



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**CENTRO DE CIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO QUÍMICA**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA BACHARELADO**

**LEIDIANA ALVES DA SILVA**

**ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS EPÓXI EM  
SUBSTRATOS DE AÇO CARBONO E ALUMÍNIO EM IATES**

**FORTALEZA**

**2025**

LEIDIANA ALVES DA SILVA

**ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS EPÓXI EM  
SUBSTRATOS DE AÇO CARBONO E ALUMÍNIO EM IATES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Química Bacharelado do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Química Industrial.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria das Graças Gomes

FORTALEZA

2025

LEIDIANA ALVES DA SILVA

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS EPÓXI EM  
SUBSTRATOS DE AÇO CARBONO E ALUMÍNIO EM IATES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Química Bacharelado  
do Centro de Ciências da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do  
grau de bacharel em Química Industrial.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Maria das Graças Gomes (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Bruno Ferreira Pacheco  
INACE iates ltda.

---

Dra. Jessica Miranda Abreu Freire  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## RESUMO

O ambiente marítimo impõe condições extremas que aceleram a degradação dos materiais utilizados na construção de navios e embarcações. Fatores como altas temperaturas, umidade, salinidade, maresia e variações climáticas intensificam os processos corrosivos, comprometendo a integridade estrutural e reduzindo significativamente a vida útil de equipamentos e cascos metálicos. Nesse contexto, a pintura naval atua como uma barreira protetora essencial, minimizando os efeitos da corrosão e preservando os substratos de aço carbono e alumínio comumente empregados na indústria naval. Para garantir a eficiência do sistema, são realizados controles físico-químicos e inspeções de qualidade, incluindo medições de temperatura, umidade, ponto de orvalho, ensaios de aderência e aferição da espessura da película seca. Os substratos analisados foram o aço carbono ASTM A36 e a liga de alumínio 5083. A metodologia baseou-se no acompanhamento prático do processo de pintura em um iate, com registro das etapas de preparação superficial, aplicação dos revestimentos epóxi e monitoramento das condições ambientais. O estudo busca, ainda, correlacionar os parâmetros físico-químicos monitorados com o desempenho dos revestimentos aplicados, fornecendo subsídios técnicos que possam contribuir para otimizar a durabilidade e o desempenho das estruturas navais.

**Palavras-chave:** Ambiente marítimo. Corrosão. Pintura naval. Revestimentos epóxi. Inspeção de qualidade.

## ABSTRACT

The marine environment imposes extreme conditions that accelerate the degradation of materials used in shipbuilding. Factors such as high temperatures, humidity, salinity, sea spray, and climatic variations intensify corrosive processes, compromising structural integrity and significantly reducing the lifespan of equipment and metal hulls. In this context, marine painting acts as an essential protective barrier, minimizing the effects of corrosion and preserving the carbon steel and aluminum substrates commonly used in the naval industry. To ensure the system's efficiency, physical-chemical controls and quality inspections are carried out, including measurements of temperature, humidity, dew point, adhesion tests, and dry film thickness. The substrates analyzed were ASTM A36 carbon steel and 5083 aluminum alloy. The methodology was based on the practical monitoring of the painting process on a yacht, recording the stages of surface preparation, application of epoxy coatings, and monitoring of environmental conditions. The study also seeks to correlate the monitored physical-chemical parameters with the performance of the applied coatings, providing technical support that can contribute to optimizing the durability and performance of naval structures.

**Keywords:** Marine environment. Corrosion. Naval painting. Epoxy coatings. Quality inspection.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Efeito da Barreira de Pigmentos -----	18
Figura 2- Deformação da Carepa de Laminação -----	20
Figura 3- Grau de Intemperismo-----	21
Figura 4- Grau de Limpeza de acordo com o grau de intemperismo -----	22
Figura 5- Tabela do Ponto de Orvalho-----	23
Figura 6- Tipo de Destacamento pelo método X -----	24
Figura 7- Esquema de Pintura-----	28
Figura 8- Granalha de Aço-----	30
Figura 9- Rugosímetro Analógico -----	31
Figura 10- Disco Abrasivo-----	32
Figura 11- Termômetro a Laser e Termohigrômetro -----	32
Figura 12- Pente de medição de espessura úmida -----	33
Figura 13- Medidor magnético de espessura seca -----	34
Figura 14- Kit do teste de aderência-----	34
Figura 15- Procedimento para efetuar o corte em X -----	35
Figura 16- Medidor não ferroso de espessura seca-----	37
Figura 17- Jateamento da chapa de aço carbono -----	39
Figura 18- Tratamento da superfície da chapa de aço carbono-----	41
Figura 19- Soldas tratadas com procedimento St3 -----	43
Figura 20- Camada Epóxi de Alumínio-----	45
Figura 21- Camada de Epóxi na cor Bronze -----	46
Figura 22- Teste de Aderência no Epóxi de Preenchimento -----	48
Figura 23-Diferença na superfície do alumínio antes do lixamento(I) e após o lixamento (II)-----	49
Figura 24-Camada de epóxi de preenchimento aplicada no alumínio-----	51
Figura 25-Teste de aderência na 1º camada -----	52
Figura 26-Pente de medição com marcação de 600µm-----	53
Figura 27-. Revestimento térmico -----	53
Figura 28-Pente de medição com marcação de 1100µm -----	54
Figura 29-Revestimento Acústico -----	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados obtidos do jateamento e aplicação do <i>Shop primer</i> em aço carbono-----	40
Tabela 2- Dados obtidos da aplicação das três camadas de tinta no aço carbono -----	44
Tabela 3-Tabela de dados obtidos na aplicação das três camadas de tintas no alumínio -----	50

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Composição Química do Aço Carbono A36-----	15
Quadro 2- Composição da Liga de Alumínio 5083 -----	17
Quadro 3- Grau de Destacamento -----	25
Quadro 4- Tintas utilizadas no esquema de pintura -----	29

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
	<b>2.1</b> <b>Objetivo Geral</b> .....	<b>11</b>
	<b>2.2</b> <b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>11</b>
<b>3.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
	<b>3.1</b> <b>Corrosão em ambientes estruturais na indústria naval</b> .....	<b>12</b>
	<b>3.2</b> <b>Materiais metálicos na indústria naval</b> .....	<b>13</b>
	3.2.1 <i>Aço carbono</i> .....	13
	3.2.2 <i>Alumínio e suas ligas</i> .....	15
	<b>3.3</b> <b>Sistema de pintura naval</b> .....	<b>17</b>
	<b>3.4</b> <b>Tintas industriais utilizadas na proteção anticorrosiva</b> .....	<b>17</b>
	<b>3.5</b> <b>Preparação da superfície do metal</b> .....	<b>19</b>
	3.5.1 <i>Jateamento abrasivo e tratamento mecânico</i> .....	19
	<b>3.6</b> <b>Controle de qualidade e inspeção em sistema de pintura industrial</b> .....	<b>22</b>
	3.6.1 <i>Inspeção das condições ambientais</i> .....	22
	3.6.2 <i>Medição de espessura da película</i> .....	23
	3.6.3 <i>Ensaio de aderência</i> .....	24
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
	<b>4.1</b> <b>Análise de qualidade da pintura</b> .....	<b>27</b>
	<b>4.2</b> <b>Substratos e matérias primas</b> .....	<b>28</b>
	<b>4.3</b> <b>Preparação da superfície e aplicação do esquema de pintura</b> .....	<b>29</b>
	4.3.1 <i>Processo de pintura no Aço Carbono</i> .....	30
	4.3.2 <i>Processo de pintura no alumínio</i> .....	35
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>38</b>

<b>5.1</b>	<b>Resultados da preparação da superfície e aplicação do esquema de pintura</b>	<b>38</b>
5.1.1	<i>Aço Carbono</i> .....	38
5.1.2	<i>Alúminio</i> .....	48
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Na indústria naval, apesar dos avanços em técnicas de proteção, eliminar totalmente a corrosão ainda é um desafio. Quando diferentes tipos de metais são expostos às condições severas do ambiente marinho, a durabilidade e a integridade estrutural dos materiais metálicos empregados nas estruturas, tem sua vida útil reduzida. Os processos corrosivos são favorecidos e catalisados por diversos fatores do meio: Salinidade, teor de oxigênio, pH da água e oscilações de temperatura. (PANAYOTOVA et al., 2004).

Entre as estratégias de mitigação, o uso de revestimentos nas estruturas navais se torna o método principal de combate à corrosão. Além de aumentar a vida útil dos metais expostos, os revestimentos possuem papel estético, atuando de forma multifuncional. Reações eletroquímicas fazem com que as tintas com pigmentos anticorrosivos se transformem em uma barreira física contínua, onde cada camada atua na adesão ao metal, na inibição da corrosão e na resistência ao desgaste, impedindo o contato direto do mesmo com agentes corrosivos do meio. Uma metodologia de pintura adequada preserva o valor do navio, reduz custos corretivos e minimiza a perda de substrato (MONTEMOR, 2014).

Entretanto, para que o sistema de pintura seja eficaz e a tinta desempenhe sua função protetora, é indispensável realizar processos preliminares de preparação de superfícies, como é o caso do jateamento abrasivo. No processo, contaminantes, óxidos e revestimentos antigos são removidos, ao mesmo tempo em que se promove a rugosidade necessária para a aderência dos revestimentos protetores (GENTIL, 2011).

Substratos como o aço e alumínio, amplamente aplicados nesse setor, apresentam instabilidade térmica quando comparados aos seus óxidos naturais (BUREAU VERITAS, 2013). O aço, por exemplo, é bastante utilizado nas construções navais pelo seu baixo custo comparado a outros metais, e por apresentar alta disponibilidade no mercado. Apesar disso, o mesmo apresenta algumas limitações como alta densidade, altos custos de manutenção e necessidade de isolamento térmico (MIGUEIS, 2005). Além disso, sua baixa resistência à corrosão exige uma proteção por tintas, revestimentos e, em muitos casos, proteção catódica (GARCIA et al., 2010).

Já por outro lado, o alumínio, um metal não ferroso também utilizado nas superestruturas navais e embarcações, oferece propriedades complementares às do aço, como

versatilidade, leveza e resistência. Embora possa ser utilizado em sua forma pura, é comum a adição de pequenas quantidades de outros elementos para a formação de ligas, o que aprimora características como resistência mecânica, durabilidade frente à corrosão, a ductilidade, a usinabilidade, a soldabilidade e o desempenho em altas temperaturas. Além disso, o alumínio pode ainda ter um bom desempenho em processos de acabamento, com polimento, brilho químico, anodização e tingimento (NIK et al., 2010).

A utilização conjunta do aço e do alumínio em estruturas navais exige uma atenção especial à escolha e a compatibilidade dos revestimentos aplicados, de modo que o sistema de pintura, além de servir como barreira individualmente, pode evitar reações paralelas que possam gerar e/ou catalisar processos de corrosão. Quando há um contato direto entre um metal mais nobre e um menos nobre, a taxa de corrosão do primeiro tende a diminuir, enquanto a do segundo aumenta. Uma condição necessária é que haja também uma conexão eletrolítica entre os metais, para que se estabeleça um circuito fechado (BARDAL; DERBY, 2004)

Inserido nesse contexto, o presente trabalho realiza uma análise dos processos de pintura e inspeção de qualidade aplicados em substratos de aço carbono e alumínio na construção de iates. A justificativa reside na necessidade de documentar e validar os métodos de controle físico-químico utilizados na indústria naval, desde a preparação da superfície até a aplicação de revestimento por diferentes camadas de tintas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar sistemas de pintura e inspeção de qualidade implementados em iates na indústria naval do Ceará com foco na determinação de parâmetros físico-químicos e avaliação de processos de pintura marinha aplicados em substratos de aço e alumínio.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar processos de preparação de superfície aplicados a substrato de aço carbono e alumínio e comparar o desempenho de cada substrato.
- Descrever sistema de pintura empregado em cada substrato e área de controle analisado.
- Avaliar condições ambientais e parâmetros físico-químicos que influenciam na aplicação das tintas utilizadas.
- Realizar medidas de espessura úmida e seca das camadas de tintas aplicadas a cada substrato.
- Examinar a aderência dos revestimentos por meio de ensaio padrão.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

O presente capítulo tem como objetivo apresentar os principais conceitos teóricos necessários para a compreensão da metodologia do estudo e dos resultados apresentados. São abordados fundamentos referentes à corrosão na indústria naval, às características dos substratos metálicos utilizados na mesma, bem como o sistema de pintura adotado na proteção anticorrosiva e entre outras finalidades. Complementarmente, neste tópico são comentados os revestimentos utilizados, métodos de preparação da superfície dos substratos, e a importância do controle de qualidade.

