UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

IGOR ABRAÃO DE ABREU RIBEIRO DA SILVA

MÉTODOS DE INSPEÇÃO POR ENSAIOS NÃO DESTRUVIVOS: TREINAMENTO E CAPACITAÇÃO INTERNA PARA UMA EMPRESA

OURO PRETO - MG
2022

IGOR ABRAÃO DE ABREU RIBEIRO DA SILVA

igoraabreu@gmail.com

MÉTODOS DE INSPEÇÃO POR ENSAIOS NÃO DESTRUVIVOS: TREINAMENTO E CAPACITAÇÃO INTERNA PARA UMA EMPRESA

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

Professor orientador: Savio Sade Tayer, DSc.

OURO PRETO – MG
2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586m Silva, Igor Abraao De Abreu Ribeiro da.
Métodos de inspeção por ensaios não destrutivos [manuscrito]: treinamento e capacitação interna para uma empresa. / Igor Abraao De Abreu Ribeiro da Silva. - 2022.
60 f.: il.: color., gráf., tab..

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

1. Manutenção preditiva. 2. Inspeção. 3. Ensaios não destrutivos. I. Tayer, Savio Sade. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

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

Igor Abraão de Abreu Ribeiro da Silva

Métodos por inspeção de ensaios não destrutivos: treinamento e capacitação interna para uma empresa.

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

Aprovada em 09 de junho de 2022

Membros da banca

MSc - Sávio Sade Tayer - Orientador Universidade Federal de Ouro Preto
DSc - Luis Antônio Bortolaia - Universidade Federal de Ouro Preto
DSc Zirlene Alves da Silva Santos -Universidade Federal de Ouro Preto

Sávio Sade Tayer, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 09/06/2022

Documento assinado eletronicamente por **Savio Sade Tayer**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/06/2022, às 14:56, 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 **0353229** e o código CRC **ED322CED**.

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

A Deus, dedico mais esta etapa vencida; a meus pais, pelo apoio.

À meus irmãos, pela cumplicidade; e meus amigos, pela parceria. E todos que estiveram presente nessa caminhada

À Escola de Minas e à Ouro Preto!

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Sávio, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

Aos professores do curso de Engenharia Mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

À todos os amigos feitos em Ouro Preto.

Ao Rock N' Roll, sempre presente em minha caminhada.

Aos irmãos republicanos.

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor. Mas lutamos para que o melhor fosse feito. Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser, mas graças a Deus não somos o que éramos”.

Martin Luther King

R E S U M O

Silva, Igor Abraão de Abreu Ribeiro: **Métodos de inspeção por ensaios não destrutivos: treinamento e capacitação interna para uma empresa,** 2022 (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

Os métodos de inspeção por ensaios não destrutivos compreendem grande parte da inspeção feita para manutenção preditiva de equipamentos e estruturas, sendo que essas são usualmente utilizadas por empresas do ramo de mineração e construção civil e, portanto, passam por inspeções periódicas de seus componentes. Entretanto, muitas dessas empresas não possuem um departamento próprio de inspeções para o cumprimento das normas que estão previstas, necessitando terceirizar o serviço. Em vista disso, esta pesquisa analisa os requisitos para internalizar esse serviço na empresa do estudo de caso. O objetivo central deste trabalho é abordar o ganho que empresas podem atingir investindo em capacitação e qualificação do próprio pessoal para realização de inspeções técnicas por ensaios não destrutivos, com certificação de acordo com a Norma. Para atingir seus objetivos, na metodologia desta pesquisa utilizou-se de revisão bibliográfica, de Normas Técnicas e de pesquisa empírica. Propõe-se, assim, o treinamento e capacitação de uma parte dos funcionários da empresa do estudo de caso para a qualificação em inspeções de alguns dos métodos de ensaios não destrutivos. Através da proposta desta pesquisa, a empresa fica apta a realizar as seguintes inspeções: ensaio visual, líquido penetrante, ultrassom e partícula magnética, em seus próprios equipamentos. Por fim, analisa-se de que forma o investimento em treinamento e qualificação possibilita a obtenção de melhorias nos processos dentro da área de manutenção dessas empresas.

Palavras-chave: Ensaios não destrutivos. Inspeção. Manutenção preditiva.

ABSTRACT

The inspection methods for non-destructive testing comprise a large part of the inspection done for predictive maintenance of equipment and structures, which are usually used by companies in the mining and construction industries and, therefore, undergo periodic inspections of their components. However, many of these companies do not have their own inspection department to comply with the standards that are set, and need to outsource the service. In view of this, this research analyzes the requirements to internalize this service in the case study company. The central objective of this work is to approach the gain that companies can achieve by investing in training and qualification of their own personnel to carry out technical inspections by non-destructive testing, with certification according to the Standard. To achieve its objectives, the methodology of this research used a literature review, Technical Standards and empirical research. It is proposed, therefore, the training and qualification of part of the employees of the case study company for the qualification in inspections of some of the methods of non-destructive testing. Through the proposal of this research, the company will be able to perform the following inspections: visual test, penetrant liquid, ultrasound and magnetic particle, in its own equipment. Finally, it is analyzed how the investment in training and qualification makes it possible to obtain improvements in the processes within the maintenance area of these companies.

Key-words: Non-destructive testing. Inspection. Predictive maintenance.

LISTA DE SÍMBOLOS

ABENDI – Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeções

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção

CP – Correntes Parasitas

EA – Emissão Acústica

END – Ensaio Não Destrutivo

EV – Ensaio Visual

ER – Ensaio Radiográfico

NBR – Norma Brasileira de Regulamentação

LP – Líquido Penetrante

PM – Partículas Magnéticas

SNQC/END – Sistema Nacional de Qualificação de Certificação de Pessoas em Ensaios Não Destrutivos

ST – Ensaio de Tensão

TI – Ensaio Termográfico por Infravermelho

US – Ultrassom

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de inspeção por líquido penetrante. 14

Figura 2 - Princípio básico da inspeção de materiais por ultrassom. 16

Figura 3 - Peça contendo uma trinca superficial, dando origem ao campo de fuga. 17

Figura 4 - Foto da esquerda mostrando a peça antes da inspeção por partículas e a foto da direita mostrando a trinca originada do furo. 17

Figura 5 - Arranjo básico utilizado para a realização do ensaio radiográfico. 18

Figura 6 - Imagem radiográfica da peça. 19

Figura 7 - Inspeção por ultrassom da chapa de um tubo. 20

Figura 8 - Fluxograma do trabalho. 25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da Manutenção 7

Tabela 2 - Principais características dos ensaios Não Destrutivos 13

Tabela 3 - Símbolos dos métodos END 20

Tabela 4 - Requisitos mínimos de treinamento. 22

Tabela 5 - Variáveis e Indicadores 26

Tabela 6 - Equipamentos inspecionados periodicamente 28

Tabela 7 - Funcionários de nível técnico da equipe 29

Tabela 8 - Métodos de inspeção utilizados 30

Tabela 9 - Nível 1 de END 31

Tabela 10 - Nível 2 de END 32

Tabela 11 - Requisitos mínimos de treinamento de acordo com o método e nível de qualificação pretendido 33

Tabela 12 - Carga horária de treinamento 35

Tabela 13 - END's que a empresa poderá realizar. 36

Tabela 14 - Métodos de END para equipamentos da empresa 36

Tabela 15 - Métodos, níveis e subníveis de qualificação. 37

Tabela 16: Valores de certificações em LP 38

Tabela 17: Valor gasto com inspeção de LP 39

Tabela 18: Vantagens do treinamento interno em END. 40

Tabela 19: Desafios do treinamento interno em END. 41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 Formulação do Problema 1
1.2 Justificativa 4
1.3 Objetivos 4
1.3.1 Geral 4
1.3.2 Específicos 5
1.4 Estrutura do Trabalho 5

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 6
2.1 Manutenção 6
2.2 Evolução da Manutenção 6
2.3 Tipos de Manutenção 8
2.3.1 Manutenção Corretiva 8
2.3.2 Manutenção Preventiva 9
2.3.3 Manutenção Preditiva 10
2.4 Ensaios Não Destrutivos 11
2.4.1 Líquido Penetrante 13
2.4.2 Ultrassom 15
2.4.3 Partículas Magnéticas 16
2.4.4 Ensaio Radiográfico 17
2.4.5 Medição de Espessuras 19
2.5 Norma ISO 9712 20
2.6 Qualificação e Certificação do Pessoal 21
2.7 Considerações Finais 22

3 METODOLOGIA 23
3.1 Tipo de Pesquisa 23
3.2 Materiais e Métodos 24
3.3 Variáveis e Indicadores 26
3.4 Instrumento de Coleta de Dados 26
3.5 Tabulação de dados 27
3.6 Considerações Finais 27

4 RESULTADOS 28

4.1 Caracterização da Empresa 28
4.2 Métodos de Inspeção Utilizados nos Equipamentos 29
4.3 Norma NBR ISO 9712 31
4.3.1 Níveis de Qualificação 31
4.3.2 Treinamento do Pessoal 32
4.3.3 Qualificação do Pessoal 33
4.3.4 Certificação do Pessoal 33
4.4 Proposta de Implantação do Projeto 34
4.4.1 Exemplos de métodos que serão aplicados na empresa 35
4.4.2 Relação custo-benefício da proposta 38
4.4.3 Vantagens da implantação do projeto 40

5 CONCLUSÃO 42
5.2 Recomendações 42

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 44

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Com a demanda mundial em alta e as necessidades de produção cada vez maiores, é indispensável para toda indústria a manutenção de todos os seus equipamentos de operação, visando sempre o bom estado e funcionamento das máquinas - além de garantir a segurança dos operadores. Diante disso, a inspeção periódica dessas estruturas e equipamentos torna-se extremamente necessária para que esses possam estar funcionando perfeitamente, nos mais variados ambientes.

Formalmente, segundo a NBR 5462 (1994, p. 6), a manutenção é "a combinação de 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".

Segundo Xenos (2004), as atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações causadas pelo seu desgaste natural e pelo uso, e esta degradação manifesta-se de diversas formas.

A manutenção pode ser dividida em várias frentes; de acordo com Xenos (2004), para indústria é a combinação de três tipos que credibilizam todo esse processo, sendo elas: manutenção corretiva; preventiva; e preditiva.

Xenos (2004) classificou essas manutenções da seguinte maneira:

- Manutenção Corretiva: é aquela feita após a ocorrência de alguma falha. Evita-se a perda por parada de produção, na detecção e resolução do problema no menor tempo;
- Manutenção Preventiva: esta é feita periodicamente e envolve algumas tarefas sistemáticas, como inspeções, reformas, troca de peças, etc. Uma vez estabelecida, deve ter um caráter obrigatório;
- Manutenção Preditiva: verificada quando os componentes e peças dos equipamentos são trocados antes que atinjam seu limite de vida, estendendo os intervalos de manutenção.

De acordo com Almeida (2014), a manutenção preventiva é aquela planejada e controlada, realizada em datas predeterminadas, de modo a manter a máquina ou o equipamento em corretas condições de funcionamento e conservação, evitando paradas imprevistas. O

planejamento é possível utilizando-se a documentação das operações de manutenção corretiva realizadas (Ficha de Execução de Operações de Manutenção Corretiva), além das informações sobre a vida útil das peças fornecidas pelo fabricante (ALMEIDA, 2014).

Segundo Kardec & Nascif (2010), a manutenção preventiva pode ser definida da seguinte forma: é a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.

Kardec & Nascif (2010) ainda acrescentam que através de técnicas preditivas é feito o monitoramento da condição e a ação de correção, quando necessária, é realizada através de uma manutenção corretiva planejada.

