



SÁVIO JOSÉ PAULINO DA CUNHA

**ANÁLISE DOS GUINDATES DO TERMINAL PORTO DO AÇU -
PLANEJAMENTO DE PROTEÇÃO ANTICORROSIVO**

Itaperuna

2022

SÁVIO JOSÉ PAULINO DA CUNHA

**ANÁLISE DOS GUINDATES DO TERMINAL PORTO DO AÇU -
PLANEJAMENTO DE PROTEÇÃO ANTICORROSIVO**

Artigo científico apresentado
como Trabalho de Conclusão de
Curso como requisito para a
obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Mecânica ao
Centro Universitário Redentor.

Orientador: Prof. Daniel Gallo

Itaperuna

2022

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor (a) (es): SÁVIO JOSÉ PAULINO DA CUNHA

Título: PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO ANTICORROSIVA - ANÁLISE DOS GUINDASTES DO TERMINAL DO PORTO DO AÇU.

Natureza: ARTIGO CIENTÍFICO Trabalho de Conclusão de Curso

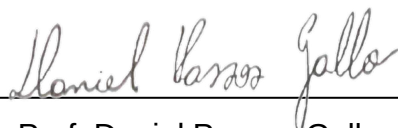
Objetivo: Título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Instituição: Centro Universitário Redentor

Área de Concentração: Engenharia Mecânica com ênfase em Manutenção Mecânica

Aprovada em: 06/12/2022

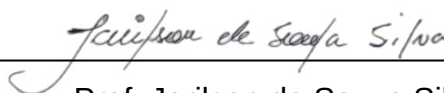
Banca Examinadora:



Prof. Daniel Passos Gallo

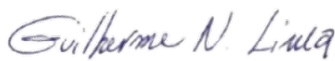
MSc. Engenharia e Ciência dos Materiais

Instituição: UniRedentor



Prof. Jarilson de Souza Silva

Instituição: UniRedentor



Prof. Guilherme Nunes Lima

Instituição: UniRedentor

ANÁLISE DOS GUINDASTES DO TERMINAL DO PORTO DO AÇU – PLANEJAMENTO DE PROTEÇÃO ANTICORROSIVA

Sávio José Paulino da Cunha¹

Graduando em Engenharia Mecânica

Daniel Passos Gallo²

MSc. Em Engenharia de Materiais

Resumo

Os efeitos provocados pela corrosão se agravam quando os materiais metálicos são expostos em regiões costeiras de grande agressividade, onde névoas de salina oriundas das quebras de ondas são arremessadas na atmosfera e depositadas em superfícies como gotículas d'água. Além disso, alguns agentes eletrólitos são formados por agentes contaminantes, transformando-se em uma pilha galvânica que penetra o material e provocando corrosão da reação anódica e catódica da natureza eletroquímica. Sob a conduta dos prejuízos da corrosão, o planejamento e controle da manutenção tem objetivo principal de potencialização dos pontos e benefícios operacionais, com paradas programadas das estruturas, equipamentos e produção envolvidos sob influência de atmosferas corrosivas. Este estudo propôs um esquema de proteção anticorrosiva com objetivo mitigar os pontos corroídos pela atmosfera dos guindastes em áreas costeiras do Terminal do Porto do Açu, resultando em uma pesquisa qualitativa para compreensão da Engenharia de Corrosão na promoção de processos de proteção como planos de ação.

Palavras-chave: Corrosão; Materiais Metálicos; Oxidação; Proteção.

Abstract

The effects caused by corrosion are aggravated when metallic materials are exposed in highly aggressive coastal regions, where saline mists from the breaking waves are thrown into the atmosphere and deposited on surfaces as water droplets. In addition, some electrolyte agents are formed by contaminating agents, transforming themselves into a galvanic cell that penetrates the material and causes corrosion of the anodic and cathodic reaction of electrochemical nature. Under the conduct of corrosion damage, maintenance planning and control has the main objective of enhancing operational points and benefits, with scheduled stops of structures, equipment and production involved under the

¹ Centro Universitário Redentor, Itaperuna - RJ, savioztx@hotmail.com

² Centro Universitário Redentor Itaperuna - RJ, daielpg19@yahoo.com.br

influence of corrosive atmospheres. This study considered an anticorrosive protection scheme with the objective of mitigating the points corroded by the atmosphere of the cranes in coastal areas of the Porto do Açu Terminal, carried out in a qualitative research to understand Corrosion Engineering in the promotion of protection processes as action plans.