#### **3.1 Corrosão em ambientes estruturais na indústria naval**

A corrosão pode ser compreendida como a degradação de um material, de modo geral, metálico, no ambiente por meios físicos, químicos e eletroquímicos junto ou não a trabalhos mecânicos. De maneira abrangente, sendo a corrosão um processo espontâneo, está regularmente mudando os materiais metálicos de forma que a durabilidade e o desempenho dos mesmos deixam a desejar no que se refere a suas finalidades. A degradação causada pelas reações físico-químicas entre os substratos e os meios em que se encontram conduz a deformações desfavoráveis e indesejáveis, recebida pelo material tais como: desgastes; transformações químicas ou modificações estruturais tornando o material inapropriado para o uso (GENTIL, 2007).

A atmosfera, água, solo e produtos químicos podem ser considerados diferentes meios corrosivos no qual os metais estão expostos, acontecendo, diferentes tipos de mecanismos para esses processos. A compreensão desses mecanismos ajuda no controle das reações presentes no processo de corrosão, os principais mecanismos podem ser conhecidos como químico e eletroquímico (FRAUCHES-SANTOS et al., 2014). A corrosão química ocorre quando um agente químico causa um desgaste direto ao substrato. Nesse tipo de processo, o mecanismo não consiste na troca de cargas ou elétrons, não existindo formação de uma corrente elétrica, a reação resulta apenas em um produto de corrosão sobre a superfície do material (MOURA, 2009).

Por outro lado, a corrosão eletroquímica é baseada em uma reação espontânea, onde um eletrólito, quando em contato com um metal ou liga, ocorrer reações anódicas e catódicas, de oxidação e redução respectivamente, ao mesmo tempo, causando de modo geral a degradação do material ( MANIER et al., 2007). Esse mecanismo torna-se relevante, quando o assunto é ambiente marinho, uma vez que a água do mar funciona como um eletrólito altamente condutivo pela concentração alta de sais dissolvidos favorecendo a formação de células eletroquímicas e aumentando processos corrosivos em estruturas metálicas expostas ao meio.

Estruturas expostas ao ambiente marinho como pontes, navios e plataformas geralmente apresentam pontos de degradação por corrosão quando não submetidos a sistemas revestidos de proteção adequada. As condições ambientais desse ambiente, por ser um meio alcalino, favorecem a troca de elétrons nos substratos expostos, relacionados também com os esforços mecânicos que desencadeiam processos de corrosão eletroquímica, resultando na aceleração do desgaste do material. (GARBATOV et al., 2013).

## **3.2 Materiais metálicos na indústria naval**

Segundo Pannoni (2005), materiais metálicos apresentam um conjunto de traços características que possibilitam sua identificação como condutividade térmica e elétrica, e ductilidade. Além disso, alguns metais podem apresentar características magnéticas dependendo de sua estrutura e composição. As ligas são formadas por dois ou mais elementos químicos, sendo no mínimo um deles metálicos. Entre os exemplos mais comuns de ligas metálicas destacam-se o latão, constituído por cobre e zinco, o aço carbono, formado basicamente por ferro e carbono, e o bronze, composto por cobre e estanho.

Quando expostos ao ambiente marinho esses metais tornam-se sujeitos a processos de corrosão, uma vez que fatores como salinidade, pH, temperatura, presença de gases dissolvidos e micro-organismos contribuem para a degradação por corrosão (CALLISTER, 2016).

### **3.2.1 Aço carbono**

Atualmente, boa parte estrutural das embarcações é fabricada em aço, material escolhido por ter em uma de suas propriedades resistência mecânica e um custo relativamente baixo em comparação a outros materiais. O aço tem em sua composição predominantemente ferro e carbono, e outros elementos químicos em pequenas proporções (CALLISTER, 2016) .

A concentração de carbono nos aços amplamente utilizados para a engenharia chega até 1% em massa (ASHBY; SHERCLIFF; CEBON, 2018). Apesar das diversas vantagens associadas ao uso do aço carbono, uma desvantagem prevalece: baixa resistência à corrosão quando exposto a ambientes agressivos.

A caracterização do aço é dividida em três categorias: baixo, médio e alto teor de carbono (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016) . No presente estudo, foi avaliado um aço de baixo carbono amplamente utilizado em aplicações estruturais, enquadrado nessa classe de materiais. Os aços de baixo carbono consistem em ligas ferrosas com até 0,25% em massa e de maneira geral não respondem a tratamentos térmicos, tendo sua resistência aumentada somente no trabalho a frio. Dentre as vantagens dessas ligas ferrosas pode-se citar a ótima usinabilidade e soldabilidade além de ser um aço de produção relativamente mais barato que os outros metais. (ASHBY Et al 2012; CALLISTER, 2016).

Dentre os aços mais comuns com baixo carbono no mercado pode-se citar: SAE 1010, SAE 1020, A36 Tonella (2023) . Este último foi selecionado para o desenvolvimento do presente estudo, em razão de sua ampla aplicação em estruturas metálicas e da necessidade de proteção anticorrosiva por meio de sistemas de pintura.

A norma ASTM A36 [ American Society for Testing and Materials ] indica requisitos básicos para a qualidade da matéria prima, composição química e resistência mecânica para aços estruturais. O aço ASTM A36, é um aço estrutural que apresenta grande relevância na indústria devido às suas propriedades obtidas durante seu processo de produção. Sua composição química da norma é definida por uma por meio de faixas estabelecidas para os principais elementos de liga, de modo a assegurar as propriedades mecânicas mínimas e a adequada soldabilidade do aço ( FONSECA, 2005) A verificação dessa composição é realizada por análise química, e as porcentagens típicas e máximas dos elementos constituintes são apresentadas no quadro 1 a seguir.

Quadro 1- Composição Química do Aço Carbono A36

COMPOSIÇÃO QUÍMICA / %						
Fe	C	Mn	Si	P	Cu	S
98	0,25 máx.	-	0,40 máx.	0,04 máx.	0,20 min	0,05 máx.

Fonte: Adaptado ASTM A36 (2004).

Cada elemento adicionado à composição do aço, têm diferentes funcionalidades sendo uma combinação cuidadosamente balanceada que atribui ao material propriedades mecânicas e químicas desejadas. O carbono atua como o principal elemento de endurecimento, aumentando a resistência do aço, embora teores mais elevados reduzam sua ductilidade e soldabilidade. O silício por sua vez é adicionado como fonte desoxidante durante a produção do aço com a função de eliminar gases dissolvidos e da mesma forma que o carbono promove maior resistência. As pequenas proporções de fósforo e enxofre estão presentes como contaminantes controlados uma vez que em grandes quantidades, ambos podem danificar a estrutura do aço, afetando negativamente a soldabilidade e a ductilidade. Por fim o cobre está presente em teores mínimos para melhorar a resistência à corrosão atmosférica diminuindo a vulnerabilidade do material frente a ambientes agressivos ( GNEE STEEL, 2023).

Ainda assim, sua resistência limitada à corrosão simboliza uma limitação importante, revelando a necessidade de pesquisas que tendam ao desenvolvimento de métodos eficazes para desacelerar esse processo degradante (CALLISTER, 2014). Assim é comum aplicar em aços carbonos em geral pinturas protetivas, visando aumentar sua resistência à corrosão.

### 3.2.2 Alumínio e suas ligas

Segundo Savi ( 2014) a necessidade de embarcações mais leves e energeticamente eficientes tem impulsionado o uso de ligas de alumínio na indústria naval, visto que esse material apresenta densidade cerca de 35% inferior à do aço. De acordo com o mesmo autor, a

maior vantagem de usar alumínio na indústria naval está diretamente ligada a uma maior resistência frente à corrosão imposta ao meio agressivo no qual o setor está inserido. As ligas de alumínio se apresentam praticamente inertes quando submetidas a água salgada, com vida útil prolongada e custos de baixa manutenção.

Para além disso, o alumínio tem como sua principal característica formação de óxido quando em contato com a atmosfera, caracterizado como um processo de passiva natural. Este óxido é responsável pela barreira de proteção contra a corrosão. O óxido de alumínio pode ocorrer em diversas estruturas cristalinas, associadas a diferentes níveis de hidratação, ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ). O tipo de óxido ou hidróxido formado está diretamente relacionado às condições de formação e aos processos aos quais o alumínio é submetido. As qualidades do óxido formado está diretamente ligado a resistência do alumínio em meios agressivos, porém quando existem variações muito alta ou muito baixas na faixa de pH essa camada protetora se dissolve e leva o substrato a processos de corrosão (SILVA, 2010)

A classificação das ligas, através da norma ASTM B209 ,tem como base um sistema numérico de quatro dígitos, que representa elementos que determinam suas características como o cobre, magnésio, zinco e silício (GONÇALVES, 2022)

Entre as ligas mais utilizadas nesse segmento, as ligas de alumínio que tem o magnésio como principal componente, especialmente ligas da série 5XXX (Al-Mg) e 6XXX (Al-Mg-Si) são as mais indicadas. Do conjunto de ligas apresentadas no mercado, as de perfil 5XXX são as mais utilizadas para a construção naval. A liga de perfil 5083 é considerada a liga-base da indústria naval e foi registrada na Aluminium Association em 1954 (SAVI, 2014). A liga que apresenta em sua composição principal alumínio e magnésio, como a da série 5083, é utilizada em maior escala nas estruturas marítimas uma vez que oferecem maior resistência mecânica e soldabilidade quando comparadas às outras séries de ligas de alumínio. A composição dessa liga é indicada no quadro 2 .

Quadro 2- Composição da Liga de Alumínio 5083

COMPOSIÇÃO QUÍMICA / %								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,40	0,40	0,10	1,0	4,9	0,25	0,25	0,15	Restante

Fonte: METALTHAGA (s.d.).

### 3.3 Sistema de pintura naval

Para Gentil (2011), um sistema de pintura é composto por um conjunto de processos aplicados com o intuito de adicionar um revestimento à base de tintas. Esse sistema é constituído por estágios de preparo, condicionamento superficial e aplicação da tinta. Dessa forma, a escolha do processo de pintura deve ser elaborada de acordo com as características da superfície a ser protegida.

O mesmo autor apresenta como processos de pintura mais fundamentais o de imersão, de aspersão por meio de pistola, a trincha e a rolo. Para este trabalho, o de maior aplicabilidade apresenta-se somente o processo de pintura por aspersão por ser apropriado para pintar grandes superfícies e por gerar filmes com melhor aspecto estético. Este processo baseia-se na adição da tinta à superfície do metal por meio de equipamentos especiais e de ar comprimido com o objetivo de promover a projeção da tinta sobre a região a ser protegida, por meio de um jato.