Além disso, pode-se utilizar dos conhecimentos dos ensaios não destrutivos para entender a situação do equipamento em função da sua condição. Logo, os Ensaios Não Destrutivos (END), que serão amplamente abordados nesta pesquisa, caracterizam alguns tipos de inspeção dentro da manutenção preventiva e preditiva para análise de possíveis falhas em componentes e estruturas. Segundo Andreucci (2014), trata-se de testes executados para verificar a condição e integridade de peças ou componentes mecânicos sem que estes sofram algum dano ou mudança de suas propriedades, através do uso de alguns equipamentos e dispositivos.

Os END’s estão entre as principais ferramentas do controle da qualidade de materiais e produtos e são amplamente utilizados nos setores de petróleo/petroquímico, químico, aeroespacial, siderúrgico, naval, eletromecânico, de papel/celulose, dentre outros. Eles contribuem para a qualidade dos bens e serviços, reduções de custos, além da preservação da vida e do meio ambiente, sendo fator de aumento da competitividade para as empresas que os utilizam. (ABENDI, 2022).

As técnicas de Ensaios Não Destrutivos são bastante utilizadas para inspeção de peças e materiais metálicos, pois são capazes de informar sobre descontinuidades, degradações e defeitos na estrutura original destes, a fim de identificar futuras falhas que poderão ocorrer devido a inúmeras variáveis às quais esses materiais estão expostos.

De acordo com a NBR 9712 (2010, p. 1), os Ensaios Não Destrutivos são realizados pelos seguintes métodos: Líquido Penetrante; Ultrassom; Correntes Parasitas; Termografia; Emissão Acústica; Radiografia; Radioscopia; Estanqueidade; Partículas Magnéticas; e Ensaio Visual. Entretanto, nesta pesquisa iremos abordar os ensaios de Líquido Penetrante; Ensaio Visual; Ultrassom; Controle Dimensional; e Partículas Magnéticas.

Segundo a Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção – ABENDI (2022), para que se obtenham resultados satisfatórios e válidos para os END, os seguintes itens devem ser considerados como elementos fundamentais:

- Pessoal treinado, qualificado e certificado;
- Equipamentos calibrados; e
- Procedimentos de execução de ensaios qualificados com base em normas e critérios de aceitação previamente definidos e estabelecidos.

Portanto, para realização dessas atividades é necessário dedicação e competência para cumprir com os requisitos que são dispostos, pois estes demandam o conhecimento de uma série de técnicas para que sejam aplicados da maneira correta e segura.

O trabalho proposto vai analisar as técnicas e estratégias de manutenção através das inspeções por END para serem aplicadas à manutenção de máquinas, peças, tubulações, vasos de pressão e outros equipamentos. O intuito é fomentar a capacitação dentro das próprias empresas a inspecionar essas máquinas, peças e estruturas, a fim de evitar elevados gastos com a terceirização desses serviços e a indisponibilidade de equipamentos.

As empresas do ramo de mineração, indústria e construção civil ou que trabalham com equipamentos e estruturas de risco passam por inspeções periódicas de seus componentes. Os END compreendem grande parte dessas inspeções, sendo grande aliado na detecção de possíveis falhas.

A questão é que a maioria dessas empresas não possui um departamento próprio de inspeções técnicas que possa realizar Ensaios Não Destrutivos, ficando refém de outras empresas para o cumprimento das normas que estão previstas na lei. Desse modo, por parecer mais viável do ponto de vista burocrático, o serviço normalmente é terceirizado.

Outro fator é a baixa vigência do laudo técnico que é gerado após a realização de uma inspeção, uma vez que este vence em poucos meses. É o que ocorre no ensaio por líquido penetrante, que em algumas peças tem validade de seis meses. Assim, criam-se ciclos de necessidade de um mesmo serviço e, diante disso, é gerada uma demanda por melhorias de processos dentro da área de manutenção dessas empresas.

Diante desse contexto, tem-se a seguinte problemática:

Como treinar e capacitar um grupo de trabalhadores de uma empresa para realizar inspeção técnica por Ensaio Não Destrutivo?

1.2 Justificativa

A manutenção preditiva pode ser a solução ideal para falhas em equipamentos, pois consiste em definir o melhor momento para intervenção, a partir da medição e acompanhamento das variáveis importantes na operação dos equipamentos (VAZ, 1997).

De acordo com uma pesquisa realizada em 1999 pela ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção), 45% das indústrias entrevistadas pretendiam aumentar seu quadro de profissionais de manutenção. Esta tendência ocorre devido à preocupação das grandes empresas em todo o mundo, que dependem do bom funcionamento de seus equipamentos para não gerar prejuízos, buscar sempre reduzir custos com manutenções e tempo médio de assistência de suas máquinas, e também buscam manter a disponibilidade física dessas.

O Brasil é um dos países com mais mineradoras em atividade no mundo e as inspeções fazem parte da rotina de empresas que trabalham em todo esse nicho da mineração, assim como na construção civil, siderúrgica, etc. Muitas dessas estruturas passam por inspeções em intervalos bem curtos de tempo, necessitando de contratação constante de um mesmo serviço, ao passo que, se essa empresa escolhe alguns funcionários e investe em capacitação e treinamento, obtém requisito mínimo para atender às normas e realizar internamente várias inspeções de controle de qualidade.

A função principal desta pesquisa é abordar o ganho que empresas podem atingir investindo em capacitação e qualificação do próprio pessoal para realização de inspeções por Ensaios Não Destrutivos, com certificação dentro da Norma, sem necessitar contratar outrem por esses serviços.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar como métodos de inspeção por Ensaios Não Destrutivos podem acrescentar melhorias técnicas na manutenção de uma empresa, através de treinamento e qualificação, que podem ser aplicados a várias corporações - mineração, siderúrgica, construção civil, dentre outros ramos -, observando técnicas e normas utilizadas nacional e internacionalmente.

1.3.2 Específicos

- Realizar um estudo teórico em relação à manutenção preditiva, tipos de inspeções e suas aplicações, Ensaios Não Destrutivos e normas que devem ser seguidas;
- Elaborar procedimento metodológico de desenvolvimento para o projeto que será apresentado à empresa;
- Apresentar as vantagens que empresas podem ter adotando esses procedimentos dentro da própria organização;
- Ressaltar as vantagens técnicas para confirmação do estudo proposto.

1.4 Estrutura do Trabalho

Esta pesquisa é apresentada de acordo com as normas técnicas da ABNT e do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Feral de Ouro Preto e está dividida em 5 capítulos, que serão dispostos da seguinte maneira:

No primeiro, dá-se início à introdução do tema, apresentando a formulação do problema, juntamente com a justificativa e os seus objetivos.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica por trás de todo este estudo proposto sobre inspeções e Ensaios Não Destrutivos. Neste tópico, são abordados os conceitos com os quais a literatura trata essas técnicas.

O terceiro, por sua vez, apresenta a metodologia que foi adotada nesta pesquisa, além das ferramentas utilizadas.

No quarto capítulo são relatadas as discussões e resultados encontrados a partir desta pesquisa.

Por fim, o quinto e último capítulo será encerrado com as conclusões e recomendações tiradas da pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

Segundo Monchy (1987), o termo “manutenção” tem sua origem no vocábulo militar, cujo sentido era manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material num nível constante de aceitação.

A palavra “manutenção” deriva do latim *manus tenere*, que significa manter o que se tem. A manutenção está presente na história humana desde o desenvolvimento de instrumentos de produção (VIANA 2002).

Kardec e Nascif (2009) destacam que a manutenção industrial é como garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações, de modo a atender a um processo de produção e à preservação do meio ambiente com confiabilidade, segurança e custos adequados.

Em 1975, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou a norma TB-116, que definiu o termo “manutenção” como:

> O conjunto de todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição desejada. A ABNT Anos mais tarde, em 1994, a NBR-5462 trazia uma revisão do termo como sendo a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinada a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (ABNT, 1994).

Durante a história, autores como Xenos (2004), Kardec e Nacif (2010) e Monchy (1987) definiram conceitos para a manutenção; esses conceitos vão além de apenas reparar ou voltar um produto à sua função original, mas envolvem um caráter de responsabilidade não só técnica, como econômica, operacional e até humana.

2.2 Evolução da Manutenção

De acordo com Viana (2002), com o decorrer da revolução industrial no século XVII, houve um grande aumento na capacidade de produção, exigindo também formas de manter a disponibilidade dos equipamentos. Este processo evolutivo da cadeia de produção passa por Taylor em 1900, até o advento da Segunda Guerra Mundial, quando o aumento de produção fez com que a manutenção se firmasse como uma necessidade na cadeia produtiva.

Apesar de existirem na indústria pessoas responsáveis pela manutenção, como salienta Branco Filho (2008), estas ainda eram subordinadas à função de operação e executavam

manutenção corretiva emergencial, o que implicava em conserto após falha e eventual indisponibilidade da máquina. Apenas com a II Guerra Mundial, no final da década de 1930, e com a necessidade de produções cada vez maiores e mais enxutas, é que se começou a praticar o monitoramento de máquinas e equipamentos com base no tempo, caracterizando o que hoje se conhece por manutenção preventiva. Segundo o autor, desta forma a função manutenção, corretiva e preventiva, viria a assumir dentro da indústria posição hierárquica igual à da função produção.

De acordo com Kardec e Nascif (2009), nos últimos 50 anos o setor de manutenção passou por diversas mudanças e sofreu grande evolução. Esses autores dividem tal evolução em quatro gerações, historicamente, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Evolução da Manutenção

Evolução da manutenção				
	Primeira geração	Segunda geração	Terceira geração	Quarta geração
Ano	1940 1950	1960 1970	1980 1990	2000 2010
Aumento das expectativas em relação à manutenção	•Conserto após falha	•Disponibilidade crescente •Maior vida útil do equipamento	•Maior confiabilidade •Maior disponibilidade •Maior relação custo benefício •Preservação do meio ambiente	•Maior confiabilidade •Maior disponibilidade •Preservação do meio ambiente •Segurança •Influir nos resultados do negócio •Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do equipmento	•Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham	•Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	•Existência de seis padrões de falha (Nowlan & Heap e Moubray)	•Reduzir drasticamente falhas prematuras (Nowlan & Heap e Moubray)
Mudanças nas técnicas de manutenção	•Habilidades voltadas para o reparo	•Planejamento manual da manutenção •Computadores grandes e lentos •Manutenção preventiva (por tempo)	•Monitoramento da condição •Manutenção preditiva •Análise de risco •Computadores pequenos e rápidos •Softwares potentes •Grupos de trabalho multidisciplinares •Projetos voltados para a confiabilidade •Contratação por mão de obra e serviços	•Aumento da manutenção preditiva e monitoramento de condição •Minimização nas manutenções preventiva e corretiva não planejada •Análise de falhas •Técnicas de confiabilidade •Manutenibilidade •Engenharia de manutenção •Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e custo do ciclo de vida •Contratação por resultados

Fonte: Kardec e Nascif (2009).

A partir de 1980, com o desenvolvimento dos microcomputadores a custos mais acessíveis e controles mais simples, as equipes de manutenção adquiriram maior independência para criar e aplicar seus programas, sem necessidade de analista externo à área. Isso possibilitou enorme avanço no manejo de informações e análise de dados que envolviam manutenção e produção. Houve grande aproximação dessas duas áreas, que buscaram trabalhar com sinergia para otimizar qualidade e produtividade (TAVARES, 2000).

