelecer as reais condições de uma estrutura, portanto, pode-se avaliar os danos e, por conseguinte, prever seus comportamentos futuros e realizar as melhores tomadas de decisão sobre suas necessidades, sejam elas recuperação ou tratamento, sendo estas possíveis mediante a realização de inspeções e monitoramento prévios.

Os principais termos que envolvem a área integridade estrutural são: corrosão e seus tipos; inspeção, que também abrange a parte de ensaios; recuperação estrutural; e tratamento anticorrosivo.

A corrosão é um processo químico resultado da interação do meio ao qual um material está inserido sobre este material causando a deterioração e perda de suas propriedades (GENTIL, 2003). De acordo com Dutra & Nunes (1987), apesar da relação direta com os materiais metálicos, este fenômeno também pode ocorrer em outros materiais como, por exemplo, polímeros e concretos.

Economicamente o processo de corrosão causa prejuízos com custos extremamente altos, pois, além do investimento inicial, estima-se que mais de 30% do aço que é produzido mundialmente é empregado apenas para reposição de partes atacadas pela corrosão em peças, equipamentos e estruturas (NUNES & LOBO, 1998). Além disso, acidentes envolvendo colapso de estruturas promovem perdas humanas e ambientais irreparáveis (NUNES & LOBO, 1998).

O termo corrosão pode ser utilizado para designar perdas totais, parciais, superficiais e estruturais em materiais, e podem-se definir três tipos de ataque: eletroquímico, químico e eletrolítico (GENTIL, 2003). A corrosão eletroquímica é o tipo mais comum na natureza, onde ocorre a transferência de elétrons por meio de reações de oxirredução (NUNES & LOBO, 1998). Ainda segundo o mesmo autor (1998), corrosão é um processo que ocorre espontaneamente e em materiais metálicos quando em contato com um eletrólito por intermédio

de um meio aquoso. Um exemplo deste tipo de corrosão é a formação da ferrugem, constituído através de um processo de oxirredução entre o ferro em contato com a água.

No que diz respeito à corrosão química, como apresentado por Gentil (2003) não necessita de água para que ocorra, apenas um agente químico agindo diretamente sobre o material, sem transferência de elétrons. Esse tipo de corrosão pode ocorrer também em polímeros, plásticos e borrachas, por exemplo, recebendo ação de solventes, oxidantes ou próprio meio; em concretos, onde os agentes poluentes do meio interferem diretamente em seus constituintes (areia, cimento, etc.) e promovem perdas de estabilidade e durabilidade, que são potencializadas devido às vibrações, erosões e variações de temperaturas aos quais estes materiais estão expostos (GENTIL, 2003).

A corrosão eletrolítica é um tipo não espontâneo, que depende da passagem de uma corrente elétrica externa e ocorre geralmente em tubulações de água, tubulações de petróleo, tanques de gasolina, canos telefônicos e etc., onde as correntes são indesejadas e oriundas de deficiências nos aterramentos e isolamentos provocando furos nos materiais (FOGAÇA, 2020).

Já a inspeção é uma atividade que tem como objetivo localizar defeitos onde quer que ela seja realizada, preventiva ou preditivamente, utilizando-se de ensaios específicos, monitorando e avaliando os impactos nas estruturas (TAVARES, 1999).

A atividade de inspeção tem papel fundamental dentro da área integridade estrutural visto que, é a partir dela que se obtém conhecimento sobre a real situação dos componentes estruturais de uma empresa, que verifica os níveis operacionais, estabelecendo, assim, um nível de segurança e para além de avaliar os danos que são causados pela corrosão. Dessa maneira, podem ser apresentados os respectivos níveis críticos, bem como, serem dados subsídios para a tomada de decisão a respeito da tratativa que será abordada em cada caso (TAVARES, 1999).

O ensaio visual, ensaio mais comum utilizado para avaliar componentes estruturais, é o método mais usado e também o mais simples e barato de ser realizado, é feito através da análise dos componentes estruturais por pessoas treinadas e especializadas (ESSEL ENGENHARIA, 2020). Na integridade estrutural os inspetores são pessoas capacitadas a identificar quaisquer defeitos ou descontinuidades que possam resultar em falhas nas estruturas e, como afirma Essel Engenharia (2020), para que ocorra de forma correta a inspeção visual possui fatores que influenciam na identificação de descontinuidades e defeitos, sendo eles:

- Limpeza da superfície: Os locais onde ocorrerão as inspeções visuais devem ser limpos e livres de quaisquer resíduos que impeçam a verificação e detecção de defeitos;
- Acabamento da superfície: Alguns processos de fabricação geram acabamentos superficiais que dificultam a análise visual mascarando descontinuidades (fundição, forjamento, laminação, etc.), portanto é necessário que se faça um preparo (decapagem, usinagem, etc.) para que possa ocorrer este tipo de inspeção;
- Iluminação e posicionamento: Como a inspeção é realizada usando os olhos do inspetor, é necessário que haja uma boa iluminação, sendo a mais indicada a natural e, quando não for possível a natural, lâmpadas elétricas brancas posicionadas atrás do inspetor não ofuscando sua visão.

Algumas ferramentas também podem ser utilizadas para auxiliar na inspeção visual, tais como: lupas, microscópios, espelhos, tuboscópios e câmeras de tevê em circuito fechado, entre outras (ESSEL ENGENHARIA, 2020). É extremamente relevante que haja capacitação dos inspetores sobre como realizar a atividade, bem como, sobre os procedimentos de segurança que devem ser obedecidos.

De acordo com Tavares (1999), a inspeção localiza, monitora e avalia os defeitos nas estruturas. Nesse sentido, como aponta o estudo de caso realizado por Silva (2008), a tratativa para os casos onde o nível de deterioração ultrapassa os níveis estabelecidos como aceitáveis pela empresa consiste na chamada “recuperação estrutural”, onde os pontos onde há um maior nível de dano são totalmente substituídos por novas estruturas com as mesmas características, isso vale tanto para estruturas metálicas quanto para estruturas de concreto.

O tratamento anticorrosivo é utilizado em metais quando estes ainda estão em condições de serem utilizados sem que ocorra a substituição para que haja um retardo no processo de corrosão, processo este que é a principal fonte de danos nesses materiais (PROMAR, 2020). Segundo Promar (2020), os dois principais tipos de tratamentos anticorrosivos são:

- Jateamento abrasivo: consiste em aplicar sobre a superfície da estrutura metálica um jato de material abrasivo (granalha, óxido de alumínio, esfera de vidro, etc.) em alta velocidade. Através desse processo a superfície é limpa de camadas de corrosão e incrustações, e também é preparada para pintura posterior a este processo;
- Pintura líquida industrial: é o tratamento mais usado atualmente. Consiste na aplicação de tintas industriais em espessuras muito finas (menos de 1 milímetro) formando uma

película protetora sob a estrutura metálica protegendo-a do ambiente corrosivo ao qual se encontra. Geralmente é realizado após o tratamento de jateamento abrasivo.

2.8 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados os estudos teóricos que envolvem os assuntos tratados no presente trabalho sendo estes manutenção, falhas, gestão de ativos, procedimento operacional padrão e integridade estrutural. A partir da revisão teórica será possível indicar uma solução para a pergunta problema proposta anteriormente.

3. METODOLOGIA

3.1. Tipo de Pesquisa

Em uma pesquisa há inúmeras fases a serem acompanhadas desde a formulação do problema a ser estudado até a exibição dos resultados obtidos para solucionar tal problema.

