



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PEDRO EMANUEL HONORATO SILVA LOPES

**ANÁLISE DO TRATAMENTO ANTICORROSIVO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE
PINTURA NA BASE DE UMA TORRE EÓLICA NO ESTADO DO PIAUÍ:
UM ESTUDO DE CASO.**

RUSSAS

2023

PEDRO EMANUEL HONORATO SILVA LOPES

ANÁLISE DO TRATAMENTO ANTICORROSIVO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE
PINTURA NA BASE DE UMA TORRE EÓLICA NO ESTADO DO PIAUÍ:
UM ESTUDO DE CASO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Prof. Dra, Caroliny Gomes de Oliveira

RUSSAS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L855a Lopes, Pedro Emanuel Honorato Silva.
Análise Do Tratamento Anticorrosivo Através Da Aplicação De Pintura Na Base De Uma Torre Eólica
No Estado Do Piauí : Um Estudo De Caso. / Pedro Emanuel Honorato Silva Lopes. – 2023.
87 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,
Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira .

1. industria eólica. 2. manutenção. 3. oxidação. 4. tratamento de superfície. 5. pintura.. I. Título.
CDD 620.1

PEDRO EMANUEL HONORATO SILVA LOPES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Aprovada em: 08/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Caroliny Gomes de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Sérgio Xavier Barbosa Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Tiago De Oliveira Nogueira
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

A Deus.

Aos meus pais e minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus pais, Aldo Honorato e Eliziane Lopes, por tudo que já fizeram e fazem por mim, e por todo apoio que sempre recebo de ambos.

Agradeço a minha Tia Maria pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha trajetória acadêmica.

Aos meus amigos, Marco Rogério e Samuel Carvalho, pelas ótimas conversas e conselhos.

A professora Dra, Caroliny Gomes de Oliveira, por ser minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação, sendo essencial principalmente nesse final de semestre.

Ao professor Me. Tiago De Oliveira Nogueira, que foi inicialmente meu orientador, me direcionando a melhor maneira de abordar este tema.

Aos professores do curso, que guiaram meu processo de aprendizado e formação profissional ao longo do curso.

A Universidade Federal Do Ceará, que foi minha segunda casa durante boa parte do período de graduação.

A possibilidade de realizarmos um sonho é o
que torna a vida interessante.

Paulo Coelho.

RESUMO

A indústria eólica desempenha um papel vital na geração sustentável de eletricidade. No entanto, as condições climáticas e a exposição constante a ambientes agressivos podem comprometer a integridade dessas estruturas, ressaltando a forte necessidade de combater a oxidação em torres de aerogeradores. O estudo abordou aspectos técnicos, fornecendo uma visão abrangente e detalhada do tratamento de oxidação adotado, seus resultados a curto e médio prazo. O presente trabalho apresenta, na forma de estudo de caso, a manutenção realizada na base de uma torre eólica no Piauí, propondo uma análise do estado inicial e final da base e documentando o processo de restauração da mesma. Esta análise busca não apenas avaliar a eficácia dos métodos de tratamento aplicados à base do aerogerador, mas também indicar metodologias e esquemas de pintura para toda torre eólica, abrangendo os procedimentos adotados para a proteção das estruturas metálicas expostas à corrosão atmosférica. Os resultados após 10 meses do tratamento de superfície com ferramentas mecânicas de nível St3 e aplicação de esquema de pintura com dois produtos (*Jotamastic 90* e *HardTop XP*) evidenciaram a necessidade de mudança para o tratamento de superfície por jateamento abrasivo de nível Sa3 e aplicação de esquema de pintura com três produtos (*Barrier Smart Pack*, *Penguard Universal*, *HardTop XP*).

Palavras-chave: indústria eólica; manutenção; oxidação; tratamento de superfície; pintura.

ABSTRACT

The wind industry plays a vital role in sustainable electricity generation. However, weather conditions and constant exposure to aggressive environments can compromise the integrity of these structures, highlighting the strong need for oxidation resistance in wind turbine towers. The study covered technical aspects, provides a comprehensive and detailed view of the distribution treatment, its short and medium term results. This work presents, in the form of a case study, the maintenance carried out at the base of a wind tower in Piauí, proposing an analysis of the initial and final state of the base and documenting the process of its restoration. This analysis not only evaluates the effectiveness of the treatment methods applied to the base of the wind turbine, but also indicates methodologies and painting schemes for the entire wind tower, covering the procedures adopted to protect metal structures exposed to atmospheric corrosion. The results after 10 months of surface treatment with mechanical tools at level St3 and application of a paint scheme with two products (*Jotamastic 90* and *HardTop XP*) highlighted the need to change to surface treatment by abrasive blasting at level Sa3 and application of paint scheme with three products (*Barrier Smart Pack*, *Penguard Universal*, *HardTop XP*).

Keywords: wind industry; maintenance; oxidation; surface treatment; painting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Evolução da Capacidade Instalada no Brasil de 2006 a 2022.....	4
Figura 02 - Contribuição da Energia Eólica Para a Matriz Elétrica Brasileira.....	5
Figura 03 - Incidência de Vento na Região Nordeste.....	6
Figura 04 - Parque Eólico em Camocim - CE.....	7
Figura 05 - Divisão do Aerogerador.....	8
Figura 06 - Divisão das Atividades de Manutenção.....	10
Figura 07 - Corrosão Galvânica.....	13
Figura 08 - Classificação da Corrosão por Aparência.....	14
Figura 09 - Corrosão Uniforme.....	15
Figura 10 - Corrosão por Placas.....	16
Figura 11 - Corrosão Puntiforme.....	17
Figura 12 - Graus de Oxidação dos Metais.....	18
Figura 13 - Mapa de Agressividade Atmosférica no Brasil.....	20
Figura 14 - Ilustração da Limpeza grau Sa3.....	22
Figura 15 - Ilustração da Limpeza grau St3.....	24
Figura 16 - Ilustração do Esquema de Proteção por Barreira.....	26
Figura 17 - Ilustração do Esquema de Proteção Catódica.....	27
Figura 18 - Esquema de Pintura com Três Protetivos.....	30
Figura 19 - Níveis de Salinização na Região Delta do Parnaíba.....	34
Figura 20 - Oxidação encontrada na Base da Torre.....	35
Figura 21 - Estado Inicial da base.....	35
Figura 22 - Estado Inicial em Volta do Parafuso.....	36
Figura 23 - Estado de Corrosão Inicial da Base.....	36
Figura 24 - Corrosão Inicial Arruela.....	37
Figura 25 - Utilização de Desincrustador Pneumático.....	38
Figura 26 - Remoção da Camada mais Espessa de Oxidação.....	38
Figura 27 - Base em Processo de Finalização do Tratamento.....	39
Figura 28 - Base com Tratamento Finalizado.....	39

Figura 29 - Base com Tratamento Finalizado.....	39
Figura 30 - Identificação e Aplicação do Protetivo de Fundo.....	41
Figura 31 - Aplicação do Protetivo de Fundo com Trincha.....	42
Figura 32 - Medição de Película Úmida Tinta de Fundo.....	43
Figura 34 - Tinta de Fundo Após Aplicação.....	44
Figura 35 - Medição de Película Seca de Fundo.....	44
Figura 36 - Teste de Película Seca de Fundo.....	45
Figura 37 - Aplicação de Acabamento com Trincha.....	45
Figura 38 - Medição de Película Úmida de Acabamento.....	46
Figura 41 - Medição de Película Seca Final.....	47
Figura 42 - Registro de Incidência de Raios no Primeiro dia de Trabalho.....	48
Figura 43 - Registro de Medições de Umidade.....	48
Figura 44 - Registro do Tempo no Segundo Dia de Trabalho.....	49
Figura 46 - Cronograma de Execução Torro 07.....	49
Figura 46 - Base Oxidada Após Exposição à Chuva.....	50
Figura 47 - Base Oxidada Devido a Chuva.....	50
Figura 48 - Base com Aplicação de Fundo Após a Chuva.....	51
Figura 49 - Visualização da Base.....	52
Figura 50 - Imperfeições na Superfície Pintada.....	53
Figura 51 - Escorrimento de Tinta.....	53
Figura 52 - Manchas na Superfície Pintada.....	54
Figura 53 - Porosidade na Superfície Pintada.....	54
Figura 54 - Surgimento de Crateras.....	55
Figura 55 - Fissuras em Volta das Arruelas.....	55
Figura 56 - Medições Máxima e Mínima de Espessura Seca.....	57
Figura 57 - Ponto de Oxidação na Base.....	57
Figura 58 - Pontos de Oxidação na Lateral da Base.....	58
Figura 59 - Retorno de Oxidação em Volta das Arruelas.....	58
Figura 60 - Retorno de Oxidação em Volta da Porca.....	59

Figura 61 - Aumento da Oxidação.....	59
Figura 62 - Poros e Irregularidades na Superfície.....	60
Figura 63 - Inspeção Base Torre 06.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Representatividade da Geração de Energia Eólica Nas Regiões do Brasil.....	5
Tabela 02 - Classificação de Ambientes Corrosivos.....	19
Tabela 03 - Graus de preparação de superfície por jateamento Abrasivo.....	21
Tabela 04 - Graus de Preparação de Superfície por Ferramenta Mecânicas.....	23
Tabela 05 - Tempo de Secagem para Repintura.....	43
Tabela 06 - Registros de Horas Paradas Durante a Atividade.....	47
Tabela 07 - Medição de Espessura Final em 24 Pontos.....	56
Tabela 08 - Protetivos Escolhidos Para finalização do Contrato.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

GWEC	Global Wind Energy Council.
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ABNT	Associação de Normas Técnicas
O&M	Operação e Manutenção
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
CFT	Corrosão Sob Tensão Fraturante
UR	Umidade Relativa
CVP	Concentração Volumétrica de Pigmentos
TRZ	Tintas Ricas em Zinco
St	Limpeza por Ferramentas Mecânicas
Sa	Grau de Limpeza por Jateamento Abrasivo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Justificativa.....	2
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	2
1.2.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	2
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1	Eólica.....	3
2.1.1	<i>Potencial Eólico do Brasil.....</i>	3
2.1.2	<i>Potencial Eólico do Nordeste.....</i>	5
2.1.3.	Aerogeradores.....	6
2.1.3.1	<i>Componentes do Aerogerador.....</i>	7
2.2	Manutenção.....	9
2.2.1	<i>Manutenção Corretiva.....</i>	10
2.2.2	<i>Manutenção Preventiva.....</i>	10
2.2.3	<i>Manutenção Preditiva.....</i>	11
2.2.4	<i>Manutenção Aplicada a Aerogeradores.....</i>	11
2.3	Corrosão.....	12
2.3.1.	<i>Classificação por Mecanismo de Corrosão.....</i>	13
2.3.1.1	<i>Corrosão Galvânica.....</i>	13
2.3.1.2	<i>Corrosão Química.....</i>	13
2.3.2	<i>Classificação Por Morfologia.....</i>	14
2.3.2.1	<i>Corrosão Uniforme.....</i>	15
2.3.2.2	<i>Corrosão Intergranular.....</i>	15
2.3.2.3	<i>Corrosão por Placas.....</i>	15
2.3.2.4	<i>Corrosão Alveolar.....</i>	16
2.3.2.5	<i>Corrosão Puntiforme.....</i>	16
2.3.3	<i>Graus de Oxidação.....</i>	17
2.3.4	<i>Corrosão Atmosférica.....</i>	18

2.3.5	<i>Agressividade Ambiental</i>	18
2.4	Tratamento De Superfície	20
2.4.1	<i>Limpeza por Jateamento Abrasivo (Sa)</i>	21
2.4.2	<i>Limpeza com Ferramentas Manuais e/ou Mecânicas (St)</i>	22
2.5	Proteção Anticorrosiva	24
2.5.1	<i>Pintura</i>	24
2.5.2	<i>Classificação das Tintas</i>	25
2.5.2.1	<i>Tintas de Fundo</i>	25
2.5.2.2	<i>Tintas Intermediárias</i>	25
2.5.2.3	<i>Tintas de Acabamento</i>	25
2.5.3	<i>Mecanismos de Proteção</i>	25
2.5.3.1	<i>Proteção por Barreira</i>	26
2.5.3.2	<i>Proteção por Pigmentos Inibidores</i>	26
2.5.3.3	<i>Proteção Catódica</i>	26
2.5.4	<i>Tipos de Revestimentos</i>	27
2.5.4.1	<i>Revestimento com Epóxi</i>	27
2.5.4.2	<i>Revestimento com Poliuretano</i>	28
2.5.5	<i>Propriedades Fundamentais dos Revestimentos por Pintura</i>	28
2.5.5.1	<i>Aderência</i>	28
2.5.5.2	<i>Flexibilidade</i>	29
2.5.5.3	<i>Resistência a Abrasão e ao Impacto</i>	29
2.5.5.4	<i>Resistência Exposição Atmosférica e a Água</i>	29
2.5.6	<i>Especificação dos Esquemas de Pintura</i>	29
2.5.7	<i>Aplicação</i>	30
2.5.8	<i>Defeitos</i>	30
2.5.8.1	<i>Escorrimento Ou Decaimento</i>	31
2.5.8.2	<i>Espessura Irregular</i>	31
2.5.8.3	<i>Manchas</i>	31
2.5.8.4	<i>Porosidade</i>	31

2.5.8.5	<i>Craterização</i>	32
2.5.8.6	<i>Impregnação de Abrasivos e Materiais Estranhos</i>	32
2.5.8.7	<i>Empolamento ou bolhas</i>	32
3	METODOLOGIA	33
3.1	Informações Sobre o Parque	37
3.4	Pintura	33
3.2	Base da Torre	34
3.3	Tratamento Mecânico	40
3.4.1	<i>Escolha dos Produtos</i>	40
3.4.2	<i>Aplicação</i>	41
3.4.2.1	<i>Aplicação de Tinta de Fundo</i>	41
3.4.2.1	<i>Acabamento</i>	45
3.5	Condições Climáticas	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	Inspeções	52
4.1.1	<i>Primeira Inspeção</i>	52
4.1.1.1	<i>Inspeção Visual e Fotográfica</i>	52
4.1.1.2	<i>Medições de Espessura</i>	56
4.1.2	<i>Segunda Inspeção</i>	57
4.2	Medidas Corretivas	60
5	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	65
	ANEXO 01 - NORNER: TESTE DE REVESTIMENTOS PROTETORES	69
	ANEXO 02 - KIWA: TESTE DE PRÉ-QUALIFICAÇÃO	70

1 INTRODUÇÃO

A indústria de energias renováveis tem ganhado cada vez mais importância no mundo. Dentre as várias formas de geração de energia limpa, a energia eólica tem se mostrado uma das mais promissoras, representando uma alternativa viável e sustentável para a geração de eletricidade. Através das metas para diversificação da matriz energética, a indústria eólica desempenha um papel fundamental com alto potencial de geração, não emitindo substâncias tóxicas na atmosfera nem gases de efeito estufa durante a geração de eletricidade.

Com essa crescente necessidade, o uso de aerogeradores vem sendo cada vez mais empregado. Para garantir o desempenho eficiente e confiável desses sistemas, a manutenção é essencial, com operações que incluem atividades preventivas, corretivas e preditivas, abrangendo inspeções regulares, substituição de componentes desgastados, ajustes mecânicos e verificações elétricas visando maximizar a disponibilidade operacional, assegurar a segurança do ativo e prolongar sua vida útil.

As torres encontram-se instaladas em locais propícios ao aparecimento de problemas em sua estrutura, principalmente nos componentes metálicos externos. Devido à exposição a ambientes agressivos, verifica-se o surgimento de oxidação em diversas formas e níveis, podendo acarretar o comprometimento da integridade estrutural e do desempenho da máquina. Esta condição resulta em perdas financeiras e períodos improdutivos, devido às paradas não programadas para a execução de manutenção corretiva.