Keywords: Corrosion; Metallic Materials; Oxidation; Protection.

1. INTRODUÇÃO

A corrosão está presente em todas as partes do mundo. Ela é umas das principais causas de falhas mecânicas em máquinas, mecanismos e estruturas, pois a perda de material causada pelas trocas químicas oriundas películas de água que se aderem na superfície do material provocam oxidação em uma reação eletroquímica.

A pesquisa sobre os efeitos do processo de corrosão nas estruturas metálicas é um ponto de grande debate no campo técnico das ciências dos materiais e suas metodologias de controle. Desta forma, há substancial aumento dos custos de manutenção nas estruturas, provocando um ponto de atuação que requer atenção.

Morcillo (1998) destaca que todo processo corrosivo está associado à reação anódicas e catódicas na interface metal e meio, sendo a natureza eletroquímica da corrosão intensificada em regiões costeiras, devido a ação dos íons cloretos que aumentam a condutividade elétrica no decorrer do processo de corrosão.

Entende-se que nas áreas de maior agressividade atmosférica, a velocidade do desenvolvimento corrosivo provoca inúmeras estações críticas de manutenção corretivas. A estratégia de intervenção corretiva é a melhor opção apenas quando os custos e indisponibilidade são menores que os custos necessários para evitar a falha, condição típica de equipamentos com baixa influência nos processos produtivos (MARCORIN & LIMA, 2003).

Este trabalho tem como objetivo analisar os perfis de corrosividade de guindastes de movimento de cargas em um terminal de minério de ferro que se localiza na costa de São João da Barra – RJ, no píer do TMULT, apontando os itens: região costeira, atmosfera corrosiva, impactos nos equipamentos, esquema para proteção e mitigação dos pontos corroídos.

Como trilha metodológica, adotou-se a pesquisa qualitativa/quantitativa de caráter descritivo – analítico buscando a interpretação dos dados nas literaturas, o que possibilitou a descoberta das questões que envolvem a proteção das estruturas metálicas em áreas costeiras.

2. METODOLOGIA

Foi realizada pesquisa qualitativa/quantitativa de caráter descritivo – analítico. Os seguintes pontos foram tratados na pesquisa:

- Análise dos perfis de corrosividade de dois guindastes/equipamentos de elevação de carga TEREX 4406b (MHC 01 e MHC 02) do terminal TEMULT, sob a ótica da manutenção preditiva anticorrosiva;
- Sugestões de proteção anticorrosiva por pintura superficial.

Como critérios de pesquisa foram adotados artigos com produção de 1990 em diante, procurando sempre pesquisas bibliográficas com artigos mais atuais possíveis.

No processo de análise foram coletados dados referentes ao período como: autores, título, ano de publicação e ao estudo como: objetivo, referencial teórica, tipo de estudos aspectos metodológicos e resultados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise dos perfis de corrosividade nos equipamentos de elevação de carga MHC 01 e MHC 02

O local analisado sofre com alto grau de umidade e elevadas temperaturas, promovendo deterioração notável dos materiais expostos a atmosfera. O grau de agressividade da região portuária do Porto do Açu, segundo as normas ISO 12944 -2 (2017) e ISO 9224 (2012), pode ser classificado como CM5, ou seja, muito agressivo, atmosfera marinha, onde é possível apontar perdas de massa anual entre 650 g/m² a 1500 g/m² e perda de espessura anual de 80µm a 200 µm.

Morcillo & Lima (1998) sob a luz da norma ISO 9224 (2012) também aponta que o norte do Estado do Rio de Janeiro se encaixa no ambiente costeiro de alta agressividade, com alto nível de íons cloreto na atmosfera marinha e elevadas temperaturas atmosféricas acompanhadas com grande incidência de ventos. Neste mesmo conceito, Brooks *apud* Morcillo & Lima (1998) apresentou um índice de potencial corrosivo a partir de dados meteorológicos. O índice de Brooks (Id) é um valor numérico que apresenta potencial

corrosivo. Ele é calculado a partir da pressão de saturação do vapor (P) de água à temperatura ambiente em MBar, e umidade relativa anual (UR) médias da região em porcentagem, conforme equação 3.1

$$Id = \frac{(UR - 65) \cdot P}{100} \quad (3.1)$$

Com os valores de Id podemos classificar o grau de deterioração com correlação direta com a agressividade do ambiente conforme a tabela 1.