Para Gil (2002, p.17) a pesquisa pode ser definida como:

O procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema (GIL, 2002, p. 17).

As pesquisas científicas podem ser divididas em qualitativas e quantitativas (GEHARDT & SILVEIRA, 2009). O primeiro caso tem como objetivo entender os fenômenos por meio da coleta de dados narrativos (questionários abertos, entrevistas e observações), e oscila entre investigação, interpretação e reflexão durante a análise; já o segundo visa entender os fenômenos através de dados numéricos, transformando-os em hipóteses estatísticas (GIL, 2002).

Gil (2002) enfatiza que as pesquisas ainda podem ser classificadas como exploratórias descritivas ou explicativas.

O tipo de pesquisa exploratória busca responder a determinado tema proposto, sendo tal tema, na maior parte das vezes, um estudo de caso, onde as fontes (sejam elas bibliográficas ou conseguidas por meio de entrevistas e dar embasamento ao assunto abordado), e o pesquisador, após um processo de sondagem e aprimoramento de ideias, irá concluir com hipóteses o trabalho (RICHARDSON, 1999).

As pesquisas descritivas, como o nome já sugere, visam descrever ou caracterizar certo tema (ALYRIO, 2009). Para Alyrio (2009), tal forma de pesquisa tem como objetivo apenas enumerar e ordenar os dados, sem que haja comprovação de algo ou refutação de hipóteses exploratórias, onde há abertura para uma posterior pesquisa explicativa embasada pela experimentação.

Uma pesquisa explicativa tem como objetivo identificar as causas dos eventos e explicar o porquê que determinados episódios aconteceram (GIL, 2002). Ademais, indica que uma

pesquisa explicativa pode ocorrer posteriormente a uma descritiva, uma vez que necessita dos dados descritos e detalhados.

Também há uma divisão das pesquisas quanto aos procedimentos técnicos, os principais, de acordo com Gil (2002), são:

- Pesquisa Bibliográfica: feita a partir de materiais já publicados (livros, artigos, internet, entre outros);
- Pesquisa Documental: feita a partir de materiais sem tratamento analítico. Um exemplo desse tipo de pesquisa é o texto jornalístico;
- Pesquisa Experimental: onde há um objeto de estudo e também há um controle sobre quais variáveis são capazes de influenciar tal objeto;
- Estudo de Caso: envolve o estudo intenso sobre um ou poucos objetos buscando o máximo de detalhamento possível;
- Pesquisa-Ação: há uma teoria e uma ação associada a ela;
- Pesquisa Participante: onde o pesquisador se envolve diretamente e se identifica com um grupo de pessoas investigadas.

Em face dos conceitos apresentados acima, compreende-se que o presente trabalho se trata de uma pesquisa qualitativa, já que visa fazer uma análise de dados narrados de forma não numérica; bibliográfica, pois se baseia em documentos já publicados; e de caráter exploratório, pois procura responder ao tema proposto após uma vasta pesquisa documental de forma a fornecer ideias para um estudo de caso sobre melhorias na área de integridade estrutural de uma empresa minerária.

3.2. Materiais e Métodos

Consoante a Figura 1, baseando-se na revisão bibliográfica pautada na manutenção e seus tópicos principais, na gestão de ativos com foco em ativos estruturais, e na integridade estrutural, por meio de pesquisas em livros, artigos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses, haverá a análise de procedimentos operacionais padrão disponíveis e o recolhimento de dados a partir de tabelas nos formatos *Microsoft Excel* e *Microsoft Project* e textos nos formatos *PDF* e *Microsoft Word*. Em seguida ocorrerá a proposta de melhoria, por meio de um procedimento operacional padrão, para a área de integridade estrutural dentro da gerência de manutenção e gestão de ativos de uma empresa do setor minerário.

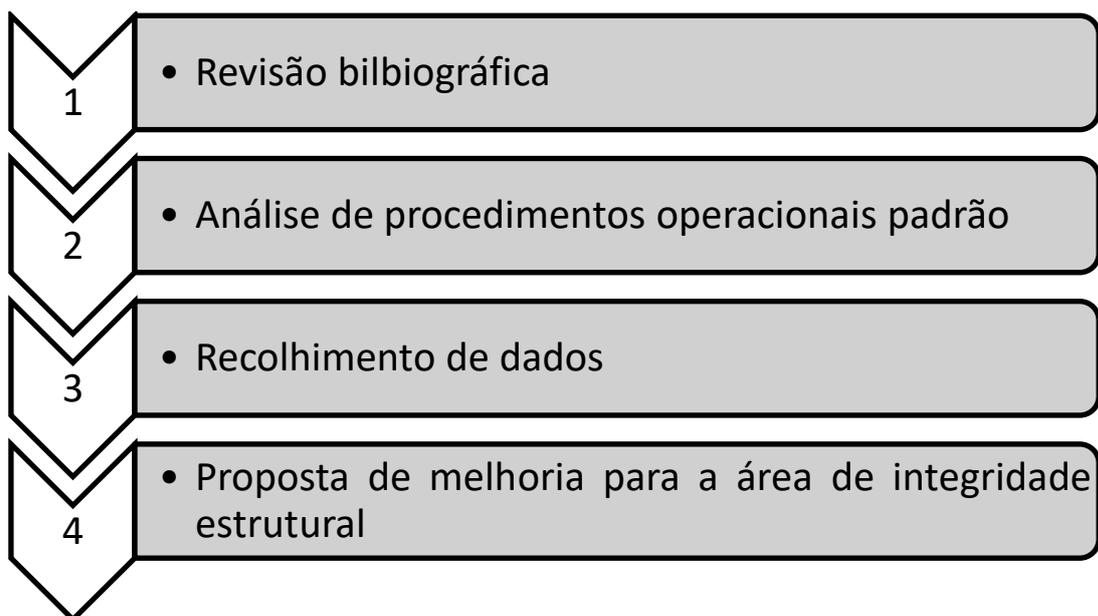


Figura 1 – Fluxograma de materiais e métodos.
 Fonte: Pesquisa direta (2020).

3.3. Variáveis e Indicadores

Consoante a Lakatos e Marconi (2003), uma variável pode ser apontada como uma quantidade variável, uma medida de classificação, um processo que exprime valores, um aspecto, propriedade ou fator de um objeto de estudo que pode ser mensurável.

Para Tadashi e Flores (1997), os indicadores tem como finalidade representar, de forma quantitativa, as características de processos, bem como possibilitar a melhoria, tanto do desempenho como da qualidade, de produtos ao longo do tempo.

Levando em consideração os conceitos apresentados acima, o presente trabalho tem como variáveis e indicadores os dados mostrados na tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis e Indicadores

Variáveis	Indicadores
Procedimento Operacional Padrão	Inventários de ativos estruturais Classificação de criticidade Estratégia de manutenção estrutural Execução das manutenções estruturais

Fonte: Pesquisa direta (2021).

3.4. Coletas de Dados

A coleta de dados, conforme já citado anteriormente, foi feita por meio de livros, *sites*, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses. Também foram consultados documentos de empresas do setor de mineração. Tais registros estavam em formatos de textos (*PDF* e *Microsoft Word*) e tabelas (*Microsoft Excel* e *MS Project*).

3.5. Tabulação dos Dados

Os dados apresentados no capítulo de resultados foram tabulados utilizando o *software Microsoft Excel*, no caso das tabelas, e para os arquivos de texto o *software Microsoft Word*.

