

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA – CEFET/RJ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

ARIENE CYRINO FONTES FIALHO

**MATERIAIS PARA A FABRICAÇÃO DE TANQUES DE
DESTANQUEIO PARA SUBMARINOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RIO DE JANEIRO

2023

ARIENE CYRINO FONTES FIALHO

**MATERIAIS PARA A FABRICAÇÃO DE TANQUES DE
DESTANQUEIO PARA SUBMARINOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Coordenação de Engenharia Mecânica, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Lais Amaral Alves

Co-orientador: Prof. Dr. João de Jesus dos Santos

RIO DE JANEIRO

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

F439 Fialho, Ariene Cyrino Fontes
Materiais para a fabricação de tanques de destanqueio para
submarinos / Ariene Cyrino Fontes Fialho. — 2023.
69f. : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2023.

Bibliografia : f. 61-69

Orientadora Lais Amaral Alves

Coorientador: João de Jesus dos Santos

1. Engenharia mecânica. 2. Diesel - Armazenamento. 3.
Aço Inoxidável. 4. Aspersão Térmica. 5. Pintura industrial. I. Alves,
Lais Amaral. (Orient.). II. Santos, João de Jesus dos (Coorient.). III.
Título.

CDD 621

Elaborada pela bibliotecária Tania Mello – CRB/7 nº 5507/04

Dedico este trabalho a meu esposo e
minha filha por todo apoio, compreensão e
amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus por me sustentar até aqui e por ser meu refúgio. Agradeço a meus pais, Sara e Nelson (in memoriam), por sempre me incentivarem a estudar. Se esforçaram para que eu pudesse me dedicar aos estudos e sempre acreditaram que a educação era o bem mais importante que eu poderia obter. Agradeço adicionalmente aos meus avós, Iracino e Maria, que hoje não estão aqui para acompanhar minhas conquistas, mas sempre estiveram por perto para ajudar e me tranquilizar quando precisei.

Agradeço imensamente ao meu marido Willian pela dedicação, apoio incondicional e paciência, sem ele não teria como atingir meus objetivos e não chegaria a esse momento. Obrigada por sempre acreditar em mim quando muitas vezes eu não acreditei, você nunca me deixou desistir.

Agradeço a minha filha, Lisa, por ser meu porto seguro e me dar forças para seguir em frente, é por ela toda minha dedicação e esforço.

Agradeço as minhas irmãs Raquel e Sara Maria, que me mantiveram alegres, dividindo histórias e lembranças, pelas mensagens de amor e carinho todos esses anos de curso.

Aos meus professores pela excelente educação, oportunidades de crescimento e aprendizado, em especial aos professores Tatiane Chuvás, por todo auxílio durante a graduação, Matheus Campolina, pela orientação na iniciação científica, Lais Amaral Alves e João de Jesus dos Santos, por me orientar e auxiliar no projeto final. Ao professor Ramón Cortés Paredes por toda ajuda nas pesquisas, tanto para meu projeto final, quanto no início da graduação, pois foi através de suas aulas que me fascinei pela área de materiais na engenharia mecânica. Agradeço a todos os meus professores pelas experiências proporcionadas durante o curso.

Por último, mas não menos importante, aos meus amigos. Nós compartilhamos períodos de angústias, irritações, mas também muitas alegrias e conquistas. Vocês deixaram a graduação mais leve e saudável, tenho certeza de que são amizades que vou levar para toda vida.

*“A ciência, como um todo, não é nada
mais que o refinamento do pensar diário”*

Albert Einstein

RESUMO

Os submarinos que compõem a frota do Brasil utilizam ODM (Óleo Diesel Marítimo) como combustível para o funcionamento de seu motor e ao regressar ao cais todo o combustível presente em seu reservatório é removido e armazenado em tanques especiais chamados tanques de destanqueio. Estes são especiais, pois armazenam o combustível remanescente nas embarcações que possam conter algum tipo de contaminação. O contaminante que gera maior preocupação na hora do destanqueio é a água de lastro (água do mar) que pode estar presente no combustível remanescente nas embarcações, sendo bombeada junto com o ODM para o tanque na hora do destanqueio. Ao realizar uma pesquisa bibliográfica, selecionou-se dois materiais para análise de compatibilidade e um tipo de revestimento com tinta epóxi para a proteção contra corrosão na construção desses tanques. O aço inoxidável, um dos materiais escolhidos para a pesquisa, é um dos mais utilizados quando há a possibilidade de implantação em ambientes marítimos devido à sua resistência à corrosão, porém o custo de fabricação é alto. Outro material selecionado para o estudo é um tanque em aço carbono ASTM 1020 revestido de alumínio via aspersão térmica pelo processo de arco elétrico, que se mostrou apto para tal aplicação. O revestimento com tinta epóxi é bastante usual na construção de tanques de armazenamento de combustíveis, possuindo normas técnicas para aplicação de pintura e revestimentos anticorrosivos, como por exemplo as normas Petrobras N-13 que possui uma série de diretrizes e requisitos técnicos para serviços de pintura, a N-2912 que trata diretamente de tintas Epóxi e a N-2913 que instrui sobre revestimentos anticorrosivos para tanque esfera e cilindro de armazenamento, estas normas são públicas e estão disponíveis para acesso diretamente na página da empresa. Este trabalho demonstra as opções de materiais viáveis para a construção de tanques de destanqueio apresentando as características e limitações de cada escolha além de exibir os motivos que levam a escolha do aço carbono (1020) revestido com alumínio via aspersão térmica uma escolha apropriada neste caso.

Palavras-chave: Tanque de Destanqueio, Óleo Diesel Marítimo, Aço Inoxidável, Aspersão Térmica, Pintura Anticorrosiva.

ABSTRACT

The submarines that make up the fleet of Brazil use ODM (Marine Diesel Oil) as fuel for the operation of its engine and when returning to the dock all the fuel present in its reservoir is removed and stored in special tanks called uncovering tanks. These are special because they store the remaining fuel in vessels that may contain some kind of contamination. The contaminant that generates greater concern at the time of unloading is the ballast water (sea water) that can be present in the remaining fuel in the vessels, being pumped along with the MDG to the tank at the time of unloading. When performing a literature search, two materials were selected for compatibility analysis and a type of coating with epoxy paint for corrosion protection in the construction of these tanks. The stainless steel, one of the materials chosen for the research, is one of the most used when there is the possibility of implantation in marine environments due to its corrosion resistance, but the manufacturing cost is high. Another material selected for the study is a tank in carbon steel ASTM 1020 coated aluminum via thermal spray by the electric arc process, which was shown to be suitable for such application. Coating with epoxy paint is quite common in the construction of fuel storage tanks, having technical standards for paint application and anticorrosive coatings, such as Petrobras N-standards¹³ which has a number of guidelines and technical requirements for painting services, the N-2912 dealing directly with Epoxy paints and the N-2913 instructing on anti-corrosion coatings for ball tank and storage cylinder, these standards are public and are available for access directly on the company page. This work demonstrates the options of viable materials for the construction of uncovering tanks presenting the characteristics and limitations of each choice in addition to showing the reasons that lead to the choice of carbon steel (1020) coated with aluminum via thermal spray an appropriate choice in this case.

Keyword: Spill Tank, Marine Diesel Oil, Stainless Steel, Thermal Spray, Anti-corrosion Paint.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ESQUEMA DE TANQUES DE LASTRO [1]	13
FIGURA 2 - TANQUE AÉREO PARA COMBUSTÍVEL [8].....	17
FIGURA 3 - IMAGEM DE UMA MICROESTRUTURA MARTENSÍTICA [7].....	18
FIGURA 4 - EFEITO DO REVENIDO SOBRE A RESISTÊNCIA AO ATAQUE DE ÁCIDO NÍTRICO [7]	19
FIGURA 5 - METALOGRAFIA DE UM AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO [9].....	20
FIGURA 6 - METALOGRAFIA DE UM AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO [9].....	21
FIGURA 7 - METALOGRAFIA DE UM AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX [9].....	22
FIGURA 8 - BOBINA DE ALUMÍNIO [14].....	25
FIGURA 9 - ESBOÇO DA DEPOSIÇÃO POR ASPERSÃO TÉRMICA [17].....	27
FIGURA 10 - ESQUEMA DE AT À CHAMA CONVENCIONAL ALIMENTADO A PÓ [17].....	28
FIGURA 11 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO PROCESSO À CHAMA ALIMENTADO COM ARAME [17].....	28
FIGURA 12 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO PROCESSO HVOF [17].....	30
FIGURA 13 - ESQUEMA DO PROCESSO DE AT POR DETONAÇÃO [11]	31
FIGURA 14 – ESBOÇO DO PROCESSO DE AT POR ARCO ELÉTRICO – ASP [11]	31
FIGURA 15 - ESQUEMA DA FORMAÇÃO DO PLASMA DE ARCO TRANSFERIDO E NÃO TRANSFERIDO [11].....	33
FIGURA 16 - ESBOÇO DE TANQUE COM TETO FLUTUANTE [23].....	36
FIGURA 17 - COMPONENTES DE UM TANQUE DE TETO FIXO [22]	36
FIGURA 18 - PRINCIPAIS TIPOS DE CORROSÃO METÁLICA [25].....	37
FIGURA 19 - MODELO DE TANQUES ESTACIONÁRIOS [DOMÍNIO PÚBLICO] ...	39
FIGURA 20 - MODELO DE TANQUE AÉREO [30].....	40
FIGURA 21 - NORMA PETROBRÁS N-2913 [35].....	42
FIGURA 22 - PICTOGRAMA DE ADVERTÊNCIA PARA O ODM SEGUNDO A FISPQ [36]	43
FIGURA 23 – PÍER PROGRESSO NO MÉXICO [40].....	48
FIGURA 24 - CORROSÃO POR FRESTAS EM UM AÇO INOXIDÁVEL [37].....	49
FIGURA 25 - CORROSÃO POR PITES EM UM AÇO INOXIDÁVEL [37].....	50

FIGURA 26 - EXEMPLO DE MÉTODO DE APLICAÇÃO DE ASPERSÃO TÉRMICA [11].....	52
FIGURA 27 - ILUSTRAÇÃO DO PROCESSO DE CORROSÃO POR PITES EM LIGAS DE ALUMÍNIO [15].....	53
FIGURA 28 - EXEMPLOS DE DEFEITOS DE PINTURA [20].....	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAS DE ALUMÍNIO [14].....	26
TABELA 2 - IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS [36].....	43
TABELA 3 - PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS [36]	44
TABELA 4 - EFEITOS AMBIENTAIS, COMPORTAMENTOS E IMPACTOS DO PRODUTO [36]	45
TABELA 5 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA AÇOS INOX 316 E 316L [37]	46

LISTA DE ABREVIATURAS

Al – Alumínio

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

API - *American Petroleum Institute* (Instituto Americano de Petróleo)

ASP – *Arc Spray Process* (Processo de pulverização de arco)

AT – Aspersão Térmica

C – Carbono

Cl – Cloro

Cr – Cromo

FS – *Flame Spray* (spray de chama)

FISPQ – Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico

H – Hidrogênio

HVOF – *High Velocity Oxi-Fuel* (chama de alta velocidade)

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

Ni – Níquel

NBR - Norma Brasileira

ODM – Óleo Diesel Marítimo

P – Fósforo

PS – Plasma Spray

S – Enxofre

Si – Silício

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3	JUSTIFICATIVA	14
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BILIOGRÁFICA	16
2.1	AÇOS INOXIDÁVEIS	17
2.1.1	Aços Inoxidáveis Martensíticos	18
2.1.2	Aços Inoxidáveis Ferríticos	19
2.1.3	Aços Inoxidáveis Austeníticos	20
2.1.4	Aços Inoxidáveis Duplex	22
2.1.5	Aços Inoxidáveis Endurecíveis por Precipitação	23
2.2	AÇO CARBONO COM REVESTIMENTO DE ALUMÍNIO DEPOSITADO POR ASPERSÃO TÉRMICA	23
2.2.1	O Alumínio	24
2.2.1.1	As Ligas de Alumínio	25
2.2.2	Aspersão Térmica	26
2.2.2.1	Processo de AT por Chama Convencional	27
2.2.2.2	Processo de AT a chama de alta velocidade – HVOF	29
2.2.2.3	Processo de AT por Detonação (D-Gun)	30
2.2.2.4	Processo de AT por Arco Elétrico (ASP – Arc Spray Process)	31
2.2.2.5	Processo de AT por Plasma Spray – PS	32
2.3	AÇO CARBONO REVESTIDO COM TINTA EPÓXI	33
2.3.1	Resina Epóxi	34
2.4	TANQUES DE ARMAZENAMENTO	35
2.5	CORROSÃO	36
2.6	NORMAS TÉCNICAS PARA ARMAZENAMENTO E CONSTRUÇÃO DE TANQUES DE COMBUSTÍVEIS	38
2.6.1	ABNT NBR 17505 (02/2013)	38
2.6.2	ABNT NBR 15776 (07/2021)	39
2.6.3	ABNT NBR 15461 (12/2021)	39

2.6.4 ABNT NBR 16161 (08/2020).....	40
2.6.5 ABNT NBR 14973 (02/2021).....	40
2.6.6 Petrobras N-13: Requisitos Técnicos para Serviços de Pintura.....	41
2.6.7 Petrobras N-2912: Tinta Epóxi “Novolac”.....	41
2.6.8 Petrobrás N-2913: Revestimentos Anticorrosivos para Tanque, Esfera e Cilindro de Armazenamento.....	42
2.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO ODM.....	43
3 RELAÇÃO ENTRE OS MATERIAIS E ÁGUA SALGADA.....	46
3.1 CARACTERÍSTICAS DO AÇO INOXIDÁVEL 316/316L.....	46
3.2 O AÇO INOXIDÁVEL 316 E O AMBIENTE MARÍTIMO.....	47
3.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	50
3.4 RELAÇÃO ENTRE O AÇO CARBONO COM REVESTIMENTO DE ALUMÍNIO DEPOSITADO POR ASPERSÃO TÉRMICA E A ÁGUA SALGADA.....	51
3.4.1 O Alumínio e e Ambiente Marítimo.....	52
3.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO REVESTIMENTO DE ALUMÍNIO VIA ASPERSÃO TÉRMICA.....	54
3.5.1 Vantagens / Desvantagens do Alumínio.....	54
3.5.2 Vantagens / Desvantagens do Processo de Aspersão Térmica por Arco Elétrico (ASP – Arc Spray Process).....	55
3.6 RELAÇÃO ENTRE O AÇO CARBONO COM REVESTIMENTO A BASE DE TINTA EPÓXI E A ÁGUA SALGADA.....	55
3.7 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO REVESTIMENTO A BASE DE TINTA EPÓXI.....	56
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

Os submarinos que compõem a frota do Brasil geralmente utilizam ODM (Óleo Diesel Marítimo) como combustível para o funcionamento de seu motor. Essas embarcações utilizam motor a combustão apenas para carregar um banco de baterias que são a fonte de alimentação utilizada nos submarinos e permitem seu deslocamento submerso. De forma a garantir a flutuabilidade positiva ou negativa, os submarinos são construídos com diversos reservatórios que podem ser alagados, alterando assim sua flutuabilidade. Esses reservatórios são chamados de tanques de lastros. Ao encher ou esvaziar, esses reservatórios garantem a estabilidade e permitem que estando submersos, os submarinos não possuam uma diferença grande entre pressão exterior e interior, assegurando a integridade da embarcação. A água de lastro é retida na embarcação para garantir as condições de trabalho seguras exigidas durante uma determinada viagem. Assim, o lastro e o deslastro do navio buscam garantir que o navio atenda aos requisitos técnicos para sua operação segura durante toda a viagem [1].

A água de lastro é captada ou lançada ao mar através de bombas e além dos reservatórios próprios encontrados por toda embarcação a água de lastro ainda se encontra presente nos tanques de combustível dos submarinos, pois a medida que o combustível é consumido gera uma alteração no peso da embarcação, além do efeito de superfície de livre do líquido que modifica o centro de gravidade impactando, conseqüentemente, na sua estabilidade.