Tabela 01 – Índice de Deterioração de Brooks

Id	Grau de Deterioração	Id	Agressividade
Id < 1	Muito baixo	0 – 1	Não agressivo
1 < Id < 2	Baixo	1 – 2	Muito pouco agressivo
2 < Id < 5	Moderado	2 – 4	Pouco agressivo
Id > 5	Alto	4 – 5	Agressivo
		5 – 10	Muito agressivo

Fonte: Morcillo & Lima (1998)

Partindo da classificação do Id, Brooks elaborou um mapa meteorológico das diferentes regiões do Brasil com a classificação da corrosividade atmosférica (BROOKS apud MORCILLO & LIMA, 1998). A figura 1 apresenta o mapa.

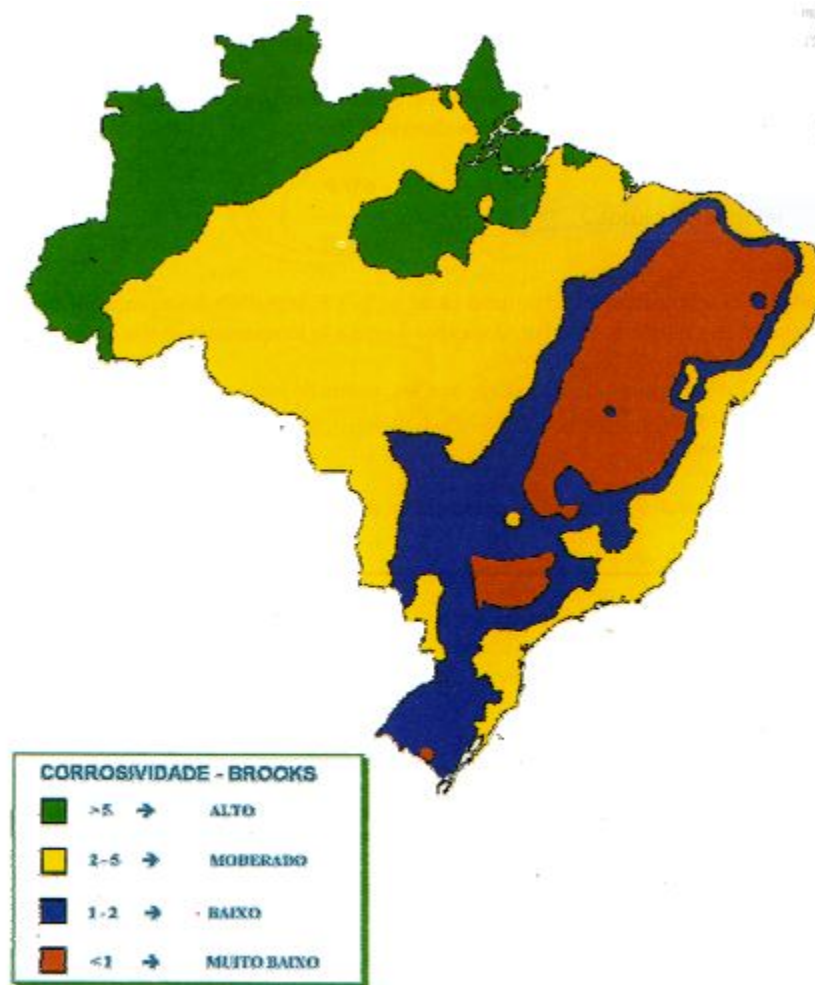


Figura 01: Mapa de corrosividade de Brooks para o Brasil

Fonte: Morcillo & Lima (1998)

Morcillo & Lima (1998) apresenta os contrapontos na norma ISO 9224 (2012) e Brooks onde as classificações distintas da corrosividade, sendo respectivamente, Alta Corrosividade e Moderada Corrosividade demonstram critérios diferentes de classificação da corrosividade atmosférica.

Os dois equipamentos analisados, MHC 01 e MHC 02, foram acometidos com falhas nos revestimentos, perdendo a função isolante do metal no meio aquoso. E os principais gases atmosféricos responsáveis por isso, conforme apontava o terminal do Porto do Açu, são presenciados por fatores de corrosividade como concentração de cloreto (CL^-), dióxido de enxofre (SO_2) e umidade da região (TOW). Com o aço dos equipamentos expostos, a atmosfera age cobrindo as estruturas com uma fina camada com os produtos da corrosão, e quanto mais contaminantes os poluentes forem, mais rápida a reação entre os íons de cloreto

e o material da estrutura (STAKE, 2007).