Por isso a adoção de medidas preventivas que visam minimizar os efeitos da oxidação são essenciais. Tratamentos superficiais e esquemas de pintura anticorrosivas são os métodos mais empregados, devido ao seu baixo custo, quando comparado ao custo para troca de peças. A seleção do nível de limpeza dos produtos aplicados é de extrema importância para garantir a durabilidade da proteção, devendo-se analisar o estado da peça a ser protegida e o ambiente a qual está exposta.

Inspeções de qualidade são necessárias para garantia do serviço, permitindo identificar possíveis irregularidades e desgastes prematuros. Realizar modificações no escopo do trabalho, alterando a forma de tratamento ou combinação de produtos pode ser uma decisão estratégica a fim de garantir a qualidade do trabalho. Essa abordagem proativa não apenas eleva a excelência do resultado, mas também evidencia um compromisso contínuo com a entrega de serviços de alta qualidade.

1.1 Justificativa

. A exposição constante ao ambiente agressivo, incluindo a presença de umidade, salinidade e variações climáticas, pode resultar na formação de oxidação nas superfícies metálicas das torres. A realização de tratamento específico e aplicação de protetivos para combater a oxidação não apenas preserva a integridade estrutural das torres, como prolongam sua vida útil. Além disso, a manutenção preventiva contra a corrosão contribui para a eficiência operacional das turbinas eólicas, assegurando que continuem a desempenhar um papel crucial na produção de energia limpa e sustentável.

Investir no tratamento de oxidação é uma medida estratégica para proteger as torres eólicas, fortalecendo a viabilidade e a contribuição positiva desse meio de geração de energia renovável.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objeto realizar um estudo de caso, da aplicação de pinturas protetivas na base de um aerogerador e avaliar sua eficiência no tratamento contra oxidação.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os tipos de corrosão existentes e os mecanismos de corrosão presente nas estruturas de aço das bases dos aerogeradores
- Analisar os tipos de métodos para proteção anticorrosiva e avaliar sua resistência à corrosão.
- Avaliar os protetores para inibir a corrosão e comparar sua eficiência.
- Verificar a efetividade do serviço realizado mediante a inspeções.
- Indicar o sistema que melhor se adequa para aplicação em toda Torre Eólica.
- Propor possíveis soluções para evitar os desvios de qualidade nos serviços seguintes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo visa esclarecer os assuntos abordados ao longo deste trabalho, com tópicos que tragam a melhor compreensão sobre a indústria eólica, manutenção, corrosão em metais e métodos para proteção anticorrosiva.

2.1 Eólica

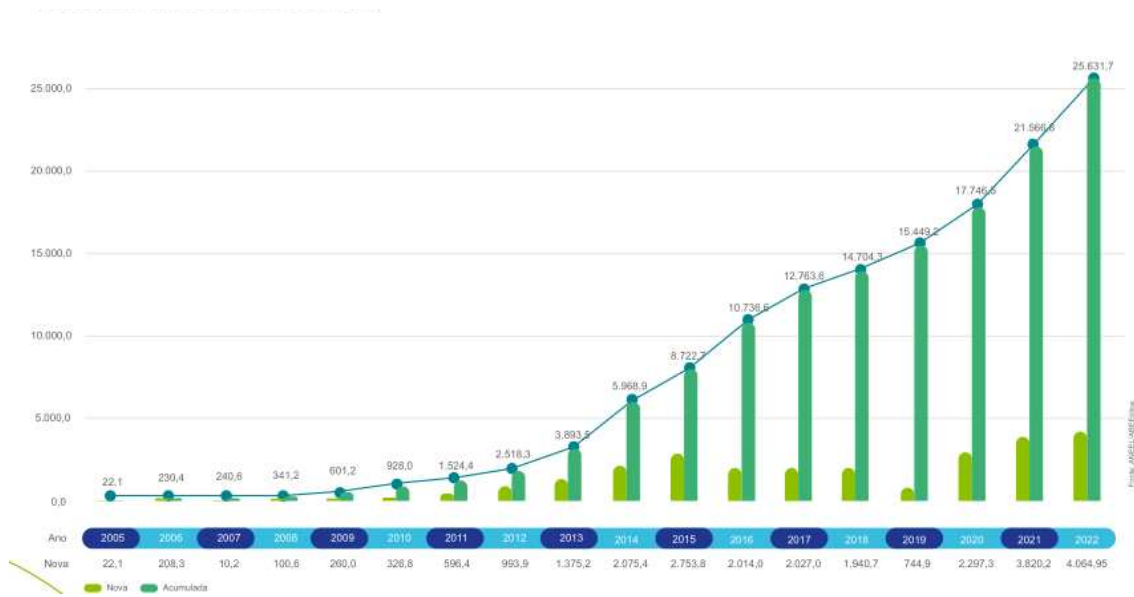
2.1.1 Potencial Eólico do Brasil

No cenário mundial, o Brasil se destaca por ter sua matriz de geração de energia elétrica fortemente baseada em fontes renováveis (Bezerra, 2019), mantendo ao fim de 2022 a 6º posição no ranking mundial de capacidade eólica acumulada elaborado pelo GWEC (Global Wind Energy Council).

O primeiro passo importante para a inserção da energia eólica no Brasil foi dado com a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), pela Lei nº 10.438/2002, iniciativa governamental destinada a diversificar a matriz energética nacional e fomentar o mercado interno para o uso dessa fonte (Bezerra, 2019).

Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), contidos no Boletim de Geração Eólica de 2022, energia eólica terminou o ano com 904 usinas e 25,63 GW de potência eólica instalada, representando um crescimento de 18,85% em relação a dezembro de 2021 quando a capacidade instalada era de 21,57 GW. O Figura 01 apresenta o gráfico da evolução da capacidade instalada no Brasil em megawatts do ano de 2006 a 2022.

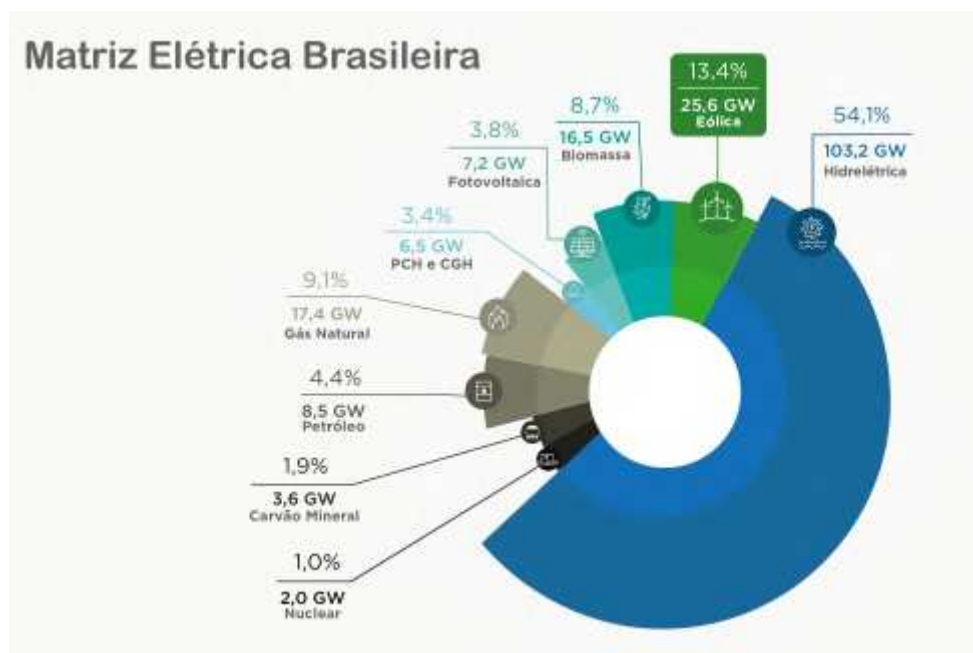
Figura 01 - Evolução da Capacidade Instalada no Brasil de 2006 a 2022.



Fonte: ABEEólica, (2023).

Considerando todas as fontes de geração de energia elétrica, em 2022, foram instalados 7,97 GW de potência e a eólica foi a fonte que mais cresceu, representando 51,03% da nova capacidade instalada no ano (ABEEólica, 2023). Ainda segundo dados da ABEEólica, a fonte de energia dos ventos atingiu uma participação de 13,4% da matriz elétrica brasileira e 13,52% na média de toda a geração injetada no Sistema Interligado Nacional (SIN). A Figura 02 apresenta a divisão da matriz energética brasileira.

Figura 02 - Contribuição da Energia Eólica Para a Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: ABEEólica, (2023).

2.1.2 Potencial Eólico do Nordeste

A evolução do setor eólico está cada vez mais notável, principalmente nos estados do Nordeste que ampliou em 12% a sua capacidade de geração no ano de 2022, mostrado na Tabela 01, correspondendo a 90,3% de toda geração eólica do país. Tanto em seu litoral quanto no interior, os aerogeradores estão se tornando parte da paisagem dos estados do nordeste.

Tabela 01 - Representatividade da Geração de Energia Eólica Nas Regiões do Brasil

Região	2021		2022		% de crescimento
	Geração (TWh)	Representatividade	Geração (TWh)	Representatividade	
Sudeste	0,06	0,1%	0,06	0,1%	16%
Sul	6,20	8,7%	5,95	7,6%	-4%
Nordeste	63,20	88,7%	70,48	90,3%	12%
Norte	1,76	2,5%	1,59	2,0%	-10%
Total	71,22	100%	78,08	100%	9,6%

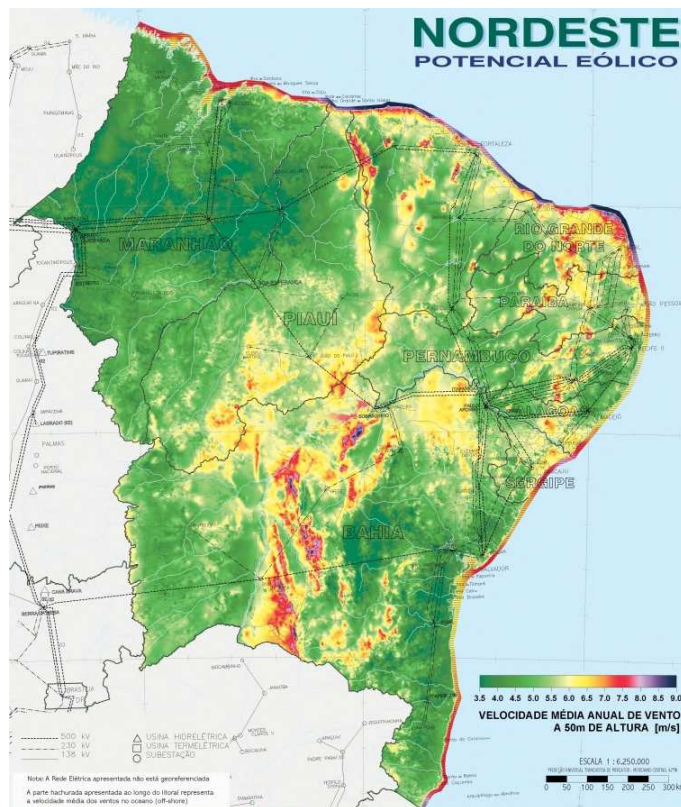
Fonte: ABEEólica, (2023).

Dados fornecidos pelos Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001) mostram que a região Nordeste possui as “jazidas” de vento que apresentam as melhores condições de

aproveitamento para fins de geração de energia elétrica.

O mapa mostrado na Figura 03 mostra as regiões de maior incidência de vento no nordeste, localizadas no litoral e em regiões montanhosas do interior. A descrição da variação da velocidade do vento é um aspecto muito importante para os operadores da indústria eólica, necessário para otimizar o projeto de turbinas e deste modo, conseguir minimizar os custos de produção de energia elétrica (Carneiro, 2013).

Figura 03 - Incidência de Vento na Região Nordeste



Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, (2001).

2.1.3. Aerogeradores

Aerogeradores são dispositivos que convertem a energia cinética do vento em energia elétrica. Esses equipamentos fazem parte de sistemas de geração de energia renovável juntamente com outras fontes e são encontrados em parques eólicos.

A principal função dos aerogeradores é gerar eletricidade de forma sustentável, contribuindo na diversificação da matriz energética e redução na dependência de fontes de energia não renováveis como termelétricas. São fundamentais para a transição de um sistema de energia mais sustentável e menos dependente de combustíveis fósseis. A Figura 04

apresenta um parque eólico no município de Camocim, localizado no litoral do Ceará.

Figura 04 - Parque Eólico em Camocim - CE



Fonte: BdF Ceará, (2022).

2.1.3.1 Componentes do Aerogerador

Segundo Santiago (2012), o vento incide nas pás que compõem o rotor e a sua energia cinética é transformada em energia mecânica, transmitida ao gerador elétrico, onde é convertida em energia elétrica.

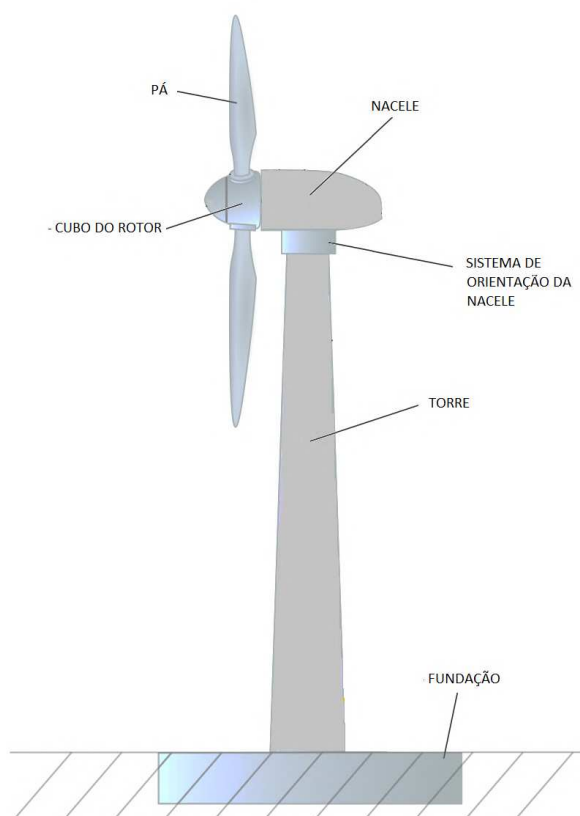
As pás são responsáveis por captar a energia cinética do vento, são projetadas em formato aerodinâmico para ter melhor eficiência. De acordo com Alvim Filho (2009), a forma do aerofólio (pás) faz com que o ar escoe mais rápido na parte superior que na inferior, resultando numa maior pressão no lado inferior. Esta diferença de pressão faz surgir uma força orientada do lado inferior fazendo-as girar em torno de um eixo horizontal.

O eixo transmite o movimento a caixa de engrenagens (caixa multiplicadora ou *gear box*) para aumentar a velocidade rotacional, conseguindo um fator multiplicador de até 120 vezes. Isso permite que o gerador opere de maneira mais eficiente em uma faixa de velocidade controlada, convertendo a energia mecânica transmitida pelo eixo em energia elétrica.

A nacelle é parte superior da torre, onde estão acopladas das pás e abrigados o gerador, a caixa de engrenagens e outros componentes elétricos e mecânicos. Possui um sistema de orientação para girá-la conforme a direção do vento, garantindo que as pás do rotor estejam sempre voltadas para a direção certa. Esses sistemas monitoram a velocidade e direção do

vento, ajustando automaticamente a orientação das pás para otimizar a captura de energia e proteger o aerogerador de condições climáticas adversas. A nacelle e demais componentes são mostrados na Figura 05.

Figura 05 - Divisão do Aerogerador.



Fonte: Comitê Técnico Setorial de Energia Eólica, (2020).