O tanque de combustível é então preenchido com a água do mar para garantir sua flutuabilidade negativa quando há a necessidade de submergir, a água não se mistura com o ODM devido à diferença de densidade entre eles (a densidade da água salgada varia de acordo com a quantidade de sais minerais presentes em sua composição, sofrendo variações de $1,017 \text{ g/cm}^3$ a $1,030 \text{ g/cm}^3$, enquanto o ODM apresenta a densidade relativa de $0,876$ a 20°C), porém essa mistura é o que origina o risco de ocorrer a contaminação do combustível com a água do mar durante o destanqueio, produzindo uma preocupação maior, pois a água salgada consiste em uma solução de cloreto de sódio e magnésio, que são os principais agentes corrosivos deste meio. Através da Figura 1 é possível ter uma ideia de como são distribuídas as águas de lastro no submarino.

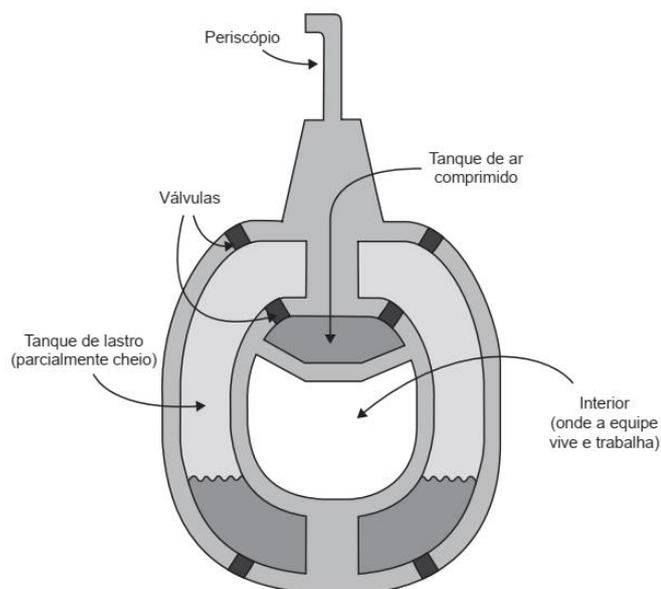


Figura 1 - Esquema de tanques de lastro [1]

Ao regressar ao cais, o combustível presente no reservatório do submarino é removido e armazenado em tanques especiais chamados de tanques de destanqueio. O destanqueio é o processo de retirada do combustível presente nas embarcações. Esses tanques são especiais pois armazenam o combustível remanescente nas embarcações que possam conter algum tipo de contaminação.

Com a finalidade de proteger o conteúdo presente em seu interior, o tanque de destanqueio deve ser fabricado de um material que não reaja com o óleo diesel marítimo e impeça que esse combustível ultrapasse suas paredes e polua o ambiente presente na parede exterior ao tanque enquanto aguarda o descarte correto ou reaproveitamento do combustível, caso esteja em condições de uso.

A fabricação desses tanques deve ser realizada de acordo com as normas vigentes e recomendações da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), sendo apresentadas no decorrer deste trabalho.

O presente trabalho apresenta tipos de materiais utilizados na fabricação de tanques de destanqueio para submarinos, exibindo as características de cada material e as principais maneiras de fabricação, além de um revestimento a base de tinta epóxi bastante utilizado em tanques de armazenamento de combustíveis e as normas que orientam a correta utilização desse método de proteção.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em apresentar os principais materiais para a fabricação de tanques de destanqueio para combustíveis submarinos, apresentando as principais características das ligas e revestimentos, levando em consideração a água como elemento contaminante encontrado no combustível quando o submarino retorna ao cais.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem como finalidade apresentar dois tipos de materiais para a fabricação de tanques de destanqueio e um revestimento a base de tinta epóxi, visando demonstrar os benefícios que cada material, liga ou revestimento possa fornecer para a construção destes recipientes.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho foi desenvolvido a partir da necessidade de encontrar projetos de pesquisas referentes a tanques de destanqueio compatíveis com o combustível utilizado atualmente nas embarcações submarinas do Brasil, pois se trata de um tema pouco propagado gerando pouco conteúdo disponível para esse assunto, ao realizar pesquisas referentes a tanques de destanqueio, o retorno, a maior parte das vezes, é referente a área da aviação.

Existe uma pesquisa em uma empresa localizada no município de Itaguaí, Rio de Janeiro, referente a qual material deverá ser usado na fabricação de tanques de combustíveis para abastecimento e destanqueio de submarinos, considerando o tipo de combustível, contaminante, tempo de vida útil e ambiente onde serão instalados, no caso a atmosfera salina pela proximidade com o mar.

Por se tratar de um projeto confidencial que está em desenvolvimento através de uma empresa privada, este trabalho consta apenas com o título da pesquisa, sendo considerando o combustível utilizado nesses tipos de embarcações.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é estudar os possíveis materiais disponíveis para a fabricação de tanques de destanqueio, com o intuito de simplificar a apresentação dos capítulos que virão a seguir, será apresentado abaixo o escopo do trabalho:

No primeiro capítulo é apresentado uma breve introdução, explicando a necessidade do estudo e as justificativas que levaram a escolha do tema, além dos objetivos que este projeto deseja alcançar. Durante a introdução é possível entender como é o funcionamento do tanque de combustível de um submarino e como surge a hipótese da contaminação do combustível com a água do mar.

No capítulo 2, exibe-se a revisão bibliográfica, fundamentação teórica que sustenta todo o trabalho.

No capítulo 3 são descritos os principais problemas encontrados pela contaminação do ODM nos tanques de destanqueio e características da fabricação de tanques com os materiais selecionados para estudo no item 2.

No capítulo 4 aborda-se as considerações sobre o tema proposto e as referências para trabalhos futuros e bibliografia utilizada no decorrer deste projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com os manuais técnicos de combustíveis marítimos da Petrobrás, os combustíveis utilizados em navios e submarinos podem ser classificados em duas categorias, óleos combustíveis marítimos, que tem em sua composição frações pesadas da destilação e óleos diluentes e diesel marítimo que são produzidos pela fração mais leve desses processos de refino [2].

Os submarinos convencionais encontrados no Brasil geralmente utilizam óleo diesel marítimo (ODM) e estas embarcações quando retornam ao cais podem conter em seu combustível alguma contaminação causada pela água do mar, que é um poluente bastante deletério para a maioria dos materiais metálicos encontrados na fabricação de tanques de combustível.

Alguns dos danos causados pela água presente ODM incluem dificuldade no fluxo do combustível, danos ao tanque, desgaste prematuro do motor, contaminação do óleo combustível, desgaste da bomba injetora, entre outros [3]. Além destes, o desgaste gerado pela água salgada nos tanques de destanqueio podem comprometer a integridade do combustível e do ambiente exterior, pois seu vazamento pode causar contaminação do solo, lençóis freáticos, rios e mares.

A fabricação desses tanques origina-se por materiais que ofereçam resistência adequada aos componentes presentes no combustível, além de ser regulamentada pela norma americana *API STD 650 – Welded Tanks for Oil Storage* (Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo) [4] e pela norma regulamentadora NBR 7821 - Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo e Derivados [5].

Dentre os materiais mais comuns para a fabricação de tanques que são compatíveis com o tipo de combustível utilizado por essas embarcações foram selecionados dois para estudo neste projeto e um revestimento a base de tinta epóxi que serão exibidos a seguir, apresentando suas características e principais elementos de ligas.

2.1 AÇOS INOXIDÁVEIS

Os aços inoxidáveis são aços de alta liga, que possuem resistência a corrosão. Seu principal elemento de liga é o Cromo, que forma uma camada passiva de óxido de Cromo na superfície do material, protegendo-o contra a corrosão.

Além do Cromo, o Níquel é outro elemento de suma importância para a liga pois sua presença eleva a resistência a corrosão em soluções neutras de cloreto e em ácidos de baixa capacidade de oxidação, além de melhorar as propriedades mecânicas da liga [6].

De acordo com os elementos de liga presentes no material, ele pode ser classificado como aço inoxidável ferrítico, austenítico e martensítico, além dos aços inoxidáveis duplex e aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação [7].

Neste trabalho apresenta-se apenas uma liga de aço inoxidável, a 316L, que é uma liga aço cromo-níquel molibdênio, austenítica, não temperável e não magnética [7]. A escolha desta liga ocorreu pelo fato de que o Molibdênio presente eleva a resistência a corrosão em meios clorados, que é o caso em que os combustíveis possam vir contaminados com água do mar com NaCl como sal majoritário. A Figura 2 apresenta um modelo de tanque de combustível fabricado em aço inoxidável 316L.



Figura 2 - Tanque Aéreo para Combustível [8]

2.1.1 Aços Inoxidáveis Martensíticos

Os aços inoxidáveis martensíticos são caracterizados por possuírem em sua composição química o elemento Cromo variando entre 11,5% e 18%, tornando-os capazes de endurecer por têmpera. A Martensita é a fase predominante nos aços inoxidáveis martensíticos. A Figura 3 apresenta a microestrutura presente nos aços inoxidáveis martensíticos [7].

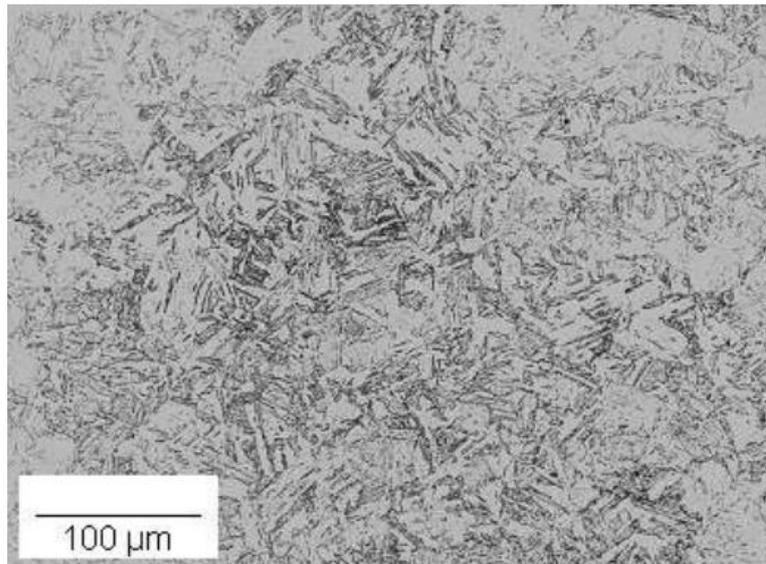


Figura 3 - Imagem de uma microestrutura martensítica [7]

Entre suas características pode-se citar a facilidade em ser trabalhados tanto a quente quanto a frio; são ferro-magnéticos; apresentam boa resistência a corrosão quando expostos à ação da água e de algumas substâncias químicas, embora quanto maior for o teor de carbono na liga, menor será a resistência a corrosão, o que entretanto é compensado pelo maior teor de cromo; assim possível realizar a têmpera nessa liga, o que contribui para a resistência à corrosão, pois a têmpera a reduzir a precipitação de carbonetos [6].

Todos os aços inoxidáveis martensíticos são temperados e devido à alta temperabilidade conferida pelo alto teor de cromo podem, geralmente, ser esfriados ao ar; alguns são esfriados em óleo ou em água quando possuem o teor de carbono mais baixo [6]. Após a têmpera, aplica-se um revenido a baixa temperatura, que constitui mais um alívio de tensões, pois não afetam de modo significativo as propriedades mecânicas, além de pouco favorecer a possível precipitação de carbonetos. Através do gráfico apresentado no Figura 4 é possível observar dois

fatores importantes: Quanto maior a temperatura de têmpera, melhor a resistência à corrosão do aço inoxidável martensítico; e quanto maior a temperatura de revenido, menor a resistência à corrosão [7].

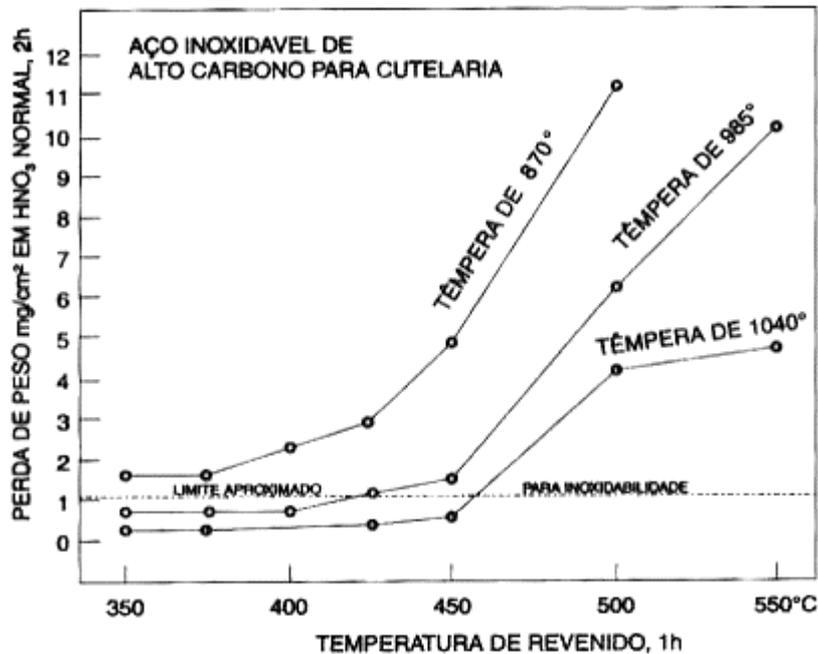


Figura 4 - Efeito do revenido sobre a resistência ao ataque de ácido nítrico [7]

Os aços inoxidáveis martensíticos são muito usados nas indústrias químicas e petroquímicas, na geração de energia, nas indústrias aeronáutica e aeroespacial, além da cutelaria e ferramentaria. Sua alta temperabilidade permite que sejam temperados ao ar, porém requerem um tratamento de revenimento para produzir uma boa combinação de propriedades de resistência, tenacidade e ductilidade. [7].

2.1.2 Aços Inoxidáveis Ferríticos

Os aços inoxidáveis ferríticos possuem esse nome pois sua matriz é basicamente formada por ferrita (α). Seu principal elemento de liga é o Cromo (Cr), que pode atingir valores elevados, entre 12 e 27%. A grande maioria fica entre 12 e 18%. Possuem baixo teor de Carbono (C), fazendo com que esses aços não sejam endurecíveis por têmpera [6]. A Figura 5 apresenta a metalografia de um aço inoxidável ferrítico.

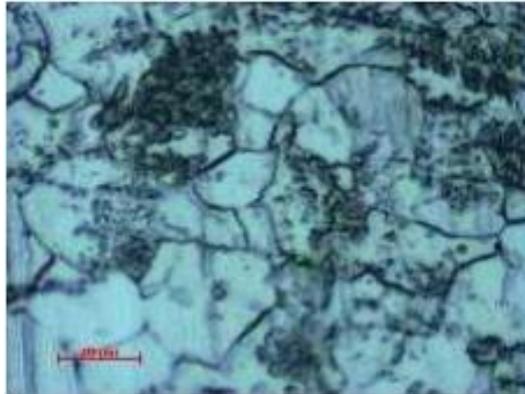


Figura 5 - Metalografia de um aço inoxidável ferrítico [9]

O tratamento térmico mais usual nesses aços é o de recozimento para alívio de tensões originadas pela conformação a frio e para a obtenção de maior ductilidade, já que esses aços não são endurecíveis [7].

Os aços inoxidáveis ferríticos possuem boas propriedades de resistência à corrosão, tanto em temperatura ambiente quanto em temperaturas elevadas e são resistentes a ação de gases sulfurosos secos e quentes. São bastante utilizados na indústria automobilística, em indústrias de eletrodomésticos e indústria química, além de serem facilmente encontrados em decorações arquitetônicas, equipamentos de restaurantes e cozinhas, entre outros [6].

2.1.3 Aços Inoxidáveis Austeníticos

Os aços inoxidáveis austeníticos podem ser divididos em dois grupos: aços ao cromo-níquel e aços ao Cromo-Manganês-Níquel. A maioria dos aços austeníticos pertencem ao grupo cromo-níquel e as ligas mais populares possuem o teor médio de cromo em torno de 18% e de níquel de 8%. O níquel presente na liga melhora consideravelmente a resistência à corrosão e a resistência à oxidação a altas temperaturas, pois forma uma camada de óxido que protege o aço [6].