Portanto, apenas após a quarta geração é que se começa a ter um controle melhor sobre as atividades de manutenção. Além disso, nessa fase a alta confiabilidade e disponibilidade são as expectativas em relação à manutenção. A manutenção preditiva se torna a mais importante, pelo monitoramento e inspeção das peças e componentes, e faz com que as manutenções corretivas sejam indicadores de problema, ineficiência ou má administração da manutenção.

2.3 Tipos de Manutenção

De acordo com Viana (2002), muitos autores abordam os vários tipos de manutenções possíveis, que nada mais são do que as formas como são encaminhadas as intervenções nos instrumentos de produção. Mas, para Xenos (2004), podem existir diferentes maneiras de classificar os vários métodos de manutenção. A classificação utilizada pelo autor segue abaixo:

- Manutenção Corretiva;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Produtiva.

2.3.1 Manutenção Corretiva

De acordo com a NBR 5462 (1994, p. 7), “a manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane ou de uma falha destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”.

Dessa forma, segundo Viana (2002), a dita Manutenção Corretiva é a intervenção necessária imediatamente para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente; configura-se em uma intervenção aleatória, sem definições anteriores, sendo mais conhecida nas fábricas com o termo “apagar incêndios”.

Para Pinto e Xavier (1999), a manutenção corretiva pode ser dividida em:

- Manutenção corretiva não planejada: é a correção da falha de maneira aleatória. Caracteriza-se pela atuação da manutenção em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor do que o esperado. Não há tempo para preparação do serviço e normalmente implica em altos custos;
- Manutenção corretiva planejada: é a correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, ou seja, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra do equipamento. A eficácia da manutenção corretiva planejada é função da qualidade da informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento.

De acordo com Almeida (2000), poucas plantas industriais usam uma filosofia verdadeira de gerência por manutenção corretiva. Em quase todos os casos, as plantas industriais realizam tarefas preventivas básicas, como lubrificação e ajustes da máquina, mesmo em um ambiente de manutenção corretiva. Entretanto, o mais importante, segundo o autor, é que ao adotar esse tipo de filosofia, as máquinas e equipamentos da planta não são revisados e não passam por grandes reparos até a falha.

2.3.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é aquela que é predeterminada em intervalos de tempo para evitar a ocorrência de alguma falha. Segundo Slack (2002), ela visa eliminar ou reduzir as probabilidades de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações em intervalos de tempo pré-planejados.

Para Xenos (2004), a manutenção preventiva deve ser a atividade principal de manutenção em qualquer empresa. Ela envolve algumas tarefas sistemáticas, tais como as inspeções, reformas e trocas de peças, principalmente. Uma vez estabelecida, a manutenção preventiva deve ter caráter obrigatório. Xenos (2004) acrescenta que, se comparada com a manutenção corretiva – somente do ponto de vista do custo de manutenção –, a manutenção preventiva é mais cara, pois as peças têm que ser trocadas e os componentes reformados antes de atingirem seus limites de vida.

De acordo com Xenos (2004), em compensação, a frequência da ocorrência de falhas diminui, a disponibilidade dos equipamentos aumenta e também diminuem as interrupções inesperadas da produção. Mais adiante, o autor agrega que, se considerarmos o custo total, em várias situações a manutenção preventiva acaba sendo mais barata que a manutenção corretiva,

pelo fato de ter domínio das paradas dos equipamentos, ao invés de se ficar sujeito às paradas inesperadas por falhas nos equipamentos.

As pautas preventivas são definidas através de uma pré-análise dos técnicos de manutenção e esta singularidade proporciona uma redução drástica no fator improvisação. Desta forma, o índice de qualidade do serviço alcança um nível bem mais alto que em um ambiente alicerçado basicamente em corretivas (VIANA, 2002).

Ainda de acordo com Viana (2002), um dos fatos mais desagradáveis no cotidiano da produção é uma pane inesperada, o que ocasiona, além de uma parada no processo de fabricação, aumentando assim os custos de manutenção e produção, também um mal-estar na equipe de execução e planejamento, configurando um contraponto do objetivo primeiro da Manutenção Industrial. O autor também acrescenta que as preventivas reduzem bastante estes acontecimentos, proporcionando o controle sobre o funcionamento dos equipamentos e um elevado grau de autoestima nos homens e mulheres da manutenção, que desta forma admitem alguns desvios (panes inesperadas) em seu plano, pois têm a certeza de se tratar de um acontecimento isolado, facilmente administrável.

2.3.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva possui o objetivo principal de antecipar e encontrar a raiz de problemas em máquinas e equipamentos. De acordo com Otani e Machado (2008), é a manutenção que realiza acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir o instante correto da intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo.

Segundo Xenos (2004), a manutenção preventiva é uma modalidade mais cara, olhando apenas o custo da manutenção, pois as peças e componentes dos equipamentos são trocados ou reformados antes de atingirem seus limites de vida. O autor complementa que a manutenção preditiva permite otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes, além de estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estarão próximos do seu limite de vida.

De acordo com Kardec e Nascif (2002), é possível obter várias técnicas de monitoração para a verificação da modificação de algum parâmetro estabelecido. Essas técnicas podem ser classificadas segundo a grandeza medida, o defeito e a aplicabilidade. Dentre elas, as mais aplicadas são:

- Ensaios Elétricos (Corrente, tensão e isolação);
- Análise de Vibrações (Nível global, espectro de vibrações e pulsos de choque);
- Análise de Óleos (Viscosidade, teor de água e contagem de partículas);
- Análise de Temperatura (Termometria convencional e indicadores de temperatura); e
- Energia Acústica (Ultrassom e emissão acústica).

Essas técnicas de manutenção por monitoramento e inspeção são realizadas por métodos de Ensaios Não Destrutivos (END).

Segundo Almeida (2014), com a manutenção preditiva é possível indicar as reais condições de funcionamento da máquina de acordo com dados obtidos a partir dos fenômenos apresentados por ela quando alguma peça começa a se desgastar ou alguma regulagem é necessária. O autor acrescenta que este tipo de manutenção baseia-se em inspeções periódicas, em que fenômenos como temperatura, vibração e ruídos excessivos são observados por meio de instrumentos específicos.

2.4 Ensaios Não Destrutivos

Uma definição geral de Ensaio Não Destrutivo (END), pode ser encontrada na obra de Hellier (2003):

> Se trata de um exame, teste ou avaliação realizada em qualquer tipo de objeto de teste sem alterar esse objeto em qualquer forma, a fim de determinar a ausência ou presença de condições ou descontinuidades que pode ter um efeito sobre a utilidade ou capacidade de manutenção desse objeto. Teste não destrutivo também pode ser conduzido para medir outras características do objeto de teste, como tamanho; dimensão; configuração; ou estrutura, incluindo teor de liga, dureza, tamanho de grão, etc. A mais simples de todas as definições é basicamente um exame que é realizado em um objeto de qualquer tipo, tamanho, forma ou material para determinar a presença ou ausência de descontinuidades, ou para avaliar outras características do material. Exame não destrutivo, inspeção não destrutiva e avaliação não destrutiva também são expressões comumente usadas para descrever esta tecnologia. Embora essa tecnologia esteja em uso há décadas, ela ainda é geralmente desconhecida pela pessoa média, que a considera garantido que os edifícios não irão desabar, os aviões não irão cair e os produtos não irão falhar. Embora os END não possam garantir que as falhas não ocorrerão, ele desempenha um papel significativo minimizando as possibilidades de falha. Outras variáveis como projeto inadequado e aplicação inadequada do objeto, podem contribuir para a falha mesmo quando o END é aplicado de forma adequada (HELLIER, 2003, p. 22).

De acordo com Vieira (2013), os END consistem na aplicação de metodologias e técnicas de ensaio que visam analisar a sanidade de vários tipos de materiais, peças ou mesmo

equipamentos soldados, fundidos, forjados, laminados, dentre outros. O autor ainda complementa que, deste modo, é possível detectar falta de homogeneidade e defeitos através de princípios físicos definidos, sendo que ensaios não intrusivos não provocam qualquer alteração nos mesmos.

Os END's incluem métodos capazes de proporcionar informações a respeito do teor de defeitos e/ou descontinuidades de um determinado produto, das características tecnológicas de um material ou, ainda, da monitoração da degradação em serviço de componentes, equipamentos e estruturas (SANTOS, 1999).

De acordo com Hellier (2003), os testes não destrutivos podem ser usados efetivamente para:

- Exame de matérias-primas antes do processamento;
- Avaliação de materiais durante o processamento como meio de controle de processo;
- Exame de produtos acabados; e
- Avaliação de produtos e estruturas, uma vez que foram colocados em serviço.

Segundo o site Revista do Parafuso (2019), dentre as principais técnicas de Ensaios Não Destrutivos, têm-se como as mais utilizadas, atualmente:

- Inspeção Visual;
- Líquido Penetrante;
- Estanqueidade;
- Ultrassom;
- Radiografia;
- Partículas Magnéticas;
- Emissão Acústica;
- Correntes Parasitas.

A Tabela 2 apresenta alguns desses Ensaios Não Destrutivos e suas características:

Tabela 2 - Principais características dos ensaios Não Destrutivos

	Material Inspecionado	Defeitos Localizados	Custo de Equipamentos	Custo Operacional
Líquido Penetrante	Metálico e não metálico	Superficiais	Sem custo	Alto
Partículas Magnéticas	Somente ferromagnéticos	Superficiais e internos	Médio a alto	Baixo
Correntes Parasitas	Metais ferrosos e não ferrosos	Superficiais	Médio a alto	Baixo
Raio X	Praticamente qualquer material	Internos	Alto	Alto
Ultrassom	Qualquer material que conduza som	Internos	Médio a alto	Médio

Fonte: Revista do Parafuso (2009).

2.4.1 Líquido Penetrante

De acordo com Hellier (2003), o líquido penetrante (LP) é um dos métodos de teste não destrutivos mais amplamente usados para a detecção de descontinuidades superficiais em materiais sólidos não porosos. É quase certo que é o método de END de superfície mais usado hoje, porque pode ser aplicado virtualmente a qualquer material magnético ou não magnético. Mais adiante, Hellier (2003) acrescenta que o LP fornece à indústria uma ampla gama de sensibilidades e técnicas que o torna especialmente adaptável a uma ampla gama de tamanhos e formas. É extremamente útil para exames realizados em locais remotos de campo, pois é extremamente portátil. Segundo o autor, o método também é muito apropriado em um ambiente de tipo de produção, no qual muitas peças menores podem ser processadas em um período relativamente curto de tempo.

Para Mix (2005), geralmente, alguma preparação das peças é necessária antes do teste de líquido penetrante. Inicialmente, as peças devem estar limpas e livres de objetos estranhos e revestimentos que podem ocultar defeitos de superfície ou causar falsas indicações. Mais adiante, o autor acrescenta que o tratamento químico ou outros meios adequados devem remover contaminantes sólidos, como tintas, vernizes, materiais de núcleo e molde, e

revestimentos de carbono. Segundo Mix (2005), ferrugem, escama, fiapos e sujeira também devem ser removidos das placas de aço, porque esses materiais tendem a prender o líquido penetrante, produzindo falsas indicações. Uma escovação suave com escovas de arame macias geralmente limpará a superfície das peças de aço comuns.

De acordo com Andreucci (2003), o método consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido. Após a remoção do excesso de líquido da superfície, faz-se sair da descontinuidade o líquido retido através de um revelador. A imagem da descontinuidade fica então desenhada sobre a superfície.

Andreucci (2003) ainda descreve o método desse ensaio em seis principais etapas, quais sejam:

a) Preparação da superfície - Limpeza inicial;

b) Aplicação do Penetrante;

c) Remoção do excesso de penetrante;

d) Revelação;

e) Avaliação e Inspeção; e

f) Limpeza pós-ensaio.