Torre é a estrutura que suporta o aerogerador, geralmente são do tipo tubular e feitas de aço ou concreto, sendo dividido em tramos que são as partes constituintes facilitam a logística de transporte e montagem. Também pode ser do tipo treliçada, porém, as torres do tipo tubulares são mais seguras para realização de manutenções. Pode ter diferentes alturas, dependendo do modelo do aerogerador e das condições do local. Quando construídas em concreto apresentam uma menor temperatura interna e necessitam de menos manutenções, quando feita em aço tem menor custo de montagem, porém maiores custos com a manutenção da estrutura metálica.

A fundação suporta todo o peso da estrutura do aerogerador e das forças laterais provenientes das rajadas de vento. Em torres metálicas a junção da base do tramo inferior com a fundação é feita por meio do tensionamento em parafusos estruturais, recebendo torque

pré-estabelecido sobre um conjunto de porca e arruela, de modo a obter um alongamento suficiente para o aperto necessário da união.

Devido ao uso constante dessas máquinas e pelo fato de ser utilizada em campo aberto, há uma preocupação em relação aos problemas que podem surgir, tanto externos e internos (Nogueira, 2021). Para evitar que essas falhas prejudiquem o funcionamento do aerogerador, técnicas de manutenção são utilizadas nessas máquinas.

2.2 Manutenção

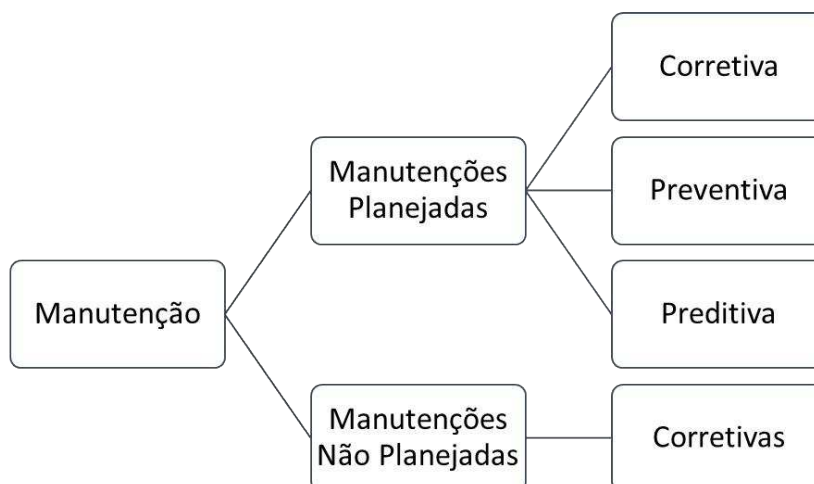
Segunda a Associação de Normas Técnicas - ABNT a manutenção é “A combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”, (ABNT – NBR 5462 / 1994).

Para Xenos (1998), o conceito de manutenção nada mais é do que realizar todas as atividades necessárias para assegurar que um determinado equipamento continue desempenhando as suas funções para as quais foi projetado e construído, em níveis de desempenhos exigidos e satisfatórios.

Segundo Fuentes (2006), o objetivo primário da manutenção é manter o bom funcionamento do equipamento por meio de ações usadas para controlar ou prevenir falhas e restabelecer o seu estado operacional sempre que o equipamento entrar em falha. Pode-se relacionar essas ações através da decisão dos itens que devem ser submetidos a manutenção,

As atividades de manutenção propriamente ditas focam em manter o ativo funcionando mediante a ações tomadas no dia a dia, como, por exemplo, a substituição de peças desgastadas, lubrificação e reparo de falhas a fim de manter as condições originais de funcionamento do equipamento. Os tópicos seguintes dividem a manutenção em corretiva, preventiva e preditiva, podendo ser manutenções planejadas ou, no caso de quebras, manutenções não planejadas, conforme ilustrado na Figura 06.

Figura 06 - Divisão das Atividades de Manutenção.



Fonte: Autor, (2023).

2.2.1 Manutenção Corretiva

Segundo a NBR 5462, manutenção corretiva é definida como o tipo de manutenção cuja finalidade é a de corrigir algum defeito que venha surgir em um equipamento, e que após tal correção, este possa desempenhar suas funções previamente estabelecidas em projeto de forma eficiente e confiável (NBR 5462, item 2.8.8, pág 7).

Esse tipo de manutenção pode ocorrer de duas formas, uma de forma não programada, onde a correção da falha é de modo aleatório, não apresentando nenhum tipo de planejamento prévio e a programadamente, onde mesmo após a falha funcional, não se faz necessário a intervenção imediatamente (Pinto e Xavier, 1988),

Os conceitos de manutenção são amplamente aplicados no ramo industrial, onde a rede das programações de preventivas deve ser bem elaborada e a agilidade nas corretivas deve garantir o constante funcionamento dos equipamentos a fim de evitar paradas de máquina e perda de lucros por falta de produção.

2.2.2 Manutenção Preventiva

Trata-se da manutenção efetuada em períodos pré-determinados ou com base em outros critérios, este tipo de manutenção tem como finalidade a redução da probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item (NBR 5462, item 2.8.7, pág 7).

De acordo com Xenos (1998), ao comparar com a manutenção corretiva, somente no sentido de custo com a manutenção, temos que o método preventivo se torna mais caro, ao ser

necessário a troca de peças e os componentes têm que ser reformados antes de atingirem seu limite de uso. Por outro lado, o número de ocorrências com falhas diminui, a disponibilidade dos equipamentos aumenta, além de reduzir as paradas inesperadas da produção.

2.2.3 Manutenção Preditiva

É a manutenção que fornece condições para garantir uma qualidade de serviço desejada, fazendo uso sistemático de técnicas de análise e meios de supervisão, a fim de reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (NBR 5462, item 2.8.9, pág 7).

De acordo com Pinto e Xavier (1988), o objetivo deste tipo de manutenção é a de prevenir falhas, seja em equipamentos ou sistemas, isso se dá ao fazer o acompanhamento de diversos parâmetros, proporcionando ao equipamento a capacidade de funcionamento contínuo pelo maior tempo possível. Segundo Xenos (1998), permite otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes e estender intervalo de manutenção, prevendo quando a peça ou componente estarão próximos de seu limite de vida.

2.2.4. Manutenção Aplicada a Aerogeradores

Segundo Gonzales (2018), a gestão de operação e manutenção (O&M) de um parque eólico envolve atividades de planejamento, execução e monitoramento. Para Santiago (2012), o principal objetivo de O&M dos parques eólicos é minimizar os custos totais por unidade de energia gerada durante a vida útil do empreendimento.

Ainda segundo Santiago (2012), esse objetivo pode ser atingido através da redução dos custos de operação e de manutenção e da melhoria do desempenho e eficiência dos aerogeradores, que pode ainda reduzir riscos. Com a programação de manutenções preventivas na baixa temporada de vento, a probabilidade de ocorrer falhas quando houver maior demanda do aerogerador é minimizada.

Spino (2019), verificou a importância da manutenção baseado em estudos prévios e com planejamento em parques eólicos. Ao fazer uma análise das causas das paradas de máquina e o tempo de manutenção, tomando medidas para melhorar o MTTR (*Mean Time to Repair*: Tempo médio para reparo) a fim de evitar perdas financeiras.

Em estudo comparativo feito por Rocha (2016), ele expressa que os custos de manutenção da torre de concreto são mínimos quando comparado aos custos de manutenção numa torre metálica, devido a problemas com corrosão. Por estarem instalados em regiões

extremamente agressivas se torna necessária a execução de tratamentos periódicos contra oxidação.

Gonzales, em artigo publicado na Wind Power Brasil no ano de 2018, apresentou as principais dificuldades enfrentadas pelos gestores de O&M em parques eólicos brasileiros. Mediante pesquisa com gestores de 107 parques eólicos verificou-se que antes da contratação os esforços são em encontrar fornecedores qualificados devido à falta de informações dos serviços prestados.

Segundo Gonzales (2018), durante a execução, as dificuldades são os prazos com duração superior aos cronogramas apresentados, uso de equipamento e ferramentas inadequadas, alterações do escopo do serviço e o não cumprimento das normas de segurança pelos fornecedores. Após a execução do serviço, o problema são o aparecimento de efeitos colaterais relacionado ao serviço realizado. Tomando como base dados disponibilizados pelos gestores de O&M, Gonzales (2018) expõe que os critérios utilizados com ganhador de pedido segue sendo a qualidade do serviço prestado pelo fornecedor, critério a qual supera o preço do serviço e a chamada fidelidade com o fornecedor.

2.3 Corrosão

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, normalmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio em que está associado. Esta deterioração causa alterações físico-químicas, estruturais e desgaste do material, tornando-o impróprio e inseguro para uso (Gentil, 2011).

Segundo a NORMA DNIT 084/2006, corrosão é a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos.

Para Pannoni (2011), corrosão pode ser definida a tendência espontânea do metal produzido de reverter ao seu estado original. Sendo um processo espontâneo, está constantemente transformando os materiais metálicos, afetando diretamente a sua durabilidade e seu desempenho.

Tendo um elevado impacto, econômico, ambiental e de segurança na sociedade, segundo Gentil (1996), a corrosão causa perdas econômicas significativas, por gerar necessidade de manutenção preventiva, aplicação de tintas anticorrosivas, manutenções corretivas, substituição de peças, utilização de materiais mais “nobres” e custosos, parada temporária da utilização do equipamento ou da unidade, contaminação de produto, perda de eficiência, perda de credibilidade, entre outros.

2.3.1. Classificação por Mecanismo de Corrosão

Os mecanismos de corrosão referem-se aos processos pelos quais os materiais metálicos são degradados, entender esses mecanismos é crucial para a prevenção e mitigação em diferentes ambientais.

2.3.1.1 Corrosão Galvânica

A corrosão galvânica pode ocorrer quando duas ligas diferentes, em contato elétrico, são expostas a uma mesma solução condutora de eletricidade (“eletrólito”). Uma diferença de potencial elétrico existente entre diferentes metais ou ligas acaba por fornecer o potencial termodinâmico necessário à manutenção do processo de corrosão (Pannoni, 2011).

Em um meio condutivo, os dois metais tornam-se ânodo e cátodo, com o metal menos nobre exercendo o papel de ânodo. O fluxo de corrente elétrica autoinduzida provoca uma perda de material no ânodo e deposição de material sobre o cátodo. O metal menos nobre desaparece gradativamente. Esse problema ocorre sempre que dois metais suficientemente afastados na série galvânica estiverem juntos em um meio eletricamente condutivo. Assim, não apenas revestimentos, mas também elementos de fixação e peças em contato, devem ser feitos de combinações de metais que não criem esse tipo de problema (Norton, 2013).

Figura 07 - Corrosão Galvânica



Fonte: Hagar MMA

2.3.1.2 Corrosão Química

A corrosão química, também conhecida como seca, por não necessitar de água, corresponde ao ataque de um agente químico diretamente sobre o material, (Merçon e Guimarães, 2014). Essa forma de corrosão é impulsionada por interações químicas entre o

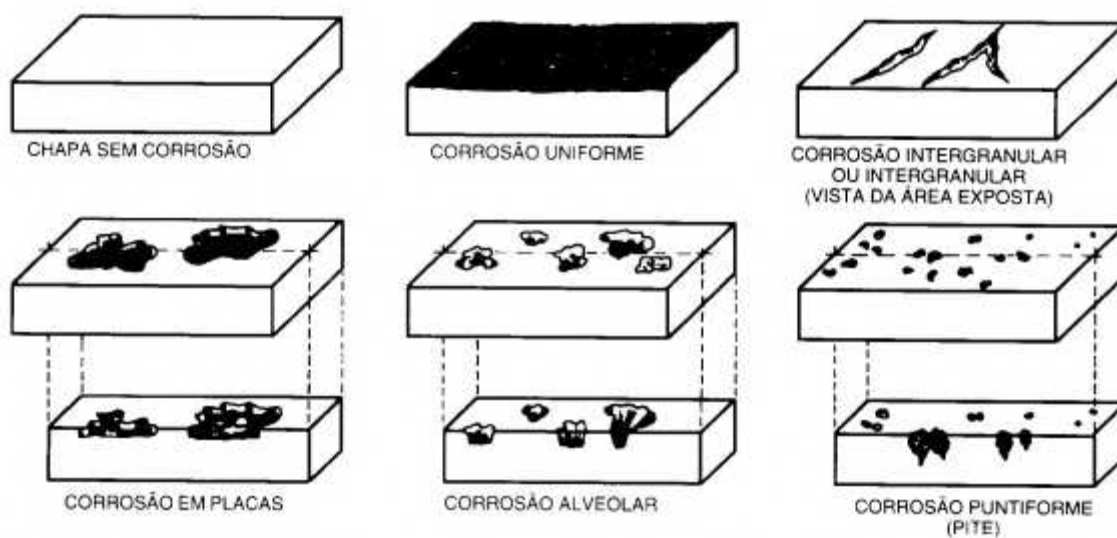
material metálico e as substâncias presentes no ambiente, resultando em mudanças na composição e na estrutura do metal.

A corrosão química é frequentemente acelerada em ambientes industriais agressivos, como plantas químicas, refinaria, locais próximos ao litoral ou *offshore* e em locais onde há exposição a substâncias corrosivas, como ácidos ou produtos químicos corrosivos.

2.3.2 Classificação Por Morfologia

A corrosão pode se manifestar de diversas formas, sendo uma das abordagens classificatórias baseadas na morfologia da aparência do metal corroído. Ao analisar as estruturas e elementos afetados pela oxidação, torna-se possível classificá-los de acordo com suas características visuais. A Figura 08 exemplifica alguns desses padrões.

Figura 08 - Classificação da Corrosão por Aparência



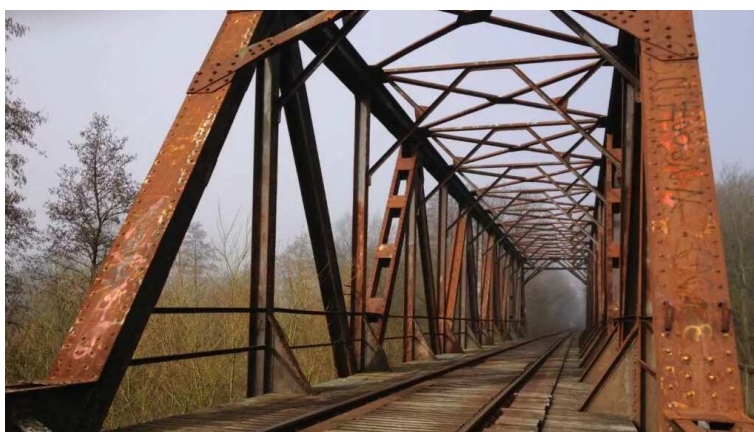
Fonte:Gentil 2011

Em alguns casos de processos corrosivos pode ocorrer dificuldade de se caracterizar se as cavidades formadas estão sob a forma de placas, alvéolos ou pites, criando divergências de opiniões entre os técnicos de inspeção e/ou manutenção (Gentil, 2011).

2.3.2.1 Corrosão Uniforme

Nesse processo a corrosão se processa em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura. É chamada, por alguns, de corrosão generalizada (Gentil 2011), como sendo uma única camada de corrosão que se espalha de maneira equitativa sobre toda superfície, conforme é mostrado na Figura 09.

Figura 09 - Corrosão Uniforme



Fonte: Rijesa Metalogia, (2018)

2.3.2.2 Corrosão Intergranular

Processa-se entre os grãos da rede cristalina do material metálico, o qual perde suas propriedades mecânicas e pode fraturar quando solicitado por esforços mecânicos, tendo-se então a corrosão sob tensão fraturante (CTF) (Stress Corrosion Cracking — SCC) (Gentil, 2011).

2.3.2.3 Corrosão por Placas

Localizada em regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão, formando placas com escavações (Gentil, 2011). Conforme o processo vai avançando ocorre o desprendimento das placas, mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Corrosão por Placas



Fonte: Rijeza Metalurgia, (2018).

2.3.2.4 Corrosão Alveolar

Se processa na superfície metálica produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que o seu diâmetro (Gentil, 2011).