O segundo grupo, Cromo-Manganês-Níquel (Cr-Mn-Ni), surgiu durante a segunda guerra, devido a menor disponibilidade de níquel. Nessas ligas, parte do níquel é substituído por outros elementos como por exemplo o manganês (cerca de 7%) e nitrogênio (menos de 0,25%) [6].

As principais características dos aços inoxidáveis austeníticos são: não são magnéticos; não são endurecíveis, por serem austeníticos; quando encruados,

apresentam um fenômeno interessante: o aumento de dureza que se verifica é bem superior ao que se encontraria, mediante a mesma deformação, em outros aços [6].

Um aspecto importante é que à medida que o teor de níquel aumenta, o efeito de encruamento é menos acentuado em termos do efeito estabilizador desse elemento. A importância desse fenômeno é tão grande que se costuma classificar os aços austeníticos pelos níveis de resistência que se consegue pelo encruamento, desde o tipo recozido mole até o tipo inteiramente duro. Um dos fenômenos indesejáveis que podem surgir em aços inoxidáveis austeníticos é a corrosão intergranular devido à precipitação de carboneto de cromo (Cr_3C_2). Um dos meios de evitá-la é pela adição de Titânio e de Níobio, porque esses elementos fixam o carbono na forma de carbonetos de Ti e de Nb [7]. Através da Figura 6 é possível visualizar a metalografia de um aço inoxidável austenítico.

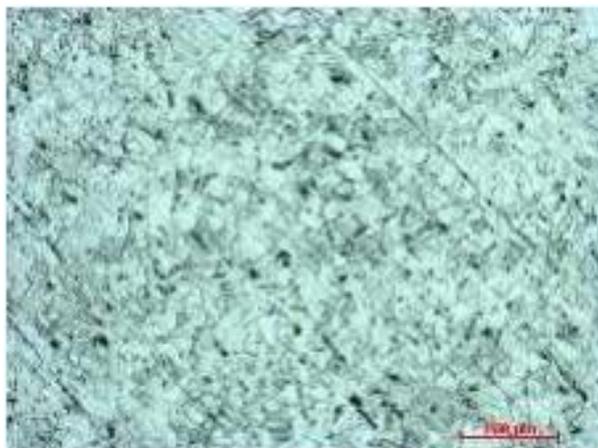


Figura 6 - Metalografia de um aço inoxidável austenítico [9]

As propriedades mecânicas desses aços dependem basicamente da condição do material, ou seja, no estado encruado ou recozido. Essas propriedades também dependem da forma do produto acabado ou semi-acabado (haste, fio, tira, chapa etc.) e, claro, da composição química. Como esses aços não são endurecíveis por têmpera, o aumento da dureza e resistência mecânica só pode ser obtido por encruamento [7].

As aplicações dessa liga variam com sua composição química, podendo ser encontrados desde utensílios domésticos até em equipamentos para a indústria química, indústria naval, indústria de alimentos, transportes, estruturais, entre outros [6].

2.1.4 Aços Inoxidáveis Duplex

Os aços inoxidáveis duplex são formados pela combinação de características dos aços inox austeníticos e ferríticos, gerando os aços austeno-ferríticos, também conhecidos como aços duplex. Estes aços resolveram muito dos problemas de corrosão existentes nas indústrias de óleo e gás, indústrias químicas, de celulose e de papel. Eles apresentam excelente resistência à corrosão intergranular [7].

Os aços inoxidáveis duplex, assim como os outros tipos de aços inoxidáveis, também podem ser encontrados com composições diferentes. Basicamente os aços inoxidáveis duplex podem ser divididos em quatro tipos genéricos em função do aumento da resistência à corrosão [7], que são:

- Fe—23Cr—4Ni—0,1N
- Fe—22Cr—5,5Ni—3Mo—0,15N
- Fe—25Cr—5Ni—2,5Mo—0,17N—Cu
- Fe—25Cr—7Ni—3,5Mo—0,25N—W—Cu

Os aços inoxidáveis duplex pertencem a uma nova classe de materiais que apresentam resistência mecânica superior além de elevada resistência à corrosão em meios agressivos, quando comparados aos aços inoxidáveis convencionais. Estas propriedades superiores são conseguidas através da composição química e do tratamento termomecânico durante a laminação da chapa. Esses fatores produzem uma microestrutura composta por partes aproximadamente iguais de ferrita e austenita [7]. Através da Figura 7 é possível visualizar a micrografia de um aço inoxidável duplex.



Figura 7 - Metalografia de um aço inoxidável duplex [9]

Os aços duplex ocupam hoje uma posição de destaque dentro da classe dos inoxidáveis, suas aplicações podem ser encontradas em diversos setores da indústria, como por exemplo na indústria química, na indústria petroquímica, de papel e celulose, geração de energia e na extração de petróleo e gás – *offshore* [7].

2.1.5 Aços Inoxidáveis Endurecíveis por Precipitação

Aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação se caracterizam por terem suas propriedades mecânicas melhoradas por tratamento de envelhecimento. A precipitação ocorre, pois, há a incidência de algum composto intermetálico supersaturado que depende do tipo de elemento de liga adicionado. O tratamento de envelhecimento da liga ocorre em temperaturas variando de 400° a 600°C, causando o coalescimento e crescimento desses precipitados [10]. Constituem uma alternativa para os aços austeníticos quando se deseja combinar resistência à corrosão, boas características de trabalhabilidade e elevadas propriedades mecânicas [6].

Estes são divididos em três classes em função da estrutura no estado solubilizado e da que resulta após o tratamento de envelhecimento, que são as classes martensíticos, semi-austeníticos e austeníticos [6].

Possuem seu custo mais elevado que os aços inoxidáveis normais. Durante um período tiveram seu uso limitado a aplicações apenas no campo militar, porém atualmente seu uso se estendeu a diversas áreas industriais, devido ao fato de possuir elevada resistência. Tem seu uso aplicado em componentes críticos da indústria aeronáutica [6].

2.2 AÇO CARBONO COM REVESTIMENTO DE ALUMÍNIO DEPOSITADO POR ASPERSÃO TÉRMICA

Os revestimentos são amplamente usados na indústria mecânica. Consistem na aplicação de camadas de um determinado material sobre uma peça ou outro material industrial, com a intenção de gerar uma camada de proteção. Existem diversos tipos de revestimentos, podendo ser esses metálicos, cerâmicos ou poliméricos, e são empregados dependendo da aplicação ao qual essas peças serão

submetidas. Os revestimentos podem ser aplicados para a proteção contra o desgaste abrasivo, corrosivo, atrito, entre outras.

A aspersão térmica tem a finalidade de aumentar a vida útil de sistemas e peças mecânicas, pois estes revestimentos fornecem proteção contra a corrosão e desgaste dos materiais, porém, caso haja impacto que gere desgaste ou ação mecânica que possa remover parte da superfície aspergida é possível o aparecimento de corrosão, necessitando o reparo da superfície comprometida [11].

2.2.1 O Alumínio

O Alumínio (Al) é um dos elementos mais abundantes na natureza, sendo o segundo metal mais utilizado no mundo, logo atrás do ferro, o que contribui para seu uso massivo. Graças às suas propriedades possui diversas aplicações nos mais variados setores das indústrias, desde embalagens alimentícias até em materiais da construção civil.

Dentre suas características, é possível destacar a baixa densidade (2,70 g/cm³) tornando-o um material leve, porém com elevada relação resistência mecânica x densidade, além de possuir excelente condutividade elétrica e térmica, elevada ductilidade e boa resistência a oxidação [12, 13].

O alumínio é obtido através da bauxita, uma rocha contendo hidróxido de alumínio, que passa pelo processo de refino para obtenção da alumina e em seguida um processo de redução para então chegar ao alumínio. Este processo consome bastante energia e é relativamente caro, porém o alumínio é um metal facilmente reciclável [12, 13].

A resistência à corrosão é devida a uma fina película de óxido (Al₂O₃) formada quando o material é exposto ao ar. Essa película óxida forma a camada passiva que possui boa aderência e não retarda o processo de corrosão [13]. A Figura 8 apresenta uma forma de produção das ligas de alumínio na forma de bobinas.



Figura 8 - Bobina de alumínio [14]

2.2.1.1 As Ligas de Alumínio

O alumínio puro não possui resistência mecânica elevada quando comparado ao aço, para solucionar esse problema foram desenvolvidas ligas, empregando mecanismos de endurecimento através da adição de um ou mais elementos. As ligas de alumínio são amplamente utilizadas nas indústrias em geral, destacam-se na indústria automobilística e aeronáutica devido suas propriedades mecânicas mais elevadas do que as do alumínio puro [12, 13, 15]. São classificadas de acordo com seu processo de fabricação, composição química ou tratamento térmico. Em relação à fabricação, são divididas em dois grupos: Ligas fundidas e ligas trabalhadas [14].

As ligas de Al trabalhadas são separadas em dois grupos, tratáveis e não tratáveis termicamente. As que não são tratáveis termicamente adquirem sua resistência por deformação a frio (encruamento), já as que são tratáveis termicamente possuem sua resistência alterada após passarem por uma sequência de tratamentos térmicos como o de envelhecimento da liga, por exemplo [12, 15].

As ligas de Al seguem a nomenclatura estabelecida pela norma NBR ISO 209:2010 [16], de acordo com o elemento de liga principal em sua composição, sendo classificadas por séries conforme a Tabela 1 [12].

De acordo com a norma, as nomenclaturas das ligas são formadas por 4 dígitos XXXX, o primeiro dígito faz referência ao elemento de liga majoritário variando de 1 a 8. O segundo dígito é relativo a modificações feitas à liga original, variando de 0 a 9 (o 0 indica que não houve modificações). Os dois últimos dígitos para as ligas da série 1XXX indica o grau de pureza após 99%, por exemplo a série 1050, indica

que a liga possui 99,50% de Al. Para as demais ligas os dois últimos índices não possuem significado, sendo usadas apenas para diferenciar as demais ligas [12].

Tabela 1 - Classificação das ligas de alumínio [14]

Série	Composição Química	Principais aplicações
1XXX	Al comercialmente puro	Contatos elétricos, Alclad
2XXX	Al-Cu e Al-Cu-Mg	Indústria aeronáutica
3XXX	Al-Mn e Al-Mn-Mg	Latas de bebidas, painéis
4XXX	Al-Si	Metal de adição para soldas. Pistões forjados de motores
5XXX	Al-Mg	Aplicações náuticas (navios e barcos)
6XXX	Al-Mg-Si	Perfis arquitetônicos. Componentes automotivos
7XXX	Al-Zn e Al-Zn-Mg	Indústria aeronáutica
8XXX	Outras ligas (Al-Li, Al-Fe...)	Várias

As ligas de Al são admissíveis em diversas áreas das indústrias, principalmente no setor aéreo e automobilístico devido a relação resistência mecânica x peso, contribuindo para menor consumo de combustível nesses setores [12].

2.2.2 Aspersão Térmica

A Aspersão Térmica (AT) consiste em um grupo de processos de deposição de camadas de materiais metálicos e não metálicos, em uma superfície previamente preparada. Sua aplicação ocorre com o material em estado fundido ou semifundido, através de uma fonte de calor no bico de uma pistola apropriada, podendo ser esses na forma de arame ou pó. Após a fusão, o material é acelerado por gases sob pressão (geralmente ar comprimido) e colidem com o material a ser revestido. Ao atingir o material de base, são formadas camadas de partículas em direção paralela ao substrato, formando lamelas [11, 17]. Na Figura 9 é possível ver o esboço do processo de deposição por AT. Seu uso neste estudo é ideal pois é possível transportar o equipamento ao local de fabricação dos tanques e utilizá-lo para manutenção caso ocorra alguma falha no revestimento no futuro.

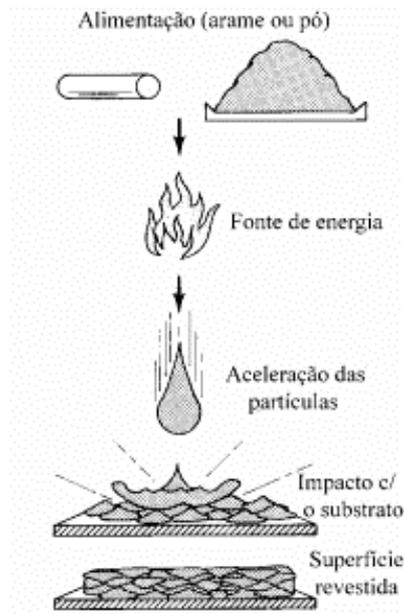


Figura 9 - Esboço da deposição por aspersão térmica [17]

As classificações dos processos de aspersão térmica dividem-se em dois grupos, um usando energia elétrica como fonte de energia e outro chama. No grupo Chama, se tem classificado os processos de chama oxiacetilênica, *flame spray* e termo spray, e HVOF (chama de alta velocidade). Já o grupo arco elétrico, possuem os processos de plasma (Arco transferido e arco não transferido) e arco elétrico. A diferença entre eles será apresentada a seguir [17].

2.2.2.1 Processo de AT por Chama Convencional

Também conhecido como processo a chama oxiacetilênica, o processo de Flame Spray (FS – Aspersão por chama) utiliza uma mistura de gás oxigênio com um gás combustível para gerar energia suficiente para fundir o metal a ser depositado. Esse material encontra-se na forma de pó ou arame, podendo ser metais, ligas metálicas, materiais cerâmicos ou polímeros [11].

O processo de FS foi o primeiro processo de aspersão implementado e devido seu baixo custo e facilidade de manejo continua em uso até os dias atuais. O acetileno é o gás mais utilizado nesse processo para gerar calor, já que a mistura oxi-acetileno atinge temperaturas na chama de aproximadamente 3100°C [17].

A AT em chama convencional com alimentação a pó é realizada por gravidade, e por se tratar de partículas pequenas, são bastante leves, impactando

diretamente na velocidade com que as mesmas atingem o material base, deste modo a qualidade do revestimento é inferior quando comparado a outros métodos de AT. Dentre as desvantagens deste método, cita-se a baixa aderência da camada no substrato e maior porosidade, na Figura 10 apresenta um esquema do dispositivo de AT à chama, alimentado com pó [17].

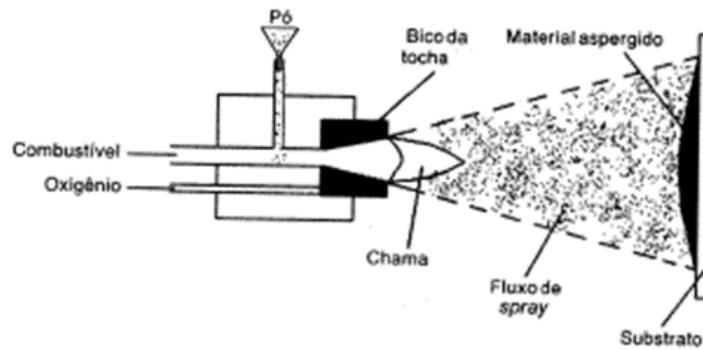


Figura 10 - Esquema de AT à chama convencional alimentado a pó [17]

Com o intuito de melhorar a eficiência deste método, geralmente é empregado o uso de materiais autofluxantes. Esses materiais possuem elementos que reagem com o oxigênio formando óxidos de baixa densidade que aderem melhor ao substrato, como por exemplo as ligas à base de níquel [11, 17].

Na AT, chama convencional usando arame, o sistema de alimentação da pistola deve possuir roletes tracionados por motor para induzir a passagem do arame até a câmara de combustão. O arame é inserido de forma contínua e concêntrica, fundido no bocal por uma chama de gás combustível e para aspergir o material até o substrato é utilizado o ar comprimido. A Figura 11 apresenta um esquema do dispositivo de AT à chama, alimentado com arame [11].