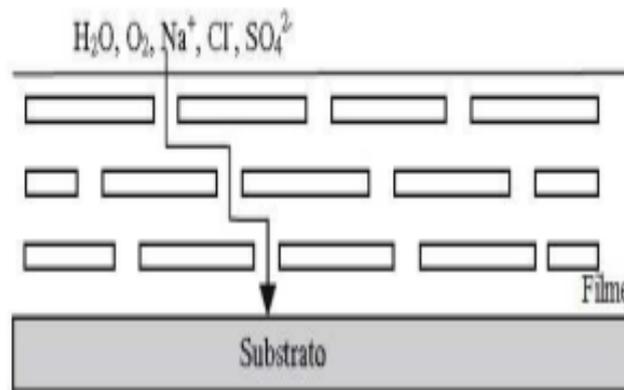
A pintura das superfícies metálicas é um dos meios mais apropriados de proteção do substrato. O meio ambiente e agressividade do mesmo devem ser cogitados, tal como as características da tinta a ser aplicada, a preparação superficial do metal e a sequência de aplicação de cada camada (BELO MARINO, 2019).

### 3.4 Tintas industriais utilizadas na proteção anticorrosiva

A tinta é uma composição química, de modo geral viscosa e que apresenta um ou mais pigmentos em um aglomerado líquido caracterizado como veículo, acontecendo o processo de secagem ou cura da tinta quando expandida em película formando uma camada opaca e aderente ao substrato metálico (SILVA; DUARTE; CARVALHO, 2016).

O veículo é responsável pela formação da película de tinta na superfície do metal, atuando também na junção dos pigmentos. Os pigmentos por sua vez constitui de pequenas partículas sólidas que atribuem cor a tinta, estes favorecem a proteção anticorrosiva e a impermeabilidade. Além disso, os pigmentos de alumínio adicionados apresentam outras finalidade, produzidos sobre forma lamelar, os mesmos atuam como uma barreira física que além de espelhar os raios solares dificultam a circulação sais dissolvidos até o substrato através comprimento dos caminhos de difusão para a água e do oxigênio, diminuindo assim a permeabilidade (FALCÃO; SOUSA, 2018) . A figura 1 indica o efeito dessa barreira formada.

Figura 1- Efeito da Barreira de Pigmentos



Fonte: Adaptado de SORENSEN et al.,( 2009).

As resinas epóxis, atualmente, são uns dos veículos mais utilizados no combate à corrosão, polímeros com compósitos reforçados, que apresentam melhores propriedades de aderência e resistência química, além de características mecânicas e elétricas (SILVA; DUARTE; CARVALHO, 2016).

Tintas compostas com essa resina, apresentam alto desempenho e em geral são fornecidas com 2 componentes A e B. O agente A contém o pré-polímero epóxi e o B é um agente de cura (secagem) que pode ser amina, amida, e isocianato. As tintas que empregam amina como agente de secagem, são usadas com a finalidade de primer, tinta intermediária. Em

contrapartida, as que utilizam a amida apresentam melhor resistência à água e são apropriadas para regiões úmidas e com imersão (FAZENDA, 2005).

Um dos fundamentais formantes da tinta é a película que se forma sobre o substrato. Esta deve possuir qualidade que condiz na categoria de revestimento protetor. Segundo Leite (2004) A película formada pode aderir ao substrato através de dois principais mecanismos

- a) Forças Mecânicas: Quando aplicados, os revestimentos, apresentam uma viscosidade que possibilitam a sua infiltração na chapa, assim a tinta passa da fase líquida para a sólida com a película “ancorada” ao substrato.
- b) Forças Moleculares: Existe uma interação de atração entre as moléculas do revestimento e as partículas do metal, responsável pela aderência da película ao substrato. Dessa forma, para que um revestimento seja considerado adequadamente formulado, é necessário que apresente elevada aderência sem comprometimento da coesão intermolecular, resultando na formação de uma película resistente e ao mesmo tempo flexível

### **3.5 Preparação da superfície do metal**

Os processos de limpeza e preparação da superfície do substrato são essenciais para assegurar o desempenho da pintura. O processo envolve meios que afirmam limpeza e rugosidade necessária para uma boa performance do revestimento, removendo contaminantes, óxidos e tintas mal aderidas favorecendo a aderência da tinta ao substrato. (GENTIL, 2011).

#### ***3.5.1 Jateamento abrasivo e tratamento mecânico***

O objetivo do jateamento abrasivo é de gerar rugosidade superficial no substrato para a aderência de revestimentos anticorrosivos. (GONZAGA, 2018). A norma ABNT (2024) determina métodos para estabelecer o perfil de rugosidade da superfície do substrato a ser pintado. A norma define que a medição deve ser feita com um medidor de perfil de rugosidade, a leitura é realizada em áreas selecionadas da superfície previamente jateada, o instrumento é posicionado em pontos definidos e uma série de medições é feita nesses pontos. O valor final

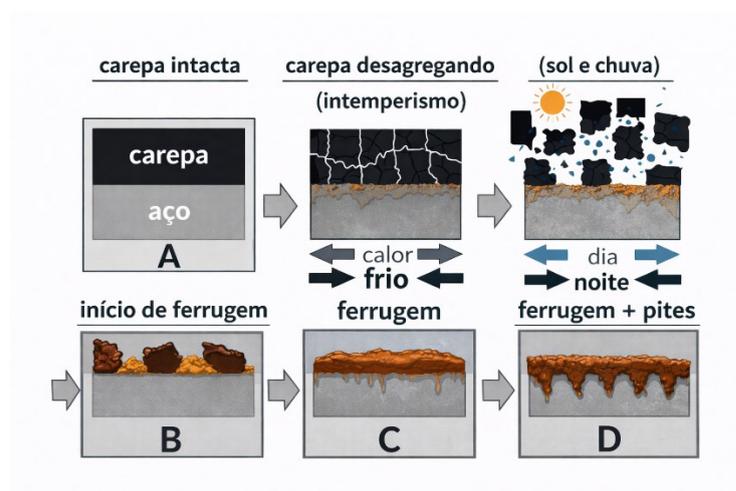
é obtido pela média aritmética das medições coletadas, assegurando que a textura da superfície atende aos critérios estabelecidos para uma boa ancoragem da pintura.

Segundo Gnecco et al. (2003) para que haja uma rugosidade adequada o abrasivo mais comum é o de granalha de aço, fabricado com aço de alta dureza. Este é lançado por ar comprimido favorecendo uma limpeza eficiente, garantindo a qualidade superficial e o desempenho do revestimento subsequente.

De acordo com o mesmo autor, um fator importante para se obter uma boa aderência do revestimento é a preparação da superfície do substrato. No caso de chapas e perfis de aço carbono novo, considera-se a presença de carepa de laminação, que devem ser removidas por jateamento abrasivo criando a rugosidade adequada.

Sendo um contaminante produzido a partir do processo de fabricação a quente do aço, a carepa de laminação, ocorre da reação do oxigênio com o ferro formando óxidos de ferro (GNECCO et al. 2003). A expansão e contração do aço durante o seu uso, causam a flexão do mesmo, formando aberturas na carepa, possibilitando a penetração de umidade levando a corrosão. (Figura 2). Segundo Gentil (2011) a remoção da carepa é indicada para aplicação subsequente de qualquer revestimento ao substrato.

Figura 2- Deformação da Carepa de Laminação



Fonte: Gnecco, et al. (2003).

O intemperismo apresentado, é resultado da degradação dos metais, provocado por uma ação constante das condições ambientais, como umidade e presença de sais que

contribuem para a ocorrência de processos corrosivos. Existem quatro graus de intemperismo A, B, C e D estes são definidos descritivamente segundo a ISO 8501-1 (2007).

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

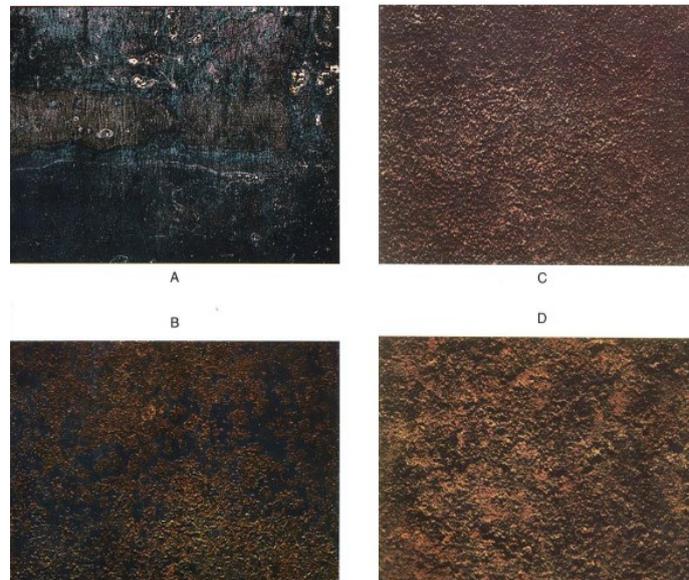
B: Superfície de aço com início de corrosão e que a carepa de laminação tenha começado a desagregar.

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.

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

Na figura 3, é possível notar visualmente a diferença dos diferentes graus de intemperismo.

Figura 3- Graus de Intemperismo



Fonte: ISO 8501-1 (2007)

De acordo com a ISO 8501-1 (2007) o uso de ferramentas manuais para a limpeza superficial, para auxílio do processo de jateamento, por meio de escovas de aço, lixadeiras e discos abrasivos, se caracteriza como um tratamento no qual se classifica com “St” enquanto de jateamento como “Sa”. Os graus de limpeza por jateamento e tratamento com ferramentas

mecânicas se encontram representados por um padrão visual na figura 4 de acordo com o grau de intemperismo apresentado anteriormente (figura 3).

Figura 4- Grau de Limpeza de acordo com o grau de intemperismo



Fonte: ISO 8501-1 (2007)

Segundo Gentil (2011) a limpeza com tratamento mecânico deve ser aplicada em estruturas a serem pintadas que estejam sujeitas a ambientes de baixa a média agressividade.

### 3.6 Controle de qualidade e inspeção em sistema de pintura industrial

Na indústria naval, o controle rígido da qualidade no processo de produção favorece a engenharia de construção, garantindo o desempenho e a qualidade. O processo de revestimento de fabricação é extremamente complexo, portanto é muito importante usar métodos de gerenciamento de qualidade razoáveis e eficientes para controlar a qualidade dos produtos (NISHIDA; ABRANTES, 2019).

#### 3.6.1 Inspeção das condições ambientais

Segundo PETROBRAS, (2012) processos de pintura devem ser executados sob condições ambientais rigorosamente controladas, uma vez que a umidade relativa do ar não deve ultrapassar 85%, garantindo a adequada formação da película, ao mesmo tempo que a

temperatura de superfície deve ser mantida dentro de limites seguros, não excedendo 52 °C e permanecendo, no mínimo, 3 °C acima do ponto de orvalho, a fim de evitar condensação e falhas de aderência. Para que não haja falhas no processo de cura do revestimento a temperatura ambiente não deve ser inferior a 5° C.

A aplicação do revestimento em condições incorretas favorece a formação de bolhas, buracos e crateras (DEFELSKO, 2021). Outro parâmetro fundamental no processo de pintura é o ponto de orvalho, definido como a temperatura na qual o vapor de água presente no ar se condensa e passa para o estado líquido. A aplicação de tinta não deve ser realizada em superfícies cuja temperatura esteja inferior a 3°C acima do ponto de orvalho, uma vez que a evaporação dos solventes promove o resfriamento da superfície, podendo provocar a condensação da umidade do ar e, conseqüentemente, comprometer a aderência e o desempenho do revestimento aplicado (FAZENDA, 2009).

O ponto de orvalho pode ser determinado a partir da análise conjunta de duas variáveis fundamentais: a temperatura da ambiente (TA) e a umidade relativa do ar (UR). Com base nesses parâmetros, é possível obter o valor do ponto de orvalho por meio de uma tabela previamente estabelecida, conforme apresentado na figura 5, a qual permite avaliar as condições ambientais adequadas para a execução dos serviços de pintura de acordo com a norma ISO 8501-1.