Nas inspeções visuais realizadas nos equipamentos MCH 01 e MHC 02, foi possível reparar que as estruturas metálicas apresentavam vários locais da pintura exterior acometidos por oxidação, conforme exemplo da figura 02. As camadas de revestimento de proteção apresentavam variadas espessuras, oscilando de 50µm a 450µm.

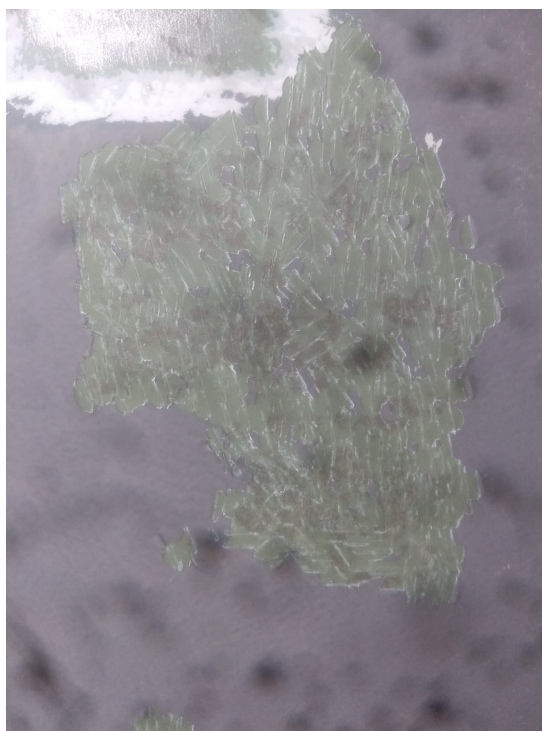


Figura 02: Pintura Exterior chassi MHC 01

Além dos pontos de oxidação, em alguns pontos dos equipamentos foram apresentados casos agressivos de corrosão, sendo eles:

- **Corrosão por pites:** Caracterizado pelo ataque dos cloretos (Cl^-) que rompe a película passiva localizada. Acontece em duas etapas, sendo a primeira a quebra da camada passiva localizada, onde os cristais de cloretos começam a ser formados na superfície por meio do mecanismo de penetração rápida dos íons de Fe^+ , promovendo afinamento da camada e o consumo do material, formando um pite. A segunda etapa é caracterizada pela formação do pite em uma região muito pequena, onde uma corrente localizada com grande densidade promove acidificação no interior do pite, forçando ainda mais o processo (STAKE, 2007). A figura 03 apresenta corrosão por pites localizada no do MHC 01.



Figura 03: Corrosão por pites, chassi MHC 01

- **Corrosão por esfoliação:** Acontece porque os produtos de corrosão desprendem do volume do material em formas de placas progressivas, onde à medida que os volumes destas placas aumentam em volume e espessura, ocorre o dano em fraturas, perdendo aderência no material base (STAKE, 2007). Neste fenômeno de corrosão, as segregações do material são alongadas e ocorrerá através de planos paralelos a superfície metálica e, mais frequentemente, em fresta. A figura 04 apresenta a presença de corrosão por esfoliação.



Figura 04: Corrosão por esfoliação, chassi MHC 02.

O forte índice de surgimento de corrosão se dá nos casos de bordas, porcas, parafusos e cantoneiras quando a tinta sofre a diminuição e a área pintada nessas peças é pequena, ocorre uma redução da película de proteção anticorrosiva, possibilitando fortes processos de corrosão, como demonstra a figura 04 no caso de corrosão por esfoliação (STAKE, 2007).

3.2 Sugestões para um sistema de proteção anticorrosivo

Para o combate às oxidações superficiais nas camadas de pintura, observa-se na norma PETROBRAS N-13 (2011) a recomendação de uso do jato abrasivo úmido ou hidrojateamento de altíssima pressão maior que 40.000 psi. No entanto, a mesma norma observa que se houver impedimento de natureza técnica, operacional ou ambiental, poderá nos casos de repintura e reparo de corrosão utilizar-se outras formas de preparação mecânicas.

Para o ajuste das questões ambientais de operações de hidrojateamento e jato abrasivo, os guindastes MHC 01 e MHC 02 a manutenção anticorrosiva deve ser indicada por ferramentas mecânicas para se atingir o padrão de limpeza da N – 0013 (2011) da PETROBRAS, utilizando escovas do tipo *Bristle Blasters*, conhecidas como decapadores de cerdas de titânios, em conjunto com marteletes com pontas específicas para remoção dos resíduos de oxidação e corrosão dos casos por pite e esfoliação.