A Figura 1 mostra as etapas desse método:

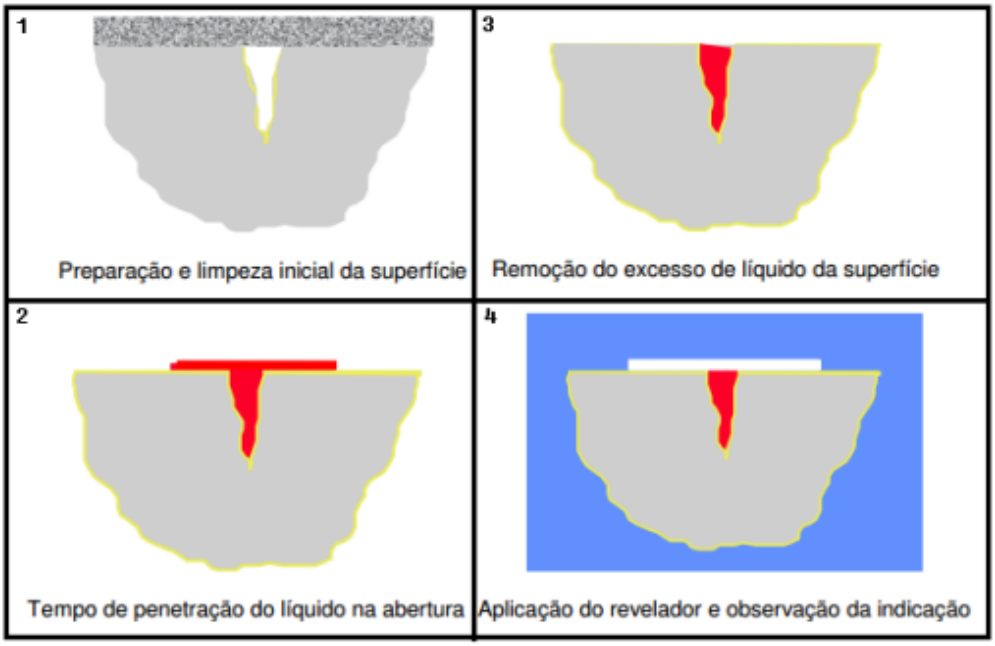

Figura 1 - Etapas de inspeção por líquido penetrante.
Fonte: Andreucci, 2003.

O ensaio ou inspeção é de grande simplicidade, tanto em sua execução, quanto na análise de seus resultados. As análises geralmente são baseadas na forma e volume das indicações, levando em consideração as normas pertinentes (ANDREUCCI, 2016).

Portanto, esse ensaio consiste, basicamente, em: após a limpeza prévia da superfície da peça, aplica-se um líquido com baixa viscosidade, que penetra nas descontinuidades, nas quais este fica retido, mesmo com a remoção do excesso. A seguir, aplica-se um revelador - que normalmente é um talco - em suspensão para sugar o líquido retido das descontinuidades e criar um contraste para visualização. Após visualizar as descontinuidades, realiza-se a avaliação com padrões predeterminados.

2.4.2 Ultrassom

De acordo com Andreucci (2014), o ensaio por ultrassom caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou formas de materiais ferrosos ou não ferrosos.

Tais defeitos são caracterizados pelo próprio processo de fabricação da peça ou componentes a serem examinados, como, por exemplo: bolhas de gás em fundidos, dupla laminação em laminados, micro-trincas em forjados, escórias em uniões soldadas e muitos outros (ANDREUCCI, 2014).

As ondas sonoras são simplesmente vibrações das partículas que constituem um sólido, líquido ou gás. Como uma forma de energia, são, portanto, um exemplo de energia mecânica, e segue-se que, uma vez havendo algo para vibrar, as ondas sonoras não podem existir no vácuo (HELLIER, 2003)

De acordo com Andreucci (2014), os sons produzidos em um ambiente qualquer refletem-se ou reverberam nas paredes que consistem os mesmos, podendo ainda ser transmitidos a outros ambientes. Fenômenos como esse são frequentes e constituem os fundamentos do ensaio de ultrassom nos materiais.

Para Andreucci (2014), assim como uma onda sonora reflete ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultrassônica, ao percorrer um meio elástico, que pode ser um metal, plástico, concreto, etc., refletirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna neste meio considerado.

Através de aparelhos especiais, detectamos as reflexões provenientes do interior da peça examinada, localizando e interpretando as descontinuidades. No exemplo abaixo, o feixe sônico do transdutor incidiu na falha, ocorrendo uma reflexão captada pelo mesmo transdutor, enviando o sinal ao aparelho, mostrada na tela em forma de um pulso ou eco (ANDREUCCI, 2014).

A Figura 2 apresenta o princípio básico de uma inspeção por ultrassom:

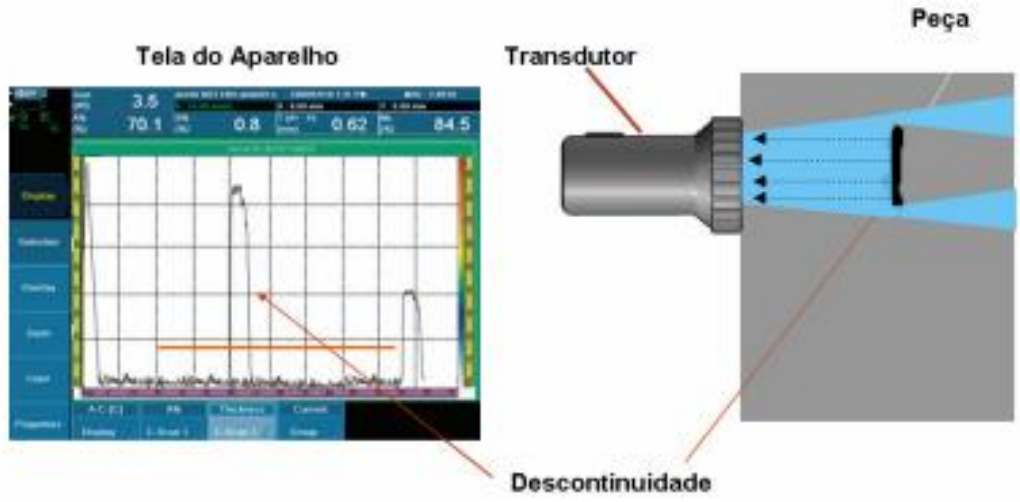

Figura 2 - Princípio básico da inspeção de materiais por ultrassom.
Fonte: Andreucci, 2014.

Segundo Mix (2005), as vantagens do ensaio de ultrassom incluem:

- Poder ser usado para determinar propriedades mecânicas e microestrutura;
- Poder ser usado para imagens e microscopia;
- Ser portátil e econômico;
- Poder ser usado com todos os estados da matéria, exceto plasma e vácuo; e
- Não ser afetado pela densidade óptica.

2.4.3 Partículas Magnéticas

De acordo com Junior e Marques (2006), o método de ensaio por partículas magnéticas é utilizado para a detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos, sendo um método rápido e relativamente fácil de ser aplicado. Segundo os autores, a detecção de descontinuidades é feita por meio de campos magnéticos aplicados ao material e o uso de pequenas partículas de materiais magnéticos, que se acumulam nas regiões da superfície do material, no qual ocorre uma fuga de fluxo magnético, ocasionada pela presença de uma descontinuidade.

Segundo Andreucci (2016), o ensaio consiste em induzir um campo magnético na peça ou parte desta que se deseja inspecionar. Desta forma, as descontinuidades do material irão gerar uma fuga do campo magnético induzido na peça e, com a ajuda de partículas ferromagnéticas, estas descontinuidades podem ser evidenciadas, pois ocorrerá uma aglomeração de partículas onde ocorrer a fuga do fluxo magnético. Assim, o ensaio por partículas magnéticas é um detector de campos de fuga, que são evidenciados pela presença de acúmulos de partículas.

A Figura 3 mostra o campo de fuga:

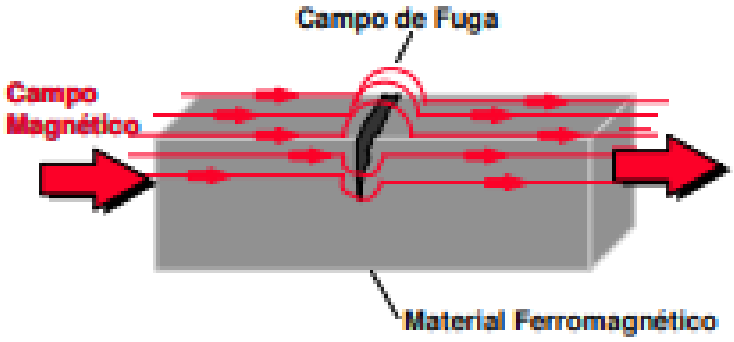

Figura 3 - Peça contendo uma trinca superficial, dando origem ao campo de fuga.
Fonte: Andreucci, 2014

A Figura 4 apresenta um material que passou pelo ensaio de partículas magnéticas e apresentou o seguinte resultado:

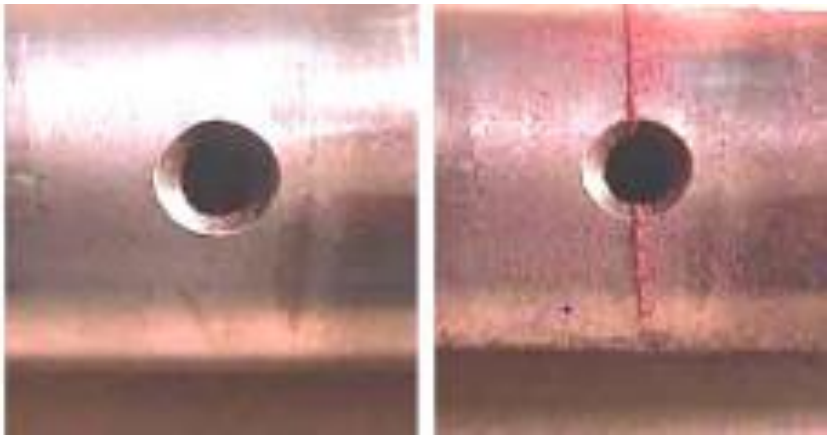

Figura 4 - Foto da esquerda mostrando a peça antes da inspeção por partículas e a foto da direita mostrando a trinca originada do furo.
Fonte: Andreucci, 2014

2.4.4 Ensaio Radiográfico

Segundo Andreucci (2009), o ensaio radiográfico baseia-se na absorção diferenciada da radiação pela matéria. Consiste, basicamente, em fazer passar um feixe de radiação X, radiação γ ou nêutrons através do objeto em estudo e registrar as características da radiação emergente

do objeto utilizando um meio adequado, como um filme radiográfico, uma tela fluorescente ou dispositivos eletrônicos de detecção da imagem radiográfica (JUNIOR e MARQUES, 2006).