Figura 5- Tabela do Ponto de Orvalho

UR	Temperatura ambiente °C						
	10	15	20	25	30	35	40
90	8,2	13,3	18,3	23,2	28,0	33,0	38,2
85	7,3	12,5	17,4	22,1	27,0	32,0	37,1
80	6,5	11,6	16,5	21,0	25,9	31,0	36,2
75	5,6	10,4	15,4	19,9	24,7	29,6	35,0
70	4,5	9,1	14,2	18,6	23,3	28,1	33,5
65	3,3	8,0	13,0	17,4	22,0	26,8	32,0
60	2,3	6,7	11,9	16,2	20,6	25,3	30,5
55	1,0	5,6	10,4	14,8	19,1	23,9	28,9
50	-0,3	4,1	8,6	13,3	17,5	22,2	27,1
45	-1,5	2,6	7,0	11,7	16,0	20,2	25,2
40	-3,1	0,9	5,4	9,5	14,0	18,2	23,0
35	-4,7	-0,8	3,4	7,4	12,0	16,1	20,6
30	-6,9	-2,9	1,3	5,2	9,2	13,7	18,0

Fonte: Fazenda, 2009

### 3.6.2 Medição de espessura da película

Segundo a norma ABNT NBR 10443 , define métodos de medição padronizados que permitem verificar a conformidade da espessura aplicada em relação aos valores especificados em projeto, garantindo a adequada proteção anticorrosiva, a durabilidade do revestimento e o desempenho do sistema de pintura ao longo de sua vida útil, além de reduzir falhas associadas à aplicação inadequada do filme seco.

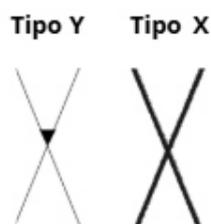
A norma estabelece os procedimentos para a determinação da espessura da película seca (EPS) de revestimentos aplicados sobre superfícies metálicas ferrosas e não ferrosas, sendo um instrumento fundamental para o controle de qualidade em sistemas de pintura industrial.

Para a medição da película formada deve-se utilizar medidores magnéticos ou de correntes parasitas devidamente calibrados sobre substrato pintado. O procedimento exige a realização de medições pontuais em cada área, sendo que cada "medição pontual" é composta pela média de três leituras consecutivas em um raio de poucos centímetros. O resultado final da espessura de película seca deve ser a média dessas medições. (ABNT, 2023)

### 3.6.3 *Ensaio de aderência*

A aderência é uma propriedade fundamental à durabilidade dos revestimentos por pintura, principalmente aqueles aplicados com finalidade de proteção anticorrosiva (FRAGATA; AMORIM; ORDINE, 2010). A avaliação da aderência dos revestimentos por pintura, ao longo dos anos, tem sido realizada por diversos métodos. O mais tradicional é o que envolve o corte do revestimento na forma de X, que é submetido ao arranque de uma fita filamentosa ocasionando o destacamento da película representada na figura 6 ( ISO, 2007).

Figura 6- Tipo de Destacamento pelo método X



Fonte: Adaptado ISO 8501-1 (2007)

Segundo a norma ISO (2007) o destacamento da película pode ocorrer de duas formas: Destacamento na interseção ( tipo Y), e destacamento ao longo da incisão ( tipo X). A norma ainda apresenta graus de destacamentos, identificados após o arranque da fita filamentosa, que vão de X0 a X4 e de Y0 a Y4, nos quais são indentificados com uma lupa para a leitura. No quadro 3 é possível identificar as medidas correspondente a cada grau.

Quadro 3- Grau de Destacamento

Tipo de destacamento		Destacamento/ mm
X <sub>0</sub>	Y <sub>0</sub>	0
X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	0-2
X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	2-4
X <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	4-6
X <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	>6

Fonte: Adaptado ISO 8501-1 (2007)

Segundo Fazenda (2009), a aderência da tinta ao substrato constitui uma das propriedades mais relevantes dos revestimentos, por estar diretamente relacionada à sua capacidade de proteção; quando insuficiente, a aderência pode ocasionar o destacamento prematuro da película, favorecendo a exposição do metal e a conseqüente propagação dos processos corrosivo.

#### ***3.6.4 Inspeção Visual***

A inspeção visual de revestimentos tem sido amplamente utilizada como método inicial de controle de qualidade, permitindo a identificação de defeitos superficiais como áreas não pintadas, falhas de cobertura, descascamentos e descontinuidades do filme formado sobre a superfície do substrato. Nesse contexto, Han et al. (2024) destacam que a inspeção visual, voltada à avaliação de imperfeições funcionais e estéticas, configura-se como um método versátil, simples, de baixo custo e não invasivo. Entretanto, sua eficácia está fortemente condicionada à atuação do inspetor, uma vez que o desempenho desse tipo de inspeção pode ser influenciado por fatores humanos, incluindo o nível de experiência do avaliador, a complexidade da atividade de inspeção, a frequência de ocorrência de defeitos no produto, entre outros aspectos operacionais.

Na indústria naval, a inspeção visual da pintura é imprescindível para a detecção de corrosão ou defeitos aparentes, garantindo a qualidade do processo aplicado, apresentando-se como uma alternativa para o prolongamento da vida útil da estrutura da embarcação (BUASZCZYK; PINHEIRO, 2021).

## **4. METODOLOGIA**

Esse trabalho foi realizado na Indústria Naval do Ceará, localizada em Fortaleza-CE, estudo foi feito diretamente na embarcação, o que possibilitou a análise em condições reais de operação e exposição ao ambiente marinho. Essa abordagem permitiu identificar as diferenças no comportamento dos revestimentos aplicados sobre o aço carbono e alumínio, além de correlacionar os resultados obtidos com outros parâmetros de qualidade exigidos nas normas técnicas aplicáveis ao setor náutico. O procedimento foi desenvolvido a partir de observações e registros realizados durante o estágio na indústria naval, complementados por referências normativas e técnicas do setor.

### **4.1 Análise de qualidade da pintura**

O processo de preparação e pintura adotado na embarcação, envolve uma sequência de etapas, estas acompanhadas e registradas durante o desenvolvimento deste estudo. Um esquema desde o tratamento inicial até a última camada de tinta junto a inspeção de qualidade da aplicação a cada substrato analisado está representado na figura 7.

Figura 7- Esquema de Pintura



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

#### 4.2 Substratos e matérias primas

A etapa inicial do estudo consistiu na caracterização dos substratos metálicos utilizados nos testes de pintura. Foram selecionadas chapas de aço carbono e liga de alumínio, materiais amplamente empregados na construção de iates e embarcações de pequeno porte. A chapa de aço carbono escolhida foi a ASTM A36, apresentando como elemento principal o ferro com 98% de sua composição, seguido do silício, carbono e cobre com , 0,28%, 0,25% e 0,20% respectivamente, além disso na composição típica a chapa ainda apresenta pequenas quantidades de fósforo e enxofre (ASTM A36, 2004). Para a chapa de liga de alumínio, o perfil 5083 foi utilizado, onde a composição é caracterizada em sua maioria por alumínio, manganês, e magnésio.

As superfícies passaram por processo de limpeza química e jateamento abrasivo, e as áreas selecionadas na embarcação para avaliação do esquema de pintura foram escolhidas conforme o substrato: Para o alumínio a área de estudo escolhida foi a parede da cozinha, enquanto para o aço carbono a região estudada correspondeu ao piso externo. Ambos os ambientes representam condições reais de uso e diferentes funcionalidades mecânicas e ambientais.

O sistema de pintura empregado foi composto por camadas de tintas epóxi e revestimentos especiais aplicados conforme a função de cada área (anticorrosiva, de preenchimento, térmica e acústica), aplicadas conforme a especificidade de cada metal e instruções do fabricante indicadas no quadro 4.

Quadro 4- Tintas utilizadas no esquema de pintura

<b>Tinta</b>	<b>Sólidos por volume</b>	<b>Metal Aplicado</b>	<b>Espessura seca/ <math>\mu\text{m}</math></b>
Epóxi de Alumínio	60%	Aço	150
Epóxi Bronze	60%	Aço	150
Epóxi de preenchimento	83%	Aço/Alumínio	100
Revestimento térmico	55%	Alumínio	2000
Revestimento Acústico	75%	Alumínio	2000

Fonte: Projeto PB3 (2025).

A obtenção da espessura úmida a ser aplicada a fim de obter a espessura seca final estipulada pelo esquema de pintura seguiram o cálculo representado pela equação 1:

$$EPU = \frac{EPS.(100+\%DIL)}{SV} \quad (1)$$

Onde: EPS é espessura seca

EPU é a espessura úmida

SV é sólido por volumes (em %) obtido pela ficha técnica

%DIL. é a porcentagem de diluição

### 4.3 Preparação da superfície e aplicação do esquema de pintura

O processo de tratamento de pintura para os substratos de aço carbono e alumínio foram distintos devido à diferença de propriedades físico-químicas e do comportamento frente à corrosão.

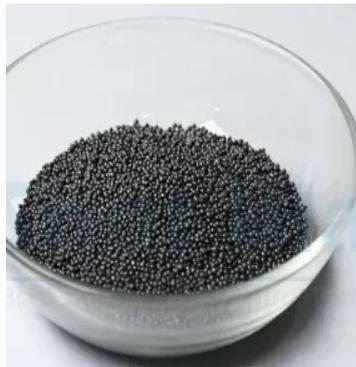
#### ***4.3.1 Processo de pintura no Aço Carbono***

O esquema de pintura do aço carbono envolveu 2 etapas: A preparação das chapas por jateamento abrasivo antes da montagem da estrutura da embarcação e a pintura do metal quando já aplicado na área de análise escolhida de cada substrato.

##### **I) Jateamento abrasivo do aço carbono**

Nessa etapa as chapas de aço que apresentavam grau de intemperismo A foram submetidas ao jateamento abrasivo feito com granalhas de aço (figura 8) com o objetivo de remover óxidos, carepas de laminação e impurezas, além de criar uma rugosidade de acordo com a norma técnica para aderência da tinta.

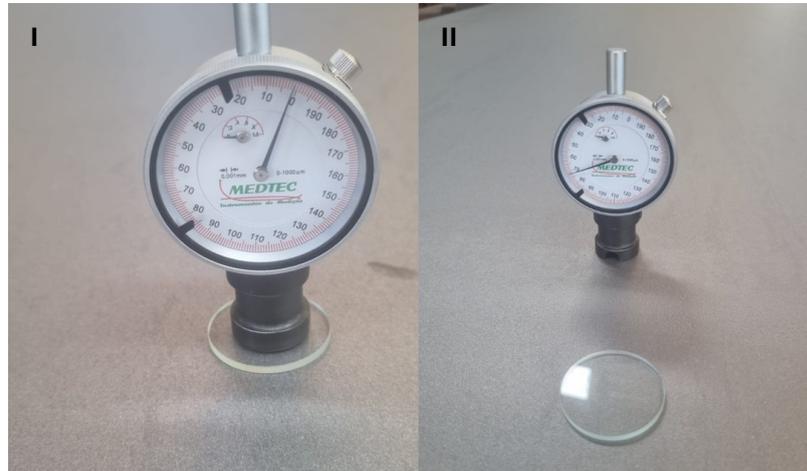
Figura 8- Granalha de Aço



Fonte: Shot Blaster(2025).

A rugosidade foi medida com o rugosímetro devidamente calibrado sobre uma superfície lisa, e após posicionado sobre a chapa recém jateada para a leitura, como mostrado na figura 9.

Figura 9- Rugosímetro Analógico



Fonte: Elaborado pelo autor(2025).

(I) Rugosímetro sobre uma superfície lisa (vidro de relógio).

(II) Rugosímetro em uma superfície rugosa.

As leituras foram realizadas conforme a norma, garantindo que estivesse dentro dos limites estipulados. Além das medidas de rugosidade, outro aspecto analisado foi se o visual da chapa apresentava um grau de limpeza recomendado para o grau de intemperismo apresentado.