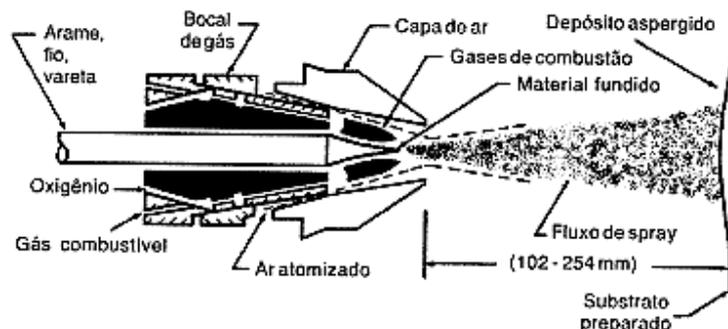


Figura 11 - Esquema de funcionamento do processo à chama alimentado com arame [17]

De acordo com Paredes [11], o diâmetro dos arames varia de 3 a 6 mm, porém os diâmetros de 3, 3,17 e 4,75 mm são os mais usuais. As partículas possuem tamanhos mais elevados, atingindo assim maiores velocidades, o que possibilita melhor aderência ao substrato [11].

2.2.2.2 Processo de AT a chama de alta velocidade – HVOF

O processo de Aspersão *High Velocity Oxi-Fuel* (HVOF), utiliza um combustível gasoso ou líquido para a combustão. Esse combustível pode ser propano, propileno, hidrogênio ou querosene misturado com o oxigênio. Para regular a temperatura que a chama atinge, faz-se uma proporção de oxigênio/combustível para adequar ao requisito. Por atingirem temperaturas elevadas, o bocal e a câmara de combustão necessitam ser resfriados regularmente, geralmente utiliza-se água para tal [11].

De acordo com Menezes [17], por serem capazes de aumentar consideravelmente a pressão e a vazão de gases, as pistolas de HVOF geram jatos de gases de combustão em altas velocidades, capazes de aspergir o material ao substrato resultando um revestimento de elevada adesão, alta densidade e baixa porosidade. Segundo Cortés [11], a velocidade das partículas pode alcançar até 1200 m/s, sendo esse processo conhecido como supersônico.

Nas pistolas mais recentes, o gás combustível e o oxigênio se misturam e são atomizados antes de passar pelos orifícios da câmara de combustão, gerando assim uma combustão estável, limpa e uniforme, capaz de fazer com que as partículas atinjam velocidades entre 3200 a 5000 m/s. A pressão da câmara é constantemente vistoriada para manter a pressão constante e a combustão apropriada [11, 17].

O sistema de saída é projetado para ser convergente/divergente de modo a conduzir uma configuração de fluxo que corrobora na distribuição do material aspergido, produzindo um perfil único de velocidade de partícula, que resulta em um revestimento consistente sendo necessário menos pó para alcançar a espessura de revestimento desejada, a Figura 12 apresenta um esquema de como é o funcionamento do processo HVOF [11].

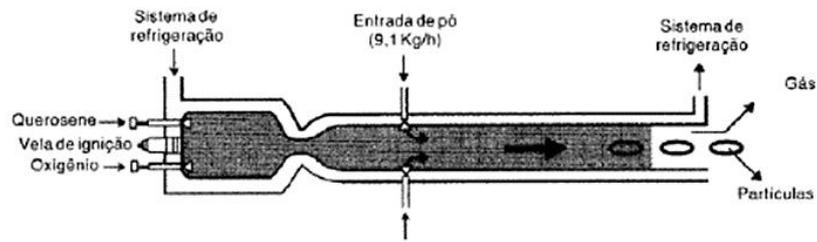


Figura 12 - Esquema de funcionamento do processo HVOF [17]

2.2.2.3 Processo de AT por Detonação (D-Gun)

Utilizando a energia proveniente da explosão de uma mistura de oxigênio e acetileno para aquecer e gerar a propulsão necessária para aspergir o material até o substrato, esse processo utiliza o material a ser revestido em forma de pó. A AT por detonação consiste em uma câmara de reação de comprimento longo, aproximadamente 450-1350 mm, e diâmetro interno entre 21-25 mm além de possuir resfriamento a água [11, 17].

Com a finalidade de originar a detonação, são inseridos na câmara uma mistura de oxigênio e gás combustível e o material em forma de pó. Através de uma centelha elétrica de ignição gera-se uma onda de detonação controlada detendo alta pressão e temperatura. Segundo Menezes [17], a pistola de detonação é capaz de produzir jatos com elevada energia cinética e térmica originando depósitos de revestimento mais densos. Os revestimentos formados por esse processo são de elevada aderência e baixíssima porosidade [11, 17].

Uma desvantagem deste método está relacionada ao ruído elevado que produz, devendo o mesmo ser instalado em um ambiente com isolamento acústico e seu operador manter-se fora do ambiente ao qual o equipamento é instalado, operando a distância. Esta particularidade demanda que o sistema seja totalmente mecanizado e/ou automatizado. A Figura 13 apresenta o esquema de funcionamento do processo de AT por detonação [17].

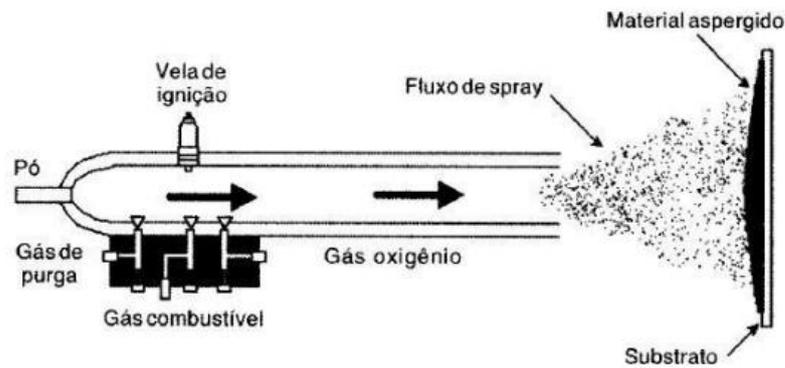


Figura 13 - Esquema do processo de AT por Detonação [11]

2.2.2.4 Processo de AT por Arco Elétrico (ASP – Arc Spray Process)

O processo de AT por arco elétrico, também conhecido como processo arco arame, utiliza o metal a ser aspergido na forma de dois arames carregados eletricamente como fonte de calor. É aplicada uma diferença de potencial entre os arames dando início a um arco elétrico que funde o material, em seguida um jato de gás é aplicado através da zona do arco separando o material fundido e lançando as partículas no substrato. É possível visualizar um esboço do funcionamento do processo de AT por arco elétrico na Figura 14 [11, 17, 18].

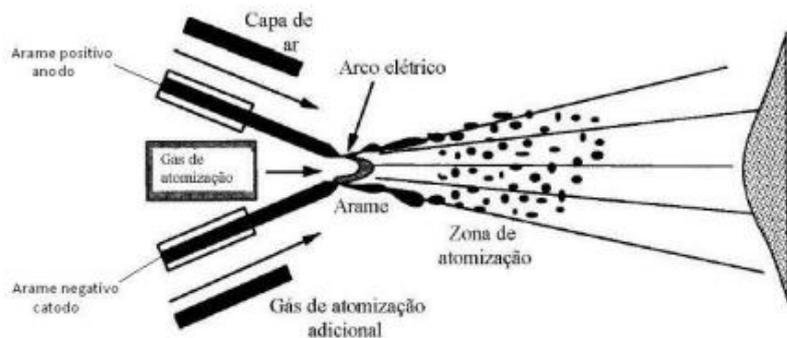


Figura 14 – Esboço do processo de AT por arco elétrico – ASP [11]

Este processo segue uma linha diferente dos já apresentados neste trabalho, pois não utiliza uma fonte externa para produzir calor como o processo de chama convencional que utiliza uma mistura de gases. Neste processo, o próprio material a ser aspergido é fabricado na forma de arame que é carregado eletricamente servindo de gerador do arco elétrico responsável por sua fusão. A temperatura que o arco elétrico é capaz de produzir excede a temperatura de fusão dos principais materiais

usados como revestimento, as altas temperaturas geram zonas de difusão, interação metalúrgica, ou ambas, quando atingem o substrato [17].

Segundo Menezes [17], os aspectos que tornam o processo a arco elétrico atraentes são as altas taxas de deposição por serem utilizados dois arames, enquanto na técnica de chama convencional utiliza apenas um, principalmente quando o revestimento é aplicado em grandes superfícies. Além deste aspecto, as vantagens do arco elétrico em relação a chama convencional são: menor porosidade (depósitos mais densos), preparo da superfície menos crítico, as partículas são lançadas com maior velocidade e a microestrutura de depósitos são mais consistentes pois é possível ter uma regulagem do processo mais precisa (regulagem simples) [17].

2.2.2.5 Processo de AT por Plasma Spray – PS

Com o intuito de suprir uma necessidade das indústrias, principalmente na indústria aeronáutica, por conter processos que são necessários controle rígidos de corrosão/erosão em peças utilizadas em condições severas de trabalho, foi desenvolvido uma nova geração de revestimentos e foram criadas ligas a base de óxidos refratários e carbetos [17]. Os materiais oxi-cerâmicos e carbetos utilizados nesses revestimentos necessitam de temperaturas muito elevadas para a sua fusão, muito acima das que são atingidas pelos processos a chama convencional ou arco elétrico [11].

Paredes [11], o processo de AT por plasma foi desenvolvido para atender essas exigências criadas pelos novos revestimentos. Além de atender esse nicho específico, o plasma auxiliou na criação de uma nova família de materiais e técnicas de deposição que contribuiu para uma enorme variedade de aplicações nas indústrias. Em resumo o plasma é o nome dado a gases que são elevados a um nível energético superior ao estado gasoso normal [11].

Há dois métodos de formação de plasma, por arco transferido e por arco não transferido. No processo de AT por plasma de arco não transferido, o arco se origina e se sustenta entre o eletrodo e um orifício estreito. O plasma então é forçado através deste orifício pelo gás excluindo a peça desse circuito. Já no processo por plasma de arco transferido, o arco alcança a peça que será revestida, fechando o circuito elétrico. A Figura 15 exemplifica os processos de AT por plasma [11].

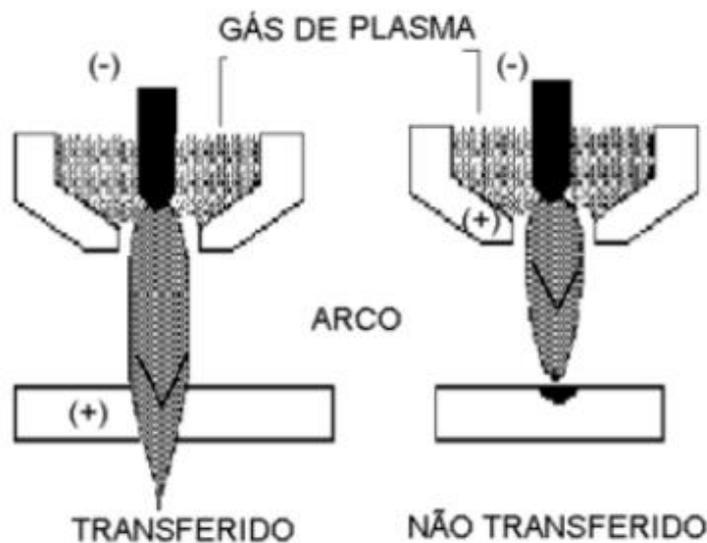


Figura 15 - Esquema da formação do plasma de arco transferido e não transferido [11]

2.3AÇO CARBONO REVESTIDO COM TINTA EPÓXI

Uma das formas mais usuais de proteção contra corrosão em aços e estruturas metálicas é a utilização de sistemas de pinturas. Os mecanismos de proteção anticorrosivos desenvolvidos através da utilização de tintas podem ser divididos em 3, em forma de barreira, inibição (passivação anódica) e eletroquímica (proteção catódica) [19].

Além da finalidade de proteção contra a corrosão, a aplicação de tintas possui diversas propriedades importantes, como controlar a absorção de calor de um determinado material pelo uso de cores, impermeabilização, sinalização, auxílio na segurança industrial, estética e redução na rugosidade superficial de um material. Através do revestimento por pintura com a finalidade de proteção à uma superfície metálica realiza-se um esquema específico de pintura. Esse esquema é definido como um conjunto de procedimentos cuja especificação abrange os detalhes técnicos compreendidos em sua aplicação, como o preparo da superfície e grau de limpeza, tinta de fundo, espessura de cada camada de tinta, intervalo entre demão, método de aplicação, entre outros. Os esquemas de pintura geralmente são compostos por 3 tipos de tintas diferentes, compreendidas entre tintas primárias, tintas intermediárias e tintas de acabamento [20].

As tintas de fundo, ou tintas primárias (também conhecidas como *primer*) são utilizadas diretamente ao substrato; por serem inseridas diretamente em contato com a superfície do material ela é responsável pela aderência do esquema de pintura ao substrato além de ser composta por pigmentos anticorrosivos concedendo ao substrato a proteção anticorrosiva [19, 20].

As tintas intermediárias possuem a finalidade de aumentar a espessura do revestimento, melhorando assim as características do esquema de proteção atuando como uma barreira. Essas tintas possuem um teor elevado de sólidos em sua fórmula o que permite que seja necessário menor número de demão. Algumas tintas intermediárias não são usuais na finalidade de aumentar a espessura da camada de tinta e sim para servir de selante para um tipo de tinta porosa antes da aplicação da tinta de acabamento [19, 20].

Por sua vez as tintas de acabamento são as responsáveis por garantir a resistência química do revestimento em frente ao meio corrosivo, além de fornecer a cor final do revestimento [19, 20].

Sant'Anna [19], a tinta é uma composição líquida, viscosa, composta de um ou mais pigmentos que formam um filme opaco e aderente ao substrato, tendo como objetivo proteger e adornar as superfícies. São basicamente compostas de pigmento, aditivo, solvente e resinas.

2.3.1 Resina Epóxi

A resina é a grande responsável pelas propriedades físicas e químicas da tinta. Ela consiste na parte não volátil que mantém unida as partículas de pigmento e é responsável por realizar a aderência da tinta ao substrato. Frequentemente as tintas são nomeadas de acordo com a resina básica que são utilizadas na sua composição [19].

Segundo Santos [21], as resinas epoxídicas ou epóxi representam uma classe importante de materiais orgânicos devido às suas excelentes propriedades mecânicas, térmicas, dielétricas e anticorrosivas. Por possuírem elevada adesão em metais, as tintas epóxi agem como uma barreira física prevenindo o contato do metal (substrato) ao meio agressivo.

Os revestimentos formados à base de tinta epóxi podem ter sua polimerização através do calor (por meio de estufa) ou através da reação com um agente endurecedor ou um agente de cura que também é uma resina (sistema de dois componentes. Caso seja empregado um agente de cura, a reação pode ocorrer em temperatura ambiente. Os agentes mais empregados para a cura de resinas epóxi são as poliaminas e as poliamidas [21].

As tintas curadas com aminas ou poliamidas apresentam melhor resistência às substâncias químicas como álcalis, ácidos e solventes, do que as curadas com poliamidas. Em contrapartida as tintas epóxi curadas com poliamidas demonstram maior resistência à água e a ambientes úmidos [20, 21].

Em relação a reação entre a resina e o agente de cura, a poliamida apresenta um tempo de reação maior e mais controlado do que a reação entre a resina epóxi e a poliamina, tornando o revestimento composto com a primeira reação (com poliamidas) mais flexível [21].

De forma geral as tintas epóxi, quando expostas ao tempo, apresentam fraca resistência à exposição de raios ultravioletas presentes no espectro solar, perdendo sua cor e brilho de forma rápida e apresentam a formação de empouamento (pó esbranquiçado) ou gizamento, que são fenômenos decorrentes de sua exposição a luz solar [19, 21].

2.4 TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Os tanques de armazenamento e destanqueio são de suma importância para a indústria petrolífera e naval, pois são amplamente utilizados para armazenamento e distribuição de combustíveis e derivados do petróleo.