Na figura 5, pode ser observado o arranjo básico para a realização do ensaio radiográfico, pelo qual uma peça com diferentes espessuras e com dois tipos de descontinuidades passa por um feixe de radiação:

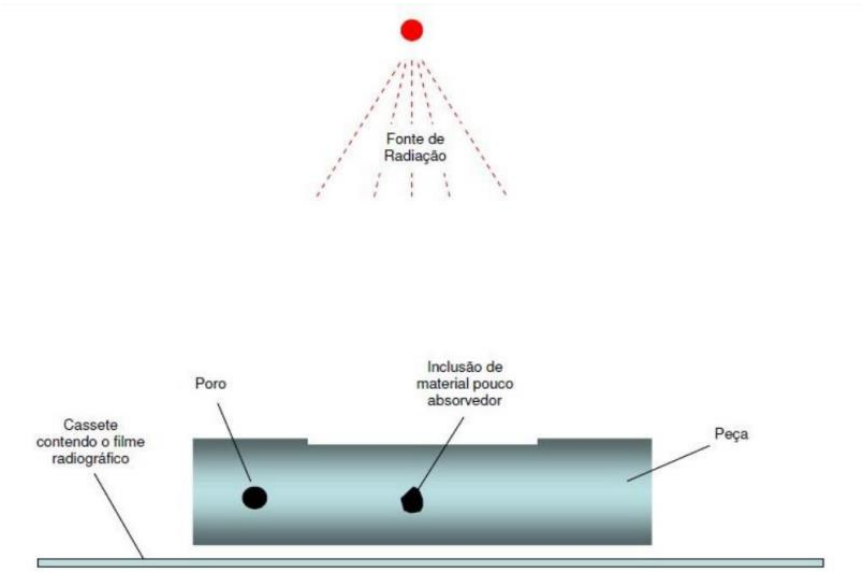

Figura 5 - Arranjo básico utilizado para a realização do ensaio radiográfico.
Fonte: Junior & Marques, 2006.

A porção do feixe de radiação que atravessa as regiões da peça com maior espessura sofre uma maior absorção, o contrário ocorrendo com as regiões com menor espessura. Na imagem radiográfica, portanto, as regiões mais espessas da peça apresentarão uma tonalidade mais clara do que as regiões menos espessas. A porção do feixe de radiação que atravessa a região onde se localiza o poro também sofrerá uma menor absorção; consequentemente, a imagem radiográfica resultante apresentará uma tonalidade escura. O mesmo ocorre com a inclusão de um material pouco absorvedor, como, por exemplo, uma escória: caso o coeficiente de absorção da inclusão seja maior que do material base, a região da imagem radiográfica correspondente à posição da inclusão apresentará uma tonalidade tanto mais clara quanto maior for a absorção da radiação (JUNIOR e MARQUES, 2006).

A Figura 6 apresenta como é formada a imagem radiográfica obtida durante a inspeção de uma peça, indicando pontos de maior e menor espessura.

Figura 6 - Imagem radiográfica da peça.
Fonte: Junior & Marques, 2006.

2.4.5 Medição de Espessuras

De acordo com Pereira (2013), a medição de espessuras por ultrassons é uma técnica amplamente utilizada nos END para medir a espessura de vários materiais. Os primeiros medidores de espessuras comerciais que utilizaram os ultrassons foram introduzidos no final de 1940. O autor ainda acrescenta que só em 1970 é que surgiram os primeiros equipamentos portáteis otimizados para uma ampla variedade de aplicações. Mais tarde, os avanços na tecnologia de microprocessadores levaram a novos equipamentos de elevado desempenho - equipamentos esses de fácil utilização e bastante pequenos.

Segundo Andreucci (2014), este método é utilizado em aplicações críticas relacionadas com a segurança e qualidade, envolvendo soldaduras estruturais, vigas de aço, forjados, fundidos, oleodutos, tanques, motores de avião, de automóveis, turbinas, cascos de navios, e muitas outras aplicações importantes. Para o autor, até mesmo na ciência humana a primeira imagem de um feto foi obtida por ultrassons.

A Figura 7 apresenta um ensaio de ultrassom para controle dimensional realizado em uma chapa de tubo de aço:

Figura 7 - Inspeção por ultrassom da chapa de um tubo.
Fonte: Andreucci, 2014.

2.5 Norma ISO 9712

A NBR 9712 (2010, p. 1) - Norma MERCOSUL - estabelece uma sistemática para a qualificação e certificação de pessoal para realizar Ensaios Não Destrutivos (END) em qualquer um dos seguintes métodos:

Tabela 3 - Símbolos dos métodos END

Símbolo	**Método de END**
EA	Ensaio de Emissão Acústica
CP	Correntes Parasitas
TI	Ensaio Termográfico por Infravermelho
PM	Ensaio por Partículas Magnéticas
LP	Ensaio por Líquidos Penetrantes
ER	Ensaio Radiográfico
ES	Ensaio de Tensão
US	Ensaio por Ultrassom
EV	Ensaio Visual

Fonte: NBR NM ISO9712 (2010) – (adaptado).

De acordo com a NBR 9712 (2010, p. 1), a eficácia para a utilização de qualquer Ensaio Não Destrutivo depende da capacidade das pessoas que realizam ou são responsáveis pelo ensaio. Neste sentido, desenvolveu-se um procedimento para assegurar uma forma de avaliação e de documentação da competência do pessoal, cujas tarefas exigem um conhecimento teórico e prático apropriados sobre os Ensaios Não Destrutivos que eles realizam, especificam, supervisionam, monitoram ou avaliam.

Mais adiante, a NBR 9712 (2010, p. 1) complementa que uma vantagem adicional advém do fato de haver uma comparabilidade mundial, de uma ampla gama de aplicações industriais, que requerem abordagens similares dos Ensaios Não Destrutivos.

2.6 Qualificação e Certificação do Pessoal

A certificação na Norma NBR ISSO 9712 dá ao operador um atestado de competência geral em END. Ela não representa uma autorização para realizar os ensaios, uma vez que a responsabilidade continua sendo do empregador e o funcionário certificado pode ter a necessidade de conhecimentos adicionais especializados sobre os parâmetros do equipamento, de procedimentos de END, materiais e produtos do empregador. Quando exigida por requisitos e códigos regulatórios, a autorização para exercer a função será dada por escrito pelo empregador, de acordo com o procedimento de qualidade que define os treinamentos e exames exigidos pelo empregador para uma função específica, destinados a comprovar o conhecimento do profissional certificado, relevante para os códigos industriais, padrões, procedimentos de END, equipamento e critérios de aceitação dos produtos ensaiados (NBR 9712, 2010).

A Tabela 3 apresenta a duração mínima de treinamento para um profissional obter a certificação, dentro da Norma, de Ensaios Não Destrutivos:

Tabela 4 - Requisitos mínimos de treinamento.

		Nivel 1 / *Nível 1*	Nivel 2 / *Nível 2* Total, h	Nivel 3 / *Nível 3* Total, h
		h	(incluyendo Nivel 1 / *incluindo Nível 1*)	(incluyendo Nivel 2 / *incluindo Nível 2*)
EA		40	104	150
CI / *CP*		40	104	150
TI		40	120	160
EF / *ES*	A Conocimientos básicos / *Conhecimento básico*	8	24	36
	B Método de presión / *Método de pressão*	14	45	66
	C Método del gas trazador / *Método de gás traçador*	18	54	78
PM		16	40	60
LP		16	40	60
RI / *ER*		40	120	160
ET/ST		16	40	60
US		40	120	160
EV		16	40	64

Fonte: NBR NM ISO9712 (2010) – (adaptado).

Portanto, essa Norma Mercosul tem como objetivo especificar os requisitos mínimos necessários para qualificação e certificação de um profissional para realizar os Ensaios Não Destrutivos (END). O processo de qualificação do Inspetor pode ser feito através de cursos e treinamentos por órgãos como a ABENDI, ou também através de outras empresas do ramo que possuam a ISO / IEC 17027.

2.7 Considerações Finais

Diante da revisão bibliográfica apresentada neste capítulo, pode-se ter uma compreensão maior sobre os conceitos por trás dos Ensaios Não Destrutivos, os quais auxiliaram na elaboração deste estudo. Os princípios da manutenção mecânica e gestão da manutenção, além do conhecimento de inspeções técnicas e suas Normas, foram fundamentais para a fundamentação teórica ser empregada na prática.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

De acordo com Gil (2002), pode-se definir pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. É desenvolvida mediante conhecimentos disponíveis e a utilização cuidadosa de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos e desenvolve-se ao longo de um processo que envolve inúmeras fases, desde a adequada formulação do problema até a satisfatória apresentação dos resultados.

Quanto à elaboração de um projeto, segundo Gil (2002), este depende de inúmeros fatores; o primeiro e mais importante deles refere-se à natureza do problema. Rigorosamente, um projeto só pode ser definitivamente elaborado quando se tem o problema claramente formulado, os objetivos bem determinados, assim como o plano de coleta e análise dos dados.

Para Vergara (1998), o planejamento da pesquisa é o processo sistematizado que pode conferir maior eficiência à investigação para em determinado prazo alcançar o conjunto de metas estabelecidas.

Em relação à forma de abordagem de uma pesquisa, é possível classificá-la de duas formas: quantitativa e qualitativa.

- O modelo quantitativo estabelece hipóteses que exigem, geralmente, uma relação entre causa e efeito e apoia suas conclusões em dados estatísticos, comprovações e testes. Esse modelo tem a intenção de garantir a precisão dos resultados, evitar distorções de análise e interpretação (GRESSLER, 2004).
- A abordagem qualitativa é utilizada quando se busca descrever a complexidade de determinado problema, não envolvendo manipulação de variáveis e estudos experimentais. Por meio dela, reúnem-se informações sobre os fenômenos investigados com o uso de entrevistas abertas e não direcionadas, depoimentos, histórico de ocorrência dos fatos, estudo de casos (GRESSLER, 2004).

Este estudo pretende analisar quantitativamente a implementação, dentro da Norma, de procedimentos de inspeções por Ensaios Não Destrutivos dentro de uma empresa, através de treinamento, qualificação e certificação de pessoal próprio.

De acordo com Vergara (1998), uma pesquisa pode ser classificada, quanto aos fins, como sendo exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada e intervencionista. E, quanto aos meios de investigação, como sendo pesquisa de campo, pesquisa de laboratório, telematizada, documental, bibliográfica, experimental, ex *post facto*, participante, pesquisa-ação e estudo de caso.

A investigação exploratória é realizada em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado. Por sua natureza de sondagem, não comporta hipóteses que, todavia, poderão surgir durante ou ao final da pesquisa (VERGARA, 1998).

A pesquisa descritiva expõe características de determinada população ou de determinado fenômeno. Pode também estabelecer correlações entre variáveis e definir sua natureza. Não tem compromisso de explicar os fenômenos que descreve, embora sirva de base para tal explicação. A pesquisa de opinião insere-se nessa classificarão (VERGARA, 1998).

Para Gil (2002), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.

Estudo de caso é o circunscrito a uma ou poucas unidades, entendidas essas como uma pessoa, uma família, um produto, uma empresa, um órgão público, uma comunidade ou mesmo um país. Tem caráter de profundidade e detalhamento. Pode ou não ser realizado no campo (VERGARA, 1998).

Com base em toda fundamentação apresentada sobre as principais metodologias de pesquisa, pode-se afirmar que o trabalho proposto se classifica como pesquisa tanto quantitativa, por apresentar cálculos com dados numéricos, quanto qualitativa, por apresentar discussões de avaliação que não podem ser numericamente expressadas. Pode também ser classificada como bibliográfica, por ser desenvolvida com base em autores relevantes. Tem como característica uma pesquisa exploratória e descritiva, pois busca levantar e analisar dados a respeito das normas técnicas para realização de inspeção por END. E, por fim, um estudo de caso, já que é feita uma análise da viabilidade do treinamento e qualificação de pessoal próprio para realização de testes não destrutivos em uma empresa.

3.2 Materiais e Métodos

Segundo Goldenberg (1997), os métodos são definidos como uma observação sistemática dos fenômenos da realidade através de uma sucessão de passos, orientados por

conhecimentos teóricos, buscando explicar a causa desses fenômenos, assim como suas correlações e aspectos não revelados.