2.3.2.5 Corrosão Puntiforme

Conhecida como corrosão puntiforme ou como corrosão por *pitting*, segundo Gentil (2011), se processa em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica, produzindo pites, os quais são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior do que o seu diâmetro. Sendo uma das formas de corrosão mais prejudiciais, causando rápida perda de espessura e originando perfurações e pontos de concentradores de tensão.

Figura 11 - Corrosão Puntiforme



Fonte: Sulcromo, (2021),

2.3.3 Graus de Oxidação

Conforme a ISO 8501-1, são especificados quatro graus de intemperismo, designados por A, B, C e D respectivamente, apresentados na Figura 12. Os graus de intemperismo são definidos descritivamente:

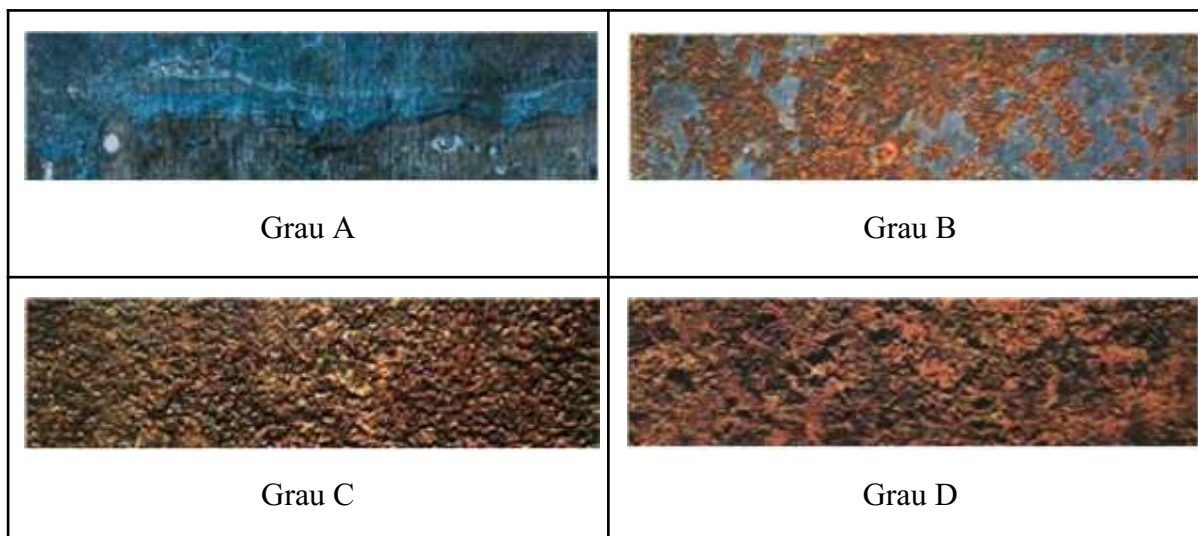
Grau A: Superfície de aço completamente coberta com carepa de laminação aderente, com pouca ou nenhuma corrosão.

Grau B: Superfície de aço com início de corrosão e que a carepa de laminação tenha começado a desagregar.

Grau C: Superfície de aço da qual a carepa de laminação tenha sido eliminada pela corrosão ou possa ser removida com uma espátula e possa apresentar poucos pites visíveis a olho nu.

Grau D: Superfície de aço da qual a carepa de laminação tenha sido eliminada pela corrosão e apresente pites generalizados visíveis a olho nu.

Figura 12 - Graus de Oxidação dos Metais.



Fonte: ISO 8501-1, (2007).

2.3.4 Corrosão Atmosférica

A NBR 14643 (2001), define corrosividade da atmosfera como a capacidade da atmosfera de causar corrosão em um determinado metal ou liga metálica. Segundo Verges (2005), a corrosão atmosférica é a degradação de materiais expostos ao ar e aos seus poluentes sem que estejam imersos em um líquido.

Segundo a ISO 12944-2, corrosão atmosférica é um processo que ocorre quando um filme de umidade que fica em contato com a superfície do metal. Este filme de umidade pode ser tão fino que é invisível a olho nu. Para Aoki (2021) é um processo resultante de reações químicas e/ou eletroquímicas, pelo qual metais e ligas se deterioram quando submetidos à ação climática.

Esse tipo de reação pode ocorrer com a atmosfera isenta de umidade, de forma seca, tendo-se uma lenta oxidação química do metal. De forma úmida, com umidade relativa (UR) menor que 100%, e deposição de um fino filme de eletrólito na superfície metálica. Com UR perto de 100% e ocorre condensação na superfície metálica tem-se corrosão atmosférica molhada, com eletrólito constituído da água combinada de sais ou gases presentes no ambiente e depositados sobre a superfície metálica.

2.3.5 Agressividade Ambiental

Com objetivo é fornecer padrões de classificação da agressividade atmosférica em relação a matérias como aço carbono, a norma NBR-14643 (ABNT NBR 14643, 2001) e ISO

12944-2 (Classificação de Ambientes Corrosivos), classificam os ambientes corrosivos nas categorias C1, C2, C3, C4, C5 e CX.

Essas as categorias abrangem desde áreas rurais, cidades, ambientes industriais e marinhos, classificados com agressividade muito baixa, até muito alta. A partir dessa categorização da corrosividade, pode-se tomar medidas eficazes de combate, como a seleção de inibidores e tintas conforme o seu ambiente. A Tabela 02 faz o resumo dessas informações segundo a norma.

Tabela 02 - Classificação de Ambientes Corrosivos.

Categorias de corrosividade	Perda de massa para o aço de baixo carbono (g/m ²)	Exemplos de ambientes típicos em clima temperado
C1 (Muito baixa)	≤10	-
C2 (Baixa)	>10 até 200	Atmosferas com baixo nível de poluição. Predominante em áreas rurais.
C3 (Média)	>200 até 400	Atmosferas urbanas e industriais, com poluição moderada de dióxido de enxofre. Áreas costeiras com baixa salinidade.
C4 (Alta)	>400 até 650	Áreas industriais e áreas costeiras com salinidade moderada.
C5 (Muito alta industrial)	>650 até 1500	Áreas industriais com alta umidade e atmosfera agressiva e áreas costeiras com alta salinidade.
CX Extrema	>1.500 a 5.500	Áreas de offshore com alta salinidade e áreas industriais com umidade extrema e atmosfera agressiva e atmosferas tropical e subtropicais.

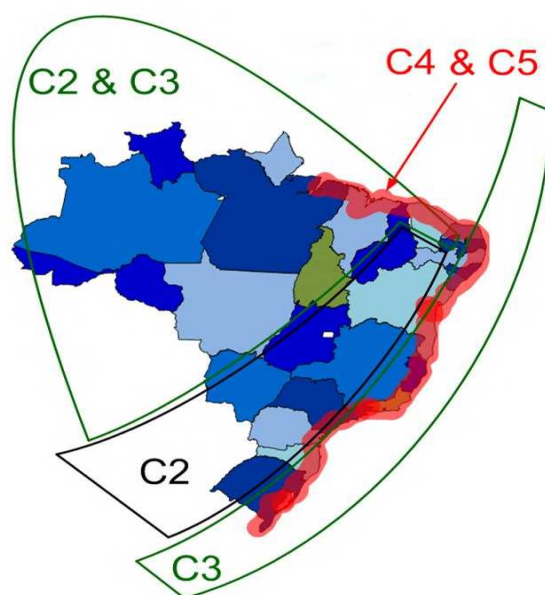
Fonte: Adaptada ISO 12944-2, (2017).

A Figura 13 apresenta um panorama dos ambiente mais agressivos no Brasil, é notório

que os níveis de maior agressividade estão concentrados nas áreas costeiras, atribuíveis à proximidade com o mar, oscilando consistentemente entre as classes C4 e C5.

Na região costeira há vários fatores que contribuem para a propensão à corrosão, como os ventos que carregam partículas de água do mar, contendo sais e outros contaminantes, podendo depositar-se nas superfícies metálicas, a salinidade do ar e a umidade aceleram e significativamente os processos corrosivos em metais.

Figura 13 - Mapa de Agressividade Atmosférica no Brasil.



Fonte: Goes (2018).

2.4 Tratamento De Superfície

O tratamento de superfície refere-se a técnicas aplicadas para modificar as propriedades superficiais de um metal. A ISO 8501 estabelece a relação entre a limpeza da superfície em aço e a sua aparência visual, classificando conforme os meios por quais essa superfície foi tratada.

Os graus de preparação é designado pelas letras “Sa” ou “St” para indicar o método de limpeza utilizado. O número seguinte, se houver, indica o grau de limpeza visual com relação à remoção da carepa de laminação, corrosão e pintura existente (ISO 8501-1, 2007).

2.4.1 Limpeza por Jateamento Abrasivo (Sa)

O processo de jateamento consiste, basicamente, em se fazer colidir, com a superfície a ser limpa, partículas de abrasivo a alta velocidade (Fragata, 2020). Os abrasivos usados para jateamento são de vários tipos e devem ser duros, de granulometria uniforme e isentos de materiais estranhos que contaminem a superfície a ser jateada (Gentil, 2011).

A Tabela 03 define os graus de limpeza por jateamento através das características finais do metal tratado.

Tabela 03 - Graus de preparação de superfície por jateamento Abrasivo.

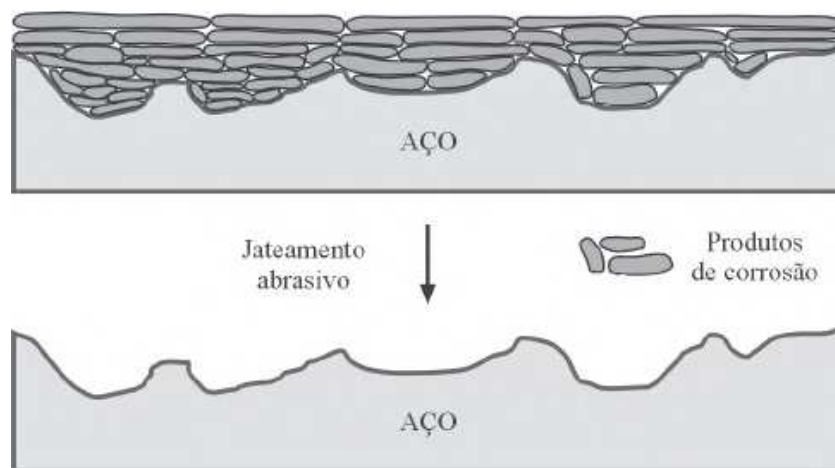
Grau Sa 1 Jateamento Abrasivo Ligeiro	Quando examinada a olho nu, a superfície deve estar livre de contaminantes visíveis como óleo, graxa e sujidades, e de contaminantes com fraca aderência como carepa de laminação, corrosão, pintura antiga e materiais estranhos
Grau Sa 2 Jateamento Abrasivo Comercial	Quando examinada a olho nu, a superfície deve estar livre de contaminantes visíveis como óleo, graxa e sujidades, e de quase toda carepa de laminação, corrosão, pintura antiga e materiais estranhos. Qualquer contaminação residual deve se apresentar firmemente aderida.
Grau Sa 2 ½ Jateamento Abrasivo ao Metal Quase Branco	Quando examinada a olho nu, a superfície deve estar livre de contaminantes visíveis como óleo, graxa e sujidades, e carepa de laminação, corrosão, pintura antiga e materiais estranhos. Quaisquer traços remanescentes de corrosão ou de pintura devem se apresentar somente como manchas tênues ou estrias.
Grau Sa 3 Jateamento Abrasivo ao Metal Branco	Quando examinada a olho nu, a superfície deve estar livre de todos os contaminantes visíveis como óleo, graxa e sujidades, e também de carepa de laminação, corrosão, pintura antiga e materiais estranhos. A superfície deve apresentar, então, coloração metálica uniforme

Fonte: ISO 8501-1 (2007)

A Figura 14 ilustra uma representação de limpeza por jateamento abrasivo grau SA 3,

onde a carepa de laminação, ferrugem e material estranho são removidos totalmente.

Figura 14 - Ilustração da Limpeza grau Sa3.



Fonte: Gentil, (2011).

2.4.2 Limpeza com Ferramentas Manuais e/ou Mecânicas (St)

A preparação de superfícies metálicas por meio de ferramentas mecânicas e/ou manuais é indicada para os casos em que não for possível a utilização do jateamento abrasivo, como, por exemplo, devido à proximidade de motores, painéis elétricos e outros equipamentos que possam ser prejudicados pelo pó do abrasivo ou até mesmo pela sua deposição durante a operação de limpeza (Gentil, 2011).

Das ferramentas manuais pode-se citar: lixas, escovas de aço, raspadeiras e martelos. Em relação às ferramentas mecânicas são comuns a utilização de escovas de aço, lixadeiras rotativas, desincrustador de agulhas (agulheiro), etc.

A Tabela 04 define os graus de limpeza por ferramentas através das características finais do metal tratado.

Tabela 04 - Graus de Preparação de Superfície por Ferramenta Mecânicas.

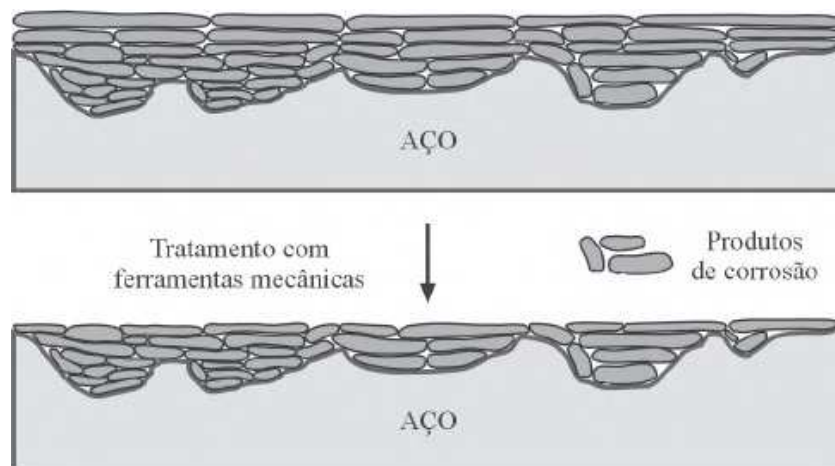
<p>Grau St 2</p> <p>Limpeza minuciosa com ferramentas manuais e/ou mecânicas</p>	<p>Raspagem de metal duro e escovamento ou lixamento a fim de remover a laminação, óxido e partículas estranhas. Quando examinada a olho nu, a superfície deve estar livre de contaminantes como óleo, graxa, sujidades e também de contaminantes com fraca aderência como carepa de laminação, oxidação, pintura antiga e materiais estranhos. Após a limpeza a superfície deverá ter suave brilho metálico.</p>
<p>Grau St 3</p> <p>Limpeza muito minuciosa com ferramentas manuais e/ou mecânicas</p>	<p>A superfície deve ser tratada como em St2, mas de maneira muito mais minuciosa e deve apresentar um substrato com intenso brilho metálico.</p>

Fonte: ISO 8501-1, (2007).

É importante destacar que a limpeza por meio de ferramentas mecânicas não remove completamente os produtos de corrosão da superfície (Gentil 2011). Como consequência, a durabilidade dos revestimentos por pintura será inferior àquela que seria obtida se os mesmos fossem aplicados sobre uma superfície com um grau de limpeza melhor (Fragata, 2020).

A limpeza com tratamento mecânico deve ser empregada em equipamentos e estruturas a serem pintados que estejam sujeitos a ambientes de baixa a média agressividade (Gentil, 2011). A Figura 15 demonstra o resultado do tratamento por ferramentas manuais em estruturas de aço.

Figura 15 - Ilustração da Limpeza grau St3.



Fonte: Gentil, (2011).