Neste projeto é abordado o estudo de tanques de armazenamento atmosféricos fixos em solo, referente aos equipamentos de armazenamento que possuem a pressão interna próxima à pressão atmosférica. Castro [22], geralmente esses tanques são fabricados em aço carbono, são cilíndricos, verticais e não enterrados. A capacidade de armazenamento é amplamente variável, podendo ser de 16 m³ até 550000 m³. São classificados de acordo com o tipo de teto que são implementados, podendo ser teto fixo ou teto flutuante [22]. A Figura 16 apresenta o esboço de um tanque de armazenamento de combustíveis com o teto flutuante, na

imagem é possível visualizar o teto em dois momentos, quando o tanque está cheio de combustível e quando está com o volume mínimo.

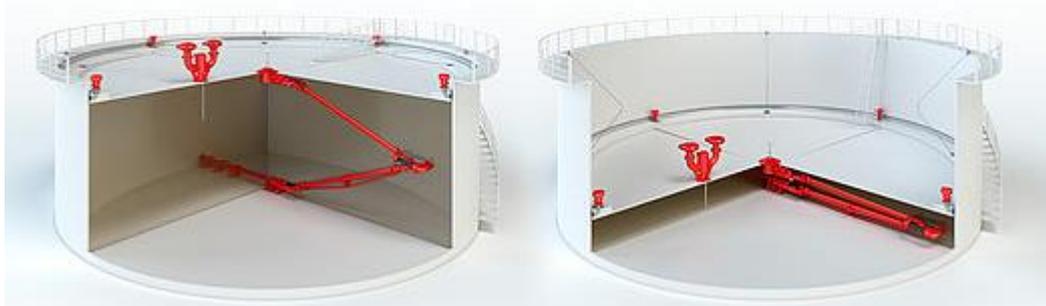


Figura 16 - Esboço de tanque com teto flutuante [23]

Os tanques de teto fixo são ligados diretamente na parte superior de seu costado e os de teto flutuante ficam apoiados na superfície do líquido armazenado, seguindo a movimentação do nível de líquido presente em seu interior. É possível visualizar os principais componentes presentes em um tanque de armazenamento de teto fixo na Figura 17 [22].

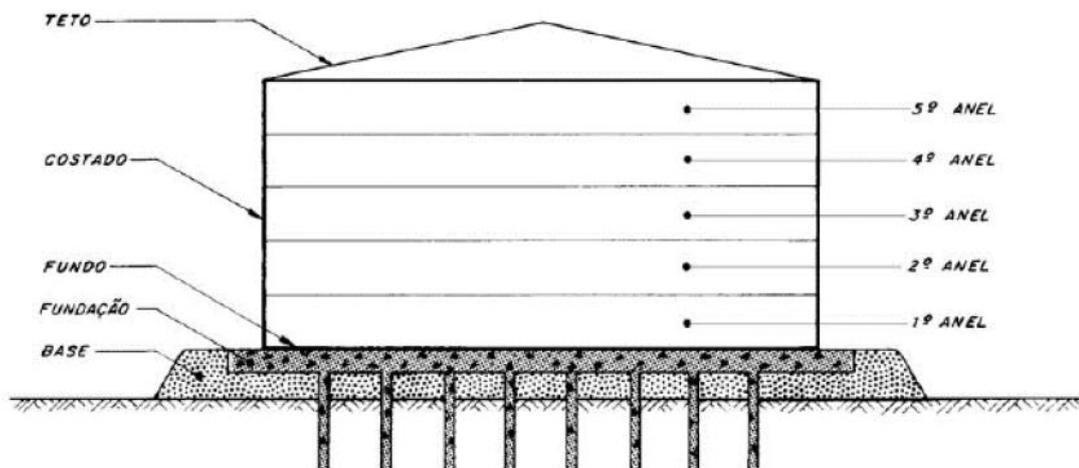


Figura 17 - Componentes de um tanque de teto fixo [22]

2.5 CORROSÃO

É de suma importância os mecanismos responsáveis pela corrosão dos materiais, pois um dos principais problemas encontrados em tanques de armazenamento e destanqueio de combustíveis está relacionado à vazamentos causados pela corrosão do material de construção dos tanques.

Segundo Castro [22], “corrosão é a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos”.

Essa interação prejudicial dos materiais com o meio ambiente acaba levando a danos e modificações que reduzem o desempenho dos elementos expostos. Como alterações indesejáveis podemos citar a abrasão, alterações químicas, microestruturais ou estruturais, perda de forma e cor etc. Tudo isso reduz os usos potenciais do material escolhido [24].

A corrosão metálica pode se apresentar de diversas formas, dependendo do fator que causou o ataque. Pode ser caracterizada por sua morfologia, sendo esses uniformes, intergranular, em placas, alveolar, puntiforme, entre outras; causadas por processo eletrolítico, galvânico, sob tensão, ao redor de correntes de solda ou sob fatores mecânicos, como fadiga, atrito, sob tensão ou erosão; e em meio corrosivo. A Figura 18 apresenta as principais formas de corrosão metálica [25].

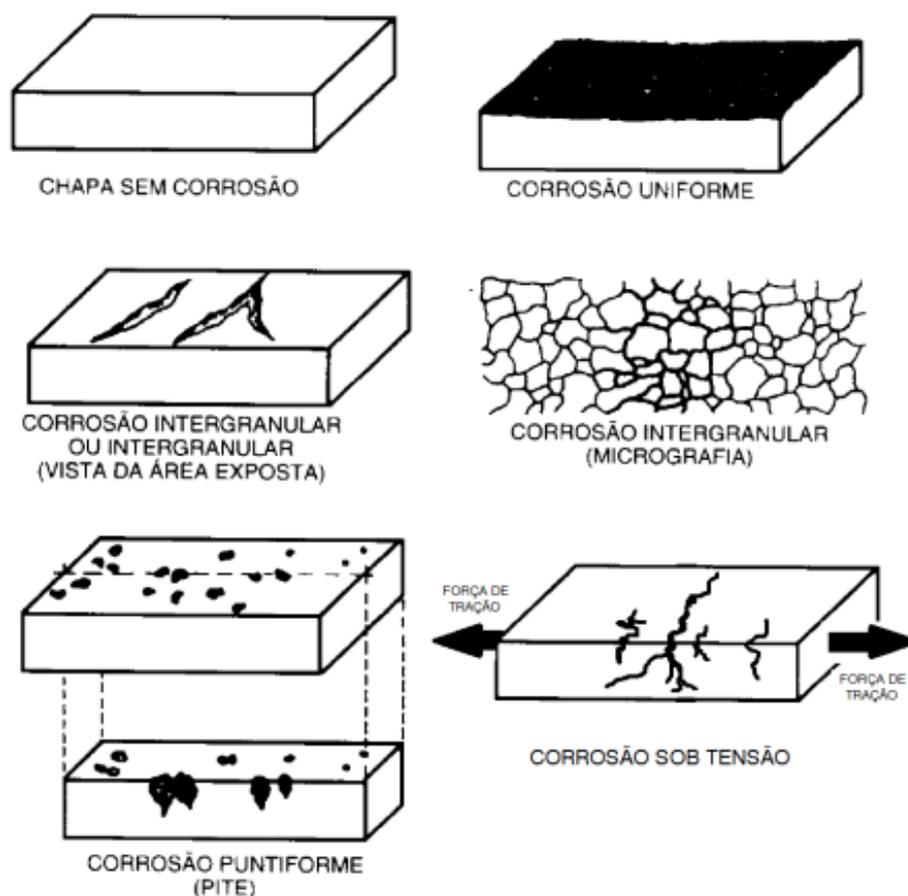


Figura 18 - Principais tipos de corrosão metálica [25]

2.6 NORMAS TÉCNICAS PARA ARMAZENAMENTO E CONSTRUÇÃO DE TANQUES DE COMBUSTÍVEIS

A fabricação de tanques de armazenamento e destanqueio de combustíveis seguem normas bastantes criteriosas de fabricação, testes, transporte e instalação. A seguir serão exibidas as principais normas regentes para a tanques de combustíveis. O escopo deste trabalho refere-se ao armazenamento em tanques estacionários, porém serão apresentadas as normas de forma geral, desde tanques aéreos até subterrâneos.

2.6.1 ABNT NBR 17505 (02/2013)

A norma ABNT NBR 17505 tem como objetivo estabelecer os requisitos impostos para os projetos de armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis. Ela é a principal norma aplicável para esta pesquisa, pois é direcionada para armazenamento em tanques estacionários. Está dividida em 7 partes, sendo a NBR 17505-1 responsável pela definição das disposições gerais aplicadas às demais partes [26].

A NBR 17505-2 discursa sobre o armazenamento em tanques, em vasos e em recipientes portáteis com capacidade superior a 3 000 L, enquanto a NBR 17505-3 é responsável pelos sistemas de tubulações. A Parte 4 trata dos armazenamentos em recipientes e em tanques portáteis até 3 000 L. Já a Parte 5 dedica-se às operações e na Parte 6 visualiza-se os requisitos para instalações e equipamentos elétricos. Por último, a Parte 7 trata da proteção contra incêndio para parques de armazenamento com tanques estacionários [26]. A Figura 19 apresenta um modelo de tanques estacionários.



Figura 19 - Modelo de tanques estacionários [Domínio público]

2.6.2 ABNT NBR 15776 (07/2021)

A NBR 15776 refere-se à seleção dos componentes e instalação do sistema de armazenamento aéreo de combustíveis (SAAC). Tanques aéreos são projetados para serem instalados sem ter contato direto com o solo, por isso recebem esse nome. Podem ser instalados na posição vertical ou horizontal [27].

De acordo com a revista digital AdNormas, a NBR 15776 determina os preceitos para seleção dos equipamentos, materiais e infraestrutura de sistemas de armazenamento aéreo de combustíveis ou sistemas mistos, permanentes e/ou temporários [28].

2.6.3 ABNT NBR 15461 (12/2021)

A norma ABNT NBR 15461 que se refere à tanque aéreo atmosférico de aço - Requisitos de fabricação e métodos de ensaios, tem por objetivo estabelecer os requisitos de fabricação e métodos de ensaios para tanques de aço com contenções primária e secundária, e bacia acoplada, utilizados para armazenamento de líquidos não corrosivos, inflamáveis estáveis e combustíveis com massa específica não superior a 1 000, a exceção do estabelecido no item 4.6 desta norma [29].

Por possuírem baixa capacidade volumétrica quando comparado com os tanques API, esses tanques são fabricados inteiramente na fábrica e transportados prontos até o local em que serão instalados. A Figura 20 apresenta um exemplo de tanque aéreo [30].



Figura 20 - Modelo de tanque aéreo [30]

2.6.4 ABNT NBR 16161 (08/2020)

A ABNT NBR 16161 estabelece os requisitos de fabricação e de modulação para tanque metálico jaquetado subterrâneo [31]. Esta norma fornece as diretrizes para a fabricação de tanques metálicos cilíndricos de parede simples ou dupla jaquetado, utilizados para o armazenamento subterrâneo de líquidos inflamáveis. Segundo a norma, as paredes podem ser simples revestidas ou dupla jaquetado, e o tanque pode ser pleno (com um único compartimento) ou com diversos compartimentos independentes.

2.6.5 ABNT NBR 14973 (02/2021)

A ABNT NBR 14973 estabelece as condições adequadas para a desativação temporária ou permanente, e/ou da remoção, destinação e preparação de tanque subterrâneo e dos outros componentes do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC), utilizado no armazenamento de combustíveis [32].

2.6.6 Petrobras N-13: Requisitos Técnicos para Serviços de Pintura

Segundo a empresa Petrobras, o escopo da norma N-13 contém requisitos técnicos e práticas recomendadas que estabelecem condições exigidas durante a aplicação e controle de pintura de equipamentos industriais, tubulações, ligas ferrosas e não ferrosas, materiais compósitos e poliméricos, unidades marítimas de exploração e de produção, estruturas metálicas, embarcações, máquinas, equipamentos elétricos e de instrumentação, pintura de equipamentos submersos em água do mar, torre galvanizada, tanques, esferas e cilindros de armazenamento [33].

Compreende as condições de recebimento e armazenamento de tintas, diluentes e requisitos de segurança. Ela inclui um plano de treinamento para a mão-de-obra e os procedimentos para a aplicação de pintura, além dos procedimentos de inspeção, calibração de instrumentos e preparação da superfície [33].

2.6.7 Petrobras N-2912: Tinta Epóxi “Novolac”

De acordo com a norma N-2912 [34], são fixadas as características exigíveis para a tinta epóxi “novolac” curada com poliamina, fornecida em dois recipientes: um contendo a resina epóxi (componente A) e o outro contendo o agente de cura à base de poliamina (componente B). A tinta está especificada em três tipos:

- a) Tipo I, de cura térmica ou à temperatura ambiente;
- b) Tipo II, sem solventes, de cura à temperatura ambiente;
- c) Tipo III, sem solventes, de cura à temperatura ambiente, pigmentada com flocos de vidro ou cargas cerâmicas.

Através dela observa-se as condições gerais da tinta, como a aparência dos componentes A e B, a embalagem que devem ser transportados a fim de evitar contaminação da tinta, a estabilidade ao serem armazenadas, além da cor que devem ser fornecidas [34].

2.6.8 Petrobrás N-2913: Revestimentos Anticorrosivos para Tanque, Esfera e Cilindro de Armazenamento

De acordo com a norma N-2913 [35], esta Norma fixa os esquemas de revestimentos anticorrosivos das áreas internas e externas de tanques, esferas e cilindros para armazenamento em instalações terrestres e marítimas. Ela abrange os procedimentos para tratamento de superfície, o grau de acabamentos para os jatos abrasivos e hidrojateamento, o intervalo de repintura, entre outros. Ela também apresenta a especificação do revestimento de acordo com o produto a ser armazenado. A Figura 21 apresenta um trecho da norma onde é citado a especificação dos Revestimentos.

Condição	Equipamento	Produto armazenado (ver Nota 1)	Região a ser pintada	Revestimento
1	Tanque de teto fixo ou flutuante	- Água salgada; - Água doce potável ou não; - Gasolinas; - Lastro; - Líquido gerador de espuma; - Óleo diesel; - QAV; - Soda cáustica; - Naftas (ver Nota 2); - Aguarrás mineral; - Hexano; - Solvente; - Álcool etílico hidratado; - Biodiesel (B100).	O revestimento deve abranger toda a superfície interna.	PETROBRAS N-2912 (tipo II)
2	Tanque de teto fixo	- Gasóleo; - Óleo combustível; - Óleo lubrificante.	O revestimento deve abranger todo o fundo e teto do tanque. O costado deve ser revestido com duas faixas circunferenciais de 1 m de altura, uma a partir do fundo e outra a partir do teto. As colunas de sustentação do tanque devem ser revestidas 1 m de altura a partir do fundo e 1 m a partir do teto.	PETROBRAS N-2912 (tipo II)
3	Tanque de teto fixo	- Água ácida.	O revestimento deve abranger toda a superfície interna.	PETROBRAS N-2912 (tipo III)
4	Tanque de teto fixo ou flutuante em refinarias e terminais	- Petróleo.	Fundo e teto, costado e colunas de sustentação devem ser revestidos com duas faixas circunferenciais de 1 m de altura, uma a partir do fundo e outra a partir do teto.	PETROBRAS N-2912 (tipo II)
5	Tanque de teto fixo ou flutuante em refinarias	- Petróleo com água de formação.	Fundo e teto, costado e colunas de sustentação devem ser revestidos com duas faixas circunferenciais de 1 m de altura, uma a partir do fundo e outra a partir do teto.	PETROBRAS N-2912 (tipo III)
6	Tanque de teto fixo ou flutuante em terminais	- Petróleo com água de formação.	O revestimento deve abranger toda a superfície interna.	PETROBRAS N-2912 (tipo III)

Figura 21 - Norma Petrobrás N-2913 [35]

2.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO ODM

Segundo a Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico – FISPQ [36], disponibilizada pela empresa Petrobrás Distribuidora S. A., responsável pela produção e distribuição do ODM, a classificação deste tipo de combustível se enquadra na Categoria 3 de líquidos inflamáveis. Essa classificação é de suma importância pois através dela são definidos diversos parâmetros de instalação, transporte e sistemas de incêndios dos ambientes que serão instalados os tanques de armazenamento. Segundo o mesmo documento, o sistema de classificação segue a norma ABNT NBR 14725-2:2010 - Produtos químicos - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente - Parte 2: Sistema de classificação de perigo.