Para a elaboração do presente trabalho, foram utilizados como materiais livros referentes ao assunto, artigos científicos, normas técnicas vigentes no país, monografias e sites especializados em inspeção.

A Figura 8 apresenta o fluxograma que descreve a metodologia a ser utilizada.

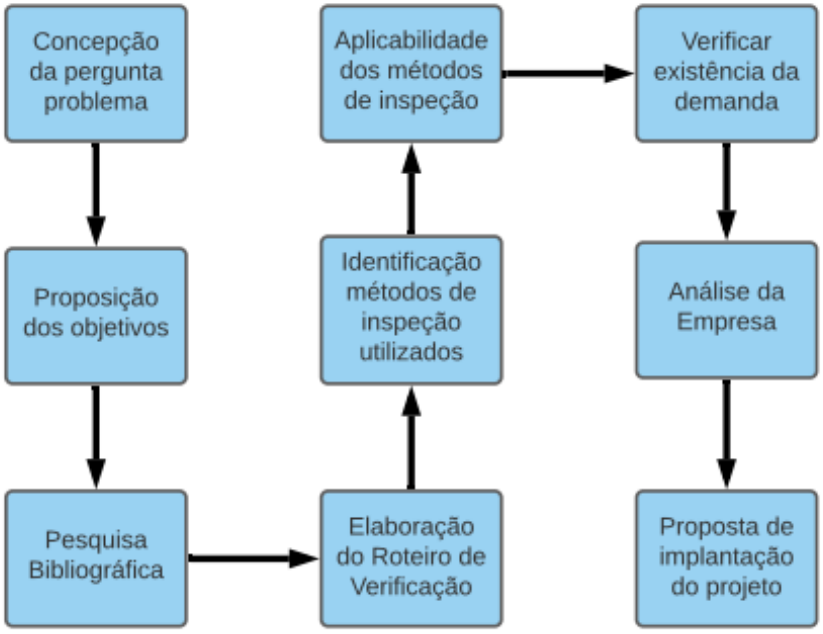

Figura 8 - Fluxograma do trabalho.
Fonte: Pesquisa direta (2021).

O fluxograma apresentado na Figura 8 mostra o caminho feito para a realização desse trabalho. Inicialmente, é proposto um problema o qual pode ser sanado, além da exposição dos objetivos. Posteriormente, é feita uma pesquisa referente ao tema de estudo, apresentando a fundamentação teórica a ser empregada no trabalho. Após isso, é elaborado um roteiro para verificar os tipos de inspeção necessários, a identificação de cada um deles e sua aplicabilidade dentro da empresa.

Em seguida, é necessário verificar a demanda que há para serviços de inspeção por Ensaios Não Destrutivos. Portanto, é feita uma pesquisa interna na empresa, com base nas Normas Regulamentadoras do país, que visa saber quais os tipos de inspeções que os

equipamentos precisam passar e a recorrência de cada uma delas. Estes dados são obtidos através de informações como frota e tipo de serviços.

Após isso, é apresentada uma proposta de implantação do projeto dentro da empresa, já adequada à necessidade que foi observada.

3.3 Variáveis e Indicadores

Segundo Gil (2002), o termo "variável" é dos mais empregados na linguagem utilizada pelos pesquisadores, sendo algo que pode receber classificação em duas ou mais categorias. O conceito de variável refere-se a tudo aquilo que pode assumir diferentes valores ou diferentes aspectos, segundo os casos particulares ou as circunstâncias.

Gil (2002) ainda destaca que, quando definido um objeto de estudo, deve-se definir as variáveis que cercam aquele assunto e assim determinar as formas de controle e observação do objeto de estudo.

A Tabela 4 apresenta as variáveis e seus respectivos indicadores que serão estudados no presente trabalho.

Tabela 5 - Variáveis e Indicadores

Variáveis	**Indicadores**
Métodos de Inspeção	• Líquido Penetrante • Ultrassom • Partícula Magnética • Inspeção Visual
Requisitos da Norma Técnica	• Pessoal experiente e treinado • Certificação ABENDI • Qualificação

Fonte: Pesquisa direta (2021).

3.4 Instrumento de Coleta de Dados

Esta etapa é caracterizada por determinar os instrumentos utilizados para a realização da pesquisa executada.

Os dados necessários foram adquiridos através do contato com uma empresa, que frequentemente necessita de serviços de inspeção técnica através de Ensaio Não Destrutivo. No contato, buscou-se por dados como: da frota da empresa; dos funcionários da área de manutenção; dos equipamentos inspecionados; e da vigência do laudo técnico de cada um deles.

Além disso, a aplicabilidade das normas técnicas é outro importante passo para este estudo. Tendo como base a norma ABNT NBR NM ISO9712, que especifica os requisitos necessários para a qualificação e certificação de pessoas para realizar Ensaios Não Destrutivos (END) industriais, buscou-se pelos requisitos que são necessários à realização dessas atividades dentro de uma empresa.

3.5 Tabulação de dados

Para a tabulação de dados desse trabalho, foram necessários alguns cálculos de acordo com os dados coletados, trazendo dados apenas relevantes à pesquisa e de forma a auxiliar no entendimento da proposta feita.

Foram utilizados os *softwares Microsoft Word* e *Microsoft Excel* para facilitar a visualização e análise, através de tabelas.

3.6 Considerações Finais

No capítulo 3, foi abordada toda a metodologia usada para o desenvolvimento do trabalho. Constatou-se o tipo de pesquisa utilizada e os materiais e métodos que deram base para a pesquisa. Apresentou-se as variáveis e seus respectivos indicadores, os instrumentos de coleta de dados e análise e, por fim, a tabulação dos dados.

Diante da metodologia apresentada neste capítulo, tem-se uma compreensão do método de pesquisa empregado no presente trabalho. No capítulo seguinte, serão apresentados os resultados e discussões obtidos no estudo de caso.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização da Empresa

O estudo foi realizado em uma construtora que trabalha no âmbito da mineração, de médio porte, localizada no município de Mariana, Minas Gerais. A empresa trabalha como terceirizada para outras empresas de mineração, portanto realiza suas atividades próxima a minas de extração de minério de ferro e tem diversas funções nesse campo.

Para melhor aproveitamento do estudo, este foi realizado com uma das equipes da empresa, que exerce suas atividades em Barra Longa - MG. Desta forma, foi necessário obter dados pontuais da frota e dos funcionários dessa equipe.

Em relação à frota, foram apurados apenas os equipamentos que passam por inspeções técnicas de END. Através do fornecimento de dados pela empresa, a Tabela 6 apresenta quais e quantos equipamentos são inspecionados periodicamente.

Tabela 6 - Equipamentos inspecionados periodicamente

EQUIPAMENTO	QUANTIDADE
Caminhão Munck	8
Caminhão Comboio	6
Caminhão Pipa	8
Caminhão ¾ cabine tripla	4
Vaso de Pressão	4
Ponte Rolante	2
Tubulação de aço (m)	22
Gancho de içamento	2
Pino de apoio de Rapel	35

Fonte: Pesquisa direta (2022).

Além dos dados de equipamentos, buscou-se por funcionários que possuam certificação técnica e trabalhem na área de manutenção. Pois, de acordo com a Norma NBR ISO 9712, o nível técnico é condição exigida para o treinamento e qualificação do Nível 2 de END - nível que é pretendido nesta pesquisa. A Tabela 7 mostra os funcionários da equipe que atendem a esses requisitos:

Tabela 7 - Funcionários de nível técnico da equipe

FUNCIONÁRIO:	**QUANTIDADE**
Técnico em Manutenção Mecânica	4
Técnico em Manutenção Industrial	2
Técnico em Segurança do Trabalho	4
Técnico em Soldagem	2
Técnico de Inspeção	1

Fonte: Pesquisa direta (2022).

Diante do tamanho da frota de equipamentos da empresa apresentada na Tabela 6 e a relação de funcionários da Tabela 7, esta pesquisa propõe a capacitação de dois desses funcionários de nível técnico para a certificação de END.

Ademais, a pesquisa também sugere, neste cenário, que sejam escolhidos um técnico de manutenção mecânica e um técnico de inspeção. Isso por entender que os técnicos dessas áreas possuem os conhecimentos teóricos e práticos básicos, que tornam a certificação mais eficiente.

A conjunção da capacitação dessas áreas proporciona à empresa um alinhamento das práticas de manutenção e inspeção já praticadas, com os ganhos da certificação, resultando em um sistema próprio de inspeção de END.

4.2 Métodos de Inspeção Utilizados nos Equipamentos

Nesta seção, serão apresentados os métodos de inspeção a que são submetidos os equipamentos apresentados no item anterior, além de evidenciar a vigência de seu laudo técnico. Diante disso, a Tabela 8 exibe o Ensaio Não Destrutivo que é mais adequado na inspeção de cada equipamento:

Tabela 8 - Métodos de inspeção utilizados

EQUIPAMENTO	MÉTODO DE INSPEÇÃO	VIGÊNCIA DE LAUDO TÉCNICO
Caminhão Munck	Líquido Penetrante (LP)	6 meses
Caminhão Comboio	Ultrassom (US)	1 ano
Caminhão Pipa	Ultrassom (US)	1 ano
Caminhão ¾ cabine tripla	Visual (EV) e Líquido Penetrante (LP)	1 ano
Vaso de Pressão	Ultrassom (US) e Medição de Espessura (US)	1 ano
Ponte Rolante	Visual e Líquido Penetrante (LP)	6 meses
Tubulação de aço	Ultrassom, Líquido Penetrante (LP) e Partícula Magnética (PM)	6 meses
Gancho de Içamento	Líquido Penetrante (LP)	6 meses
Pino de Apoio Rapel	Visual (EV), Líquido Penetrante (LP) e Partícula Magnética (PM)	6 meses

Fonte: Pesquisa direta (2022).

Diante disso, esta pesquisa identificou que os métodos de END que são aplicados nos equipamentos da empresa são: Ultrassom (US), Partícula Magnética (PM), Líquido Penetrante (LP), Visual (EV) e Ensaio de Tensão (ST), além da Medição de Espessuras por Ultrassom (US).

Desta forma, para que seja eficiente o investimento da empresa em capacitação de seus funcionários em END, ela deve priorizar os cursos que certificam para os métodos de inspeção expostos no parágrafo anterior, ou seja, aqueles que a empresa demanda de serviço terceirizado em inspeção.

4.3 Norma NBR ISO 9712

A referida Norma MERCOSUL determina uma série de regras para a qualificação e certificação de profissionais para realizarem os Ensaios Não Destrutivos de maneira autorizada. Segundo esta, “a certificação nesta Norma dá ao operador um atestado de competência geral em END”.

4.3.1 Níveis de Qualificação

A qualificação dos profissionais para Ensaios Não destrutivos é classificada em três níveis crescentes: 1, 2 e 3, que também podem ser subdivididos em categorias específicas. Para a aplicação deste estudo, serão necessários dois profissionais de Nível 2.

O profissional do Nível 1, sob a supervisão de um profissional de Nível 2 ou Nível 3, é capaz de realizar um END. Porém, um profissional certificado como Nível 1 não pode escolher o método de END ou a técnica de ensaio a ser usada, além de não ter responsabilidade por avaliar o resultado dos ensaios.

No escopo de competência definida pela certificação, o profissional de Nível 1 pode ser autorizado pelo empregador a realizar as seguintes tarefas, exibidas na Tabela 9:

Tabela 9 - Nível 1 de END

Nível 1	
1	Instalar e preparar o equipamento de END
2	Conduzir o Ensaio
3	Registrar e classificar os resultados do ensaio de acordo com um critério escrito
4	Relatar os resultados

Fonte: NBR NM ISO9712 (2010) – (adaptado).