3.6. Considerações Finais

Este capítulo abordou a forma como a pesquisa foi realizada, bem como os materiais, métodos, variáveis, indicadores e ferramentas combinados para atingir os objetivos desejáveis deste trabalho. No capítulo seguinte serão apresentados os resultados e discussões com relação a implementação do que foi proposto na introdução do trabalho.

4. RESULTADOS

4.1. Criação de um Procedimento Operacional Padrão

O procedimento operacional padrão, como já visto anteriormente, tem como objetivo padronizar as ações da área ao qual ele está inserido. Para o presente trabalho o POP tem a finalidade de padronizar e nortear as ações ligadas à área de integridade estrutural contida na gerência e manutenção e gestão de ativos de uma empresa do setor de mineração.

Segue na Tabela 3 um POP para a área de integridade estrutural.

Tabela 3 – Procedimento Operacional Padrão

PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP) - INTEGRIDADE ESTRUTURAL			
NOME DA TAREFA	Atividade de integridade estrutural	DATA DE CRIAÇÃO	-
LOCAL DE EXECUÇÃO	Gerência de Manutenção e Gestão de Ativos	PERIODICIDADE DE REVISÃO	Anual
RESPONSÁVEL	Engenheiro de manutenção		
OBJETIVO			
Estabelecer diretrizes para a execução das atividades da área de integridade estrutural.			
PASSO A PASSO			
1 - Inventariar ou catalogar as estruturas pertencentes ao escopo de ações da área de integridade estrutural 2 - Classificar os ativos estruturais quanto ao nível de criticidade 3 - Definir e executar uma estratégia de manutenção estrutural 4 - Executar manutenções estruturais levando em conta as principais atividades pertencentes ao seu escopo: inspeção estrutural, tratamento anticorrosivo e recuperação estrutural 5 - Acompanhar o cumprimento das manutenção e promover melhorias nos processos			
RESULTADOS ESPERADOS			
1 - Promover um ambiente de trabalho nas plantas mais seguro 2 - Garantir operações mais produtivas e com uma maior qualidade 3 - Mitigar falhas ocasionadas por desvios estruturais 4 - Reduzir custos devido à manutenções corretivas 5 - Assegurar um mapeamento efetivo a médio e longo prazos acerca da vida útil dos ativos estruturais			
AÇÕES CORRETIVAS			
1 - Revisar os planos de manutenções estruturais sempre que novos ativos forem inseridos ou retirados do processo 2 - Ao reavaliar as atividades relacionadas à integridade estrutural sempre consultar dados e especificações dos fabricantes			
RESPONSÁVEL: _____ EXECUTOR: _____			

Fonte: Pesquisa Direta (2020).

A Tabela 3 apresenta um procedimento operacional padrão para a área de integridade estrutural. Os tópicos citados no passo a passo do procedimento serão explanados nos tópicos a seguir e consistem em uma gama de ações que devem ser cumpridas para que haja êxito ao aplicar-se o POP na área indicada.

Nota-se também a indicação sobre uma periodicidade anual de revisão do POP, essa ação é necessária para que todos os tópicos do passo a passo, bem como os resultados esperados sejam revistos a fim de manter o documento sempre alinhado aos interesses da área e da empresa.

4.2. Inventários de Ativos Estruturais

A primeira etapa de todo o trabalho de integridade estrutural é inventariar ou catalogar as estruturas pertencentes ao escopo da área. Tal inventário tem como propósito listar, classificar e, posteriormente, auxiliar na seleção de criticidade ou importância do ativo.

Por meio da taxonomia ocorre a classificação sistemática dos equipamentos de uma empresa em uma estrutura hierárquica, partindo de níveis abrangentes até níveis específicos, sendo que cada empresa armazena esses dados da forma que bem entender.

Na Figura 2 há uma classificação hierárquica dos ativos industriais presente na norma ISO 14224 de 2011.

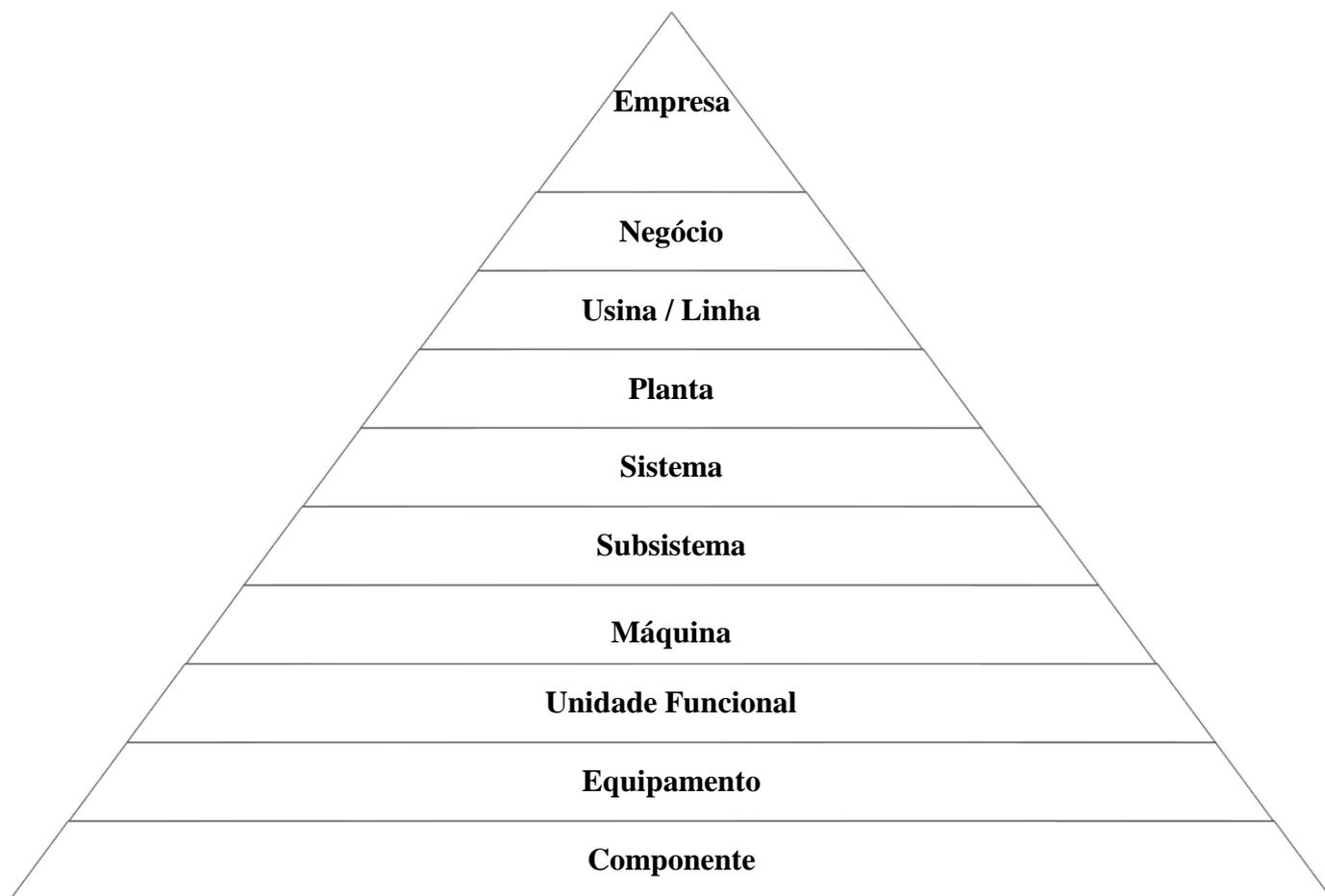


Figura 2 - Representação taxonômica de ativos industriais.