A Tabela 2 exhibe as demais classificações (categorias) do ODM quanto a corrosão/ irritação à pele, carcinogenicidade, toxicidade e demais classificações segundo a FISPQ:

Tabela 2 - IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS [36]

Classificação de perigo do produto:	Categoria:
Líquidos inflamáveis	Categoria 3
Corrosão/ irritação à pele	Categoria 2
Carcinogenicidade	Categoria 2
Toxicidade para órgãos-alvo específicos – Exposição única	Categoria 3
Perigo por aspiração	Categoria 2

Além da identificação dos perigos relacionados ao combustível, o documento indica os elementos apropriados para a rotulagem do produto, como a palavra de advertência “PERIGO”, frase de perigo – Líquido e vapores inflamáveis. Provoca irritação à pele”, além do pictograma que faz referência ao aviso escrito, conforme a Figura 22 [36].



Figura 22 - Pictograma de advertência para o ODM segundo a FISPQ [36]

O documento relata diversas informações sobre o produto, como a composição e informações sobre os ingredientes, medidas de primeiros socorros, combate a incêndio, medidas de controle para derramamento ou vazamento, entre outros. Dentre esses, o mais importante para a análise deste projeto é a tabela referente às propriedades físicas e químicas disponível no item 9, pois a composição química irá influir diretamente na escolha do material para a fabricação dos tanques de destaqueio. A Tabela 3 exibe as propriedades físicas e químicas referentes ao ODM [36].

Tabela 3 - PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS [36]

Aspecto:	Líquido límpido (isento de materiais em suspensão)
Odor e limite de odor:	Característico de hidrocarbonetos
Ph:	Não aplicável
Ponto de fusão/ponto de congelamento:	- 40 – 6°C
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição:	141 – 471°C
Ponto de fulgor:	60°C Mín. (Método NBR-7974).
Taxa de evaporação:	Não disponível
Inflamabilidade:	Não disponível
Limite inferior/superior de inflamabilidade ou explosividade:	1,0 a 6,0% Vol
Pressão de vapor:	0,4 kPa a 40°C
Densidade de vapor:	Não disponível
Densidade relativa:	Máx. 876,8 Kg/m ³ @ 20 °C (Método NBR-7148)
Solubilidade:	Insolúvel em água. Solúvel em solventes orgânicos
Coeficiente de partição – n-octanol/água:	Log kow: 7,22 (Valor estimado)
Temperatura de autoignição:	≥ 225°C
Temperatura de decomposição:	400°C
Viscosidade:	2,0–6,0 Cst a 40°C (Método: ASTM D-445/NBR-10441)

Continuação da Tabela 3 - PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS [36]

Outras informações:	Faixa de destilação: 100–360 °C a 101.325 kPa (760 mmHg); (Método NBR-9619)
---------------------	---

Outro ponto importante são as informações ecológicas, item 12 do documento, que apresenta os efeitos ambientais quando o produto é exposto ao meio ambiente. É possível observar na Tabela 4 os impactos causados pelo derramamento do ODM no ambiente, causando danos sérios devido às suas propriedades químicas, como toxicidade, tempo elevado de degradação e demais características, ressaltando a importância da escolha correta do material para a fabricação dos tanques de armazenamento e destaqueio para o Óleo Diesel Marítimo [36].

Tabela 4 - Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto [36]

Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto	
Ecotoxicidade:	Devido à natureza do produto, espera-se que este apresente ecotoxicidade.
Persistência e degradabilidade:	Em função da ausência de dados, espera-se que o produto apresente persistência e não seja rapidamente degradado.
Potencial bioacumulativo:	Não é esperado potencial bioacumulativo em organismos aquáticos.
Mobilidade no solo:	Não determinado
Outros efeitos adversos:	A liberação de grandes quantidades de produto pode causar efeitos ambientais indesejáveis, como diminuição da disponibilidade de oxigênio em ambientes aquáticos devido à formação de camada oleosa na superfície, revestimento e conseqüente sufocamento de animais.

3 RELAÇÃO ENTRE OS MATERIAIS E ÁGUA SALGADA

O emprego de aços inoxidáveis em ambientes corrosivos é bastante comum, quando se refere a ambientes marítimos onde a concentração de Cl é grande, os aços inoxidáveis austeníticos são os mais indicados. Como mencionado anteriormente, esses aços são compostos por altos teores de elementos de liga, como o cromo (Cr) e o níquel (Ni), que são os principais responsáveis pela passivação (camada protetora) do material.

Os aços inoxidáveis austeníticos mais utilizados são o 304 e o 316/316L, sendo o inox 304 constituído de 18% Cr- 8% Ni, garantindo a essas ligas excelente resistência à corrosão, ductilidade e excelente soldabilidade. Ao adicionar molibdênio (Mo) nessas ligas, transforma-se o inox 304 em 316, conferindo a esses aços ainda mais resistência à corrosão [37].

Segundo o catálogo informativo da empresa ArcelorMital [37], o inox 304 é recomendado para trabalhos em temperatura ambiente, com águas que possuam no máximo 200 ppm (parte por milhão) de cloreto, enquanto o 316/316L suporta valores mais elevados.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO AÇO INOXIDÁVEL 316/316L

Os aços inoxidáveis austeníticos 316 e 316L pertencem à mesma família, diferindo um do outro apenas pela porcentagem de seus elementos de liga, pois o 316L apresenta uma quantidade de carbono reduzida. A tabela 5 apresenta a composição química dos aços inoxidáveis austeníticos 316 e 316L [37].

Tabela 5 - Composição química aços inox 316 e 316L [37]

Tipos de aço ABNT	Composição química (%)							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Outros
316	0,080	2,00	1,00	0,045	0,030	16,00 a 18,00	10,00 a 14,00	Mo: 2,00 / 3,00
316L	0,030	2,00	1,00	0,045	0,030	16,00 a 18,00	10,00 a 14,00	Mo: 2,00 / 3,00

Devido a presença de molibdênio em suas composições químicas, os aços 316 e 316L são mais resistentes à corrosão por pite.

Dentre suas propriedades mecânicas, possuem elevada ductilidade e tenacidade e relativamente baixa resistência ao escoamento, resultando em uma taxa alta de deformação plástica. Referente às propriedades físicas, essas ligas apresentam baixa condutividade térmica e elevada expansão térmica, prejudicando a soldagem, causando maior distorção, quando comparado a aços inoxidáveis ferríticos ou martensíticos. Podem sofrer sensibilização quando expostos a elevadas temperaturas, tornando-os suscetíveis à corrosão intergranular quando inseridos em meios agressivos. Para atenuar esses efeitos, recomenda-se valores de C menores que 0,03% [38].

3.2O AÇO INOXIDÁVEL 316 E O AMBIENTE MARÍTIMO

Os aços inoxidáveis austeníticos são modelos de materiais que possuem altos teores de elementos de liga, como cromo e níquel em sua composição. Por possuírem elevados teores desses elementos apresentam diversas características, como por exemplo alta resistência mecânica e boa resistência a corrosão. Entretanto, existem algumas situações que podem provocar uma diminuição na resistência à corrosão desses aços, principalmente quando aplicados em meios agressivos [39].

Segundo Paredes [7], a ação corrosiva da água do mar não se resume apenas na ação da solução salina, mas em diversos fatores pois se trata de um meio corrosivo complexo repleto de matéria orgânica viva e em decomposição, gases dissolvidos e solução de sais. Isso contribui para a ação conjunta deste meio de corrosão.

A ocorrência de corrosão mais comum nesse meio é a localizada sob a forma de pites ou alvéolos, sobretudo em locais onde a água salgada esteja com pouca movimentação ou estacionária, com incrustações ou na presença de frestas no material, podendo ocorrer também a corrosão por frestas [7]. Através da Figura 23 é possível observar ao fundo da imagem um píer construído em 1940 que utilizava barras de aço inoxidável e em primeiro plano um píer construído em 1969 que usava barras de aço carbono, é possível notar o impacto que o segundo píer sofreu por não ser constituído de material compatível com o ambiente marítimo.



Figura 23 – Píer Progreso no México [40]

A corrosão por frestas ocorre quando há um detalhe no projeto ou uma falha durante a confecção do tanque produzindo uma fresta nessas regiões, dessa forma possibilita a existência de um depósito na superfície do material (por exemplo incrustações e sujeiras), que propicia a corrosão, pois com o passar do tempo o teor de oxigênio no interior da fresta é reduzido, causando uma concentração de H e com o passar do tempo o aumento da concentração de cloreto nessas frestas. Essa combinação torna o meio muito ácido, causando assim o aparecimento de corrosão. Como forma de prevenção, durante o projeto deve-se evitar cantos retos, preferindo os arredondados sempre que possível, projetar tanques de forma que o esvaziamento seja completo, sempre que possível e durante o projeto, evitar regiões estagnadas. A Figura 24 exhibe um exemplo de corrosão por frestas sofrido por um aço inoxidável [7].



Figura 24 - Corrosão por frestas em um aço inoxidável [37]

A corrosão por pites é uma corrosão localizada, semelhante à corrosão por frestas, porém sem a necessidade de uma fresta para que a corrosão aconteça. Ela é capaz de perfurar o material em um curto espaço de tempo, causando uma preocupação maior quando há indícios de sua presença nos materiais. A forma do pite é de um furo de diâmetro estreito, com a profundidade bem maior que o diâmetro. Ela ocorre facilmente em meios agressivos, por exemplo na atmosfera salina, e em condições estagnadas. A prevenção desse tipo de corrosão pode ser obtida aumentando a velocidade dos fluidos e durante o projeto evitando o aparecimento de áreas estagnadas, sempre que possível realizar um tratamento superficial com ácido nítrico com o objetivo de se criar um filme passivo resistente e uniforme, evitar contaminação com partículas de ferro ou aço carbono e evitar danos no filme passivo do próprio material. Pode-se visualizar como é apresentada a corrosão por pites nos aços inoxidáveis através da Figura 25 [7].

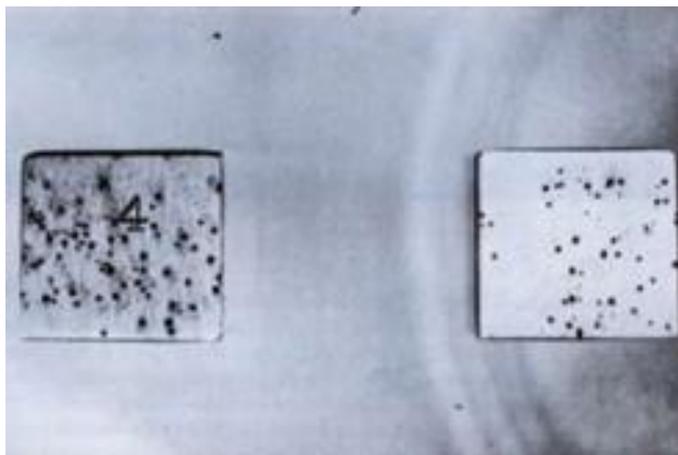


Figura 25 - Corrosão por pites em um aço inoxidável [37]

3.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Uma das principais vantagens do aço inoxidável 316L é a propriedade de manter a tenacidade em temperaturas baixas, sendo utilizado em diferentes áreas nas indústrias. Como esse material possui um elevado teor de Mo, apresenta boa resistência às corrosões por pite e fresta e por possuírem uma diminuição na adição de ferro, tornam essas ligas resistentes em diversos meios corrosivos [41].

Sua elevada resistência a corrosão é uma de suas características mais importantes para o meio em que será aplicado, pois oferece a garantia de que o conteúdo disponível no interior dos tanques de destanqueio não irão ultrapassar a parede do tanque causando danos graves ao ambiente e exposição dos trabalhadores ao ODM que é um composto extremamente tóxico.

Outra vantagem do 316L é sua durabilidade, podendo ser utilizado por muitos anos sendo necessário apenas as manutenções de acordo com o plano de utilização do tanque.

Uma desvantagem desse material se dá quando são empregados em temperaturas superiores a 425°C, causando a combinação do carbono e o cromo, originando a precipitação do carboneto de cromo (Cr_{23}C_6), ocorrendo preferencialmente nos contornos de grão e provocando o empobrecimento do cromo na superfície do material, gerando assim um fenômeno chamado de sensitização. Devido a sensitização, o material reduz a capacidade da formação da camada passiva, ficando suscetível a corrosão [37].

Uma outra preocupação em relação aos aços inoxidáveis 316L é o risco de sofrer a corrosão localizada (por pite ou aresta), caso haja o aparecimento de lacunas no filme passivo do material, poderá perder a coesão do filme passível e sofrer a corrosão localizada [37].

Por último, porém um dos fatores que mais pesam na comparação do aço inoxidável 316L em relação aos demais materiais e métodos disponíveis na fabricação de tanques é o elevado custo do material e de mão de obra para a fabricação de peças e equipamentos construídos por esse material.

3.4 RELAÇÃO ENTRE O AÇO CARBONO COM REVESTIMENTO DE ALUMÍNIO DEPOSITADO POR ASPERSÃO TÉRMICA E A ÁGUA SALGADA

A evolução dos revestimentos aplicados na engenharia permite que os novos materiais desenvolvidos possuam elevada resistência contra o desgaste, isolamento térmico e elétrico, além da proteção contra a corrosão que era a finalidade inicial da maioria dos projetos. O progresso da tecnologia envolvendo a aspersione térmica é devido a necessidade de estender a vida útil de peças e sistemas, reduzindo assim o custo de componentes para sua substituição [11].

Segundo Paredes [11], um fator que promoveu o desenvolvimento de revestimentos aplicados via aspersione térmica no Brasil se deu pela exploração do petróleo, pois é uma indústria que possui um meio extremamente agressivo, elevada concentração de enxofre, sendo necessário equipamentos fabricados de materiais com elevadas propriedades mecânicas para resistência nesses meios.

Para a seleção do material utilizado no revestimento e qual o método utilizado no processo de aspersione é necessário analisar as mudanças superficiais que possam ocorrer no ambiente em que esse material será instalado e em quais condições de trabalho esse material estará submetido [11].

A Figura 26 exibe de forma simplificada o método de aplicação de um determinado material via aspersione térmica, apresentando a correta posição da pistola durante o processo, em que o operador executa a atividade de forma manual.



Figura 26 - Exemplo de método de aplicação de aspensão térmica [11]

A escolha do alumínio para o revestimento é conveniente devido a sua capacidade de formar uma camada passiva, oferecendo uma resistência elevada a corrosão, principalmente quando aplicado a ambientes que apresentam atmosfera salina.

3.4.1 O Alumínio e e Ambiente Marítimo

Como já visto, o ambiente marítimo é fortemente agressivo, variando de acordo com fatores ambientais como quantidade de oxigênio, fluxo da água do mar e temperatura [17].

A resistência à corrosão do alumínio está diretamente ligada a capacidade de manter sua camada passiva, pois é esse filme óxido quem protege o material em meios agressivos. Dentro de uma determinada faixa de pH, esse filme é termodinamicamente estável [17]. O alumínio tem a capacidade de regenerar o filme óxido quando ele é parcialmente removido, porém, dependendo do ambiente em que este material está exposto essa regeneração (camada passiva) pode não ocorrer [15].

Segundo Santos [13], o alumínio puro possui uma região de passividade em meios aquosos que ocorre entre um intervalo de pH variando de 4 e 8,5. Fora dessa região o material começa a perder sua camada de proteção devida à alta solubilidade de seus óxidos em meios básicos e ácidos, possibilitando a corrosão localizada,

principalmente a corrosão por pites. A Figura 27 apresenta uma ilustração do processo de corrosão por pites em ligas de alumínio em ambientes marítimos.

Devida a baixa resistência mecânica do alumínio puro e pela faixa limitante da resistência à corrosão desse material em ambientes básicos e ácidos, é mais vantajosa a aplicação de ligas trabalhadas para o emprego em ambientes com atmosfera salina. Dentre as ligas trabalhadas a mais favorável para trabalho em esses ambientes são as ligas da série 5XXX, ligas de alumínio-magnésio (Al-Mg), garantindo maior resistência mecânica, resistência à corrosão e ductilidade. As ligas de Al-Mg com teores variando entre 4 e 5% são largamente utilizadas em estruturas marítimas [42]. Essas ligas não são endurecíveis por tratamentos térmicos, o aumento de sua resistência mecânica é realizado por solução sólida e encruamento.