Após o processo de jateamento, a chapa de aço carbono foi revestida com uma camada de Shop primer, tinta anticorrosiva temporária que protege o material até que aconteçam as etapas de corte e soldagem da mesma. Somente após essa etapa de proteção o aço foi levado para o corte, conforme o projeto de construção.

## II) Processo de pintura do aço carbono na embarcação

Já na área específica escolhida, piso principal, a superfície do metal passou por um tratamento st3, utilizando discos abrasivos e escovas rotativas de aço, representados na figura 10, para remoção do shop primer, ferrugem e impurezas aderidas.

Figura 10- Disco Abrasivo



Fonte: Elaborado pelo autor(2025).

Logo após esse tratamento a área foi lavada com HoldTight 102, uma solução aquosa à base de surfactantes não iônicos, contendo agentes quelantes e aditivos inibidores de corrosão, utilizada para a remoção de sais solúveis de superfícies metálicas. A proporção recomendada e usada foi de 1:75 de água potável para limpeza química, e após a superfície seca foi aplicado desengraxante para a remoção de sais, gorduras e partículas soltas. Antes da aplicação da tinta parâmetros ambientais como a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, ponto de orvalho e temperatura da superfície foram realizadas medidas utilizando o termohigrometro digital e o termômetro a laser representado na figura 11.

Figura 11- Termômetro a Laser e Termohigrômetro



Fonte: Elaborado pelo autor(2025).

A temperatura ambiente (TA) e a umidade relativa do ar (UR) foram medidas utilizando um mesmo aparelho: termo higrômetro digital, este foi ligado e deixado por alguns minutos para estabilizar a leitura do ambiente.

A temperatura da superfície (TS) foi medida utilizando o termômetro a laser a uma distância de no máximo 30 cm da superfície de aplicação da tinta.

Para o ponto de orvalho (PO), as medidas de temperatura ambiente e a umidade relativa foram coletadas e tratadas em uma calculadora digital para obtenção do dado.

A pintura foi autorizada quando as medidas estavam de acordo com as recomendações normativas.

O esquema de pintura aplicado sobre o aço carbono foi composto pelas seguintes camadas seguindo o projeto “PB3” de acordo com o protocolo estipulado pela empresa (sem acesso público).

1° camada de tinta epóxi de alumínio na cor cinza metálico com espessura seca de 150  $\mu\text{m}$  e espessura úmida de 250  $\mu\text{m}$ .

2° camada de tinta epóxi bronze na cor bronze com espessura seca de 150  $\mu\text{m}$  e espessura úmida de 250  $\mu\text{m}$ .

3° camada de tinta epóxi de preenchimento na cor cinza com espessura seca de 100  $\mu\text{m}$  e espessura úmida de 150  $\mu\text{m}$ .

Durante a aplicação, foram realizadas medições de espessura da película úmida (EPU) da tinta com o pente de medição, inserido diretamente na camada de tinta recém aplicada e verificando a espessura úmida conforme representado na figura 12.

Figura 12- Pente de medição de espessura úmida



Fonte: METROTOKYO (2026).

Após a cura, em cada camada, medições de espessura da película seca (EPS) foram efetuadas com o medidor magnético como apresentado na figura 13. O medidor é posicionado diretamente na superfície e a medida é obtida através da média das leituras feitas na área que foi aplicada a camada da tinta.

Figura 13- Medidor magnetico de espessura seca



Fonte: Elaborado pelo autor(2025).

Após cada camada de tinta, efetuou-se teste de aderência ( método x). O kit de teste de aderência utilizado é representado na figura 14.

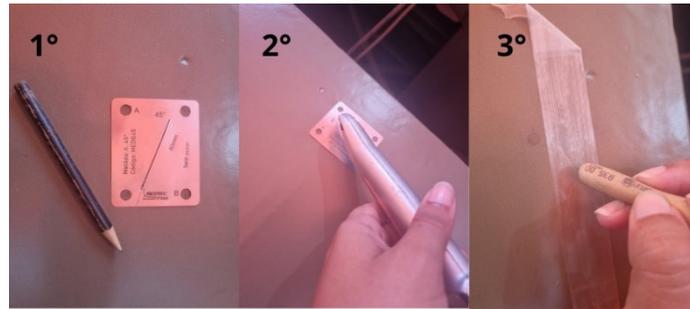
Figura 14- Kit do teste de aderência



Fonte: MEDTEC (2026).

Foi escolhida uma pequena área da região pintada, feito a limpeza superficial, marcações e utilizado um gabarito para efetuar um corte em x. Para o arranque, uma fita filamentososa foi colocada sobre a região do corte e deixada fixada com algumas passadas de uma borracha. O procedimento é mostrado na figura 15.

Figura 15- Procedimento para efetuar o corte em X



Fonte: Elaborado pelo autor(2025).

A fita foi deixada de um a dois minutos para a aderência e depois arrancada para verificar o grau de deslocamento da tinta, sendo possível classificar como  $X_0$  a  $X_4$ , e  $Y_0$  a  $Y_4$  de acordo com as medidas de arranque feitas utilizando uma lupa de medição. Além dos testes, uma inspeção visual foi feita para identificar falhas de cobertura, escorrimentos e áreas na qual a pintura não foi realizada.

#### 4.3.2 *Processo de pintura no alumínio*

O esquema de pintura do alumínio, ao contrário do aço, já começou na estrutura da embarcação uma vez que por ser um metal mecanicamente mais fraco que o aço, não passa por jateamento abrasivo devido a sua maleabilidade e não recebe a proteção do shop primer pela presença natural de uma camada passiva de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ). A chapa de alumínio foi levada diretamente para o corte, montagem e soldagem da estrutura para finalmente passar pelo processo de pintura.

##### I) Processo de pintura do alumínio na embarcação

Na área escolhida, o alumínio passa por um tratamento de superfície com discos abrasivos para gerar um perfil de rugosidade com micro arranhões e promover a aderência da tinta sem danificar o metal. Após o lixamento a superfície foi lavada com com Solução

HoldTight 102, na proporção 1:75 de água potável para limpeza química e após a superfície seca foi aplicado desengraxante para a remoção de sais, gorduras e partículas soltas seguindo o mesmo procedimento do aço. Antes da pintura foram verificados parâmetros ambientais como umidade relativa, ponto de orvalho, temperatura de superfície e ambiente para garantir condições ideais de pintura.

O sistema de pintura seguido foi estipulado pelo mesmo projeto pelo qual o aço foi tratado, no alumínio, o esquema seguido pode ser descrito abaixo:

1° camada de tinta epóxi de preenchimento na cor cinza com espessura seca de 100  $\mu\text{m}$  e espessura úmida de 150  $\mu\text{m}$ .

2° camada de tinta de revestimento térmico de cor branca com espessura seca de 2000  $\mu\text{m}$  e espessura úmida de 2200  $\mu\text{m}$ .

3° camada de tinta de revestimento acústico de cor cinza com espessura seca de 3000  $\mu\text{m}$  e espessura úmida de 3200 $\mu\text{m}$ .

As aplicações de revestimento acústico e térmico foram realizadas por partes até obter a espessura total estipulado pelas instruções do fabricante e esquema de pintura. A medição da espessura do revestimento térmico foi realizada inicialmente por meio de medidor de espessura de película seca até obter 1000 $\mu\text{m}$  seca. Em seguida, o acompanhamento foi efetuado com o pente de medição de espessura de película úmida, em 2 aplicações de 600 $\mu\text{m}$  cada, para resultar em 1000 $\mu\text{m}$  secas, totalizando 2000 $\mu\text{m}$  nessa camada de revestimento térmico.

Já na medição da espessura do revestimento acústico foi realizada por meio de 4 aplicações de espessura úmida: 2 de 600 $\mu\text{m}$  e 2 de 1000 $\mu\text{m}$  cada, totalizando 3000 $\mu\text{m}$  seca seguindo as especificações do fabricante e do esquema de pintura. Durante a aplicação, foram realizadas medições de espessura úmida da tinta com o pente de medição especificamente na 2° e 3° camada, uma vez que o medidor de espessura seca disponível, representado na figura 16, apresenta um limite de leitura de até 2000 $\mu\text{m}$  total, sendo possível somente acompanhar a espessura seca até uma certa parte do processo e o restante foi controlado pelo pente de medição.

Figura 16- Medidor não ferroso de espessura seca



Fonte: Elaborado pelo autor(2025).

Após somente a primeira camada, efetuou-se teste de aderência pelo método x , sendo possível classificar o grau de arrancamento de, seguindo o mesmo procedimento adotado no aço. Além disso, uma inspeção visual foi feita para identificar falhas de cobertura, escorrimentos e áreas na qual a pintura não foi realizada.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A partir dos procedimentos descritos, é possível observar que o processo de pintura e inspeção de qualidade nos metais de aço carbono e alumínio segue uma sequência de etapas que variam de acordo com o material mas que apresentam o mesmo tipo de preparo, aplicação e controle de qualidade. Após o tratamento superficial ambos os metais passam por verificações de condições ambientais e físico químicas, medições de espessura e testes de aderência.

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados dos processos realizados no processo de pintura e inspeção de qualidade nos substratos de aço carbono e alumínio. As observações estão organizadas de modo a evidenciar a diferença de tratamento entre os dois metais e seus respectivos processos de pintura.

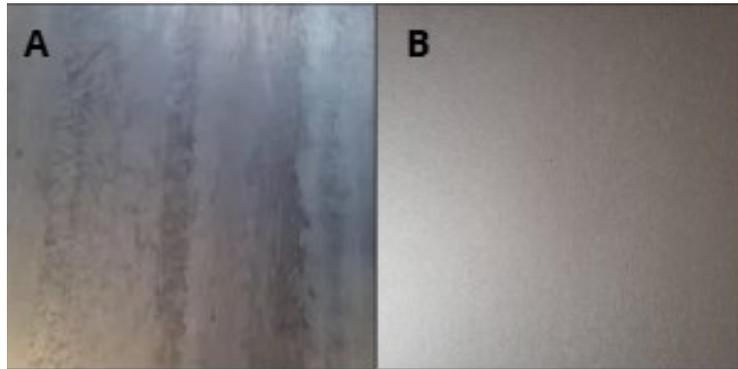
### **5.1 Resultados da preparação da superfície e aplicação do esquema de pintura**

#### **5.1.1 Aço Carbono**

##### **I) Jateamento Abrasivo**

O jateamento abrasivo foi uma das etapas fundamentais do esquema de pintura, uma vez que gerou a rugosidade necessária para a aderência da tinta no aço através da remoção de óxidos e impurezas presentes na chapa comercial. A chapa de aço carbono foi jateada e obteve um grau de padrão de limpeza correspondente a Sa 2 ½ (figura 17) de acordo com a ISO 8501-1:2007 para uma chapa que apresentava grau de intemperismo de grau A conforme apresentado anteriormente ( figura 3 e 4)

Figura 17- Jateamento da chapa de aço carbono



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

- (A) Chapa de aço carbono apresentando grau de intemperismo A.
- (B) Chapa de aço jateada de grau 2 ½ .

Foi possível identificar que visualmente o aço apresentou coloração metálica uniforme e ausência de pontos de oxidação imediata, indicando eficiência do jateamento e a ausência de impurezas superficiais. Após o jateamento a medida da rugosidade foi medida com base na norma ABNT NBR 7348, foi obtido o valor médio do mesmo, além da medição de condições ambientais para a aplicação do shop primer e medida de espessura do mesmo de acordo com a tabela 1.