2.5 Proteção Anticorrosiva

Superfícies altamente corroídas e com presença de ferrugem em muitos casos não são agradáveis a visão. Dessa forma, utilizam-se algumas medidas que combatam esse efeito, como aplicação de pinturas e revestimentos (Araújo, 2003). A técnica de pintura industrial é o principal método empregado na preservação anticorrosiva na atualidade devido à sua simplicidade e eficácia, sendo amplamente adotada em aplicações que envolvem estruturas e objetos de aço.

Segundo Cardoso (2013), o revestimento por pintura é um método de proteção anticorrosiva que apresenta resultados satisfatórios quando realizado corretamente. Ainda segundo Cardoso (2013), o uso apropriado de revestimentos de tinta, além de proporcionar economia de custos através da preservação da integridade de equipamentos e instalações, resulta em um aumento substancial da confiabilidade operacional.

2.5.1 Pintura

Fragata (2009) define as tintas como sendo uma composição química líquida ou sólida que, após a secagem e cura, forma filmes com propriedades estéticas, decorativas, anticorrosivas, impermeabilizantes, etc. Ainda segundo Fragata (2009), a pintura possui uma série de características importantes para a proteção anticorrosiva, como facilidade de aplicação, manutenção, relação custo/benefício, além de outras finalidades, tais como: sinalizar de estruturas ou equipamentos, identificar de fluidos em tubulações, auxiliar na

segurança industrial, impermeabilização de tanques e diminuição de rugosidade superficial.

A aplicação de revestimentos de pintura se adequa aos mais variados ambientes, sendo necessário ao profissional buscar a tinta que possua propriedades que atendam sua necessidade. Dependendo do grau de avanço da oxidação na estrutura, se torna mais vantajoso a aplicação de proteção em vez da substituição das peças.

2.5.2 Classificação das Tintas

São definidas conforme a função que exercem no sistema de pintura, alguns protetivos podem exercer mais de uma função, apresentando por muitas vezes um melhor custo benefício ao aplicá-la no sistema.

2.5.2.1 Tintas de Fundo

Tintas de fundo ou primárias (“primers”), são aquelas são aplicadas diretamente ao substrato. Portanto, estão em contato direto com o mesmo e possuem em sua composição maior concentração volumétrica de pigmentos (CVP) anticorrosivos, pois estes para exercerem o seu mecanismo de proteção química ou eletroquímica necessitam de estar em contato direto com o substrato (Fragata, 2020).

2.5.2.2 Tintas Intermediárias

São normalmente utilizadas nos esquemas de pintura com a função de aumentar a espessura do revestimento, com menos demãos, visando melhorar as características de proteção por barreira do mesmo (Fragata, 2020).

2.5.2.3 Tintas de Acabamento

Possuem função de conferir a resistência química a revestimento por serem elas a estarem em contato direto com o meio corrosivo (Fragata, 2020), também possuem a finalidade de conferir as características visíveis de proteção, estética e cor final do substrato.

2.5.3 Mecanismos de Proteção

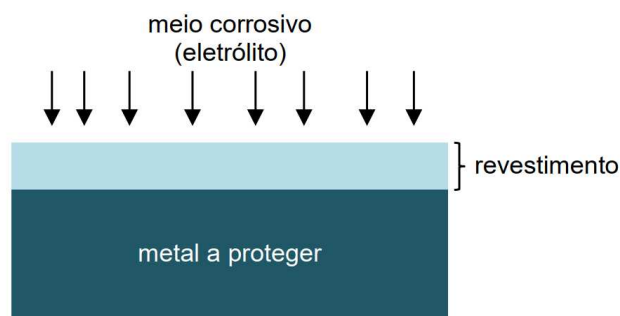
Os revestimentos Anticorrosivos constituem-se em películas interpostas entre o metal e o meio corrosivo, ampliando a resistência à corrosão do material metálico (Nascimento,

2015). Sua principal função é a proteção do material no qual está sendo aplicado.

2.5.3.1 *Proteção por Barreira*

Esquema de pintura atua isolando o substrato do meio corrosivo, ou seja, evitando o contato dos agentes causadores da corrosão com a superfície do substrato (Fragata, 2020). Quando os revestimentos são aplicados sobre uma superfície metálica, a película funciona como uma barreira entre o metal e o meio corrosivo. Este mecanismo está presente em todas as películas de tinta, sendo o mecanismo fundamental nas tintas de acabamento (Cardoso, 2013). Esquema está apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Ilustração do Esquema de Proteção por Barreira



Fonte: Cardoso, (2013).

2.5.3.2 *Proteção por Pigmentos Inibidores*

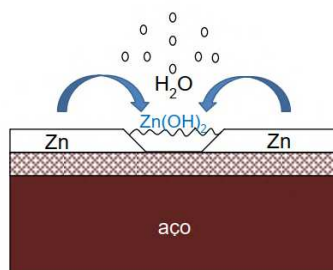
Neste tipo de mecanismo, as tintas de fundo dos esquemas de pintura contêm pigmentos com características básicas ou com uma determinada solubilidade capazes de, na presença de água e oxigênio, gerarem substâncias inibidoras de corrosão (Fragata, 2020). Este processo consiste na formação de uma camada passiva sobre a superfície do metal, impedindo a sua passagem para a forma iônica. Esses pigmentos são zarcões, cromato de zinco, etc. (Nunes; Lobo, 2007).

2.5.3.3 *Proteção Catódica*

Este mecanismo é encontrado nas películas de tinta utilizadas como tinta de fundo, que contêm altos teores de pigmentos metálicos anódicos, em relação à superfície metálica a proteger. (Nunes; Lobo, 2007). O zinco metálico em pó é o único pigmento capaz de

proporcionar às tintas este mecanismo de proteção anticorrosiva. Tais tintas são conhecidas como tintas ricas em zinco (TRZ) (Fragata, 2020).

Figura 17 - Ilustração do Esquema de Proteção Catódica



Fonte: Cardoso, (2013).

O princípio fundamental por trás da proteção catódica é a utilização do metal de sacrifício, ao corroer-se, libera elétrons para o metal ser protegido, tornando-o catódico. Isso cria uma condição onde a corrosão ocorre no metal do sacrifício, saciado como o ânodo da célula eletroquímica, enquanto o metal protegido atua como o cátodo, onde os elétrons são consumidos, retardando ou prevenindo a corrosão.

Em relação aos esquemas de proteção por barreira, os esquemas de pintura com TRZ proporcionam uma melhor proteção anticorrosiva ao aço, principalmente nas regiões de falhas do revestimento (Fragata, 2020).

2.5.4 Tipos de Revestimentos

2.5.4.1. Revestimento com Epóxi

As tintas epóxi são conhecidas por oferecerem uma excelente resistência à corrosão. Elas formam uma barreira protetora sobre a superfície metálica, impedindo a exposição direta a elementos corrosivos. Segundo Gentil (2011), qualidade derivada de suas boas propriedades de aderência e de resistência química, apresentando alta resistência à abrasão e ao impacto.

Ainda segundo Gentil (2011), as tintas epoxídicas curadas com poliaminas, as quais são um composto orgânico, apresentam melhor resistência a substâncias químicas. Já as tintas epoxídicas curadas com poliamidas, a qual é um tipo de polímero, apresentam melhor resistência a água e ambientes úmidos do que aquelas curadas com poliaminas, além de serem mais flexíveis.

Antes da mistura, essas tintas vem separadas em dois componentes, nas quais a resina e o endurecedor ou agente de cura são misturados pouco antes da aplicação. Depois da mistura, a tinta tem um tempo de aplicação, *pot-life*, durante o qual a sua aplicação pode ser feita e, após esse tempo, a tinta endurece, não mais permitindo sua utilização (Gentil 2011).

2.5.4.2. Revestimento com Poliuretano

A tinta de poliuretano é produzida à base de poliuretano, um produto que é sólido e impermeável, que oferece maior proteção e durabilidade para superfícies extremas. Segundo Gentil (2011), as tintas de poliuretano caracterizam-se pelas excelentes propriedades anticorrosivas em meios de alta agressividade, bem como por suas notáveis propriedades físicas da película, como dureza, resistência à abrasão, etc.

As tintas de poliuretano alifático possuem diversas propriedades físico-químicas de grande importância para o setor industrial, no campo da proteção anticorrosiva. Dentre as mais importantes pode-se citar a excelente resistência à radiação solar, em especial aos raios ultravioleta (Amorim, 2012).

2.5.5 Propriedades Fundamentais dos Revestimentos por Pintura

A garantia da durabilidade dos revestimentos anticorrosivos requer o atendimento de determinadas propriedades fundamentais. As mais cruciais para garantir essa proteção incluem aderência, flexibilidade, resistência à abrasão e impacto, bem como a capacidade de resistência à ação da água e às condições adversas de exposição atmosférica. Também se faz necessário atender os requisitos de espessura mínima do sistema adoadado.

2.5.5.1 Aderência

Segundo Fragata (2020), se a aderência inicial for baixa ou insatisfatória, uma série de problemas poderão ocorrer. Por exemplo, sob condições e exposição a alta umidade poderá ocorrer empoamento (aparecimento de bolhas) no revestimento ou ao descascamento caso este esteja exposto ao intemperismo natural, radiação solar e sujeito aos processos de dilatação e contração devido à amplitude térmica.

Se tratando de aderência mecânica, esta atrelada a rugosidade superficial do substrato, sendo imprescindível um tratamento eficiente na peça. Precisa-se fazer a remoções dos contaminantes da superfície (ex.: óleos, graxas, sais, produtos de corrosão e pintura envelhecida), sendo extremamente prejudiciais ao desempenho dos revestimentos, principalmente em relação à proteção anticorrosiva (Fragata, 2020).

2.5.5.2 Flexibilidade

O revestimento deve ter flexibilidade adequada para não ocorrer fissuras na película devido a sua dilatação e contração, gerada pelas variações térmicas do meio (Cardoso, 2013).

2.5.5.3 Resistência a Abrasão e ao Impacto

No caso de estarem sujeitos a desgaste por abrasão, é recomendável que as tintas possuam resistência adequada a estas condições para que o revestimento não perca as suas propriedades de proteção (Fragata, 2020).

2.5.5.4 Resistência Exposição Atmosférica e a Água

Os revestimentos ficam sujeitos à ação de diversos agentes que contribuem para sua degradação, como radiação solar, água, umidade, sais e ventos (Cardoso, 2013), a adoção de produtos que resistam a exposição externa e crucial para durabilidade do revestimento.

2.5.6 Especificação dos Esquemas de Pintura

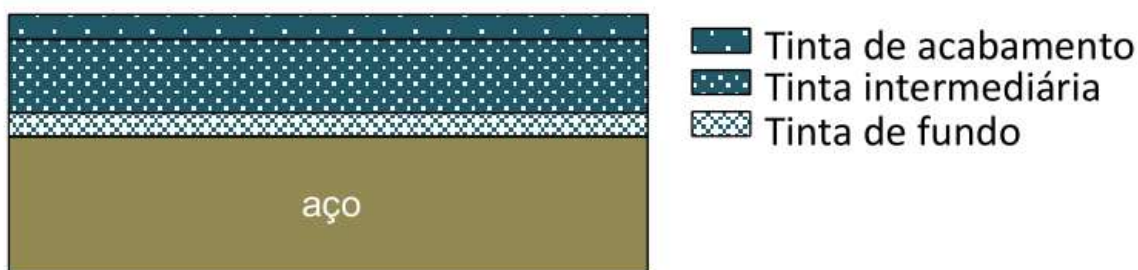
Para Cardoso (2013), o esquema de pintura é um procedimento onde se especifica os detalhes técnicos envolvidos na aplicação, o tipo de preparação e o grau de limpeza da superfície. De acordo com Fragata (2009), a correta especificação do esquema de pintura é, também, um fator importante para se obter a proteção anticorrosiva desejada com uma relação custo/benefício atraente.

Dentre os fatores básicos que norteiam a especificação de um esquema de pintura, destaca-se o tipo de substrato metálico a ser revestido e o tipo de pintura a ser feita (Cardoso, 2013). Deve-se também estar atento ao tipo de ambiente onde material instalado, visando uma escolha correta dos protetivos a serem utilizados.

No caso da utilização de dois ou mais produtos, é necessária uma análise do boletim de uso fornecido pelos fabricantes, pois algumas tintas desempenham funções múltiplas, exigindo também a observância das instruções quanto à sobreposição dos revestimentos. Recomenda-se uma escolha de especificações de protetores que tenham sido aprovadas em testes de qualidade ou possuam certificação atestando sua eficácia.

Para Cardoso (2013), ensaios de controle de qualidade que devem ser executados devem ser corretamente especificados no esquema de pintura, sendo conforme as normas e procedimento tomados como base. Portanto, é de suma importância que os esquemas de pintura sejam especificados corretamente, que as tintas possuam resistência adequada às condições de exposição (Fragata, 2020), na Figura 18 temos um exemplo do sistema com três produtos.

Figura 18 - Esquema de Pintura com Três Protetivos



Fonte: Cardoso, (2013).

2.5.7 Aplicação

Segunda Fragata (2020) a aplicação das tintas pode interferir no desempenho à corrosão dos revestimentos. Os profissionais que fazem a aplicação devem ser treinados, conhecer bem os métodos de aplicação e as características técnicas das tintas.

A espessura do recobrimento deve garantir a cobertura de qualquer irregularidade da superfície com completa proteção do substrato. A adesão é fundamental para que a função, de proteção seja plenamente alcançada (Penha, 2010).

2.5.8 Defeitos

Identificar os defeitos é essencial para compreender as causas dos problemas no revestimento e implementar estratégias de prevenção e correção dos mesmos.

2.5.8.1 Escorrimento Ou Decaimento

Excessiva fluidez da tinta em superfícies verticais, ocorrendo sob a forma de ondas ou gota, pode ser causado pelo excesso de espessura, diluição excessiva da tinta (Cardoso 2013). Para evitar, necessária a remoção do excesso de tinta, antes da secagem, com trincha e, após a secagem, fazer o lixamento da área e aplicar a segunda demão.

2.5.8.2 Espessura Irregular

Irregularidade do revestimento evidenciada pela falta de uniformidade do filme, que se encontra fora das tolerâncias médias. As áreas com deficiência apresentam uma cobertura insuficiente, aumentando a probabilidade do retorno da oxidação. As áreas com maior película estão mais propícias a ocorrer escorrimento.

Uma solução é a remoção do excesso de tinta com uma trincha com excesso, nas partes com deficiência, é recomendado aplicar uma segunda demão antes da secagem. Para controle deve-se realizar a verificação da espessura através do pente de medição de película de tinta.

2.5.8.3 Manchas

Cardoso (2013) define as causas de manchas, sendo devido à contaminação da superfície, equipamentos de aplicação ou da área de trabalho, por tinta mal misturada ou defeituosa, respingos de solvente sobre a tinta fresca ou seca. Para prevenção, é necessário inspecionar equipamentos de aplicação, garantindo a homogeneidade adequada da tinta e secar bem a superfície, removendo todo o solvente utilizado para limpeza.

2.5.8.4 Porosidade

A pintura apresenta diminutas descontinuidades em forma de orifícios ou poros (Cardoso 2013). Esse problema pode ocorrer devido a bolhas de ar, solvente no revestimento, superfície contaminada, aplicação de camada muito espessa ou muito fina, rugosidade excessiva e alta temperatura da superfície.

2.5.8.5 Craterização

Defeito semelhante a pequenas e uniformes crateras que ocorre no filme de tinta, formadas de bolhas que após romperem não mais se nivelam (Cardoso 2013). Pode ocorrer devido à retenção de solvente ou ar durante a aplicação, presença de água no ar, superfícies quentes e respingos de água na tinta fresca. A correção é feita por meio de lixamento e aplicação de uma nova camada de tinta.

2.5.8.6 Impregnação de Abrasivos e Materiais Estranhos

Segundo Cardoso 2013, a superfície fica áspera, arenosa como uma lixa, devido a aplicação incorreta sobre superfícies contaminadas. Antes da secagem se faz necessário o uso de um pano com solvente para remover a tinta contaminada. Após a secagem, se o problema persistir, pode ser necessário lixar ou remover completamente a camada de tinta e aplicar uma nova demão.