Fonte - Adaptado de ISO 14224 (2011).

Observando a Figura 2 é possível notar a hierarquia para a classificação e armazenamento de dados dos ativos de uma empresa, hierarquia esta que dispõe tanto de locais de instalação quanto de elementos de máquinas, o que facilita a localização dos ativos e a consulta de históricos de tarefas realizadas.

A criação da taxonomia dos ativos que fazem parte do escopo da integridade estrutural é o primeiro passo para que se possa ter a dimensão do desafio da nova área e para que se possa definir quais ativos estarão em seu escopo.

Na Tabela 4 são mostrados os ativos que estão no escopo da integridade estrutural para uma empresa do setor de mineração, que é objeto de estudo neste trabalho.

Tabela 4 – Ativos no escopo da integridade estrutural

Ativos da Integridade Estrutural

Tanques e estruturas de acesso
Estruturas de correias transportadoras
Prédios em estrutura metálica, estruturas mistas e em concreto armado
Estruturas metálicas e concreto com função de abrigo ou armazenagem
Bases de equipamentos (estrutura metálica e concreto)
Linhas de vida
Equipamento fora de estrada (chassis e outras partes estruturais)
<i>Pipe racks</i>
Torres de transmissão
Torres de telecomunicações
Prédios administrativos
Pontes para passagem de veículos ou pessoas
Pontes rolantes, talhas, pórticos, mono vias, cavaletes, guinchos de correia, caminhos de rolamento (em consonância às normas vigentes para cada item)
Torres de iluminação
Elevadores de pessoas e cargas (parte estrutural)
Torres do <i>wind fence</i>
Piéres
Defensas de porto (parte estrutural)
Vasos de pressão (em consonância às normas vigentes para o item)
Armazéns e silos
Galpões e oficinas
Moegas
Equipamentos de Pátios → recuperadoras, empilhadeiras, carregador de navios
Cabines de operação
Portões industriais
Grades de piso
Guarda corpo
Passarelas

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Observa-se na Tabela 4 que é necessário que as normas regulamentadoras de alguns itens que estão dentro do escopo de atividade da integridade estrutural devem ser obedecidas, são os casos de vasos de pressão e pontes rolantes, por exemplo.

É necessário também determinar quais ativos da empresa não entram dentro do escopo da área de integridade estrutural. Para o setor alvo deste trabalho os ativos que não são englobados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Ativos fora do escopo da integridade estrutural

Ativos não pertencentes a Integridade Estrutural

Barragens, diques e taludes

Tubulações

Itens pertencentes aos ativos de inspeção de manutenção que não são escopo da inspeção de rotina da supervisão de Integridade Estrutural (subconjuntos de máquinas) → Cavaletes, rolos, chutes, raspadores, limpadores de correia, balanças, chapas de desgastes, redutores, motores, freios, cabos de aço de sistemas mecânicos, roldanas, polias, guia de contrapeso, roda de caçamba e caçambas, cremalheiras e pinos de cremalheiras, engrenagens, sistemas mecânicos de articulação e giro de equipamentos, pinhões de giro, rolamento de giro, salas elétricas (exceto prédio civil), talhas manuais móveis, garras de trilho, amortecedores, cilindros hidráulicos, rodas ou rodeiros, limpa trilho, trilhos montados nos equipamentos, proteção de máquinas, eletrodutos, eletro calhas, calhas, suportes de antenas e para raios, aterramentos, suportes de eletro dutos ou eletro calhas, equipamentos de oficina, caminhões rodoviários, veículos automotores pequenos, cercas, *outdoor's*, vias de acesso para tráfego de pessoas, veículos ou equipamentos (exceto pontes), itens de acesso, ventilação e acabamento de estruturas prediais (janelas, portas, exaustores, forros de teto, suporte de iluminação, suporte de ar condicionado e ventiladores), bombas, equipamentos de laboratórios, equipamentos de processo (ciclones, distribuidores, separadores magnéticos, injetores de ar, agitadores, mangotes), dutos de polpa e água.

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Os ativos indicados na Tabela 5 pertencem a outras áreas da manutenção, portanto, toda a tratativa relacionada a eles deve ser efetuada por suas respectivas áreas.

4.3. Classificação de Criticidade dos Ativos Estruturais

Após a definição dos ativos que são ou não alvo das atividades relacionadas à área de integridade estrutural, é fundamental classificar esses ativos quanto aos seus níveis de criticidade.

O primeiro passo para classificar a criticidade dos ativos estruturais é realizar uma avaliação de severidade. A Figura 3 apresenta uma matriz de classificação de risco de estruturas como exemplo de uma matriz de severidade.

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCOS DE ESTRUTURAS							
Categoria do Risco	QUANTO A IMPORTÂNCIA DA ESTRUTURA					QUANTO A EXPOSIÇÃO AMBIENTAL	
	Insignificante	Menor	Moderada	Alta	Principais	Categoria de Corrosividade (ISO 12944)	Priorização
Categoria da Estrutura	Estruturas Insignificantes	Estruturas Menores	Estruturas Moderadas	Estruturas Altamente Importantes	Grandes Estruturas	C5 - M Muito Alta (Marinha) Áreas costeiras e offshore com alta salinidade e edificações ou áreas com condensação quase permanente e com alta poluição.	Emergencial
Risco de Segurança	Primeiros socorros	Tratamento médico	CPT	Invalidez permanente única ou única fatalidade	Múltiplas deficiências permanentes ou fatalidades múltiplas	C5 - I Muito Alta (Industrial) Áreas industriais com alta umidade e atmosfera agressiva e edificações com condensação quase permanente e alta poluição.	Crítico
Risco Material / Negócio	Não apresenta danos ao processo produtivo	Danos insignificantes a equipamentos e instalações. O processo produtivo sofre pequena interrupção. Não há perda do controle administrativo	Danos leves a equipamentos e instalações. O processo produtivo sofre pequena interrupção. Não há perda do controle administrativo.	Danos severos a equipamentos e instalações. O processo produtivo sofre pequena interrupção. Não há perda do controle administrativo.	Danos de reparação lenta ou impossível. O processo produtivo pode ficar interrompido por longo período.	C4 Alta Áreas industriais e costeiras com salinidade moderada e ambientes como indústrias químicas e coberturas de piscinas.	Elevada
Efeito de Equipamento Mecânico	Nenhum	Nenhum	Limitado a cargas estáticas	Limitado para vibrações, carga cíclica e fadiga	Inclui respostas dinâmicas e fadiga		

Figura 3 - Matriz de classificação de severidade de estruturas.

Fonte: Pesquisa Direta (2020)

A matriz de classificação de severidade apresentada na Figura 3 avalia quais as consequências de uma eventual falha estrutural do ponto de vista de segurança, meio ambiente e risco ao negócio.

Após a avaliação de severidade, a corrosividade do microclima onde encontra-se o ativo também deve ser avaliada. Vale ressaltar que a corrosividade está diretamente ligada à probabilidade de falha do ativo, ou seja, uma região de maior corrosividade propicia maiores chances de falha estrutural do que uma menos corrosiva.

Na Figura 4 há um exemplo desse tipo de avaliação.