Tabela 1- Dados obtidos do jateamento e aplicação do *Shop primer* em aço carbono

Parâmetro	Valor médio obtido	Faixa recomendada	Norma
I Grau de Limpeza	Sa 3	Sa 2 ½ - Sa 3	ISO 8501-1
II Rugosidade/ $\mu\text{m}$	52	100-133	ABNT NBR 7348
III Temperatura ambiente/ $^{\circ}\text{C}$ (TA)	30.1	>5	N-13
IV Temperatura de Superfície/ $^{\circ}\text{C}$ (TS)	29.8	<52	N-13
V Umidade Relativa/ % (UR)	64	60-85	N-13
VI Ponto de Orvalho/ $^{\circ}\text{C}$ (PO)	22.5	<TA	N-13
VII Espessura seca/ $\mu\text{m}$ (EPS)	78.2	75	-

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Os resultados obtidos na tabela 1 referente aos parâmetros I, III, IV, V, VI se encontram em conformidade e dentro do que a norma estabelece. No que se refere ao grau de limpeza, o mesmo apresentou-se satisfatório o suficiente para que o parâmetro de rugosidade fosse aceito, apesar de apresentar-se abaixo do recomendado. A rugosidade foi um parâmetro importante uma vez que foi necessária para a ancoragem mecânica da camada tinta ao metal, podendo contribuir assim, com a durabilidade do sistema anticorrosivo. A rugosidade apresentada, parâmetro II, se encontrou muito baixa em relação à estipulada, podendo prejudicar a aderência dos revestimentos ao substrato de aço. Para que a rugosidade criada com o jateamento fosse corrigida, um tratamento st3 mais intenso foi realizado na superfície quando já na embarcação.

No controle das variáveis ambientais, a conformidade favoreceu o processo de cura do primer evitando a condensação sobre substrato que poderia comprometer a aderência e impedir que o solvente presente no revestimento evaporasse totalmente. Como houve o controle correto dessas condições ambientais, características como bolhas, perda de aderência e outros tipos de falhas associadas não foram identificadas.

A espessura do shop primer, parâmetro VII, encontrou-se acima do estabelecido pela norma. Em geral, tintas de fundo ou tintas primárias apesar de se apresentarem com uma revestimento temporário como foi o caso do shop primer, é utilizado na formulação dos mesmos uma maior concentração volumétrica de pigmento, em relação às tintas de acabamento brilhantes. Isto, de certa forma, torna a película mais rugosa, o que contribuiu para melhorar a aderência da demão de tinta.

Como neste estudo a tinta primária foi utilizada somente como proteção, o mesmo foi utilizado como tinta temporária para ser removido posteriormente. Na figura 18 é possível observar o shop primer aplicado e a película rugosa mencionada anteriormente, juntamente a figura 17 antes apresentada, é possível observar diferentes características apresentadas na mesma superfície do metal ao longo do processo.

Figura 18- Tratamento da superfície da chapa de aço carbono



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

- (I) Chapa de aço carbono sem jateamento.
- (II) Chapa de aço carbono jateada..
- (III) Chapa de aço carbono jateada e aplicada *shop primer*

É possível observar que à medida que o processo de preparação da chapa avança, a superfície inicial lisa se torna mais rugosa. Na imagem (I) a superfície se apresenta com camadas escuras aderidas ao aço, camadas essas conhecidas como carepas de laminação na indústria siderúrgica, que é produto da oxidação do ferro em altas temperaturas. Essa carepa protege o aço de agentes externos para que não ocorra uma corrosão rápida no metal após a fabricação. Por outro lado, uma vez aderida ao aço a carepa deixa o substrato com uma camada lisa, sem rugosidade significativa para a ancoragem da tinta

Para gerar essa rugosidade o jateamento abrasivo foi realizado, proporcionando uma área própria para recebimento da tinta. Na imagem (II), da figura 18 é possível observar que o tratamento mecânico em questão provocou uma alteração significativa na textura da superfície e esta alteração pode ser confirmada com a média da rugosidade obtida e informada na tabela 1.

Com a chapa de aço devidamente preparada pelo jateamento, a etapa subsequente consistiu na aplicação do shop primer, imagem (III), tendo como finalidade a proteção do metal contra a oxidação atmosférica durante as etapas de corte, montagem e soldagem da embarcação. A aplicação desse revestimento se tornou necessária uma vez que a carepa de laminação, que antes protegia o aço recém fabricado, foi rompida através do jateamento abrasivo.

## II) Preparação da superfície do aço na embarcação

Na área escolhida para análise, piso externo, pode observar que o tratamento st3 no aço foi útil tanto para a remoção do shop primer quanto para o aumento da rugosidade. Na Figura 19 observa-se que a região adjacente ao cordão de solda apresenta superfície visivelmente mais limpa, em decorrência da aplicação do tratamento mecânico conforme o grau St 3, enquanto as áreas mais afastadas da solda, que não receberam o tratamento superficial, mantêm a presença de contaminantes aderidos.

Figura 19- Soldas tratadas com procedimento St3



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O tratamento com discos abrasivos e escovas de aço rotativas é feito no substrato até se obter o grau de limpeza mínimo recomendado pela norma, removendo ferrugem existentes, respingos de solda, tintas e crostas dando um acabamento uniforme sem danificar o metal. Após o preparo mecânico, outro procedimento como a lavagem química com solução de hold tight e o uso de desengraxantes é necessária para a remoção de contaminantes não visíveis, principalmente sais solúveis, que são altamente higroscópicos e quando presentes no filme da tinta podem reter umidade, favorecendo a corrosão sob o revestimento e a formação de bolhas e falhas prematuras na aderência da tinta.

O desengraxante por sua vez atua removendo contaminantes orgânicos como óleos, graxas, e partículas oleosas. A combinação dessas duas etapas após o tratamento mecânico resulta em uma superfície metálica quimicamente limpa e livre de contaminantes fundamental para a ancoragem da tinta.

### III) Aplicação do esquema de pintura e Controle de qualidade no aço carbono

No processo de pintura do aço 3 camadas de tintas foram aplicadas sucessivamente, e antes de cada aplicação as condições ambientais foram registradas para melhor aplicação dos revestimentos. A tabela 2, apresenta os dados obtidos em cada aplicação.

Tabela 2- Dados obtidos da aplicação das três camadas de tinta no aço carbono

Camadas	TA/°C	TS/°C	UR/ %	PO/°C	EPU/μm	EPS/μm
1° Epóxi alumínio	29	29,8	68,9	22,7	250	199
2° Epóxi bronze	29.5	29.7	68.3	23,04	250	172
3° Epóxi de preenchimento cinza	30.5	30.6	63.5	22,7	120	56

Fonte:Elaborado pelo autor(2025)

Conforme o apresentado na tabela 2, o sistema de pintura do aço carbono foi constituída de 3 camadas de tinta epóxi, cada uma com uma finalidade específica no desempenho do revestimento sendo aplicadas seguindo a sequência definida pelo esquema.

A primeira camada (figura 20), constituída por epóxi pigmentado com alumínio, tem em sua composição a incorporação de pigmentos de alumínio melhorando significativamente a resistência à corrosão no substrato analisado, por efeito de barreira físico-química uma vez que as partículas de alumínio podem reagir com a água e formar camadas de óxido de alumínio e hidróxido de alumínio na parte externa da superfície do revestimento.

Essa camada, teve como principal função atuar como barreira anticorrosiva inicial e promover a aderência das camadas seguintes, apresentou um valor médio de espessura de película seca de 199 μm, acima do valor especificado no esquema, de 150 μm( quadro 1), porém ainda dentro da faixa aceitável estabelecida pelo fabricante da tinta, entre 100 e 200 μm.

O aumento da espessura da película é atribuído à sobreposição de demãos de tinta e a possíveis erros operacionais durante o processo de aplicação, aspecto relevante a ser considerado, uma vez que camadas mais espessas podem influenciar tanto no tempo de secagem do revestimento quanto no consumo de tinta. Depois da aplicação da camada de tinta, uma inspeção visual com o objetivo de identificar escorrimentos aparentes formados no processo de aplicação além de áreas onde não houve aplicação de revestimento, não sendo observada não conformidade estando a aplicação em conformidade com os critérios estabelecidos.

Uma vez que houve a secagem da tinta, foi realizado o teste de aderência pelo método x, onde o resultado indicou aderência classificada como conforme nos graus de X0Y0. O desempenho da tinta está diretamente ligado ao tratamento da superfície no jateamento, no tratamento st3 e na limpeza química. A Figura 20 apresenta o ensaio de aderência realizado na primeira camada.

Figura 20- Camada Epóxi de Alumínio



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

I) Camada de epóxi de alumínio

II) Teste de aderência da 1º camada

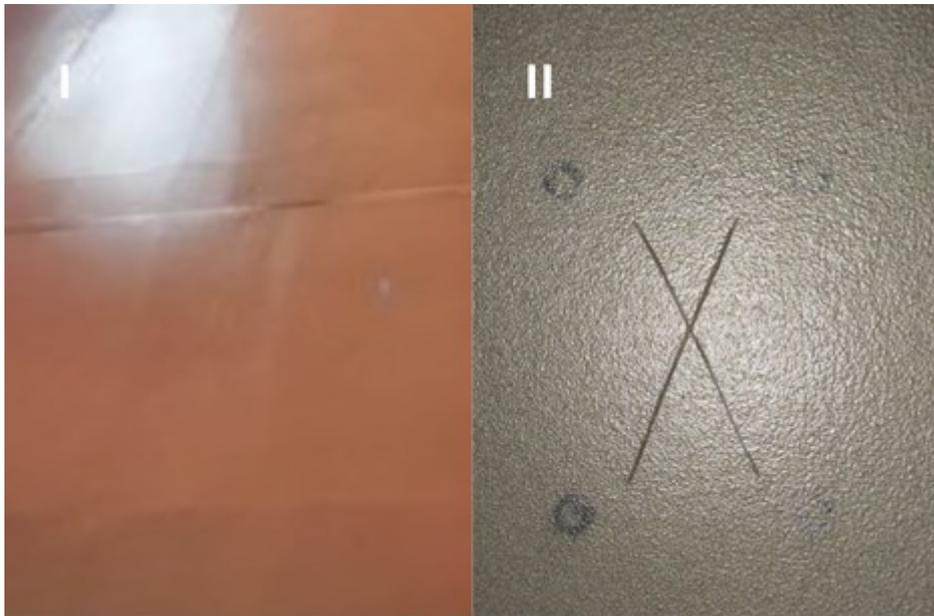
Na sequência, a tinta na cor bronze foi aplicada ( figura 21) com a finalidade de complementar a camada anterior, essa tinta tem a mesma finalidade da primeira camada e só foi usada pela diferenciação de cor, para controle de aplicação por área. Também constituída

em sua composição com partículas de alumínio, se torna um revestimento eficiente contra a corrosão e abrasão.

A camada apresentou um espessura em média de  $172\mu\text{m}$ , novamente acima do que especificado no esquema,  $150\mu\text{m}$ , mas dentro da faixa do fabricante por aplicação, totalizando  $371\mu\text{m}$  na aplicação das duas camadas. Da mesma forma que na primeira camada, nesta 2ª camada também foi realizada a inspeção visual na qual pode-se observar que não houve escorrimento e falhas na cobertura da película de tinta.

O ensaio de aderência, realizado após a cura, apresentou compatibilidade entre as camadas de epóxis aplicadas. O resultado da aderência também apresentou-se de grau X0Y0, e mostrou que não houve comprometimento da aderência entre as camadas mesmo com o aumento da espessura a cada aplicação. A Figura 21 ilustra o ensaio de aderência realizado na segunda camada.