2.5.8.7 Empolamento ou bolhas

A pintura apresenta protuberâncias semiesféricas que variam de tamanho e intensidade, sendo causados por oclusão de solvente ou ar no filme, tintas incompatíveis ou superfícies muito quentes (Cardoso, 2013). Para corrigir se faz necessário, antes do processo de secagem por completo, a remoção revestimento utilizando solvente. Após a secagem, deve-se realizar o lixamento ou efetuar a remoção completa do revestimento baseada na severidade do problema, seguida pela aplicação de uma nova camada de protetivo.

3 METODOLOGIA

O estudo de caso apresentado descreve o acompanhamento da manutenção corretiva na base de um aerogerador, descrevendo as etapas de tratamento e aplicação dos revestimentos. Sendo avaliadas as propriedades das tintas, justificando sua escolha, considerando as condições ambientais e paralisações devido as clima.

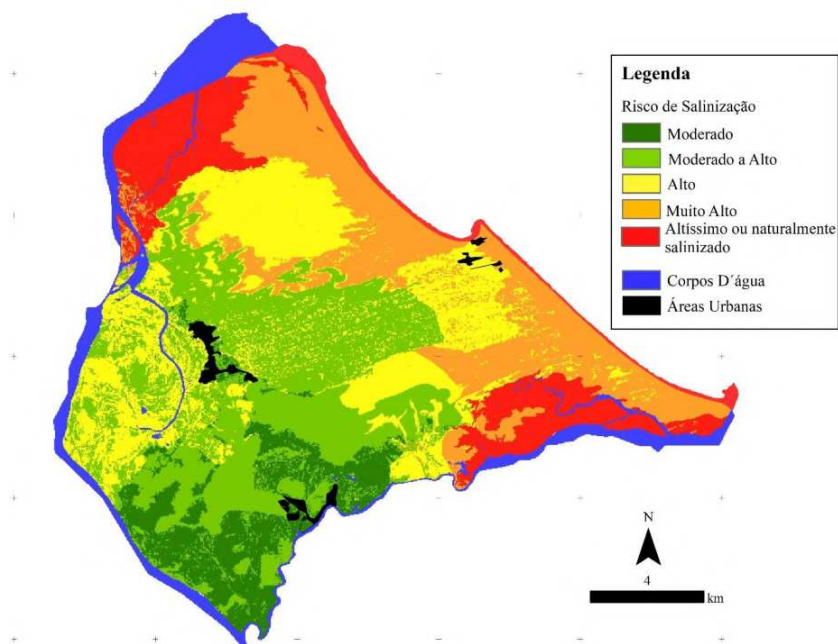
3.1 Informações Sobre o Parque

O parque eólico está localizado no Delta do Parnaíba, planície costeira próximas ao rio Parnaíba no litoral piauiense. O parque tem capacidade instalada de 147,8 MW, possuindo 35 torres em estrutura de aço, numeradas e divididas em três linhas (A, B e C), sendo a linha A localizada mais próxima da praia.

Segundo Valladares e Cabral et al. (2019), o ambiente apresenta alto teor de salinidade, pois o rio Parnaíba possui uma moderada descarga de sedimentos em suspensão, a qual é principalmente atribuída a geologia e condições climáticas da sua bacia de drenagem. Ainda segundo Valladares e Cabral et al. (2019), as áreas com maiores teores de salinidade são próximas ao mar e aos canais fluviais, as terras mais distantes apresentam menor risco de salinização, o que se deve pela fonte marinha rica em sais.

A Figura 19 mostra um mapa da região, expondo os pontos com maiores riscos de salinização, sendo notório que toda a região apresenta, no mínimo, moderado.

Figura 19 - Níveis de Salinização na Região Delta do Parnaíba.



Fonte: Valadares e Cabral, (2019).

Diante dessas evidências, pode-se classificar o ambiente em questão como sendo de classe C5 na categoria de corrosividade, visto que, por ser uma área costeira, já apresenta um alto teor de salinidade, juntamente com a geologia local da bacia hidrográfica.

3.2 Base da Torre

A empresa terceirizada contratada pelo parque ficou responsável pela restauração de toda torre eólica. Partindo das áreas externas, incluindo base, porta, escada, tramos e nacele, e também a parte interna com tratamento das plataformas, paredes internas, quadros elétricos, pontos de ancoragem e demais estruturas. As bases foram as primeiras partes restauradas da torre, cada base é fixada na fundação por meio do aperto de 72 parafusos espaçados igualmente em torno da estrutura.

A torre identificada como A07 foi a primeira a receber o tratamento anticorrosivo, onde sua base apresentava uma oxidação em grau D como mostrado na Figura 20.

Figura 20 - Oxidação encontrada na Base da Torre.



Fonte: Autor, (2023).

Observando as Figuras 21 e 22 pode-se notar as superfícies com elevada perda de material, com maior volume em volta dos parafusos, nas porcas e especificamente nas arruelas. Segundo a empresa que administra o parque, não houve manutenção nessas bases desde a inauguração do parque.

Figura 21 - Estado Inicial da base.



Fonte: Autor, (2023)

Figura 22 - Estado Inicial em Volta do Parafuso.



Fonte: Autor, (2023).

As Figuras 23 e 24 também ilustram o estado inicial encontrado próximo ao parafuso, não sendo possível visualizar a integridade da arruela. Observando com atenção é possível identificar a corrosão em forma de alvéolos e placas, com bastante perda de material.

Figura 23 - Estado de Corrosão Inicial da Base.



Fonte: Autor, (2023).

A presença de oxidação acentuada dificulta a inspeção visual da arruela, a qual, em caso de perda específica de massa, pode impactar na compressão exercida pela porca na superfície de apoio, podendo alterar tensão aplicada no parafuso, apresentando potencial risco estrutural ao conjunto.

Em alguns conjuntos é possível identificar a perda de massa nas laterais da arruela, sendo possível verificar a ocorrência de corrosão galvânica, conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Corrosão Inicial Arruela.



Fonte: Autor, (2023).

3.3 Tratamento Mecânico

Durante a execução dessa atividade optou-se pela utilização de ferramentas mecânicas para realização da limpeza e remoção da oxidação existente. O compressor e equipamentos pertencentes a empresa contratada estavam alocados em outra frente de trabalho, não sendo possível utilização do jateamento abrasivo nas primeiras torres que receberiam a restauração.

Foi realizada uma remoção dos contaminantes visíveis tais como óleo, graxa, pedregulhos, galhos e materiais estranhos. Utilizados um martelo para remoção da carepa de oxidação mais espeda, seguida do uso do desincrustador pneumático de agulhas (agulheiro), esmerilhadeira angular acoplada com escova de aço rotativa e disco flap grão 80 para o desbaste.

A Figura 25 ilustra a remoção de oxidação por através do agulheiro, seguida da Figura 26 que apresenta a peça após a remoção da camada mais espeda.

Figura 25 - Utilização de Desincrustador Pneumático.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 26 - Remoção da Camada mais Espessa de Oxidação.



Fonte: Autor, (2023).

A Figura 27 mostra a peça em processo de finalização, pois seria utilizada a escova rotativa de aço para eliminar a oxidação envolvida na estrutura, chegando a uma aparência limpa conforme as Figuras 28 e 29.

Figura 27 - Base em Processo de Finalização do Tratamento.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 28 - Base com Tratamento Finalizado.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 29 - Base com Tratamento Finalizado.



Fonte: Autor, (2023).

O tratamento foi realizado até atingir o padrão de limpeza St-3, estando limpa e apresentando intenso brilho metálico conforme a ISO 8501-1:2007.

Após o tratamento foi verificada a integridade das arruelas, os danos foram analisadas visualmente em conjunto com equipe de técnicos do parque, realizando medições e constatando que não haveria a necessidade de troca do conjunto.

A limpeza pós-tratamento foi realizada utilizando um pano ou trapo com ou solvente, garantindo que toda a graxa ou sujeira depositada na superfície sejam totalmente removidas. Foi aguardado a secagem natural da superfície, ficando pronta para receber a primeira camada de protetivo.

3.4 Pintura

3.4.1 Escolha dos Produtos

Os protetivos utilizados são indicados especificamente para proteção contra oxidação. Para escolha desses produtos foi utilizado como base o relatório de testes NO18499 19.10.2018 (*Testing of protective coatings – 250 μ m Jotamastic 90 / 50 μ m Hardtop XP - in accordance with ISO 12944-6:2018 – Corrosivity category C5 High*), que garante a eficácia da combinação de dois produtos, sendo eles o Jotamastic 90 e Hardtop XP.

No estágio inicial do projeto, a indisponibilidade em estoque de uma tinta enriquecida com zinco foi identificada. Diante dessa restrição, para não atrasar o início do projeto, a decisão foi direcionada para a utilização de dois produtos que, em conjunto, pudessem oferecer a proteção exigida para aquele ambiente. Aproveitando essa circunstância para fazer testes práticos para avaliar a durabilidade dessa combinação.

Segundo dados da ficha técnica de informações do produto disponibilizada pela marca, o produto *Jotamastic 90* é uma tinta epóxi *mastic* bicomponente curada com poliamina que proporciona proteção duradoura em ambientes com corrosividade alta. Pode ser utilizado como primer, demão de intermediária (Boletim Técnico Jotun).

Segundo dados da ficha técnica de informações, o produto *Hardtop XP* é uma tinta poliuretana acrílica alifática bicomponente e possui um acabamento brilhante com ótima retenção de brilho. É um produto com alto teor de sólidos e pode ser utilizado como acabamento em ambientes atmosféricos (Boletim Técnico Jotun). Esse produto foi escolhido como acabamento da superfície.

No esquema sugerido pelo NO18499, para garantir a proteção, espessura de película seca de fundo deve atingir 250 μ m após a secagem, sendo necessária uma espessura mínima de película úmida de 300 μ m. Para o protetivo de acabamento é necessária uma cobertura de filme seco de 50 μ m, sendo necessário aplicar uma espessura mínima de 100 μ m. O valor da

espessura de filme seca somada deve de, no mínima, 300 μm .

3.4.2 Aplicação

Antes do início da aplicação foi feita a mistura da base e catalisador nas proporções corretas assim como indica o boletim técnico dos produtos. Para o fundo e acabamento escolhido as proporções são 3,5 L de base para 1 L de catalisador e 10 L de base para 1 L de catalisador, respectivamente. A Figura 30 mostra a embalagem do produto de fundo juntamente com seu catalisador.

3.4.2.1 Aplicação de Tinta de Fundo

A base da torre recebeu duas demãos de cada produto, aplicados por meio de trincha, conforme as Figuras 30 e 31. Iniciando pelos cantos e bordas, em volta das arruelas e porcas, posteriormente nas demais áreas a fim de garantir a espessura adequada após o trabalho finalizado.

Figura 30 - Identificação e Aplicação do Protetivo de Fundo.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 31 - Aplicação do Protetivo de Fundo com Trincha.



Fonte: Autor, (2023).

O produto de fundo foi aplicado em duas demãos, logo após a limpeza da superfície com o solvente. Aguardado também o tempo de secagem para repintura, tentando seguir ao máximo o tempo de secagem mostrado na Tabela 05.

Tabela 05 - Tempo de Secagem para Repintura.

Temperatura	5 °C	10 °C	23 °C	40 °C
Jotun - Jotamastic 90	30 h	10 h	3 h	1,5 h
Jotun - Hard Top XP	24 h	14 h	7 h	4 h

Fonte: Boletim Técnico Jotun - Adaptada.

Foram realizadas algumas medições com pente hexagonal, a espessura de filme úmido do fundo após aplicação de uma demão, apresentava valores de 275 μm , como mostram as Figuras 32 e 33.

Figura 32 - Medição de Película Úmida Tinta de Fundo.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 33 - Teste de Película Úmida Tinta de Fundo



Fonte: Autor, (2023).

A Figura 34 ilustra a base da torre após aplicação de duas demãos do primeiro produto.

Figura 34 - Tinta de Fundo Após Aplicação.



Fonte: Autor, (2023).

Após a secagem do produto foram realizadas medições da película de filme seca em diferentes pontos da base, com um medidor eletrônico de película dentista seca, apresentando valores acima do mínimo especificado pelo teste. A Figura 35 os valores registrados são 322 μm e 346 μm respectivamente, na Figura 36 são de 474 μm e 322 μm respectivamente.

Figura 35 - Medição de Película Seca de Fundo.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 36 - Teste de Película Seca de Fundo.



Fonte: Autor, (2023).

3.4.2.1 Acabamento

O produto de acabamento foi aplicado após, no mínimo, 3 horas da aplicação da tinta anterior. Em caso de ser aplicado após um dia, a superfície recebeu um lixamento superficial para garantir a aderência. A Figura 37 mostra a devida pintura utilizando trincha do produto de acabamento.

Figura 37 - Aplicação de Acabamento com Trincha.



Fonte: Autor, (2023).

O produto *Hardtop XP* foi aplicado em duas demãos da mesma forma que o anterior, atingindo uma película de tinta úmida de 200 μm conforme mostrado nas Figuras 38 e 39, também estando acima da especificada. A Figura 40 mostra a base da torre após a finalização

do serviço

Figura 38 - Medição de Película Úmida de Acabamento.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 39 - Medição de Película Úmida de Acabamento.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 40 - Aplicação de Acabamento Finalizada.



Fonte: Autor, (2023).

Seguida a finalização da pintura e devido tempo de secagem, foram registradas novamente as devidas espessuras de filme seco em ponto distintos da base. A Figura 41 apresenta essas medições, com valores de 538 μm , 527 μm e 422 μm respectivamente, estando acima do recomendado pelo teste de qualidade.

Figura 41 - Medição de Película Seca Final.



Fonte: Autor, (2023).

3.5 Condições Climáticas

Durante o período de trabalho houve diversas paralisações devido à chuva, tempo nublado, umidade alta e risco de incidência de raios. Na Tabela 06 estão presentes o tempo que de paralisação em cada dia de trabalhando mostra os dias que houve paralisação devido ao clima.

Tabela 06 - Registros de Horas Paradas Durante a Atividade.

Dia de Trabalho	1º Dia	2º Dia	3º Dia	4º Dia	5º Dia
Horas paradas devido a condições do clima.	01:00	04:00	00:00	08:00	01:00

Fonte: Autor, (2023).

No primeiro dia, as atividades foram interrompidas devido à ocorrência de raios, impossibilitando a proximidade da torre eólica até que a administração do parque autorizasse. A Figura 42 ilustra o risco de raios na região, evidenciando um registro de incidência a uma distância de 10,5 km do local de trabalho.

Figura 42 - Registro de Incidência de Raios no Primeiro dia de Trabalho.



Fonte: Autor, (2023).

No segundo dia não houve atividade durante tarde, inicialmente devido à chuva no local, sendo necessário a retirada dos equipamentos e deslocamento da equipe. Ao fim da tarde a umidade do ar apresentava valores acima de 80%, não sendo adequada a aplicação de tinta com essa condição.

A Figura 43 mostra as medições de umidade com o temo higrômetro durante o segundo dia de trabalho. No horário de 10:12 da manhã com umidade em 72% e no período da tarde após a chuva marcando umidade em 85%. A Figura 44 mostra a visualização do ambiente em volta da torre, com formação de nuvens de chuva e clima nublado. A Figura 45 mostra a imagem da base molhada a chuva na tarde do segundo dia.

Figura 43 - Registro de Medições de Umidade.