A adição do magnésio, além de elevar a resistência do material, mantém a ductilidade e aumenta consideravelmente a resistência à corrosão e soldabilidade dessa liga, o que contribui positivamente na seleção dessa liga para a fabricação de tanques, pois possuem excelente trabalhabilidade. As ligas de Al-Mg mais utilizadas comercialmente são as 5052, 5154 e 5056 [43].

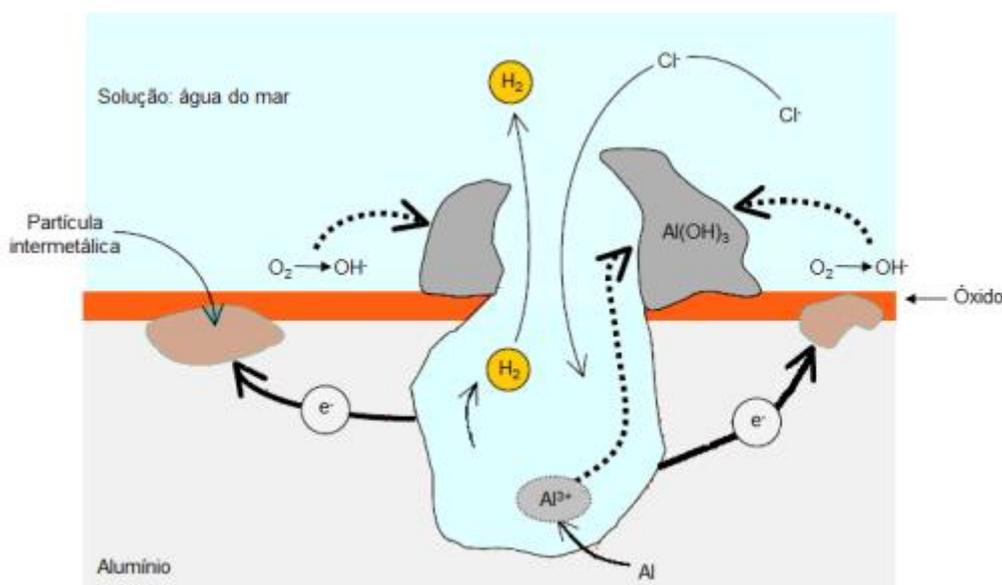


Figura 27 - Ilustração do processo de corrosão por pites em ligas de alumínio [15]

3.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO REVESTIMENTO DE ALUMÍNIO VIA ASPERSÃO TÉRMICA

Para análise das vantagens e desvantagens do revestimento de alumínio via aspersão térmica, serão apresentadas separadamente as características do material que será usado para o revestimento (alumínio) e o método utilizado.

O substrato que receberá o revestimento constitui de uma chapa de aço carbono ASTM 1020.

3.5.1 Vantagens / Desvantagens do Alumínio

Uma das principais desvantagens do alumínio é a sua baixa resistência mecânica, deixando-o inviável a diversas aplicações. Além de perder suas propriedades de resistência a corrosão em meios muito agressivos, tanto ácidos quanto básicos.

Como vantagens do alumínio, várias de suas características, como baixa densidade, tornando-o um material leve; elevada condutividade térmica e elétrica, boa resistência à corrosão sob atmosfera pouco agressiva. É utilizado em vários setores das indústrias, sendo aplicado desde estruturas em construções civis até embalagens de produtos alimentícios.

Uma forma de solucionar sua baixa resistência sem alterar a baixa densidade do alumínio é a inclusão de elementos de ligas. Dessa forma, é possível tornar o material mais duro por diferentes meios, sendo esses por tratamento térmico ou encruamento, variando de acordo com a família às quais essas ligas pertencem.

A liga selecionada para este estudo pertence à série 5XXX, que possui o magnésio como elemento de liga (em torno de 3 a 5% de Mg). A série 5XXX é bastante utilizada quando se deseja uma combinação entre resistência mecânica, ductilidade, boa soldabilidade e excelente resistência à corrosão.

Outra vantagem das ligas de alumínio é a capacidade de apresentar um excelente acabamento superficial, com baixa rugosidade, atenuando seu uso como revestimento para as mais variadas aplicações.

3.5.2 Vantagens / Desvantagens do Processo de Aspersão Térmica por Arco Elétrico (ASP – *Arc Spray Process*)

O processo de aspersão térmica por arco elétrico quando comparado a outros processos de AT possui aspectos atraentes, como alta eficiência, valores maiores de aderência e coesão, menores porosidades, atingem velocidades de partículas mais altas, o preparo da superfície do substrato é menos crítico e a microestrutura de depósito é mais consistente devido a maior simplicidade na regulagem do processo.

Um fator limitante dessa técnica sucede pela forma de atuação do processo, por não possuir uma fonte externa de calor, e o mesmo ser gerado através de arames carregados eletricamente com cargas opostas a fim de gerar um arco elétrico, necessitam que os materiais aplicados sejam condutores elétricos.

Por excederem o ponto de fusão dos materiais que serão aspergidos, uma desvantagem desse processo é o cuidado que se deve ter para que as composições químicas das ligas não se alterem devido à vaporização ou oxidação seletiva que alguns materiais possam obter.

Outro ponto importante a se considerar é o fato da AT ser um revestimento, caso haja um rompimento da superfície aspergida exibindo o substrato, ele estará exposto ao meio corrosivo, e deverá ser realizado um reparo nesse trecho com a superfície danificada.

3.6 RELAÇÃO ENTRE O AÇO CARBONO COM REVESTIMENTO A BASE DE TINTA EPÓXI E A ÁGUA SALGADA

Existem três formas nas quais a tinta à base de resina epóxi podem reduzir o índice de corrosão, que são por meio de barreira física, controlando a entrada de algum agente contaminante, segundo por meio de inibidores de corrosão, onde esses agentes atuam resistindo ao ataque de meios corrosivos e por último por meio de proteção catódica [19].

Para garantir a proteção necessária ao metal, é imprescindível que a aplicação ocorra de forma correta e que seja bem-sucedida, caso contrário, as propriedades mecânicas e químicas estarão comprometidas. O efeito causado por defeitos localizados por abrasão e desgaste podem ser potencializados causando o

aparecimento de bolhas ou empolamento, evidenciando os locais onde a tinta perdeu a aderência ao substrato e ao decorrer do tempo podem atuar como via para entrada de água, oxigênio e outros compósitos que podem causar a corrosão [19, 44].

Nunes [45], o revestimento formado a partir de resina epóxica oferece boa resistência química em relação a umidade e imersão em água, além de bom desempenho ao impacto, flexibilidade e aderência do filme formado.

Com o intuito de reforçar o desempenho dos revestimentos epóxi, é imprescindível a adoção de uma segunda fase, como por exemplo a incorporação de nanopartículas, que atuam em conjunto com a tinta oferecendo integridade e durabilidade ao revestimento. As nanopartículas, como são partículas extremamente finas, podem ocupar o lugar de defeitos e poros causados durante a aplicação do revestimento, além de impedir a degradação da resina epóxi durante a cura [19].

3.7 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO REVESTIMENTO A BASE DE TINTA EPÓXI

As resinas epóxi são formadas por um grupo bastante importante dentre as resinas utilizadas na composição das tintas, devido à sua ação protetiva, oferecendo alto desempenho e resistência química ao revestimento. Atuam como barreira protetiva entre o substrato e o meio corrosivo, contando com o mecanismo de formação de uma película, tornando-se o mais impermeável o possível [45].

Como fator positivo na utilização de revestimento a base de tinta epóxi, pode-se citar o valor mais atrativo em relação aos procedimentos citados anteriormente e a facilidade de encontrar tintas à base de resina epóxi disponíveis, além da mão de obra (que necessita ser qualificada) disponíveis nas indústrias especializadas em revestimentos por pintura.

Em contrapartida, trata-se de um revestimento que requer uma preparação rigorosa do substrato, da tinta e conta com etapas que devem ser seguidas corretamente para garantir o bom funcionamento do revestimento.

Além da necessidade de atenção ao preparo, outro fato que causa desvantagem aos revestimentos à base de tinta é o desgaste causado pelo ataque da radiação ultravioleta e a destruição da cadeia de polímeros que constituem o

revestimento, causando perda do brilho e da cor, aderência da película protetora e diminuindo relativamente o tempo de vida útil do revestimento.

Outro ponto importante a ser considerado é a importância do tempo de cura do revestimento, pois é bastante comum o aparecimento de bolhas quando aplicado a segunda camada (intermediária) pois não foram respeitados os procedimentos de aplicação.

A vantagem desse tipo de revestimento é a facilidade de identificação de defeitos causados pelos diversos agentes corrosivos. De acordo com a Figura 28, a primeira imagem (A) apresenta defeitos causados por enrugamento, a imagem B exibe o efeito relativo a sangramento, já a imagem C exibe um defeito bastante comum que são esfoliações no revestimento e a imagem D apresenta fissuras ou fendimento.

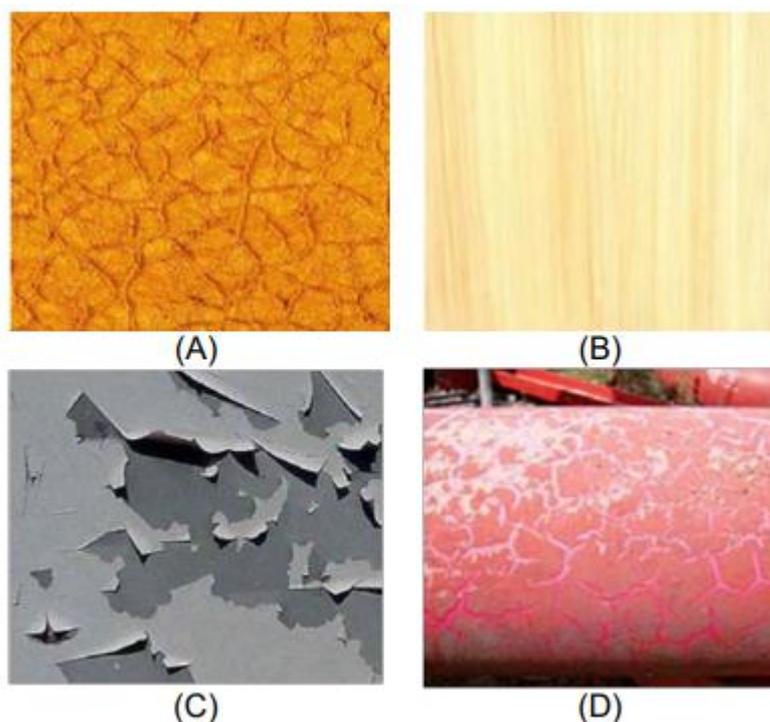


Figura 28 - Exemplos de defeitos de pintura [20]

Quando adicionadas nanopartículas na tinta epóxi é possível retardar o aparecimento de diversos destes defeitos, prolongando assim o tempo de vida útil do revestimento, garantindo um bom desempenho, desde que as etapas de preparo superficial, tempo de cura e tempo entre as camadas sejam seguidas corretamente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve o objetivo de demonstrar as opções disponíveis no mercado de materiais aptos para a fabricação de tanques de destanqueio para ODM (combustível utilizado pelos submarinos convencionais). Ao apresentar as opções de materiais para análise de compatibilidade, é possível observar que todas as opções são habilitadas para a fabricação deste equipamento.

As ligas de aço inoxidável 316L são amplamente utilizadas em meios salinos, possuindo elevada resistência à corrosão para esse tipo de ambiente. São capazes de manter as propriedades mecânicas em meios agressivos, transmitindo segurança para esta aplicação, pois as falhas desses tanques não causam apenas o prejuízo de perder o combustível, ela gera um enorme impacto para o ambiente ao redor das instalações, poluindo toda a área ao redor do vazamento, podendo contaminar todo um ecossistema, caso o ODM atinja o mar ou algum lençol freático.

Os tanques fabricados com aço carbono ASTM 1020 sendo revestido com alumínio via aspersão térmica pelo processo a arco elétrico possuem excelente resistência a corrosão, devido à liga Al-Mg escolhida para revestir a parede interior do tanque. Apresenta baixa porosidade, excelente adesão ao substrato (aço carbono ASTM 1020), é possível obter um excelente acabamento superficial (baixa porosidade), excelente relação entre resistência mecânica, ductilidade e boa soldabilidade. Seu uso é adequado para a fabricação dos tanques de destanqueio desde que mantenham uma rotina de inspeção na parede interna dos tanques para inspecionar a aparência do revestimento, a fim de prevenir falhas na superfície aspergida, deixando o substrato aparente, o que pode causar uma corrosão localizada e o colapso do equipamento, gerando os mesmos impactos ao meio ambiente mencionados anteriormente.

Já os tanques fabricados de aço carbono ASTM 1020 revestidos com tinta epóxi oferecem a opção com menor custo inicial, porém com maior preocupação quanto ao preparo da superfície do substrato (aço 1020), e cuidados em relação aos procedimentos de pintura. Mesmo com a adição de nanopartículas o que seria a opção mais adequada nesse caso, devido a importância da integridade da parede do tanque a fim de evitar danos irreparáveis, o uso desse revestimento ainda tem o custo menor do que os comparados anteriormente. O tempo de vida útil é um fator limitante desse

revestimento, sendo necessária avaliações constantes a fim de identificar possíveis danos na parede dos tanques, principalmente quando posicionados em locais com maior exposição à radiação ultravioleta.

Os materiais estudados neste trabalho apresentam benefícios para a construção dos tanques de destaqueio, são amplamente utilizados nas indústrias naval e *offshore* e possuem ótima relação entre as propriedades mecânicas e resistência à corrosão. O uso de cada material irá depender do projeto e especificações de cada projetista, porém podemos apontar as seguintes observações:

O aço inoxidável 316L é uma das opções mais seguras para a fabricação de tanques de destaqueio devido à sua elevada resistência à corrosão, além de características como alta resistência a fluência e ao calor e ter sua dureza elevada quando trabalhado a frio. Por formar uma camada passiva (devido à adição de cromo) e possuir elementos que favorecem o aumento da resistência a corrosão, como o níquel, o molibdênio e o manganês, não necessitam de revestimento para a proteção contra a oxidação. Porém seu elevado preço é uma das razões as quais os projetistas procuram materiais que podem substituir seu uso na fabricação dos projetos.

O aço revestido com alumínio via aspersão térmico é um desses materiais que podem substituir o aço inox 316L, pois o alumínio oferece grande resistência a corrosão e tem seu preço menor ao comparar com o inox 316L. A desvantagem se dá em relação ao método de aplicação, pois necessita de empresas capacitadas em realizar revestimento via aspersão térmica e cuidados na preparação do substrato e o método de aspersão que será utilizado.

Já o aço revestido com tinta epóxi se apresenta como opção de menor custo inicial dentre os métodos apresentados por esse estudo. A tinta epóxi é bastante difundida no mercado industrial nacional, tornando-a uma das opções mais interessantes, porém uma das com menor tempo de vida útil e que maior necessita de inspeções que as demais, pois devido à exposição solar seu brilho e aderência são reduzidas e podem ocorrer defeitos na pintura facilitando a ocorrência de corrosão na parede do tanque. Uma solução para reduzir este problema e prolongar a vida útil deste revestimento (e em consequência do tanque de destaqueio) é a utilização de nanopartículas que servirão para preencher falhas decorrentes da pintura e possíveis poros aparentes na camada inicial (primer).

O revestimento de alumínio via aspersão térmico, dentre as opções apresentadas por este projeto, é o que oferece melhor retorno pelo valor investido, pois o alumínio possui o custo menor quando comparado ao aço inox 316L, é capaz de manter suas características mecânicas em ambientes agressivos e, embora o método escolhido para aplicar este revestimento (aspersão térmica) necessite de mão de obra especializada, a aplicação do revestimentos por camadas oferece benefícios em uma futura manutenção, pois é possível utilizar este mesmo método para preencher com uma nova camada o local que apresentar possível imperfeição.