O grau mínimo de limpeza da superfície metálica varia de acordo com o tipo de tinta a ser aplicado e as condições às quais ela fica exposta. Para o terminal TMULT e os equipamentos MHC 01 e MHC 02, a norma ISO 12944 – 5 (2019) apresenta o esquema de pintura de alta espessura e resistência de acordo com a sua própria classificação de atmosférica exposta na tabela 02.

Tabela 02 – Categorias de corrosividade atmosférica e exemplos de ambientes típicos

Categoria de corrosividade	Exterior	Interior
C1 Muito baixa	-	Edifícios com aquecimento e atmosferas limpas.
C2 Baixa	Atmosferas com baixos níveis de contaminação. Áreas rurais.	Edifícios sem aquecimento com possíveis condensações.
C3 Média	Atmosferas urbanas e industriais, com moderada contaminação de SO ₂ . Áreas costeiras com baixa salinidade.	Naves de fabricação com elevada humidade e com alguma contaminação.
C4 Alta	Áreas industriais e áreas costeiras com moderada salinidade.	Indústrias químicas, piscinas.
C5-I Muito alta (industrial)	Áreas industriais com elevada humidade e com atmosfera agressiva.	Edificados ou áreas com condensações quase permanentes e contaminação elevada.
C5-M Muito alta (marítima)	Áreas costeiras e marítimas com elevada salinidade.	Edifícios ou áreas com condensações permanentes e contaminação elevada.

Fonte: ISO 12944 – 5 (2019)

Partindo da classificação C5 - M para o terminal TMULT, o esquema adotado de pintura das superfícies acometidas pela corrosão é exposto na tabela 03 pela norma ISO 12944 – 5 (2019).

Tabela 03 – Esquema de pintura da classificação C5 - M

Tipo de tinta	Esquema	Espessura seca (micrómetros)
Primário rico em zinco	1 × C-Pox Primer ZN800	75 µm
Intermédio epoxi	1 × C-Pox S990 Mio FD	85 µm
Poliuretano	2 × C-Thane RPS HS	80 µm
Espessura total		240 µm
Primário epoxi fosf. zinco	1 × C-Pox Primer ZP200 HB	100 µm
Intermédio epoxi ferro micáceo	1 × C-Pox S990 Mio FD	140 µm
Poliuretano	2 × C-Thane RPS HS	80 µm
Espessura total		320 µm
Primário epoxi zinco	1 × C-Pox Primer ZP650	75 µm
Poliuretano flexível de alta espessura	1 × C-Thane S690 HB-F	125 µm
Espessura total		200 µm

Fonte: ISO 12944 – 5 (2019)

Todo o esquema apontado da tabela 03 apresenta durabilidade superior 15 anos, conforme norma ISO 12944 – 5 (2019).

Baseado nos conceitos nas normas ISO 9224 (2012), ISO 12944 – 5 (2019), PETROBRAS N – 2288 (2011), e PETROBRAS N – 0013 (2011), PETROBRAS N – 2288 (2004) e PETROBRAS 2677 (2007), foi montado um esquema de proteção para correção e proteção das superfícies acometidas:

- **Preparação da Superfície:** Inspeção, lavagem com hidrojato de baixa pressão (até 5000 psi) e detergentes, secagem remoção do óleo e graxas com solventes alifático, utilização de marteleto para rompimento dos blisters e posterior lixamento mecânico com escovas tipo Bristle Blasters com a superfície oxidada;
- **Tinta de fundo:** tinta de fundo epóxi pigmentada com alumínio a ser aplicada com rolo e trincha em duas demãos com espessura mínima de película seca > 45µm por demão. O intervalo entre demãos deverá ser no mínimo de 16 horas e no máximo de 48 horas;
- **Tinta de acabamento:** tinta de acabamento Poliuretano Acrílico Norma PETROBRAS N-2677, a ser aplicada com rolo e trincha em duas de demãos com espessura mínima de película >45 µm por demão. O intervalo entre demãos deverá ser no mínimo de 16 horas e máximo de 48 horas.
- **Tinta epóxi mastic bicomponente curada com poliamina:** É um produto de alta espessura, com alto teor de sólidos. Especialmente projetados para áreas onde a melhor preparação de superfície não é possível ou desejada. Proporciona proteção duradoura em ambientes com corrosividade alta. Adequado para superfície de aço carbono e com tinta envelhecida devidamente preparada. Espessura seca 120µm. Parâmetros básicos de sólidos por volume de mais ou menos 82%.
- **Poliuretano Acrílica Alifática Bicomponentes Altos Sólidos:** É uma tinta curada por reação química polimérica a temperatura ambiente, com a função de ser a primeira barreira de proteção às intempéries e que possui em sua natureza, grandes resistências aos raios ultravioletas (UV), além de possuir um acabamento brilhante com muita retenção de brilho. É um produto de alta espessura, com alto teor de sólidos. É de secagem rápida. A tinta é altamente flexível, resistente a impacto e possui excelente aderência. Para ser utilizado como acabamento em ambientes atmosféricos hostis. Parâmetro básico de sólidos por volume é mais ou menos 64%.