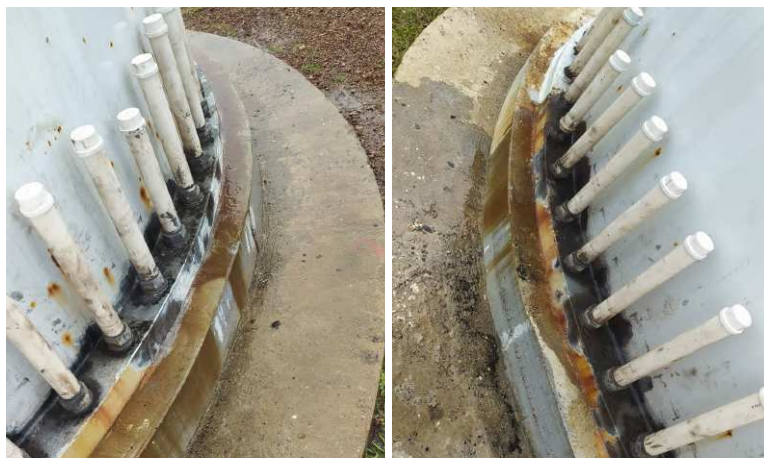
Fonte: Autor, (2023).

Figura 44 - Registro do Tempo no Segundo Dia de Trabalho.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 45 - Base Molhada Após a Chuva.



Fonte: Autor, (2023).

Para melhor entendimento, a Figura 46 apresenta o acompanhamento do serviço com as atividades realizadas em cada dia, mostrando também os dias em que houve paralisações.

Figura 46 - Cronograma de Execução Torro 07.

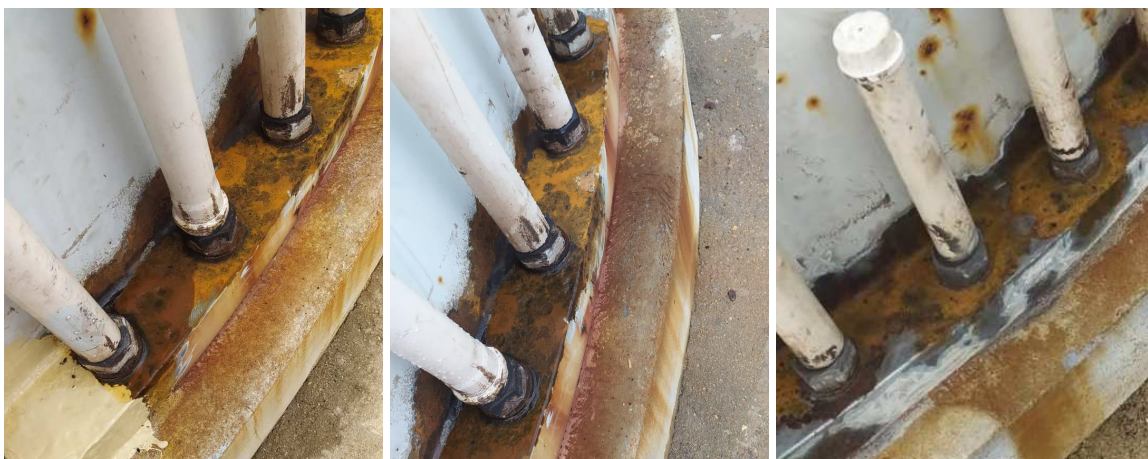
Descrição da Atividade	1º Dia		2º Dia		3º Dia		4º Dia		5º Dia	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Tratamento Mecânico	█		█		█					
Aplicação de Fundo		█				█				
Aplicação de Acabamento									█	█
Paralisação	█			█			█	█		█

Fonte: Autor, (2023).

No terceiro dia houve necessidade de retrabalho, pois o lado da base que recebeu tratamento precisou novamente ser tratada, sendo realizada a remoção da oxidação existente com esmerilhadeira acoplada com escova de aço. A base não recebeu a pintura no dia anterior devido à paralisação.

As Figuras 47 e 48 mostram como a base tratada com retorno da oxidação, situação agravada devido à água da chuva.

Figura 46 - Base Oxidada Após Exposição à Chuva.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 47 - Base Oxidada Devido a Chuva



Fonte: Autor, (2023).

No quarto dia, as atividades foram suspensas novamente devido às condições climáticas, com chuva, tempo nublado e ameaça de raios. No quinto dia foi aplicada as duas demãos de tinta final, com rápida interferência climática por incidência de raios, que não afetou a finalização da atividade.

A Figura 48 mostra como ficou a camada de fundo após a chuva, com a necessidade de lixamento e limpeza antes da aplicação da tinta final.

Figura 48 - Base com Aplicação de Fundo Após a Chuva.



Fonte: Autor, (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Inspeções

Para fins de estudo deste trabalho e controle de qualidade do serviço realizado, foram realizadas duas inspeções, a primeira após 5 meses da finalização e a segunda após 10 meses. As inspeções foram registradas com foco nos pontos onde aparentavam apresentar defeitos e falhas na superfície pintada.

4.1.1 Primeira Inspeção

4.1.1.1 Inspeção Visual e Fotográfica

Através dos registros é possível a visualização de defeitos na superfície pintada, afetando a qualidade final e efetividade do serviço. Vista a com certa distância, a base aparentava estar com acabamento perfeito, porém ao se aproximar notaram-se os defeitos existentes, mostrados na Figura 49.

Figura 49 - Visualização da Base.



Fonte: Autor, (2023).

Foram identificados escorrimento de tinta nas laterais, mostrado na Figura 50 e 51.

Figura 50 -Imperfeições na Superfície Pintada.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 51 - Escorrimento de Tinta.



Fonte: Autor, (2023).

Foi visto que a superfície apresenta ondulações e concavidades. Fato devido a toda remoção de oxidação durante o tratamento, a qual a retirada de material deixa a região com irregularidades que podem ser notadas ao se observar com mais atenção.

Observadas manchas na área de pintura, mostradas na Figura 52 e possivelmente causadas por gotas de água da chuva que se depositaram sobre o filme antes da completa cura do mesmo.

Figura 52 - Manchas na Superfície Pintada.



Fonte: Autor, (2023).

Na Figura 53 é possível ver pontos escuros ou “furinhos”, esses pontos são identificados como poros.

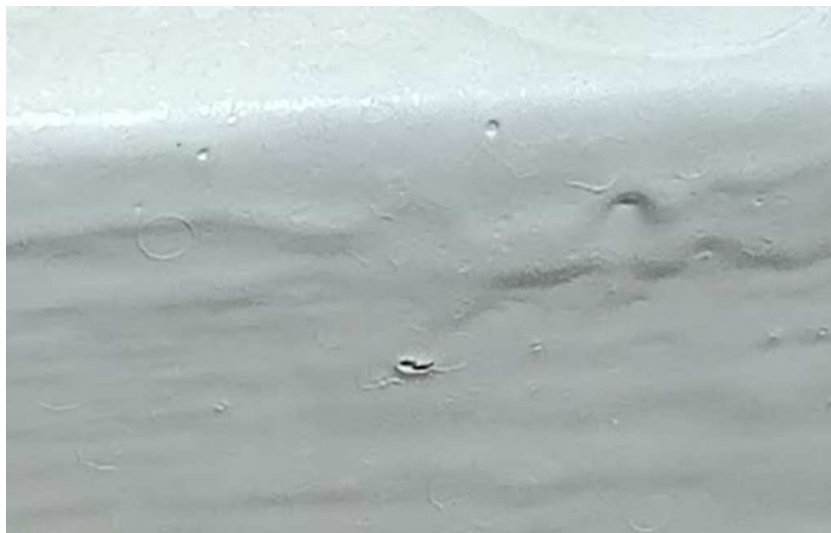
Figura 53 - Porosidade na Superfície Pintada.



Fonte: Autor, (2023).

Na Figura 54 é possível visualizar pequenas crateras oriundas possivelmente de bolhas que após romperem não mais se nivelam.

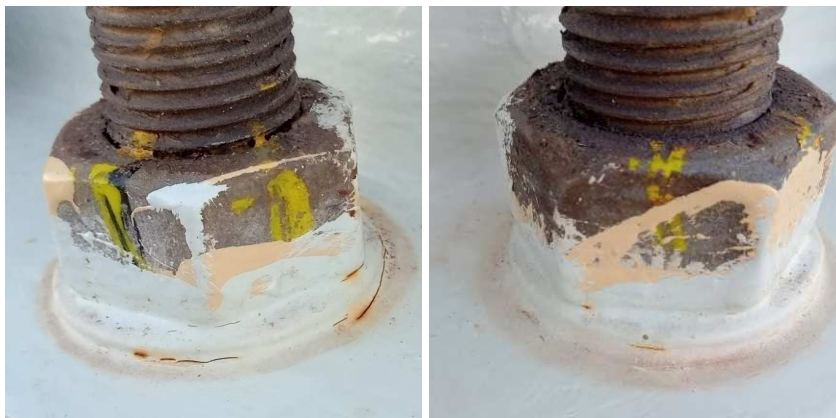
Figura 54 - Surgimento de Crateras.



Fonte: Autor, (2023).

A Figura 55 apresenta fissuras no filme próximas às arruelas. Foram identificadas 7 arruelas com fissuras e quebra de tinta como mostra a Figura 56.

Figura 55 - Fissuras em Volta das Arruelas.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 52 - Quebra de Tinta em Volta das Arruelas



Fonte: Autor, (2023).

4.1.1.2 Medições de Espessura

Durante a primeira inspeção também foram realizadas novas medições de espessura de película de tinta. O objetivo era de verificar a espessura média aplicada e se houve diferença significativa em diferentes pontos da base. Foram verificados 24 pontos distintos em volta da base, a Tabela 07 mostra os valores das películas de tinta nesses pontos.

Tabela 07 - Medição de Espessura Final em 24 Pontos.

552	489	485	490	459	549
506	548	464	486	579	459
585	509	581	498	458	543
460	466	457	467	509	460

Fonte: Autor, (2023).

O valor da espessura média marcou o valor 502 μm , a diferença entre o valor máximo registrado e o valor mínimo registrado foi de 128 μm . Figura 56 registra essas medições.

Figura 56 - Medições Máxima e Mínima de Espessura Seca.



Fonte: Autor, (2023).

4.1.2 Segunda Inspeção

Com a realização da primeira inspeção foram identificados vários defeitos, era esperado que na realização da segunda inspeção ocorresse o agravamento dessas falhas. Com o serviço realizado há 10 meses, já é possível identificar o claro retorno da oxidação na base, como apresentado nas Figuras 57 e 58.

Figura 57 - Ponto de Oxidação na Base.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 58 - Pontos de Oxidação na Lateral da Base.



Fonte: Autor, (2023).

Houve uma evolução da quantidade de arruelas com frestas e quebra de tinta, partindo de 7 para 23, valor triplicando em 5 meses. As primeiras que apresentaram este defeito agora encontravam-se com oxidação localizada, sendo identificada não só a corrosão por frestas, como também a corrosão galvânica nas junções parafusadas, principescamente em volta dessas arruelas, por serem feitas de materiais diferentes, atuam como metal de sacrifício.

. As Figuras 59 e 60 evidenciam esse agravamento.

Figura 59 - Retorno de Oxidação em Volta das Arruelas.



Fonte: Autor, (2023).

Figura 60 - Retorno de Oxidação em Volta da Porca.



Fonte: Autor, (2023).

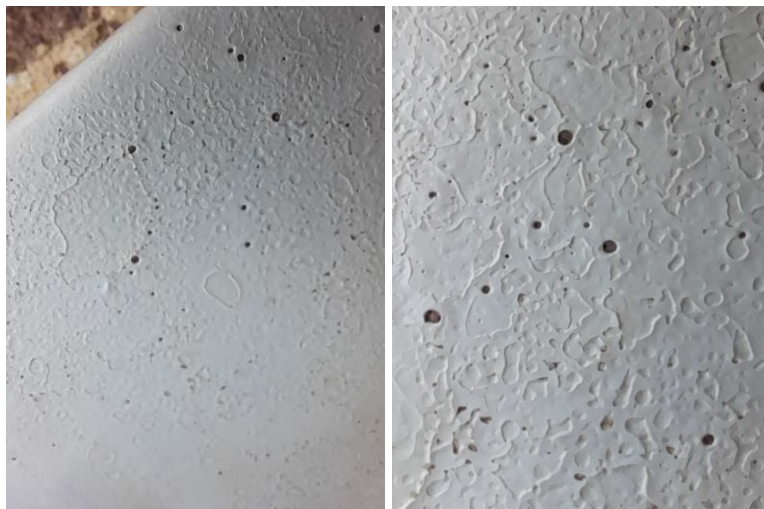
A Figura 61 e 62 mostra a existência e aumento na quantidade de poros, se tornado facilmente visível ao se aproximar da estrutura.

Figura 61 - Aumento da Oxidação



Fonte: Autor, (2023).

Figura 62 - Poros e Irregularidades na Superfície.



Fonte: Autor, (2023).

Os defeitos inicialmente identificados durante a primeira inspeção sofreram um agravamento notável, evoluindo para o surgimento de pontos de oxidação. Esse agravamento pode ser atribuído a diversos fatores, que vão desde condições ambientais adversas, limpeza não eficiente da superfície metálica, descuidos com a mistura e aplicação da tinta, etc.

4.2 Medidas Corretivas

No contexto do tratamento mecânico, se fez necessário empregar o método de limpeza por jateamento abrasivo com grau Sa3, pois o tratamento por ferramentas mecânicas pode ter deixado a desejar. Isso garantiria a remoção completa de toda oxidação e impurezas antes da aplicação dos agentes protetores, aumentando a durabilidade do serviço.

Medidas de controle de qualidade citadas item 2.5.7 para evitar defeitos eram executadas pelos pintores e pelo supervisor. Contudo, essas práticas foram reforçadas e orientadas para garantir a atenção a todos os detalhes durante a execução. Vale ressaltar que houve interferência climática, levantando a possibilidade de que, apesar das periodicidades de medições de umidade, a aplicação da tinta possa ter ocorrido com níveis de umidade altos, comprometendo a durabilidade da camada de proteção.

Para fins de comparação, a base da torre 06, executada na semana subsequente, não foi afetada por interferências climáticas, como chuva ou umidade. A execução ocorreu em um período de três dias, dedicados ao tratamento e aplicação dos dois produtos. Uma inspeção de qualidade também foi conduzida na Base 06, evidenciando padrões superiores em relação à Base 07. A Figura 63 ilustra um dos parafusos da Base da Torre 06, apresentando certo nível

de oxidação, porém, a superfície está consideravelmente mais bem conservada que a Torre 07.

Figura 63 - Inspeção Base Torre 06.



Fonte: Autor, (2023).

Sobre as correções que devem ser realizada no trabalho já executado, a base 07 passará por manutenção corretiva, removendo os pontos de oxidação da camada de tinta com novo tratamento e realização de novamente a pintura nesses pontos.

Relacionada à seleção do produto, embora a eficácia da combinação de *Jotamasic 90* e *HardTop Xp* na resistência à oxidação tenha sido comprovada por testes, uma escolha mais robusta para garantir essa proteção seria a adoção do sistema com três produtos. Envolvendo a inclusão de uma tinta rica em zinco, juntamente com uma camada intermediária aplicada adicionalmente. Existem alternativas de produtos da mesma marca que proporcionam uma proteção superior em ambientes de classe CX com comprovação de eficácia

No que diz respeito à seleção dos produtos para toda a torre, a utilização de três agentes protetores se torna mais adequada para toda parte externa das torres, proporcionando uma segurança superior contra a oxidação em comparação ao esquema testado com dois produtos. Tal escolha é motivada pelo alto valor agregado do equipamento e difícil acesso para realização desse tipo de manutenção.

A escolha da mudança dos protetivos tomou como base relatório realizado pela Kiwa NV, uma instituição europeia renomada quando o assunto são testes, inspeções e certificações. *O Pre-Qualification Testing in Accordance With Norsok Standard M-501* (Teste de pré-qualificação conforme o padrão Norsok M-501), realizado em 2012, fornece requisitos de preparação de superfície e revestimento de proteção anticorrosiva para instalações

offshore. Continuando a utilizar produtos da marca Jotun, mas mudando a composição do sistema de proteção, utilizando os protetivos indicados na Tabela 08 com suas devidas espessuras de película seca.

Tabela 08 - Protetivos Escolhidos Para finalização do Contrato.