Figura 21- Camada de Epóxi na cor Bronze



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

I) Camada de epóxi na cor bronze

II) Teste de aderência da 2ª camada

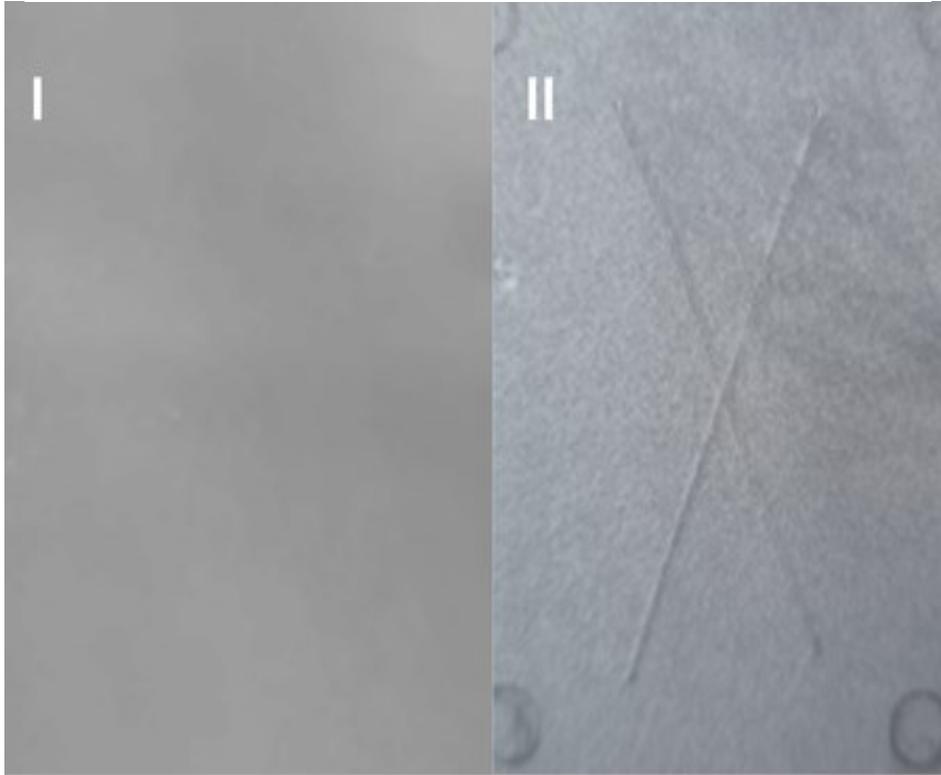
A terceira camada aplicada ( figura 22) constitui-se de um epóxi de preenchimento na cor cinza, que neste estudo foi aplicado com a finalidade de cobrir poros presentes e imperfeições, além de gerar aderência mecânica para revestimentos mais espessos subsequentes. A EPS obtida foi de  $56\mu\text{m}$ , valor inferior ao valor de referência de  $100\mu\text{m}$ . Com este valor apresentado a pintura realizada nesta camada foi reprovada, sendo necessária aplicação de mais uma demão de tinta para alcançar a espessura desejada seca desta camada.

Diferentes das duas primeiras camadas, a terceira camada apresentou escorrimentos aparentes, resultado de complicações na operação da aplicação, uma vez que a caracterizando uma não conformidade adicional ao critério de aceitação.

O tratamento necessário para realizar o reparo nessa área quanto a espessura de película seca, constituiu-se no lixamento da região usando discos abrasivos para a remoção de sujeiras impregnadas e criação de micro-ranhuras para aderência mecânica quando aplicado o repasse de uma nova camada de tinta epóxi de preenchimento da cor cinza a fim de se obter a espessura de película seca final de  $100\mu\text{m}$ . O mesmo procedimento de lixamento foi adotado especificamente nas regiões onde foram identificados escorrimentos de tinta. Após esse procedimento o desengraxante foi usado para remover contaminantes orgânicos e a tinta aplicada logo em seguida com uma espessura de película seca de  $173\mu\text{m}$  atendendo os critérios de aprovação estipulados no esquema de pintura.

O ensaio de aderência realizado pelo método X foi realizado após o reparo realizado. A Figura 22 apresenta o ensaio de aderência realizado na terceira camada.

Figura 22- Teste de Aderência no Epóxi de Preenchimento



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

- I) Camada de epóxi de preenchimento
- II) Teste de aderência da 3° camada

O resultado, apresentou grau X0Y0 indica que a ancoragem do filme ao substrato e entre camadas foi mantida, sugerindo que a não conformidade observada está mais relacionada a falhas de aplicação do que a problemas de compatibilidade do sistema de pintura

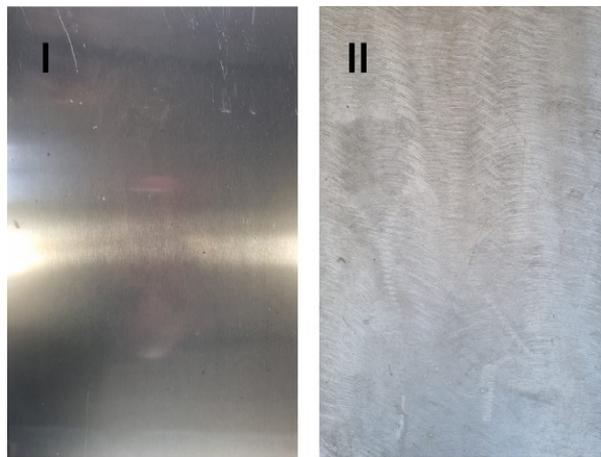
### 5.1.2 Alumínio

- I) Processo de preparação do alumínio na embarcação

Na região escolhida para análise, parede da cozinha, com o objetivo de promover adequada preparação superficial, realizou-se o lixamento mecânico utilizando disco abrasivo. A finalidade desse procedimento foi de romper com a camada passivadora natural de óxido do

alumínio pré-existente e gerar aderência mecânica que atuou de forma complementar a aderência química resultante de uma camada passiva recém-formada, menos estável e com maior reatividade superficial, facilitando a aplicação da tinta epóxi subsequente ao processo de tratamento da superfície. Na figura 23 é possível notar a diferença superficial após a remoção da camada passivadora de  $Al_2O_3$ .

Figura 23-Diferença na superfície do alumínio antes do lixamento(I) e após o lixamento (II)



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O tratamento com discos abrasivos foi feito no substrato até se obter o grau de limpeza mínimo recomendado, removendo manchas existentes, respingos de solda, tintas e crostas dando um acabamento uniforme sem danificar o metal. Apesar de o alumínio não ser tão suscetível à corrosão quanto o aço carbono, foi necessário da mesma forma realizar lavagem química com solução de hold tight e o uso de desengraxantes para a remoção de sais solúveis, e evitar a formação de pites formados por esses sais, para que assim quando aplicada, a tinta pudesse se aderir ao substrato e não aos contaminantes.

## II) Aplicação do esquema de pintura no alumínio.

O esquema de pintura do alumínio assim como do aço foi composto por 3 camadas subsequentes diferentes e com diferentes finalidades. Na tabela 3 é possível observar os valores

obtidos em campo referentes às condições ambientais e espessura da película antes e depois da cura dos revestimentos em cada camada.

Tabela 3-Tabela de dados obtidos na aplicação das três camadas de tintas no alumínio

Camadas	TA/°C	TS/°C	UR/ %	PO/°C	EPU/μm	EPS/μm
1° Epóxi de preenchimento cinza	30	32.1	67.4	23.2	120	193.3
2° Revestimento Térmico	29	27.4	62.4	21	2200	-
3° Revestimento Acústico	28.7	27.5	75	28.7	3200	-

Fonte:Elaborado pelo autor(2025).

Na primeira camada, representado pela figura 24, o revestimento aplicado foi o epóxi de preenchimento na cor cinza, com a mesma finalidade que a aplicação no aço carbono, de cobrir poros presentes e imperfeições, além de gerar aderência mecânica para revestimentos mais espessos subsequentes que foi o caso da aplicação dos revestimentos. Antes da aplicação da camada, os resultados obtidos referentes às condições ambientais, tabela 3, de temperatura ambiente, de superfície, ponto de orvalho e umidade relativa estavam dentro dos padrões estabelecidos pela norma.

Figura 24-Camada de epóxi de preenchimento aplicada no alumínio

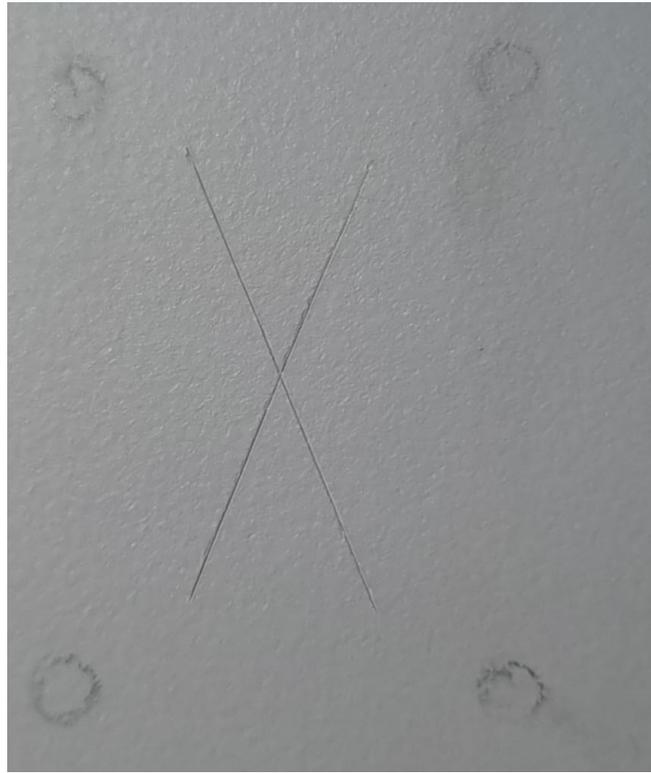


Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A ESP obtida foi de  $193.3\mu\text{m}$ , valor superior ao valor de referência de  $100\mu\text{m}$ , esse aumento pode estar associado a aplicação excessiva da película úmida, e devido a tinta ter um alto teor de sólidos. Porém o valor obtido, apesar de alto, ainda está dentro da faixa aceitável estabelecida pelo fabricante da tinta, entre  $120$  e  $200\mu\text{m}$ .

O ensaio de aderência foi realizado pelo método x, tendo um grau de aderência de X0Y0 . O resultado obtido indica que a ancoragem da película ao substrato foi satisfatória indicando boa aderência do revestimento com um destacamento mínimo e uma boa formação da película. A Figura 25 apresenta o ensaio de aderência realizado na terceira camada.

Figura 25-Teste de aderência na 1° camada



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Na segunda camada, a aplicação do revestimento térmico na parede, teve como objetivo o controle da transferência de calor através da estrutura, uma vez que o ambiente no qual foi aplicado, é caracterizado pela elevada geração de calor relacionado ao funcionamento contínuo de fogões, fornos e demais equipamentos utilizados no preparo de alimentos. Antes da aplicação, os resultados obtidos referentes às condições ambientais, de temperatura ambiente, de superfície, ponto de orvalho e umidade relativa estavam dentro dos padrões estabelecidos pela norma.

Os resultados obtidos de espessuras referentes a película seca foi obtido somente até os valores  $1000\mu\text{m}$ , devido ao limite de leitura apresentado pelo aparelho, logo as demão aplicadas, foram acompanhadas em espessura úmida utilizando o pente de medição na aplicação de 2 demão de  $600\mu\text{m}$ . A figura 26 apresenta a medida obtida no pente de medição durante o acompanhamento da aplicação das duas demãos.

Figura 26-Pente de medição com marcação de 600 $\mu$ m



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O acompanhamento da espessura de película seca pela medição da película úmida comprometeu a exatidão dos valores de espessura final, mas sem afetar o desempenho do sistema de acordo com a inspeção visual final apresentada na figura 27.

Figura 27-. Revestimento térmico



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A obtenção de 2000 $\mu$ m secas finais foram deduzidas a partir das medições na película úmida através das informações obtidas pelo fabricante. A aplicação de uma camada

mais espessa, em relação a 1°, é justificada pelo fato de que o revestimento aplicado apresenta propriedades que são intensificadas com o aumento de sua espessura, esta está diretamente ligada ao desempenho do revestimento.

O teste de aderência referente a esta camada não foi possível realizar uma vez que o método x não se aplica ao valor de espessura da película, sendo impossível realizar na camada e nas camadas subsequentes.