Já o profissional certificado como Nível 2 está autorizado a conduzir uma inspeção por END, além de deter a responsabilidade de avaliar os resultados e relatar sua vistoria em um laudo técnico.

No escopo de competências definido pela certificação, o profissional Nível 2 pode ser autorizado pelo empregador a realizar as seguintes tarefas, exibidas na Tabela 10:

Tabela 10 - Nível 2 de END

Nível 2	
1	Selecionar a técnica de END para o método de ensaio a ser usado
2	Definir as limitações da aplicação do método de ensaio
3	Interpretar os procedimentos de END, adaptando-os para instruções de END nas condições reais de ensaio
4	Preparar e verificar os ajustes do equipamento
5	Interpretar e avaliar resultados de acordo com códigos, normas ou especificações aplicáveis
6	Preparar instruções de END
7	Executar e supervisionar todas as tarefas de profissionais nível 1 ou 2
8	Prover orientação para profissional nível 1 e ou 2
9	Organizar e relatar os resultados de um END

Fonte: NBR NM ISO9712 (2010) – (adaptado).

4.3.2 Treinamento do Pessoal

De acordo com a Norma, para obter a qualificação em END, é necessário se inscrever em treinamentos oferecidos pela ABENDI, ou em algum dos Centros de Exame de Qualificação (CEQ) autorizados pela ABENDI.

Essa estrutura de treinamento é um processo de instrução com teoria e prática, embasado em um programa aprovado, no qual a certificação é cedida pela ABENDI após a aprovação nos exames de qualificação.

Para ser aprovado, o candidato deve obter um aproveitamento mínimo de 70% em participação e nas avaliações. Na Tabela 11 são indicados os requisitos mínimos de carga horária:

Tabela 11 - Requisitos mínimos de treinamento de acordo com o método e nível de qualificação pretendido

Método de END	HORAS DE TREINAMENTO		
	Nível 1	Nível 2 incluindo as horas do nível 1 (acesso direto)	Nível 3 incluindo as horas do nível 2 (acesso direto)
Emissão acústica	40	104	150
Correntes parasitas	40	104	150
Partículas magnéticas	40	80	120
Líquido penetrante	24	64	104
Radiografia	40	120	160
Ultrassom	40	120	160
Ensaio visual	-	80	104

Fonte: NBR NM ISO9712 (2010) – (adaptado).

As horas de treinamento apresentadas na Tabela 11 incluem estudos teóricos e práticos, sendo necessário que a parte prática constitua no mínimo 40% da carga horária, segundo o programa de treinamento emitido pela ABENDI.

4.3.3 Qualificação do Pessoal

Depois de passar pelo treinamento autorizado da ABENDI, o próximo passo para obter a certificação de algum END é ser aprovado em seus exames de qualificação, pois cada END possui o seu próprio teste. Nessa fase, encontram-se um exame geral, um exame específico e um exame prático.

O exame geral inclui questões gerais das técnicas de Ensaio Não Destrutivo. O exame específico inclui questões que envolvam cálculos e questões sobre códigos, normas, especificações e procedimentos. Já o exame prático compreende na aplicação do método de END em corpos-de-prova preestabelecidos.

O examinador é responsável pela avaliação dos exames geral, específico e prático, que são corrigidos separadamente. Para aprovação no exame, o candidato deve atingir a pontuação mínima de 70% em cada parte.

Todos os exames devem ser realizados nos centros de exames estabelecidos, aprovados e monitorados pela ABENDI.

4.3.4 Certificação do Pessoal

Para os candidatos que cumprem todos os pré-requisitos esclarecidos para certificação, o organismo de certificação emite um certificado e/ou carteirinha correspondente.

O certificado e a carteirinha incluem: nome, data da certificação e sua validade, nível de certificação, organismo de certificação, métodos de END, setores aplicáveis, número de identificação, fotografia e assinatura do profissional certificado, além da assinatura do representante do organismo de certificação.

O prazo de validade da certificação é indicado na carteirinha e não pode exceder cinco anos após a data de início indicada. Antes do fim do primeiro período de validade, a certificação pode ser renovada por um outro período de duração igual, desde que o profissional certificado possua evidências de acuidade visual e operacional satisfatórias.

4.4 Proposta de Implantação do Projeto

A presente pesquisa, após análise da empresa, propõe a implantação de um projeto que visa a capacitação de funcionários da própria empresa, excluindo, assim, a necessidade da terceirização dos serviços de inspeção apresentados neste trabalho. Para tanto, recomenda-se a certificação de dois funcionários de nível técnico para realização de cursos para certificação em END.

Os cursos a serem efetivados foram definidos com base na Tabela 8, que indica a frota de equipamentos que é inspecionada periodicamente. Desta maneira, os métodos de END em que deverão ser certificados os funcionários da empresa são os seguintes:

- Líquido Penetrante (LP);

- Ultrassom (US);

- Ensaio Visual (EV); e

- Partículas Magnéticas (PM).

Para a maior eficiência da proposta de projeto, cada funcionário deverá realizar o treinamento para dois tipos de END diferentes, com a finalidade de chegar ao Nível 2. Assim sendo, de acordo com a Tabela 11, para chegar ao Nível 2 de END, os funcionários terão que fazer os treinamentos com as seguintes cargas horárias:

Tabela 12 - Carga horária de treinamento

FUNCIONÁRIO	MÉTODO DE END	CARGA HORÁRIA	
		NÍVEL 1	NÍVEL 2
Técnico de Inspeção	Líquido Penetrante (LP)	24 horas	64 horas
Técnico de Inspeção	Ensaio Visual (EV)	-	80 horas
Técnico de Manutenção	Ultrassom (US)	40 horas	120 horas
Técnico de Manutenção	Partículas Magnéticas (PM)	40 horas	80 horas

Fonte: Pesquisa direta (2022)

Observa-se na Tabela 12 que, para chegar à certificação de Nível 2, o técnico em inspeção precisará passar por 88 horas de treinamento em LP, além de 80 horas de treinamento de EV. Já o técnico de manutenção, que ficou responsável por outros dois END, precisará passar por 160 horas de treinamento em US, além de 120 horas em PM.

Após os treinamentos, serão feitos os exames teóricos pelo Setor de Certificação da ABENDI. Os exames práticos, por sua vez, serão conduzidos pelos Centros de Exame de Qualificação (CEQ) reconhecidos.

A certificação do Sistema Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoas em Ensaios Não Destrutivos (SNQC/END) assegura que o profissional atendeu satisfatoriamente todos os requisitos para a sua obtenção.

4.4.1 Exemplos de métodos que serão aplicados na empresa

Após a conclusão de todos os passos para a certificação de pessoas em END, a empresa é que se responsabiliza a autorizar o trabalho do profissional, verificando a validade da certificação e a adequação específica de trabalho.

Diante disso, os profissionais certificados com o Nível 2 estarão aptos para realizar alguns dos END's. Além disso, eles devem avaliar os resultados e confeccionar um documento com o laudo técnico do equipamento para apresentar às entidades que os regulam.

Na Tabela 13, há exemplos de inspeções que os funcionários de Nível 2 da empresa poderão fazer, segundo a Norma vigente:

Tabela 13 - END's que a empresa poderá realizar.

FUNCIONÁRIO	MÉTODO DE END
Técnico de Inspeção	Líquido Penetrante (LP)
	Ensaio Visual (EV)
Técnico de Manutenção	Ultrassom (US)
	Partículas Magnéticas (PM).

Fonte: Pesquisa direta (2022).

Verifica-se, através da Tabela 13, os métodos que os funcionários estarão responsáveis por realizar dentro da empresa. Diante disso, a Tabela 14 apresenta os equipamentos da empresa que passarão por essas inspeções, e os responsáveis por aplicá-las:

Tabela 14 - Métodos de END para equipamentos da empresa

EQUIPAMENTO	MÉTODO END	RESPONSÁVEL
Caminhão Munck	LP	Tec. Inspeção
Caminhão Comboio	US	Técnico de Manutenção
Caminhão Pipa	US	Técnico de Manutenção
Caminhão ¾ cabine tripla	EV e LP	Tec. Inspeção
Vaso de Pressão	US	Técnico de Manutenção
Ponte Rolante	EV e LP	Tec. Inspeção
Tubulação de aço	LP e PM	Tec. Inspeção e Tec. Manutenção
Gancho de Içamento	LP	Tec. Inspeção
Pino de Apoio Rapel	LP e PM	Tec. Inspeção e Tec. Manutenção

Fonte: Pesquisa Direta (2022)

Percebe-se na Tabela 14 que os equipamentos da empresa passarão por Ensaios Não Destrutivos realizados pelos próprios técnicos da firma, e posteriormente serão feitos os documentos técnicos para comprovação da inspeção diante das entidades reguladoras.

Portanto, em relação à análise inicial da empresa realizada pela pesquisa, será possível a realização de quatro novos métodos de inspeções, pelo Nível 2. A Tabela 15 possui os métodos, níveis e subníveis de qualificação em END's que a empresa estará habilitada a realizar:

Tabela 15 - Métodos, níveis e subníveis de qualificação.

MÉTODO	NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 3
ULTRASSOM	US-N1-L US-N1-ME	US-N2-S1 US-N2-S2 US-N2-S2.1 US-N2-S3 US-N2-S4 US-N2-S4.1 US-N2-AE1	US-N3
ENSAIO RADIOGRÁFICO	ER-N1-RX ER-N1-RG ER-N1-G	ER-N2-S-RX ER-N2-S-RG ER-N2-S-IL	ER-N3
PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	PM-N1-S-Y PM-N1-S-E PM-N1-ES	PM-N2-S-Y PM-N2-S-E PM-N2-ES	PM-N3
LÍQUIDO PENETRANTE	LP-N1-G	LP-N2-G	LP-N3
ENSAIO VISUAL		EV-N2-S	EV-N3
CORRENTES PARASITAS	CP-N1-TI	CP-N2-TI	CP-N3
EMISSÃO ACÚSTICA	EA-N1-G	EA-N2-G	EA-N3-G

Fonte: ABENDI (2022) – (adaptado).

Observa-se na Tabela 15 que os elementos em verde representam os níveis e subníveis de inspeções que a empresa estará apta a realizar após a implementação do projeto proposto por este trabalho.

4.4.2 Relação custo-benefício da proposta

Para análise da viabilidade da proposta feita por essa pesquisa, é necessário fazer um balanço de custos. Estes incluem o valor financeiro que a empresa precisa fazer em treinamento e qualificação para os seus funcionários. Além de ressaltar o valor que é gasto com as terceirizações de inspeções.

A presente pesquisa acredita que os valores de mercado se alteram constantemente ao longo do tempo, e portanto, será selecionado apenas um END para ser feita a análise da viabilidade.

Dessa forma, seguindo a relação de equipamentos e métodos de END que são aplicados na empresa, da Tabela 8, identificou-se que o método mais aplicado é o de Líquido Penetrante (LP). Portanto, este foi o treinamento escolhido para a análise da viabilidade.

Seguindo essa ótica, foi necessário consultar os valores da certificação em LP. Dessa forma, através da Tabela de Exames de Qualificação SNQC 2022, fornecida pela ABENDI, foi possível obter os valores das certificações.

A Tabela 16 possui os valores das certificações em LP.

Tabela 16: Valores de certificações em LP

Abendi	TABELA EXAMES DE QUALIFICAÇÃO SNQC 2022 - SITE	COD: FMP-0014-AF VERSÃO: 37 Data: Janeiro/2022	
CÓD	**DESCRIÇÃO**	**VALOR SÓCIO**	**VALOR NÃO SÓCIO**
	17 - LIQUIDO PENETRANTE		
812	LP-N1-G / MATERIAL CEQ / EXAMES PRÁTICOS	2.507	3.311
220009	LP-N2-G / Material CEQ / EXAMES PRÁTICOS	3.616	4.420

Fonte: ABENDI (2022) - (adaptado).