4. CONCLUSÃO

A situação dos guindastes deve ser observada com muita atenção, pois o processo de corrosão é agressivo e pode comprometer a sua operação, uma vez que existe muitas juntas de ligação da estrutura principal da lança, atingidas pelo processo de corrosão. A perda de massa em estruturas metálicas críticas, como nos guindastes, deve ter atenção de manutenção redobrada. Recomendando-se em caráter emergencial de um processo de estabilização do nível de corrosão das estruturas, para que se viabilize um programa integrado de proteção anticorrosiva dos equipamentos do TMULT.

Diante das inspeções, a compreensão do processo de corrosão observado em diversas áreas apresenta oportunidade de elaboração e execução de manutenção corretiva e preventiva com base no esquema apresentado no item 3.2 em constituição de equipes de preparação de pintura com experiência em trabalho em altura. Como proposta de aplicação do esquema de pintura, as equipes devem ser certificadas em NR – 35 (2012) e Irata níveis 1, 2 e 3 com no mínimo 1 ano de experiência prévia, treinadas para acesso por cordas com quatro membros se revezando com 02 pintores e 02 lixadores e 1 supervisor nível 3 Irata.

No terminal TMULT acontecem operações de embarque e desembarque, carregamento e empilhamento de minério, o que torna o processo de preparação de superfície e pintura condicionados à não funcionamento dessas operações. Desde ponto, entende-se que é possível obter um ganho econômico viável ao se trabalhar em equipes menores e flexíveis, ajustando à disponibilidade e permissões de trabalho do terminal, ou seja, agendamento de acordo com as movimentações das operações de embarque e desembarque, evitando a ocorrência da manutenção simultânea nas operações/movimentações.

Por fim, as sugestões no trabalho apresentadas buscam congrega o processo de entendimento das particularidades da corrosão no terminal do TMULT com um processo de mitigação desses efeitos de forma certificada e normatizada. Esse enfoque é de grande importância para eficiência operacional do modelo, sendo uma abordagem sistêmica na premissa básica às ações de planejamento, controle e estratégicas na implantação de um programa de proteção anticorrosiva.

REFERÊNCIAS

MORCILLO, M. et al. **Corrosion y proteccion de metales em las atmosferas de Lberoamerica, Parte I – Mapa de Iberoamerica de Corrosividade Atmosféricas**. Madrit: Salué 1998.

MARCORIN, W. R.; LIMA, C. R. C. "Análise dos Custos de Manutenção e de não-manutenção de equipamentos produtivos." *Revista Ciência & Tecnologia [on line]* jul./dez. 2003, v.11 n.22. Disponível em <https://docplayer.com.br/4745864-Analise-dos-custos-de-manutencao-e-de-nao-manutencao-de-equipamentos-produtivos.html>. Acessado em 14 nov. 2022.

International Organization for Standardization. BS EN ISO 12944 – Parts 2. Paints and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems Protective paint systems. ISO, 2017.

International Organization for Standardization. BS EN ISO 12944 – Parts 5. Paints and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems Protective paint systems. ISO, 2019.

International Organization for Standardization. ISO 9224. Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity. ISO, 2012.

STAKE, Roberto E. **A arte da investigação como estudo de caso**. Trad. Chaves, Ana Maria, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007.

PETROBRAS. N – 13. Requisitos Técnicos para Serviços de Pintura. PETROBRAS, 2011.

PETROBRAS. N – 2288. Tinta de Fundo Epóxi Pigmentada com Alumínio. PETROBRAS, 2004.

PETROBRAS. N – 2677. Tinta de Poliuretano Acrílico. PETROBRAS, 2007.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **NR 33 – Trabalho em Altura**. Brasília: Ministério do Trabalho e Previdência, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-35.pdf> Acesso em: 28 out. 2022.