Para trabalhos futuros, as sugestões para o desenvolvimento são:

- Estudar outros materiais e métodos para a fabricação de tanques de destaqueio;
- Produzir amostras de cada material e simular a taxa de corrosão quando os mesmos estiverem em ambiente marítimo (usar solução salina para o estudo) verificando o comportamento dos materiais em imersão e em névoa salina;
- Realizar um estudo sobre o custo x benefício desses materiais selecionados, onde possa visualizar os principais dados para a seleção de um material.

Outro ponto de interesse nos trabalhos futuros seria apresentar um projeto de um tanque de destaqueio, apresentado características como dimensões, espessura da parede do tanque, espessura de cada camada de revestimento, quando aplicado, e tempo de vida útil projetado.

REFERÊNCIAS

- [1] PEREIRA, NEWTON NARCISO. **ÁGUA DE LASTRO: GESTÃO E CONTROLE**. Blücher, São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/openaccess/9788580393064/completo.pdf>>. Acesso em maio de 2022.
- [2] PETROBRÁS. **Combustíveis Marítimos, Informações Técnicas**. Disponível em: <https://petrobras.com.br/data/files/02/83/FA/2C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/Manual_Combustiveis_Maritimos_2021.pdf>. Acesso em fevereiro de 2022.
- [3] POC FILTROS. **Água no diesel: Problemas e soluções!** Disponível em: <<https://www.pocfiltros.com.br/blog/agua-no-diesel-problemas-e-solucoes/>>. Acesso em fevereiro de 2022.
- [4] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7821 - Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo e Derivados**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5278/abnt-nbr7821-tanques-soldados-para-armazenamento-de-petroleo-e-derivados>>. Acesso em fevereiro de 2022.
- [5] API – American Petroleum Institute. **API 650: Welded Steel Tanks for Oil Storage**. Disponível em: <<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/api.650.2007.pdf>>. Acesso em janeiro de 2022.
- [6] CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. ABM, 6ª edição, São Paulo, 1988.
- [7] PAREDES, Ramón S. Cortés. **AÇOS INOXIDÁVEIS: METALURGIA E SOLDABILIDADE**. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM315/Conte%FAdos%20/CURSO%20DE%20A%C7OS%20INOXID%C1VEL%20Atualizado.doc.pdf>>. Acesso em março de 2022.

[8] SEU POSTO. **Tanque aéreo para Combustíveis 1000 Litros em Aço Inox.** Disponível em: <<https://www.seuposto.com/n7zd62p2o-tanque-aereo-para-combustivel-1000-litros>>. Acesso em janeiro de 2022.

[9] SANTOS, João de Jesus dos. **Estudo Experimental de Ligações Aparafusadas de Aço Inoxidável Submetidas à Tração.** Orientador: Prof. Sebastião A. Lopes de Anfrade; Prof. Pedro Colmar G. Silva Vellasco; Prof. Luciano R. Ornelas de Lima. 2014. 261 p. Tese (Doutor em Engenharia Civil) - Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/biblioteca/php/mostrateses.php?open=1&arqtese=0912759_2014_Indice.html>. Acesso em agosto de 2022.

[10] BERALDO, Camila Haga. **EFEITO DA TEMPERATURA DE ENVELHECIMENTO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PITE DO AÇO INOXIDÁVEL MARTENSÍTICO ENDURECIDO POR PRECIPITAÇÃO UNS S46500.** Orientador: Profa. Dra. Neusa Alonso-Falleiros. 2013. 107 p. Dissertação (Mestre em Ciências em Engenharia Metalúrgica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-15102014-163925/publico/Dissertacao_v13.pdf>. Acesso em julho de 2022.

[11] PAREDES, Ramón S. Cortés. **ASPERSÃO TÉRMICA.** Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM734/Material%20de%20AT%20para%20divulgar/Apostila%20Aspers%E3o%20T%E9rmica%202012.pdf>>. Acesso em março de 2022.

[12] BUGARIN, Aline de Fátima Santos. **ESTUDO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DAS LIGAS DE ALUMÍNIO 2024-T3 E 7475-T651 SOLDADAS POR FRICÇÃO E MISTURA (FSW).** Orientador: Profa. Dra. Isolda Costa. 2017. 119 p. Dissertação (Mestre em Ciências na área de Tecnologia Nuclear - Materiais) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, 2017. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-26102017-141238/publico/2017BugarinEstudo.pdf>>. Acesso em junho de 2022.

[13] SANTOS, Wagner Izaltino Alves dos. **CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE LIGAS DE ALUMÍNIO APÓS TRATAMENTOS ALTERNATIVOS À CROMATIZAÇÃO, COM REVESTIMENTO ORGÂNICO**. Orientador: Profa. Dra. Isolda Costa. 2011. 120 p. Dissertação (Mestre em Ciências na área de Tecnologia Nuclear - Materiais) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-01072011-132755/publico/2011SantosCaracterizacao.pdf>. Acesso em junho de 2022.

[14] EEL-USP. Escola de Engenharia de Lorena. **Metais Não Ferrosos**. Disponível em: https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/471420/LOM3022/MIQ_Parte3_2019.pdf. Acesso em maio de 2022.

[15] ABREU, Caio Palumbo de. **Caracterização da reatividade das ligas de alumínio AA2024-T3 e AA7475-T651 soldadas por fricção (FSW)**. Orientador: Profa. Dra. Isolda Costa, Prof. Dr. Vincent Vivier. 2016. 181 p. Tese (Doutor em Ciências na área de Tecnologia Nuclear - Materiais) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, 2016. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-27012017-131108/publico/2016AbreuCaracterizacao.pdf>. Acesso em junho de 2022.

[16] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 209:2010 – Alumínio e suas ligas – Composição química**. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?Q=d2JGMnJmVlhFSm1YMjVodGk0SmFsUFloU2o5MjcwR2pacWZjNHNrajVKOD0=>>. Acesso em fevereiro de 2022.

[17] MENEZES, Dayanne Dutra de. **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE REVESTIMENTOS DE ALUMÍNIO APLICADOS PELAS TÉCNICAS DE ARCO ELÉTRICO E CHAMA CONVENCIONAL, EM MEIO CLORETO**. Orientador: Lúcio Sathler. 2007. 178 p. Tese (Doutor em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://www.metalmat.ufrj.br/index.php/br/pesquisa/producao-academica/teses/2007/46--37/file>. Acesso em junho de 2022.

[18] MARANHO, Ossimar. **INFLUÊNCIA DA PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE NA ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS DE ALUMÍNIO DEPOSITADOS POR ASPERSÃO TÉRMICA A CHAMA**. Orientador: Prof. Dr. Augusto J. A. Buschinelli, Prof. PhD. Alberto A. de Queiroz. 1996. 140 p. Tese (Mestre em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 996. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/158082>>. Acesso em junho de 2022.

[19] SANT'ANNA, Laura Gomes. **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS MISTURAS DA RESINA EPOXÍDICA E POLIANILINA NA AÇÃO ANTICORROSIVA EM AÇO CARBONO**. Orientador: Rosane Aguiar da Silva San Gil; Bluma Guenther Soares; Victor Solymossy. 2012. 87 f. Dissertação (Químico com Atribuições Tecnológicas) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/6061/1/Laura%20Gomes%20Sant%27Anna.pdf>>. Acesso em outubro de 2022.

[20] CAMARGO, Joyce Braga. **COMPATIBILIDADE ENTRE TINTAS INDUSTRIAIS: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE QUÍMICA NO TREINAMENTO DE EQUIPES DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL DO SETOR ELÉTRICO**. Orientador: D.Sc Fernanda Arruda Nogueira Gomes da Silva; D.Sc Alberto Pires Ordine. 2017. 96 f. Dissertação (Licenciado em Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/6746/1/Joyce%20Braga%20Camargo.pdf>>. Acesso em: novembro de 2022.

[21] DOS SANTOS, IDALBA SOUZA. **INFLUÊNCIA DA PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE NO DESEMPENHO DE TINTAS DE FUNDO APLICADAS A ESTRUTURAS MARÍTIMAS SOB PROTEÇÃO CATÓDICA**. Orientador: D.Sc Ladimir José de Carvalho; D.Sc Simone Louise D. C. Brasil. 2018. 96 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://objdig.ufrj.br/61/dissert/864404.pdf>>. Acesso em: novembro de 2022.

[22] CASTRO, Mauro Muniz de. **CORROSÃO EXTERNA EM FUNDO DE TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE PETRÓLEO E DERIVADOS**. Orientador: Prof. D. Sc. Fernando Benedicto Mainier, Prof. D. Sc. Miguel Luiz Ribeiro Ferreira. 2018. 103 p. Tese (Mestre na Área de Concentração Montagem Industrial.) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018. Disponível em: <<http://mpmontagem.uff.br/wp-content/uploads/sites/148/2020/08/Mauro-Muniz-de-Castro-Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em junho de 2022.

[23] PROTEGO. **Parques de tancagem para refinarias e instalações de processamento químico**. Disponível em: <https://www.protego.com/pt_br/produtos/exemplos-praticos/parques-de-tancagem-para-refinarias-e-instalacoes-de-processamento-quimico.html>. Acesso em julho de 2022.

[24] ZAUPA, Júlio César. **DESEMPENHO ANTICORROSIVO DO REVESTIMENTO DA LIGA ALUMÍNIO-70% ZINCO-30% ASPERGIDO SOBRE AÇO CARBONO 1020**. Orientador: Prof. Dr. Ramón Sigifredo Cortés Paredes, Prof. Dr. José Maurílio da Silva. 2020. 127 p. Tese (Mestre em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/70097/R%20%20D%20%20JULIO%20CESAR%20ZAUPA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em junho de 2022.

[25] SANTOS, Joyce Emanuelle Torres dos. **Proteção contra corrosão de metais empregados em tanques de armazenamento de combustíveis**. Orientador: Profa. Dra. Aline Capella de Oliveira. 2019. 34 p. Dissertação (Bacharel em Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São José dos Campos, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.unifesp.br/bitstream/handle/11600/51918/TCC%20Joyce%20Torres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em julho 2022.

[26] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 17505 - Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/20631/abnt-nbr7505-1->

armazenagem-de-liquidos-inflamaveis-e-combustiveis-parte-1-armazenagem-em-tanques-estacionarios>. Acesso em julho de 2022.

[27] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15776 - Seleção dos componentes e instalação do sistema de armazenamento aéreo de combustíveis (SAAC)**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/13080/identificar/visitante>>. Acesso em julho de 2022.

[28] ADNORMAS. **NBR15776-1 de 07/2021**. Disponível em: <<https://www.adnormas.com.br/anuncie/normas-tecnicas/41303/abnt-nbr15776-1-armazenamento-de-liquidos-inflamaveis-e-combustiveis-parte-1-selecao-de-equipamentos-e-infra-estrutura-para-sistemas-de-armazenamento-aereo-de-combustiveis-saac>>. Acesso em junho de 2022.

[29] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15461 - Tanque aéreo atmosférico de aço - Requisitos de fabricação e métodos de ensaios**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/26125/abnt-nbr15461-tanque-aereo-atmosferico-de-aco-requisitos-de-fabricacao-e-metodos-de-ensaios>>. Acesso em julho de 2022.

[30] METAL CRUZADO ENGENHARIA. **TANQUES NBR 15461**. Disponível em: <<https://www.metalcruzado.com.br/nbr15461>>. Acesso em junho de 2022.

[31] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16161 - Tanque metálico jaquetado subterrâneo - Requisitos de fabricação e de modulação**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/32895/identificar/visitante>>. Acesso em julho de 2022.

[32] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14973 - Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Desativação, remoção, destinação e preparação de tanques subterrâneos e dos outros componentes do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC)**. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=V3ZOUjNKNG1nWjdTUW4wR29vSTdnekl5MytraHFGMGpFc2ZQYUErUVhHaz0=>>>. Acesso em julho de 2022.

[33] CONTEC - COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA (Brasil). PETROBRAS. Norma Técnica; dezembro de 2012. **N-13: Requisitos Técnicos para Serviços de Pintura.** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<https://abraco.org.br/src/uploads/2020/05/N-13-REV.-K.pdf>>. Acesso em: novembro de 2022.

[34] CONTEC - COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA (Brasil). PETROBRAS. Norma Técnica; agosto de 2012. **N-2912: Tinta Epóxi “Novolac”.** Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<https://abraco.org.br/src/uploads/2020/07/N-2912.pdf>>. Acesso em: novembro de 2022.

[35] CONTEC - COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA (Brasil). PETROBRAS. Norma Técnica; outubro de 2012. **N-2913: Revestimentos Anticorrosivos para Tanque, Esfera e Cilindro de Armazenamento.** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://abraco.org.br/src/uploads/2020/05/N-2913-REV.-A.pdf>. Acesso em: novembro de 2022.

[36] PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. **FISPQ - Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico – ÓLEO DIESEL MARÍTIMO.** Disponível em: <<https://www.vibraenergia.com.br/sites/default/files/pdfs/fispq-oleodiesel-maritimo-a.pdf>>. Acesso em junho de 2022.

[37] ARCELORMITAL. **Aços Inoxidáveis: aplicações e especificações.** Disponível em: <<http://guides.com.br/home/wp-content/uploads/2011/12/inonx-apost-tec.pdf>>. Acesso em julho de 2022.

[38] SUMAN, Roberto. **ESTUDO DA CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL 316 EM MEIO DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO.** Orientador: Prof. Leandro Rosa dos Santos. 2010. 31 p. Dissertação (Tecnólogo em Processo Metalúrgico) - Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.uezo.rj.gov.br/tccs/capi/RobertoSumam.pdf>>. Acesso em julho de 2022.

[39] SOUZA, Francielly Moura de; SANTIAGO, Renato; SANTANA, Ana Isabel de Carvalho. **Observação do efeito da concentração de Cloreto e do PH do meio oxidante sobre os processos corrosivos nos aços AISI 304 e 316.** INTERCORR2016, Búzios - RJ, 19 maio 2016. Disponível em: <https://abraco.org.br/src/uploads/intercorr/2016/INTERCORR2016_193.pdf>. Acesso em julho de 2022.

[40] RESEARCHGATE. **Progreso Pier, Mexico – the pier in the background was constructed in 1940 and used stainless steel reinforcing bar whereas the pier in the foreground was constructed in 1969 and used carbon steel reinforcing bar (Courtesy of the Nickel Institute).** Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Progreso-Pier-Mexico-the-pier-in-the-background-was-constructed-in-1940-and-used_fig1_301279143>. Acesso em janeiro de 2023.

[41] BOTTON, Tatiana. **ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO EM MEIO ÁCIDO E EM MEIO CONTENDO CLORETO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS UNS S44400, UND S30403 E UNS S31603, OBTIDOS POR LAMINAÇÃO A QUENTE.** Orientador: Profa. Dra. Neusa Alonso-Falleiros. 2008. 160 p. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-15082008-101752/fr.php>>. Acesso em julho de 2022.

[42] CENTEC – Centro de Engenharia e Tecnologia Naval e Oceânica. **Tecnologia Naval – Parte III - Materiais Metálicos.** Disponível em: <<http://www.mar.ist.utl.pt/jgordo/tecnave/TN-C3.pdf>>. Acesso em julho de 2022.

[43] INFOMET. **Metais & Ligas | Alumínio | Informações Técnicas.** Disponível em: <<https://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=53>>. Acesso em julho de 2022.

[44] NUNES, KAREN GIOVANAZ. **ESTUDO DE INIBIDORES ALTERNATIVOS DE CORROSÃO À BASE DE TANINOS, APLICADOS EM TINTA EPÓXI COMERCIAL.**

2021. 49 f. Dissertação (Química Industrial) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/222743/001126459.pdf?sequencia=1>>. Acesso em: dezembro de 2022.

[45] PEREIRA, Cátia Sofia Nunes. **Análise da qualidade e do comportamento anticorrosivo de tintas por Espectroscopia de Impedância Eletroquímica**. 2021. 134 f. Relatório de Estágio de Mestrado (Mestrado de Métodos Avançados e Acreditação em Análise Química) - Universidade do Porto, Porto, 2021. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/139223/2/526040.pdf>>. Acesso em: dezembro de 2022.