A terceira camada, a aplicação do revestimento acústico, teve como finalidade reduzir a intensidade do som direcionado, suprimir a vibração da estrutura e radiação acústica. Antes da aplicação, os resultados obtidos referentes às condições ambientais, de temperatura ambiente, de superfície, ponto de orvalho e umidade relativa estavam dentro dos padrões estabelecidos pela norma.

Novamente, da mesma forma que o revestimento térmico, a espessura da película aplicada foi muito alta para poder ser feita a leitura usando um equipamento devido ao limite de leitura do mesmo. A figura 28 apresenta a medida obtida no pente de medição durante o acompanhamento da aplicação das demãos.

Figura 28-Pente de medição com marcação de 1100 $\mu$ m



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Do mesmo modo, o acompanhamento da espessura de película seca pela medição da película úmida resultou em desvios dos valores indicados de espessura final no esquema de pintura. No entanto, a imprecisão não interferiu na eficiência do sistema de acordo com a inspeção visual final apresentada na figura 29.

Figura 29-Revestimento Acústico



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Durante a inspeção visual do revestimento, não foram identificados defeitos aparentes, como escorrimentos, porosidades, descontinuidades ou áreas sem cobertura de tinta. Além disso, a ausência de falhas visuais sugere uma boa ancoragem do revestimento ao substrato, corroborando os resultados satisfatórios relacionados à aderência do sistema de pintura.

Os resultados de espessura da película seca no valor de 3000  $\mu\text{m}$ . foram deduzidos através do acompanhamento das aplicações de película úmida conforme instruções dos fabricantes. Assim como no revestimento térmico, a aplicação de uma espessura maior que os revestimentos antes mencionados aqui está diretamente relacionada ao desempenho da tinta, os mesmos intensificados com o aumento do revestimento.

Não foi possível realizar o teste de aderência por nenhum dos métodos utilizados neste estudo, pois os mesmos não se aplicam ao revestimento com a espessura utilizada. Dessa forma a validação foi finalizada através de inspeção visual, onde não foram encontradas falhas, deslocamentos e trincas indicando desempenho satisfatórios dentro das condições do esquema de pintura.

## 6. CONCLUSÃO

O tratamento do aço se mostrou mais agressivo que o alumínio devido à sua vulnerabilidade à corrosão, necessitando de um jateamento abrasivo para a aderência da tinta.

Em contrapartida o alumínio, apesar da adoção de procedimentos semelhantes de limpeza química para ambos os substratos, observou-se diferença no mecanismo predominante de aderência do sistema de pintura. No aço carbono a ancoragem predominante é a mecânica, que está diretamente relacionada ao jateamento abrasivo, enquanto no alumínio a aderência é caracterizada como aderência química devido a interações físico-química entre as camadas de revestimento e a camada de óxido natural presente no substrato. O comportamento distinto apresentado é bastante aprofundado na literatura, que mostra a ação das características superficiais do substrato na formação e no desempenho dos revestimentos.

Deste modo, os resultados obtidos ressaltam a importância da escolha dos métodos de tratamento superficial do metal e do esquema de pintura aplicado levando em consideração as propriedades distintas de cada substrato, visando garantir a durabilidade e qualidade dos revestimentos aplicados em um ambiente agressivo.

A exposição do procedimento adotado neste estudo, devido ao ambiente salino, com variações significativas nas condições ambientais, pode influenciar na qualidade e durabilidade dos revestimentos. Dessa forma é importante a realização de pesquisas voltadas para o desempenho, durabilidade, envelhecimento natural e acelerado do sistema de pintura em condições reais de execução em alto-mar e monitorado periodicamente.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 10443:2023 — **Pintura industrial — Determinação da espessura da película seca sobre superfícies metálicas ferrosas e não ferrosas**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023.

ABNT. NBR 15488:2024 — **Pintura industrial — Determinação do perfil de rugosidade em superfícies metálicas**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-A36**. 2004 ed. West Conshohocken: ASTM International., 2004.

ASHBY, M F.; SHERCLIFF, H; CEBON, D. **Materials: engineering, science, processing and design**. Butterworth-Heinemann, 2018.

BARDAL, E.; DERBY, B. **Different forms of corrosion classified on the basis of appearance**. Corrosion and protection, 2004.

BEAMS STEEL. **What is the chemical composition range for ASTM A36 steel?** Disponível em: <https://www.beams-steel.com/info/what-is-the-chemical-composition-range-for-ast-103239855.html>. Acesso em: 02 jan. 2026.

BELO MARINO, P. H. M. **A aplicação dos metais na construção naval**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Aperfeiçoamento para Oficial de Máquinas – APMA/2019) – Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Marinha do Brasil, Rio de Janeiro, 2019.

BUASZCZYK, G.; PINHEIRO, A. R. M. **Inspeção e manutenção submersa remota**. Revista Passadiço, v. 34, 2021.

BUREAU VERITAS. **Guidelines for corrosion protection applicable to inland navigation vessels**. Rule Note NI 607 DNI R00 E. Antwerpen, Bélgica: Bureau Veritas, out. 2013.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, rev. Rio de Janeiro: LTC–Livros técnicos e científicos, 2016.

DEFELSKO. **Medição das condições ambientais para a aplicação de tintas e revestimentos.** Disponível em: <https://pt-br.defelsko.com/resources/measuring-environmental-conditions>. Acesso em: 08 jan. 2026.

FALCÃO, B. M. G.; SOUSA, N. Pe. de. **Procedimentos contra corrosão em navios.** 2018. Trabalho acadêmico – Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante, Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Marinha do Brasil, Rio de Janeiro, 2018.

FAZENDA, J. M. R. **Tintas & Vernizes.** Ciências e Tecnologia, Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas, 3ª ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2005.

FAZENDA, M.R. **Tintas - ciência e tecnologia.** Blucher. 4. ed. ver e ampl. São Paulo, 2009.

FONSECA, Eduardo. **Determinação indireta das propriedades mecânicas do aço ASTM A36 laminado com o uso de ultra-som.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

FRAGATA, F.; AMORIM, C. C.; ORDINE, A. P. **Ensaio de aderência em tintas e esquemas de pintura: análise de resultados obtidos por diferentes métodos.** In: INTERCORR 2010 – Congresso Internacional de Corrosão, 2010, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: ABRACO, 2010.

FRAUCHES-SANTOS, C.; ALBUQUERQUE, M. A.; OLIVEIRA, M. C. C. ECHEVARRIA, A.. **A Corrosão e os Agentes Anticorrosivos.** Revista Virtual de Química, v. 6, n. 2, dez. 2014. Disponível em: <https://rvqsub.sbg.org.br/index.php/rvq/article/view/490/422> Acesso em: 02 jan. 2026.

GARBATOV, Y. et al. **Tenile strength assessment of corroded small scale specimens.** Corros Sci, v. 85, 2014.

GARCIA, A. et al. **Assessment of marine and fluvial corrosion of steel and aluminium.** Journal of Marine Engineering & Technology, v. 9, n. 3, 2010.

GENTIL, V. **Corrosão.** 5. ed. [s.l.]: LTC, 2011

GNECCO, C. et al. **Manual de construção em aço:** Tratamento de superfície e pintura. Rio de Janeiro: IBS/SBCA, 2003.

GONÇALVES, R. **Influência do teor de cobre na usinabilidade da liga de alumínio 6351**. Editora Dialética, 2022.

GONZAGA, L. **Redação, Jateamento, o que é e quais os tipos?** Equipe Portal Metálica. Publicada em 2016. Disponível em: [http://www.metalica.com.br/pg\\_dinamica/bin/pg\\_dinamica.php?id\\_pag=1188](http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1188). Acesso em: 4 mar. 2018.

GOODE, O. R.; DALLINGER, J. F. **Quality control in shipbuilding**. Naval Engineers Journal, v. 76, n. 3, 1964.

HAN, C.; LEE, J.; JUN, M. B. G.; LEE, S. W.; YUN, H.. **Estrutura de inspeção visual de revestimentos por meio de auto-rotulagem e estratégias de aprendizado profundo em múltiplos estágios**. *Journal of Intelligent Manufacturing*, [s.l.], 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8501-1:2007 – **Preparação de substrato de aço antes da aplicação de tintas e produtos similares – Avaliação visual de limpeza de superfície – Parte 1: Graus de enferrujamento e graus de preparação de substratos de aço sem pintura e de substratos de aço após remoção total da pintura existente**. Genebra, 2007.

ISO 2409, **Paints and Varnishes – Cross-Cut Test**, ISO, Genève, Switzerland 2007.

LEITE, A. de O. S. **Desenvolvimento e estudos de tintas epóxis anticorrosivas ecologicamente corretas**. 2004.

Mainier, F. B.; Sandres, G. C.; Tavares, S. S. M.; **8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica**, Cuzco, Peru, 2007.

MARITIME BOARD. **Shipbuilding technology and education**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1996.

MEDTEC. **Teste de Aderência em X Gabarito MED529X**. Medtec – Instrumentos de Medição. Disponível em: [https://medtec.com.br/produto/teste-de-aderencia-em-x-gabarito-med529x-marca-medtec/?srsltid=AfmBOoruH9c\\_8tL9tsJd-stEcDyxPAQj9Twtu1w0NdILynEQh3S9FIZs](https://medtec.com.br/produto/teste-de-aderencia-em-x-gabarito-med529x-marca-medtec/?srsltid=AfmBOoruH9c_8tL9tsJd-stEcDyxPAQj9Twtu1w0NdILynEQh3S9FIZs). Acesso em: 13 jan. 2026.

METALTHAGA. Ficha Técnica METALCAST 3 - **Liga de Alumínio 5083**. Metal Service Center, [s.d.]. Disponível em: [<https://metalthaga.com.br/wpcontent/uploads/2015/11/4-METALCAST-3-Ligas-de-Aluminio-5083.pdf>]. Acesso em: 04 de janeiro de 2026.

METROTOKYO. **Medidor de espessura de camadas – tinta úmida**. Metro Tokyo. Disponível em: <https://www.metrotokyo.com.br/tinta-umida.html>. Acesso em: 13 jan. 2026.

MIGUEIS, R. J. F.. **Aspectos Estruturais da Mastreação, Transversais e Casco de Catamarans a Vela Day Charter**. 2005. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

MONTEMOR, M. F. **Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances**. Surface and Coatings Technology, v. 258, 2014.

MOURA, E. C. M. de. **Avaliação do potencial anticorrosivo de tiossemicarbazonas solubilizadas em sistemas microemulsionados**. 2009.

NIK, W. W. et al. **Corrosion behaviour of aluminum alloy in seawater**. Proceedings of MARTEC, 2010.

NISHIDA, L. A.; ABRANTES, M. L. M. de. **Qualidade nos processos de construção de embarcações de lazer: uma proposta**. Revista Acadêmica – Edição 30, Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz, 2019.

PANAYOTOVA, M.; GARBATOV, Y.; GUEDES SOARES, C. **Factor influencing atmospheric corrosion and corrosion in closed spaces of marine steel structures**. In: Proceedings of the International Conference on Marine Science and Technology. 2004.

PANNONI, F. D. **Aços estruturais**. [s.l: s.n.], 2005.

PETROBRAS. N-13: **Requisitos técnicos para serviços de pintura**. Revisão K. Rio de Janeiro: Petróleo Brasileiro S.A., 2012.

SAVI, B. M. **Desenvolvimento tecnológico para soldagem MIG de ligas de alumínio 5083 H116**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SILVA, D. P. B. da. **Desenvolvimento de estruturas do tipo bi-camada baseadas em camadas auto-organizadas e polianilina para a proteção contra a corrosão de ligas de alumínio.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências – Físico-Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SILVA, M. L.; DUARTE, M. S. C.; CARVALHO, G. L. **Tratamento anticorrosivo da superfície interna em tanques de armazenamento de derivados do petróleo com resina epóxi.** Revista Científica Semana Acadêmica, v. 85, n.1, 2016.

TONELLA, Jorge. **Tecnologia dos Materiais.** IESDE BRASIL SA.