Observa-se na Tabela 16 que para se qualificar em Líquido Penetrante de Nível 2, o candidato não-sócio deve pagar um total de R$7.731,00. Para fins de pesquisa, a moeda adotada é o Dólar Americano. Sendo assim, o valor dessa certificação é de $1.580,00 (cotação atual). Nesse caso, este valor se insere no investimento que deve será feito pela empresa.

O próximo passo é apurar o valor que é cobrado pelas empresa prestadoras desse serviço. Portanto, em relação ao valor da terceirização do serviço de inspeção que a empresa faz, considerando uma empresa da cidade de Mariana – MG que presta este tipo de serviço, o valor da inspeção de LP custa $40,00 com laudo técnico. Além disso, para tubulações e equipamentos similares, como pino de rapel, apurou-se $300,00 pelo serviço.

Dessa maneira, na Tabela 17 tem-se o valor que a empresa gasta com inspeções de LP em seus equipamentos, e a validade de inspeção, para que seja feita uma melhor análise ao longo do tempo.

Tabela 17: Valor gasto com inspeção de LP

EQUIPAMENTO	END	QTD.	VALIDADE	VALOR	TOTAL
Caminhão Munck	LP	8	6 meses	$ 40,00	$ 320,00
Caminhão ¾ cabine tripla	LP	4	6 meses	$ 40,00	$ 160,00
Ponte Rolante	LP	2	6 meses	$ 40,00	$ 80,00
Tubulação de aço	LP	1	6 meses	$ 300,00	$ 300,00
Gancho de Içamento	LP	2	6 meses	$ 40,00	$ 80,00
Pino de Apoio Rapel	LP	35	6 meses	$ 300,00	$ 300,00
TOTAL					$ 1.240,00

Fonte: Pesquisa direta (2022)

Observa-se na Tabela 17 o valor que a empresa gasta para cada inspeção de LP que é feita em seus equipamentos. Dessa maneira, a empresa gasta um total de $1.240,00 levando em conta todos os em seus equipamentos.

Fazendo uma análise a longo prazo, em 5 anos, devido o prazo de validade ser de 6 meses, a empresa passará por 10 inspeções de LP em cada um de seus equipamentos, e assim, gastará um total de $12.400,00 em todo esse tempo, para seguir cumprindo com as inspeções periódicas de seus componentes.

Dessa maneira, de um lado tem-se o investimento que deve ser feito pela empresa, de $1.580,00 somente para treinamento. É importante deixar claro que o gasto não é apenas esse, pois ainda é necessário apurar e incluir os gastos com deslocamento, hospedagem, dentre outros. E do outro lado, tem-se o gasto que a empresa terá em 5 anos apenas com inspeção de LP, um total de $12.400,00.

Dessa maneira, fica evidente que o investimento além de valer a pena, pode ser recuperado em pouco tempo, sem contar que irá trazer evoluções de conhecimento e técnicas que farão parte do cotidiano da empresa.

Portanto, essa pesquisa se confirma no propósito do treinamento e certificação em END ser eficiente para empresas do ramo de mineração, construção, etc., ou de empresas que possuem grandes máquinas e estruturas, que devem passar por uma série de inspeções, e essas incluem os END.

4.4.3 Vantagens da implantação do projeto

A implementação do projeto proposto por este trabalho visa vários benefícios que a empresa pode alcançar, adotando essas medidas em seu próprio ambiente de trabalho, e não necessitando contratar recorrentemente pelos mesmos serviços de inspeção de uma outra empresa terceirizada. Isso colabora não só com a manutenção, mas com a gestão, segurança, logística e controle da empresa.

A Tabela 18 traz um resumo das vantagens que a implementação do projeto trará para a empresa.

Tabela 18: Vantagens do treinamento interno em END.

TREINAMENTO E QUALIFICAÇÃO INTERNA PARA END
VANTAGENS
• Realizar a manutenção preditiva; • Realizar laudos técnicos para cumprimento de Normas; • Diminuir os gastos com terceirização de serviços; • Controle maior da manutenção; • Confiabilidade dos dados; • Prevenir a ocorrência de falhas; • Detectar e caracterizar defeitos; • Combinar um ou mais tipos de inspeção; • Fornecer resultados dos equipamentos; • Aplicar END a qualquer momento.

Fonte: Pesquisa direta (2022).

Observa-se na Tabela 18 que a implantação do projeto proposto por esta pesquisa, de treinamento e capacitação de funcionários para realização de END dentro da própria empresa, possui diversas vantagens, como: a realização da manutenção preditiva, o controle da manutenção de toda frota, a inspeção própria, a prevenção de falhas, a realização própria de laudos técnicos, confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, e diminuição de gastos recorrentes com inspeção.

A Tabela 19 apresenta os desafios que a implantação do projeto traz.

Tabela 19: Desafios do treinamento interno em END.

TREINAMENTO E QUALIFICAÇÃO INTERNA PARA END
DESAFIOS
• Investimento da empresa em treinamento para os funcionários; • Investimento em alguns equipamentos de inspeção; • Oferecer contratos melhores para os funcionários permaneceram por maior tempo.

Fonte: Pesquisa direta (2022).

Observa-se na Tabela 19, quanto aos desafios, que estes são os investimentos a serem feitos em treinamento para a equipe de funcionários e em equipamentos de inspeção. Além disso, deve oferecer melhores condições salariais para os funcionários que estarão responsáveis por mais essa nova função. Dessa maneira, é possível mantê-los na empresa por mais tempo, fazendo com que o investimento tenha vantagem não só operacional e técnica, mas também econômica.

A partir da análise deste estudo de caso, percebe-se que a possível escolha desta empresa em implementar o treinamento e qualificação para os funcionários lhe traz mais vantagens, frente aos desafios que esta apresenta.

5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusões

Por fim, o objetivo principal deste trabalho era analisar os ganhos que empresas poderiam ter investindo em treinamento e qualificação de funcionários para realização interna de inspeções por Ensaios Não Destrutivos.

A partir do estudo teórico realizado no capítulo 2, foi possível identificar os tipos de manutenção; como os Ensaios Não Destrutivos se encaixam na manutenção; e como são utilizados cada método de inspeção em diferentes equipamentos. Além disso, foi possível identificar, pela Norma, os requisitos para realização de cada método de END.

Feita a análise teórica, foi possível criar um plano de aplicação para apresentar à empresa do estudo de caso, que necessita desse serviço frequentemente. Desta maneira, o estudo de caso auxiliou para apresentar as melhorias que empresas podem ter adotando as orientações propostas por esta pesquisa.

Para atender ao objetivo geral deste trabalho, através do estudo de caso, identificou-se vantagens que podem ser obtidas e os desafios que a empresa terá, quanto ao processo de treinamento e qualificação dos funcionários.

Ao se comparar os pontos fortes e fracos da implantação do projeto proposto por esta pesquisa, pode-se afirmar que as vantagens são superiores aos desafios destacados, pois o investimento em conhecimento e técnicas propicia maior controle da manutenção, da confiabilidade e da disponibilidade dos equipamentos da empresa.

Porém, há de se investir sempre em treinamento para os funcionários, pois com as constantes mudanças do mercado, é sempre necessária a qualificação de pessoas para manter equipes e atender às demandas dos processos.

5.2 Recomendações

Após o desenvolvimento do presente trabalho, são apresentadas recomendações de estudos para trabalhos futuros:

- Realizar um estudo para outros tipos de empresas, de pequeno a grande porte, para implantação do projeto de treinamento e qualificação em END;

- Realizar um estudo econômico da aplicação de um projeto semelhante ao apresentado nesta pesquisa - sobre como a empresa faz para recuperar o investimento feito e o tempo necessário para isso acontecer;
- Identificar métodos alternativos de END que podem ser aplicados em diferentes equipamentos da empresa; e
- Realizar um estudo da Norma para incrementar outros tipos de END para empresas desse nicho.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRAMAN. Disponível em: https://www.abraman.org.br/ Acesso em: fevereiro de 2022.

ALMEIDA, P.S**. Manutenção mecânica industrial**: conceitos básicos e tecnologia aplicada. São Paulo: Érica, 2014.

ALMEIDA, Mario Tadeu de. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000. 5 f. Artigo Científico - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2000.

ANDREUCCI, Ricardo. **Ensaio por Ultrassom**. São Paulo, 2014.

ANDREUCCI, Ricardo. **Líquidos penetrantes**. São Paulo, 2003.

ANDREUCCI, Ricardo. **Partícula magnética**. São Paulo, 2014.

ANDREUCCI, Ricardo. **Radiologia industrial**. São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÕES (ABENDI). **Ensaios não destrutivos e inspeção.** Disponível em: http://www.abendi.org.br/abendi/default.aspx?mn=709&c=17&s=&friendly Acesso em: abril de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: **Gerenciamento da Manutenção**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674-1999. **Manutenção de edificações – Procedimento**. Associação Brasileira De Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 9712: **Ensaio Não Destrutivo – Qualificação e Certificação de Pessoal**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BRANCO FILHO, G. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA., 2008.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA. **Gestão da Manutenção**. Florianópolis, 2007. Disponível em: https://norbertocefetsc.pro.br/downloads/manutencao.pdf Acesso em: outubro de 2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDENBERG, Mirian. **A arte de pesquisar**: Como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais. Rio de Janeiro: Record, 1997.

GRESSLER, Lori Alice. **Introdução à pesquisa**. Edições Loyola, 2004.

HELLIER, Charles J. **Handbook of Nondestructive Evaluation**. McGraw-Hill, 2003.

INFOSOLDA. **Ensaios não destrutivos: líquidos penetrantes**. Portal Brasileiro da soldagem, 2013.

JUNIOR, Silvério Ferreira da Silva; MARQUES, Paulo Villani. **Ensaios Não Destrutivos**. Belo Horizonte, 2006.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio; BARONI, Tarcísio. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, 2002.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção: Função Estratégica.** 3ª edição. Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, 2009.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção: Função Estratégica.** 4ª edição. Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, 2010.

MIX, Paul E. **Introduction to nondestructive testing: a training guide**. 2nd. Hoboken, N.J.: Wiley, 2005.

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

OTANI, Mario.; MACHADO, Waltair Vieira. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial. Vol.4, n.2, 2008.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. N**. Manutenção: função estratégica**. Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, 1999.

REVISTA DO PARAFUSO. **Ensaios Não Destrutivo**s: **uma visão geral**. Revista do Parafuso. Disponível em: http://www.revistadoparafuso.com.br/v1/modelo/noticia.php?id=67 Acesso em: outubro de 2021.

SANTOS, J.F. Oliveira. **Ensaio Não Destrutivos**. Portugal, Lisboa, 1999.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

TAVARES, L. A. **Administração Moderna de Manutenção**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Novo Pólo, 2000.

VAZ, José Carlos. **Gestão da Manutenção Preditiva: Gestão de Operações**. Fundação Vanzolini. Ed. Edgard Blücher, 1997.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**.2. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM Planejamento e Controle da Manutenção**. 1ª Ed; Rio de Janeiro; Qualitmark Ed.; 2002.

VIEIRA PEREIRA, João Adriano**. Estudo e Aplicação de Ensaios Não Destrutivos: Líquidos penetrantes, Ultra sons, Radiografia digital – Técnica tangencial medição de espessuras**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2013.

XENOS, Harilaus Georgius D' Philippos. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.