		QUANTO A IMPORTÂNCIA						
		Peso	1	5	10	20	40	
		Peso	Classificação	Insignificante	Menor	Moderada	Alta	Principais
Corrosividade	20	C5- M	20	100	200	400	800	
	13	C5 - I	13	65	130	260	520	
	8	C4	8	40	80	160	320	

Legenda:

Risco muito baixo	0 - 15 pontos
Risco baixo	16 - 49 pontos
Risco médio	50 - 150 pontos
Risco alto	151 - 350 pontos
Risco muito alto	351 - 800 pontos

Figura 4 - Classificação de criticidade de estruturas

Fonte: Pesquisa Direta (2020)

O produto desse exemplo da Figura 4 é a criticidade do equipamento ou estrutura, dada por 5 possibilidades, de risco muito baixo até risco muito alto, onde obtém-se uma ordem de relevância entre os ativos estruturais. Esta ordem de relevância deve ser utilizada para:

- Priorização de recursos orçamentários;
- Definição da ordem de criação de estratégias (quais estratégias devem ser criadas primeiro);
- Definição da ordem de execução de inspeção (quais planos devem ser executados primeiro).

4.4. Estratégia de Manutenção Estrutural

A definição e execução de estratégias para as atividades ligadas à área de integridade estrutural são de suma importância para que haja sucesso no desempenho da área dentro da gerência de manutenção e gestão de ativos de uma empresa.

Os tópicos a seguir indicam a definição e a execução da estratégia para a área de integridade, bem como a estratégia para a atividade de inspeção estrutural, atividade esta que é crucial para nortear ações da integridade estrutural.

4.4.1. Definição da Estratégia

A definição da estratégia de atuação da integridade estrutural é crucial para o direcionamento correto dos esforços de manutenção. A estratégia de manutenção é todo o desenho do processo desde o seu início (inspeção e diagnóstico) até a sua finalização (reparo ou descarte e registro das informações).

É a estratégia, baseada em informações de relatórios, documentos e especificações do fabricante, que tomará a decisão de quais recursos, mão de obra, tempo de parada e outros fatores operacionais relacionados à manutenção da integridade estrutural serão necessários para a realização das atividades de campo.

São exemplos de estratégia possíveis:

- Manutenção preditiva instrumentada;
- Manutenção preditiva sensitiva;
- Manutenção preventiva baseada em condição;
- Manutenção preventiva baseada no tempo;
- Manutenção corretiva programada;
- Manutenção corretiva de emergência.

4.4.1.1. Estratégia e Execução de Inspeções e Diagnóstico Estruturais

A execução de quase a totalidade das estratégias listadas acima depende que se definam, também, estratégias de inspeção ou diagnóstico estrutural. Estas estratégias devem ser definidas de maneira precisa levando em consideração vários fatores específicos das estruturas a serem inspecionadas como tipo da estrutura, local onde encontra-se instalada, finalidade da estrutura, grau de intemperismo e outros.

Estratégias de inspeção devem conter, pelo menos, informações de periodicidade de inspeção e o método a ser utilizado. Este item trata das informações necessárias e das etapas para que o profissional responsável possa criar estratégias de inspeção adequadas para o processo de manutenção da integridade estrutural.

A Figura 5 apresenta as etapas para que haja a correta criação das estratégias.



Figura 5 - Etapas para definição de uma estratégia de inspeção estrutural

Fonte: Pesquisa Direta (2020)

De acordo com a Figura 5, primeiro há a definição do que é ou não ativo estrutural, ou seja, os ativos que entrarão ou não no escopo da integridade estrutural. A seguir ocorre a priorização dos ativos mais críticos e o levantamento dos dados dos mesmos dentro das normas e quesitos legais vigentes. Na sequência há a definição dos métodos de inspeção e ensaios que serão necessários para que os ativos sejam examinados da forma correta e com a periodicidade adequada. Em seguida os planos de inspeção são criados, vão para aprovação e, quando aprovados, geram documentos que gerarão dados históricos acerca das atividades.

Os períodos de execução da inspeção estrutural são definidos de acordo com o ambiente de exposição classificados pelas normas ABNT 8800:2008 e ISO12944-2, esses períodos de inspeção podem ser determinados conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Periodicidade de inspeção de acordo com o ambiente de exposição

Classificação ISO12944 / NBR8800	Estruturas	Periodicidade
C5 – M – P0 (emergência)	Toda estrutura do pátio, todas estruturas do porto	06 meses
C5 – I – P1 (prioritário)	Descarga dos fornos, transportadores de descarga, peneiramento, transportadores de peneiramento, transportadores de transferência para pátio, torres de transferências, precipitadores eletrostáticos	06 meses
C4 – P2 (crítico)	Filtragens, pelotamento, <i>roller press</i> , endurecimento (forno sem a descarga), ventiladores, tubulões de ventiladores, área de reagentes	01 ano
C4 – P3 (importante)	Galpões, tanques, espessadores, <i>pipe rack</i> , <i>cable rack</i>	01 ano

Fonte: Pesquisa Direta (2020).

Na Tabela 6 observa-se que os ativos estruturais podem ser classificados quanto ao grau de prioridade que devem ter para as inspeções e a partir disso são definidos os intervalos de tempo em que devem ser novamente avaliados.

4.4.2. Execução da Estratégia

Uma vez definidas as estratégias de atuação da manutenção da integridade estrutural, o objetivo da mesma só será alcançado se estas estratégias vierem acompanhadas de uma eficaz e eficiente execução em campo.

Para traduzir as estratégias em ações a serem realizadas pelas equipes de execução é necessário que os sites possuam sistemas de manutenção que permitam, minimamente:

- Realizar inspeções regulares e emissão de relatórios por pessoas capacitadas;
- Emitir ordens de serviço e gerenciamento dos trabalhos relacionados a reparos estruturais ou intervenções preventivas;
- Permitir visão de curto, médio e longo prazo das atividades de manutenção necessárias, junto aos seus orçamentos e recursos necessários;
- Sustentar uma rotina de análise de falhas estruturais associada aos respectivos planos de ação;
- Possuir uma estrutura para registro de todos os custos associados às intervenções de manutenção de integridade estrutural.

Do ponto de vista funcional, considerando a execução como um bloco único de processo, pode-se entender a mesma como ilustrado na Figura 6.



Figura 6 - Processo de integridade estrutural

Fonte: Pesquisa Direta (2020)

Como explicitado na Figura 6, para que haja a integridade estrutural como resultado do processo de manutenção da integridade, este deve ser bem executado e para isso é preciso que as entradas, ou seja, os custos do processo, os recursos que serão necessários e a estratégia de manutenção sejam bem planejados.

Adentrando o processo de execução da manutenção da integridade estrutural, é possível identificar os seguintes subprocessos exibidos na Figura 7.