Identificação do Produto	Película Seca Mínima Aplicada
Barrier Smart Pack	60 μm
Penguard Universal	160 μm
Hardtop XP	60 μm

Fonte: Kiwa, (2012).

5 CONCLUSÃO

Através da realização de inspeções, foi possível identificar resultados que destacassem a qualidade do serviço executado. Esse processo não apenas proporcionou avaliar a eficácia do serviço, mas também permitiu a detecção de defeitos e imperfeições. Diante desse diagnóstico, foram adotadas medidas preventivas visando evitar a reincidência desses problemas ao longo do tempo.

Observaram-se alguns pontos que devem ser melhorados, como a utilização da limpeza por jateamento abrasivo grau Sa3 em vez da limpeza por ferramentas mecânicas graus St3. Mudança que deve ser adotada a fim de garantir que não restem pontos de oxidação antes da aplicação dos produtos, principalmente em volta das arruelas. Tomando precauções antes e durante as aplicações, garantindo que não haja solvente ou água na superfície, em caso de chuva ou alta umidade deve-se suspender a pintura, até que haja condições ideais.

A ação preventiva tornou-se crucial, uma vez que a omissão de intervenções poderia impactar diretamente na garantia, que assegurava aos clientes a proteção contra corrosão por um período estipulado. O comprometimento com a qualidade do serviço não se limita apenas à fase de execução, mas se estende ao pós-serviço, garantindo um período livre de defeitos na pintura e retorno de corrosão.

A corrosão identificada pode ser classificada morfológicamente como uniforme e localizada. Essa manifestação está intrinsecamente relacionada às condições de conexão com parafusos, desempenhando um papel significativo na propensão a processos de corrosão adicionais, tais como corrosão por frestas e corrosão sob tensão.

A avaliação da efetividade quanto à proteção oferecida pela combinação de duas tintas, *Jotamastic 90* e *HardTop XP* com películas de 250 μm e 50 μm , respectivamente, é adequada para o ambiente que estão localizadas as torres. Porém, foi decidido modificar esse esquema de pintura por um sistema mais robusto com 3 produtos visando aumentar a qualidade e durabilidade.

Foi escolhido o sistema utilizando *Barrier Smart Pack* com primer, *Penguard Universal* como intermediário e continuando com *HardTop XP* como acabamento, com películas 60 μm , 160 μm e 60 μm , respectivamente. Esse sistema se encaixa melhor para as bases e posteriormente para toda torre, oferecendo uma proteção superior devido às propriedades de cada produto, com proteção catódica, proteção por barreira e proteção contra intempéries.

A identificação das necessidades de mudança no escopo da atividade visa prevenir

irregularidades e imperfeições na pintura, as atualizações nos métodos de execução reflete o compromisso com do trabalho realizado, tendo em vista sanar os problemas com oxidação nas bases e posteriormente em toda estrutura da torre.

REFERÊNCIAS

ACCIATI, Heloisa A. et al. **Corrosão do aço-carbono: uma abordagem do cotidiano no ensino de química**. 2015. Departamento de física e química, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Campus de Guaratinguetá. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/cVwbpdPmGzTfrGCBFsc368M/?lang=pt>

ALMEIDA, Neusvaldo L. de; **Falhas e Defeitos**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Disponível em: <https://www.embratecno.com.br/PINTURA%20-%20FALHAS%20E%20DEFEITOS.pdf>. Acesso em set. 2023.

ALVIM FILHO, A. de C.; Aspectos Tecnológicos das Fontes Alternativas de Energia. (Energia Eólica), [S.l.]. 2009. Disponível em: <http://docplayer.com.br/3014195-Aspectos-tecnologicos-das-fontes-de-energia-renovaveis-energia-eolica.html>; Acesso em ago. 2023.

AMARANTE, Odilon A. C. do; BROWER Michael; ZACK, John. et al. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília 2001. 44 p.

AMORIM, Cristina C. et al. **Desempenho de tintas de poliuretano alifático à radiação ultravioleta e condensação de umidade**. INTERCORR 2012, ABRACO. Disponível em: <https://www.intercorr.com.br/edicao/2012>. Acesso em: Set 2023.

AOKI, Idalina Vieira. **Corrosão e seleção de materiais**. Aula 9: corrosão atmosférica. 2021. 26 p.

ARAÚJO, Haroldo de. **Fundamentos da corrosão**. [S. l.]: UFPR, 2003. 118 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14643 Corrosão Atmosférica - Classificação da Corrosividade de Atmosferas**. 2001.

BEZERRA, Francisco Diniz. **Energia Eólica no nordeste**. Caderno setorial ETENE. Banco do Nordeste, 2019. 20 p.

CARDOSO, Renata. **Pintura Para Metais Como Proteção Anticorrosiva**. Rede de tecnologia e inovação do rio de janeiro - REDETEC, 2013. Disponível em: <https://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/Mjc2ODc>. Acesso em set/2023.

CARDOSO, Wanderleiton da s.;PORCINO, Brena da S. **Vantagens Do Sistema Duplex A Pintura Do Aço Galvanizado À Quente Como Uma Alternativa Eficiente Para Proteção Contra Corrosão**. 2016. Faculdade Multivix – Campus Vitória, 6 p.

CASTRO, Rui M.G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução À Energia Eólica**. 4º Edição, Lisboa, 2009. 93 p.

Componentes dos aerogeradores: conheça toda a sua estrutura; **WindBox**; Disponível em: <https://windbox.com.br/blog/componentes-dos-aerogeradores/>. Acesso em set/2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - NORMA DNIT 084/2006 – ES, Tratamento da corrosão - Especificação de serviço.

DIAS, Bruno Albuquerque. **Energia eólica e o estudo de caso do parque eólico de brotas de macaúbas**. Curso de graduação em engenharia elétrica - UFCG, Campina Grande, PB, 2015. Disponível em; <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/18485/BRUNO%20ALBUQUERQUE%20DIAS%20-%20TCC%20ENG.%20EL%20%89TRICA%202015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em Set de 2023.

GENTIL, Vicent. **Corrosão**. 6ª Edição, 2011. 1192 p.

FRAGATA, Fernando de L. **Qualificação para inspetor de pintura nível 1 – módulo i: A pintura como técnica da proteção anticorrosiva**. ABRACO - Associação Brasileira De Corrosão, Rio de Janeiro, 2020. 110 p.

FRAGATA, Fernando de L. **Qualificação para inspetor de pintura nível 1 – módulo i: A pintura como técnica da proteção anticorrosiva**. Rio de Janeiro: Publit Soluções Editoriais, 2009.

FRAGATA, Fernando; AMORIM, Cristina C; ORDINE, Alberto P. **Desempenho de esquemas de pintura com intervalos curtos entre demãos - alternativas para a redução do tempo de execução da pintura**. Copyright 2010, ABRACO. 20 p.

GOES, Ricardo Suplicy; **A galvanização a fogo reduz custos e aumenta a durabilidade das estruturas dos painéis fotovoltaicos**. Brasil Solar Power Conferencia e Exposição 2018, ICZ Instituto de metais não ferrosos, Disponível em: <https://drudu6g9smo13.cloudfront.net/wp-content/uploads/2018/06/ICZ-Brasil-Solar-Power-apresentacao-WKS-12.06.2018.pdf>

ISO 12944-2. 2017. Tintas E Vernizes – Proteção De Estruturas De Aço Mediante Sistemas De Pintura Anticorrosiva, Parte 2: **Classificação de Ambientes Corrosivos**. International Organization for Standardization, 2017.

ISO 8501-1. 2007. Preparação de substratos de aço antes da aplicação de tintas e produtos relacionados – avaliação visual da limpeza da superfície, parte 1: **Graus de ferrugem e graus de preparação de substratos de aço não revestidos e de substratos de aço após a remoção geral dos revestimentos anteriores**. International Organization for Standardization; 2007.

JUNIOR, Francisco C; G. da S: **Análise da corrosão em torres de sustentação de aerogeradores: causas e mitigação**; Orientador: Prof. Dr. Walney Silva Araujo; 2022. Dissertação (TCC) Departamento De Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Ceará. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/64646>. Acesso em out 2023.

KALTENBORN, Kristian. **Pre-qualification testing in accordance with Norsok standard M-501**. Edition 6, Test Report, 2012. 16 p.

MERÇON, Fábio; GUIMARÃES, Pedro Ivo Canesse, et; **Corrosão um exemplo usual de fenômeno químico**. Química nova na escola, 2014. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a04.pdf>, Acesso em: Set 2023.

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

NBR 14643: 2001. **Corrosão atmosférica: classificação da corrosividade da atmosfera.** Rio de Janeiro: ABNT, 2001. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

NOGUEIRA, Tiago de O.; **Análise de desbalanceamento de turbina eólica em escala utilizando rede neural de base radial como classificador.** Orientador: Prof^a. Dr^a. Carla Freitas de Andrade. 2021. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará. Disponível em:

PANONNI, Fábio D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio.** 5^o Edição, Gerdau, 2011. 80 p.

Padrões de proteção para suas instalações offshore.; **HEMPEL**; Disponível em: <https://www.hempel.com/pt-br/service-and-support/quality/norsok> ; Acesso em: Nov 2023.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nassif. **Manutenção: função estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

ROCHA, Andre B.; **Uma avaliação comparativa entre torres para aerogeradores de aço tubulares e de concreto pré-moldado protendido na região de serra do mel, rio grande do norte.** Orientador: Prof. Dr. Rubens Eugênio Ramos, 2016. 75 f. Dissertação (TCC) - Departamento de Engenharia Cível da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

SANTIAGO, N. R. A. **Metodologias para avaliação do desempenho e previsão de avarias em turbinas eólicas utilizando a curva de potência do fabricante.** 2012. 148 p. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis – Conversão Eléctrica e Utilização Sustentáveis) - Universidade Nova de Lisboa.

SOARES FILHO, D.C.; **Análise De Projetos De Montagem De Turbinas Eólicas.** Orientador: Mateus Araújo Silva. 2022. Dissertação (TCC) – Curso de Engenharia Mecânica, UFC, Ceará, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/54988/3/2017_tcc_dcsoasresfilho.pdf; Acesso em set. 2023.

SPINO , Igor Alexandrino. **Análise Da Influência Da Manutenção Corretiva Na Geração De Energia Eólica: Estudo De Caso Em Um Complexo Eólico Da Região Do Nordeste Do Brasil.** Orientador: Nicolás Matheus da Fonseca Tinoco de Souza Araújo. 2019. 64 f. Trabalho de conclusão de curso (Ensino Superior) - Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

THONER, Anita. **Testing of protective coatings – 250 µm Jotamastic 90 / 50 µm Hardtop XP - in accordance with ISO 12944-6:2018 – Corrosivity category C5 High.** NORNER, Test Report, 2018.

VALLADARES, Gustavo S. Valladares; CABRAL, Léya J. R.; Risco De Salinização Das Terras Do Delta Do Parnaíba (PI); 2019. Tomo VIII da Rede BRASPOR

Você sabe como funciona um aerogerador?, **NEOENERGIA**; disponível em: <https://www.neoenergia.com/w/voce-sabe-como-funciona-um-aerogerador->; acesso em set/2023.

VIEIRA Magda R. S. et al. **Avaliação da proteção anticorrosiva de um sistema duplex aplicado sobre aço abnt 1010 imerso em água do mar da região de SUAPE.** Copyright

2008, ABRACO. Disponível em: https://abraco.org.br/src/uploads/intercorr/2008/INTERCORR2008_212.pdf. Acesso em set/2023.

XENOS, Harilaus Georgius D'Phillippos. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Belo Horizonte: Dg, 1998. 300 p.

ANEXO 01 - NORNER: TESTE DE REVESTIMENTOS PROTETORES



Test Report

Report ID. NO18499	Norner project no 2217059	Date 19.10.2018	Classification Confidential
Customer / Contact / Reference Jotun AS/ Ketil Julin Olufsen		Customer Responsible Heidi Bryntesen	

Title

Testing of protective coatings – 250 µm Jotamastic 90 / 50 µm Hardtop XP - in accordance with ISO 12944-6:2018 – Corrosivity category C5 High.

Author(s)

Anita Thoner

Senior Engineer

Approved by

Henning Baann

Laboratory Manager

Background

On behalf of Jotun AS, Norner AS has performed testing of one protective coating system in accordance with ISO 12944-6:2018 – Corrosivity category C5 High- Cyclic ageing.

Conclusions

Tested coating system - 250 µm Jotamastic 90 / 50 µm Hardtop XP – is in accordance with the requirements given in ISO 12944-6:2018 - Corrosivity category C5 High.

Proposal for further work**Attachments**

- Photos of exposed samples
- PAF

¹ Legal notice

Norner has sought to make this document reasonably accurate and reliable within the resource and time frame. The information contained in this document is given in good faith. Norner cannot assume any liability expressed or implied in the presentation of this data, nor should information contained herein be construed as granting license to practice any methods or compositions of matter covered by patents.

Norner AS
Asdalsstrand 291
NO-3962 Stathelle
Norway

Tel: +47 35 57 80 00
Fax: +47 35 57 81 24
Web: www.norner.no
Mail: post@norner.no

Org.nr. NO898 736 032MVA



ANEXO 02 - KIWA: TESTE DE PRÉ-QUALIFICAÇÃO

Rapport

Report



Oppdragsgiver <i>Client</i> Jotun Coatings Pb.2021 3248 Sandefjord		Utførende enhet/lab. <i>Department/laboratory responsible</i> Kiwa Teknologisk Institutt as Materialteknologi Oslo Pb 141 Økern 0509 Oslo	
Rapportnr. <i>Report no.</i> <p style="text-align: center;">3400-20-032618 Mt01A</p>			
Tittel <i>Title</i> <p style="text-align: center;">Pre-qualification testing in accordance with Norsok standard M-501, Edition 6, February 2012</p> <p style="text-align: center;">Jotun coatings Internal system: BSP II</p>			
Dato <i>Date</i> <p style="text-align: center;">14.01.2021</p>	Utarbeidet av <i>Prepared by</i> <p style="text-align: center;">Kristian Kaltenborn</p> <p style="text-align: center;"><i>Kristian A. Kaltenborn</i></p> <p style="text-align: center;">Senior Consultant</p>	Godkjent av <i>Approved by</i> <p style="text-align: center;">Gry Eian</p> <p style="text-align: center;"><i>Gry Eian</i></p> <p style="text-align: center;">Department Manager</p>	Innleveringsdato for prøve <i>Date of receipt of test object</i> <p style="text-align: center;">05.06.2020.</p> Prøvetaking utført av Kiwa TI <i>Sampling by Kiwa TI</i> <p style="text-align: center;">Nei No</p>
Revisjonsnr. <i>Revision no.</i>	Konfig.kont. <i>Config.contr.</i> <p style="text-align: center;">Ja Yes</p>	Antall sider <i>No. of pages</i> <p style="text-align: center;">4</p>	Ant. vedlegg <i>No. of append.</i> <p style="text-align: center;">1 (12 pages)</p>
Kopi nr. <i>Copy no.</i>	Akkreditert test (ISO 17025) <i>Accredited test (ISO 17025)</i> <p style="text-align: center;">No</p>	Kundens ref. <i>Client's ref.</i> <p style="text-align: center;">Cecilie Clasen- Protuder</p>	Bestillingsnr. <i>Order no.</i>
Fordeling <i>Distribution</i>			

SK-0016 d - N/E

Kiwa Teknologisk Institutt as

Postadresse:
Pb. 141 Økern
0509 Oslo
Besøksadresse:
Kabelteatn 2. 0580 Oslo

Telefon: 22 86 50 00
Telefaks: 22 72 45 02
E-post: firmapost@ti.no
Web: www.teknoloisk.no

Org.nr. 942 340 680

Kongsberg: Pb. 1019, NO-3601 Kongsberg
Stavanger: Forusparken 22, NO-4031 Stavanger
Haugesund: Pb. 93, NO-4299 Avaldsnes
Bergen: Pb. 23, NO-5346 Ågotnes