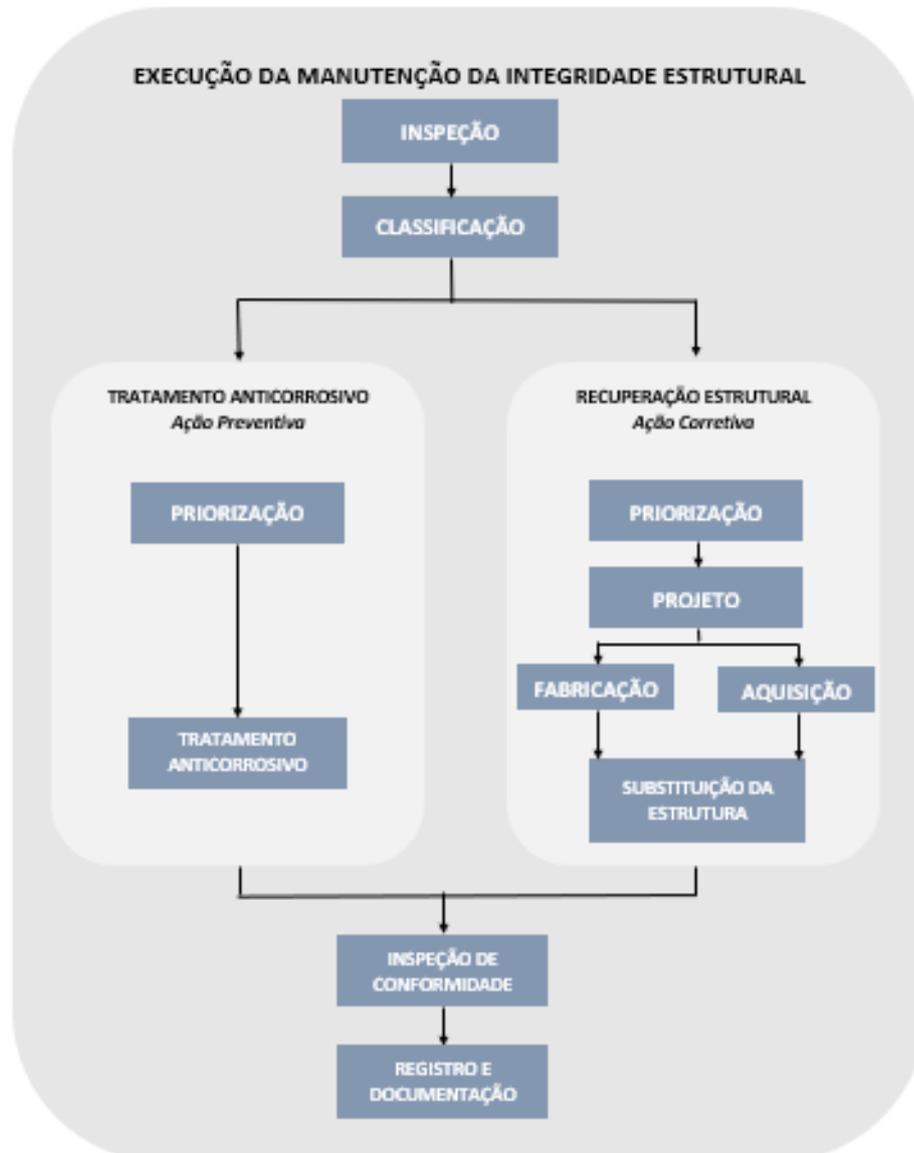


Figura 7 - Subprocessos de execução da manutenção da integridade estrutural.

Fonte: Pesquisa Direta (2020)

Com base na Figura 7 é possível identificar que após o processo de inspeção e classificação das estruturas, as mesmas podem ser tratadas com pintura anticorrosiva como uma medida preventiva ou podem ser recuperadas, ocorrendo a substituição das partes que possuem risco de colapso, uma medida corretiva.

Ambas as atividades, tratamento anticorrosivo e recuperação estrutural, são feitas a partir da priorização de quais ativos receberão primeiro as atividades. Essa priorização obedece aos critérios que a empresa adota como válidos para seus processos.

Após as atividades há uma inspeção de conformidade visando manter um padrão de segurança e de qualidade adequados e, em seguida, o registro documental a fim de estabelecer um histórico para futuras ações.

4.5. Execução de Manutenções Estruturais

A seguir serão apresentados os procedimentos de execução da manutenção da integridade estrutural.

4.5.1. Execução da Inspeção Estrutural

A atividade de inspeção estrutural tem como finalidade examinar as estruturas e avaliar a conformidade das mesmas quanto aos padrões estabelecidos pela empresa e pelas normas vigentes. Sendo assim, o processo de inspeção na manutenção da integridade estrutural, possui os seguintes objetivos principais:

- Avaliar periodicamente a condição das estruturas metálicas e civis das plantas, executando a estratégia de inspeção desenhada (rotas de inspeção);
- Registrar as inspeções formalmente no sistema de manutenção utilizado;
- Garantir histórico de monitoramento das condições das estruturas metálicas e civis para fins legais;
- Fornecer insumos para todo o processo subsequente de manutenção da integridade estrutural.

A equipe de inspeção deve utilizar as mais eficazes ferramentas de monitoramento para cumprir os planos de inspeção estrutural de acordo com a lista de tarefas informadas. Os planos de inspeção estrutural são planejados pela área de integridade estrutural onde são implementadas as rotinas de execuções para conhecer as estruturas nas suas condições de fadiga e corrosão existentes devido ao mecanismo de degradação físico-química encontradas em cada região atmosférica.

4.5.2. Planejamento e Programação de Atividades

Com os planos realizados e as atividades priorizadas no procedimento de inspeção é possível definir o planejamento estratégico de execução para mitigar a degradação das estruturas e diminuir o grau de risco das áreas mapeadas nas inspeções estruturais.

O planejamento de necessidades de intervenções preventivas (tratamento anticorrosivo) e intervenções corretivas (recuperação estrutural) devem alimentar as informações para solicitação de recursos financeiros antes de cada ciclo orçamentário.

Após aprovação dos gastos é possível realizar o planejamento preliminar anual das ordens de manutenção de acordo com a capacidade de execução das equipes e disponibilidade de recursos (guindastes, plataformas móveis, andaimes, tintas, materiais consumíveis e outros) que são necessários para as intervenções.

Sugere-se que sejam realizados regularmente o planejamento de execução dessas ações tanto no âmbito mensal quanto no trimestral pela equipe de integridade estrutural para definir horizonte de planejamento. Estes planejamentos devem ser lançados nas ordens de manutenção (OM's) na plataforma de controle e gestão utilizada pela empresa e aprovados para ativar os recursos necessários para as intervenções.

Após a definição do planejamento de execução das atividades de integridade estrutural a equipe de programação aprovisiona os recursos das ordens de manutenção e define as equipes nas programações semanais das atividades de intervenções.

A programação da execução é responsável pelo acompanhamento dos serviços e de alimentação do *feedback* das atividades de acordo com o planejamento informado nas ordens de manutenção.

4.5.3. Execução de Tratamento Anticorrosivo

De forma geral, para execução de novo tratamento superficial por pintura contra corrosão, o departamento de engenharia responsável deve seguir as seguintes etapas de planejamento:

1. Identificação do sistema de pintura existente, o tipo de corrosão atuante e classificação de ambiente de corrosividade a qual a região se encontra;
2. Especificação do sistema anticorrosivo a ser aplicado;
3. Elaboração de procedimento de pintura;
4. Remoção da camada de pintura existente (se houver) e corrosão para preparação da superfície para aplicação de novo sistema de pintura;
5. Aplicação de novo sistema de pintura;
6. Controle de qualidade e ensaios de acompanhamento;
7. Inspeções de controle de qualidade ao longo da vida útil;

8. Manutenção.

Na etapa 1, onde há a identificação das condições atuais da superfície pintada, haverá uma avaliação acerca do grau de corrosão em que se apresenta a superfície e em qual área o ativo está imerso. Tal avaliação é feita na inspeção de forma sucinta e deve ser reavaliada pela equipe que realizará o processo de pintura, sempre obedecendo às normas vigentes para o processo, a fim de definir quais os produtos mais adequados para a estrutura.

Nas etapas 2 e 3, após feito o dimensionamento do nível de degradação e qual é o ambiente em que esta estrutura está sob influência, há a especificação sobre qual sistema de pintura será utilizado (qual tipo de tinta e como será aplicada) e há também a elaboração do procedimento de pintura com o objetivo de definir o passo a passo das atividades para a criação de um processo.

A etapa 4 consiste na remoção da pintura existente no material (se houver) e remoção da camada de corrosão. Esta preparação da superfície visa promover uma melhor aderência da tinta com o material e criar um perfil adequado de rugosidade capaz de permitir a ancoragem mecânica da primeira demão de tinta de fundo ao substrato. Sendo assim, essa é uma importante etapa no processo de tratamento anticorrosivo.

Dentro da etapa 4 as seguintes tarefas são executadas:

- Limpeza – Deverá ser realizada uma limpeza geral na estrutura metálica, removendo sujeiras antes de se realizar os serviços de pintura. Em alguns locais é necessário que haja uma limpeza com produtos químicos específicos para remoção de óleos e graxas, ou ainda, utilização de ferramentas mecânicas (escovas de aço, por exemplo) em locais onde há incrustações mais pesadas;
- Hidrojateamento – Após a limpeza ocorre o jateamento de água sob a superfície que remove contaminantes e materiais estranhos;
- Jateamento abrasivo – É o método mais eficiente para a remoção da camada de óxidos e outras substâncias depositadas sobre a superfície, empregando abrasivos (granalha de aço, escória de cobre, óxido de alumínio, bauxita sinterizada) projetados a altas pressões. Este tipo de limpeza é mais recomendável por apresentar grande eficiência, limpeza adequada e deixar na superfície uma rugosidade excelente para uma boa ancoragem da película de tinta. Quanto melhor o grau de limpeza e maior o perfil de

rugosidade, maior será a adesão das tintas e melhor o desempenho e a durabilidade do esquema de pintura.

Na próxima etapa é feita a aplicação da nova camada de pintura com o objetivo de deixar o material protegido contra futuros processos de corrosão. Cada demão de tinta aplicada deve ter uma espessura uniforme, isenta de defeitos tais como porosidades, escorrimento, enrugamento, empolamento, fendilhamento, bolhas, crateras e impregnação de sujidades e abrasivos, a norma brasileira NBR 14951 (2003) trata sobre os parâmetros para reconhecimento de defeitos de pintura aplicados em superfícies metálicas e deve ser consultada em caso de dúvidas. Durante a aplicação e a secagem da tinta, devem ser tomadas as devidas providências a fim de se evitar a contaminação da superfície por cinzas, sal, poeira e outras matérias estranhas.

A etapa 6 trata sobre o controle de qualidade que deve ser realizado na pintura por meio da execução de ensaios não destrutivos durante e após a realização dos serviços. Nessa etapa é realizado o acompanhamento de aplicação da pintura por meio de um pente úmido, a verificação da espessura da película de tinta seca utilizando o aparelho específico, e utilização de ensaios de aderência da tinta seca e ensaios de *Holiday Detector* para localizar possíveis falhas de discontinuidades na superfície pintada.

Na etapa 7 verifica-se a necessidade de inspeções de controle de qualidade ao longo de toda a vida útil do ativo estrutural com a finalidade de manter sempre os materiais em boas condições e verificar se há a necessidade de troca do tipo de tinta utilizado.

Após todo o processo de tratamento anticorrosivo inicial é necessário que haja um processo de manutenção periódica conforme a demanda de cada estrutura conforme citado na etapa 8.

4.5.4. Execução de Recuperação Estrutural

De forma geral, para execução de readequações ou recuperação estrutural, o departamento de engenharia responsável pela execução dos trabalhos deve seguir as seguintes etapas de planejamento:

1. Identificação do sistema estrutural existente, suas solicitações, esforços e causas do dano;
2. Projeto básico;

3. Projeto executivo;
4. Projeto de montagem;
5. Aplicação do sistema de pintura;
6. Controle de qualidade e ensaios de acompanhamento em todas as etapas de fabricação e montagem;
7. *Data book* na conclusão dos trabalhos.

Durante a etapa 1 é realizado o estudo e avaliação do sistema estrutural existente verificando os esforços suportados pela estrutura e quais as causas do dano sofrido pela mesma para que ocorra um parecer adequado e, conseqüentemente, uma solução de recuperação estrutural pertinente para o problema.

Nas etapas 2, 3 e 4 são apresentados os projetos que envolvem o processo de recuperação estrutural dos ativos incluídos nesse tipo de manutenção. Nessas fases há a concepção e aprovação dos projetos através de desenhos, simulações de cargas, tolerâncias dimensionais, elementos de fixação que constituem a montagem, materiais das estruturas, ambientes onde tais estruturas estão imersas, tipo de solda a ser utilizada, deslocamentos previstos, ferramentas e equipamentos necessários para a execução das atividades, entre outros inúmeros parâmetros de projetos.

São nessas fases também onde ocorrem as definições sobre os critérios que devem ser obedecidos durante a fabricação e transporte das novas estruturas que substituirão as antigas degradadas, bem como os elementos associados a elas (parafusos, porcas, arruelas, entre outros).

Durante essas etapas os projetos devem ser revisados várias vezes a fim de garantir que a recuperação ocorrerá sem desvios aos padrões impostos pela empresa e para que haja total segurança durante o processo e após este ter ocorrido.

A etapa 5 constitui a fase de pintura das novas estruturas fabricadas. Aqui deve-se respeitar as normas utilizadas pela empresa no processo de pintura industrial e para proteção contra corrosão.

Os mesmos ensaios utilizados para verificação da qualidade da pintura na execução do tratamento anticorrosivo também devem ser realizados nessa etapa 6 com o objetivo de verificar se a pintura realizada durante a fabricação das novas peças está consoante às normas e padrões empregados pela empresa.

Nesta etapa 6 também há a verificação, tanto na fábrica quanto no campo antes da montagem, sobre as dimensões das peças fabricadas com o propósito de certificar que tais peças estão de acordo com o que foi aprovado em projeto.

Após a conclusão dos serviços de desmontagem das estruturas antigas e montagem das novas estruturas, deve ocorrer a inspeção de campo por um fiscal que avaliará a qualidade da nova montagem quanto ao tipo de solda, pintura de retoque utilizada e se todas as tarefas previstas foram de fato realizadas.

Por fim, na etapa 7, a empresa que efetuou o processo de recuperação estrutural deve entregar um *data book* contendo todas as informações acerca das atividades realizadas no ativo estrutural desde os desenhos de projeto e aprovações, passando pelas etapas de fabricação, até a parte final de montagem. Este procedimento visa catalogar as substituições realizadas em cada ativo para a criação de um histórico que fornecerá dados para futuras manutenções.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

O objetivo do trabalho foi determinar diretrizes através de um procedimento operacional padrão gerando melhorias para a área de integridade estrutural como parte da gerência de manutenção e gestão de ativos em uma empresa do ramo de mineração.

Como ponto de partida foi realizada uma pesquisa exploratória somada a um estudo teórico com o propósito de dar um embasamento científico a um conjunto de práticas já realizadas em algumas empresas.

Em seguida definiu-se a metodologia a ser utilizada que foi qualitativa, bibliográfica e exploratória, visando indicar uma resolução para a pergunta problema com base em dados não numéricos coletados em documentos, livros, artigos, entre outros, levando a melhoria proposta.

Através da utilização do procedimento operacional padrão espera-se que as atividades relacionadas à área de integridade estrutural sejam padronizadas e com isso haja um alinhamento entre os planos teóricos utilizados e as atividades práticas que devem ser obedecidas. Espera-se também que por meio dessa padronização haja um planejamento a médio e longos prazos adequados acerca da vida útil dos ativos estruturais. Com isso haverá a mitigação de falhas estruturais, a promoção de um ambiente de trabalho mais seguro e, conseqüentemente, redução nos custos com manutenções corretivas, bem como aumento da produtividade das operações e agregação de valor ao produto final.

5.2. Recomendações

Ao propor como melhoria a criação de um procedimento operacional padrão para a área de integridade estrutural, observou-se algumas oportunidades para trabalhos futuros, tais como:

- Tratamento anticorrosivo para a área de integridade estrutural: quais materiais e métodos utilizados;
- Processo de recuperação de estruturas: o passo a passo para confecção de projeto e fabricação no processo de recuperação estrutural na área de conservação estrutural de empresas;

- Integridade estrutural nas empresas do setor minerário: criação de medidas de avaliação de desempenho e controle de qualidade das ações de integridade estrutural como parte da gestão de ativos e gerência de manutenção de empresas de mineração.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRAMAN. **Associação Brasileira de Manutenção.** Disponível em: https://abramanoficial.org.br/page/gestao_de_ativos. Acesso em 14 de março de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/eavargas2512/nbr-5462-2>. Acesso em 13 de março de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6181: Classificação dos meios corrosivos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008. Disponível em: https://engcivil20142.files.wordpress.com/2018/03/nbr8800_2008_1.pdf. Acesso em 13 de março de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14224: Indústrias de petróleo e gás natural — Coleta e intercâmbio de dados de confiabilidade e manutenção para equipamentos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2011. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/42405/nbriso14224-industrias-de-petroleo-e-gas-natural-coleta-e-intercambio-de-dados-de-confiabilidade-e-manutencao-para-equipamentos>. Acesso em 13 de março de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12944-2: Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 2: Classification of environments.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017. Disponível em: <https://abraco.org.br/src/uploads/2020/07/ISO-12944-2-FPI-P-Classificacao-de-Ambientes-Corrosivos.pdf>. Acesso em 13 de março de 2021.

ALYRIO, Rovigati Danilo. **Métodos e técnicas de pesquisa em administração.** Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCUMBÚSTIVEIS (ANP). **Regulamento técnico do Sistema Gerenciamento da Integridade Estrutural das Instalações Terrestres de Produção de Petróleo e Gás Natural (RTSGI).** 2009.

ASSUMPCÃO, M. E. **Avaliação de Integridade Estrutural de um tanque concentrado de minério de ferro através do método dos elementos finitos**. Dissertação de Mestrado, Belo Horizonte, dezembro, 2015.

BARAN, Leandro Roberto. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada na Redução de Falhas: um estudo de caso**. 2011. 102f. Dissertação (Especialização em Gestão Industrial: Produção e Manutenção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção: 2**. Livros Técnicos e Científicos, 2005.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica de manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

DUARTE, Arnaldo Mateus Simões. **Acompanhamento e análise da degradação em componentes mecânicos**. 2010. Tese de Doutorado.

DUTRA, A. C.; NUNES, L. P. **Proteção Catódica: Técnicas de Combate a Corrosão**. Ed. Técnica, São Paulo, 1987.

ESSEL ENGENHARIA. **Ensaaios Visuais**. Disponível em: <<https://essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa18.pdf>>. Acesso em 19 de abril de 2020.

FACHINELLI, Ana Cristina; ALBERDI, Alazne Mujika. **Integridade estrutural da Inteligência Estratégica: uma avaliação em uma Corporação Cooperativa**. BBR-Brazilian Business Review, v. 11, n. 3, p. 81-105, 2014.

FERREIRA, Livia Lima. **Implementação da central de ativos para o melhor desempenho do setor de manutenção: um estudo de caso Votorantim Metais**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

FRAZÃO, Márcia. **O que são ativos de uma empresa: Tipos de ativos na contabilidade**. Disponível em: <<https://investorcp.com/gestao-ativo-imobilizado/o-que-sao-ativos-de-uma-empresa/>>. Acesso em 15 de abril de 2020.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Tipos de Corrosão**; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-corrosao.htm>. Acesso em 17 de abril de 2020.

- FOGLIATO, Flavio; RIBEIRO, José Luís Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Elsevier Brasil, 2009.
- GENTIL, Vicente. **Corrosão. Livros Técnicos e Científicos**. Editora SA. Quarta Edição, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.
- GIL, Antonio Carlos et al. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.
- HIBBELER, Russell C. **Dinâmica: mecânica para engenharia**. Pearson Education do Brasil, 2005.
- KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. **Manutenção-função estratégica**. Qualitymark Editora Ltda, 2009.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica (Atlas SA)**. São Paulo: Atlas SA, 2003.
- MARCORIN, Wilson Roberto; LIMA, Carlos Roberto Camello. **Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos**. Revista de ciência & tecnologia, v. 11, n. 22, p. 35-42, 2003.
- MONBRAY, I. **Reliability Centered Maintenance**. Butterworth. 1991.
- NUNES, Enon Laércio et al. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 2001.
- NUNES, Laerce de Paula; LOBO, Alfredo Carlos O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. 2ª edição, 1998.
- OAKLAND, John. **Gerenciamento da qualidade total**. NBL Editora, 1994.
- OSADA, Takashi; YOSHIKAZU, Takahashi. **TPM/MPT – Manutenção Produtiva Total**. São Paulo: IMAN, p. 5-25, 1993.
- OTANI, Mario; MACHADO, Waltair Vieira. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2008.

- PANNONI, Fábio Domingos. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. Gerdau Açominas, 2004.
- PASTOUKHOV, Viktor A. **Introdução à mecânica da integridade estrutural**. UNESP, 1995.
- PEREIRA, L. M. P. **Gestão de ativos: Estudo de caso em Empresa em Telecomunicação**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, abril, 2016.
- PETRUCCI, Eladio GR. **Materiais de Construção**. 2ª edição. Editora Globo, 1976.
- PINTO, Alan Kardec; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**, Qualitymark. Rio de Janeiro, 2007.
- PROMAR, Tratamento Anticorrosivo. **Tratamento anticorrosivo para metais**. Disponível em: <<https://www.promarpintura.com.br/tratamento-anticorrosivo-metals>>. Acesso em 24 de abril de 2020.
- PULLAN, Wendy; BHADSHIA, Harshad (Ed.). **Structure: in science and art**. Cambridge University Press, 2000.
- RICARDO, Octavio Gaspar. **Introdução a resistência dos Materiais**. Universidade De Campinas, 1977.
- RICHARDSON, M. **Fundamentos da Metodologia científica**. São Paulo, 1999.
- SILVA, Júlio Nunes Santos da. **Incidências de manifestações patológicas: O caso das estruturas do centro de convenções da Bahia**. Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.
- SOUZA, SS de; LIMA, C. R. C. **Manutenção centrada em confiabilidade como ferramenta estratégica**. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção, 2003.
- TADACHI, N. T.; FLORES, Mario Cesar Xavier. **Indicadores da Qualidade e do Desempenho**. 1997.
- TAVARES, Lourival Augusto. **Administração moderna da manutenção**. Rio de Janeiro: Novo Polo, 1999.
- VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM - Planejamento e Controle da manutenção**. Qualitymark Editora Ltda, 2002.

YOSHINO, A. M. Estudo comparativo de múltiplos casos da contribuição da gestão de ativos. Dissertação de Mestrado, Ouro Preto-MG, 2016.

XENOS, H. G. Gerenciando a Manutenção Preventiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.