



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
QUÍMICA INDUSTRIAL

**ABORDAGEM TEÓRICA DA APLICAÇÃO DE RESINA EPÓXI  
NA RESISTÊNCIA ANTICORROSIVA NA SUPERFÍCIE  
METÁLICA DE AÇO CARBONO**

**BRUNA PAULA DE OLIVEIRA**

CAMPINA GRANDE – PB

2017

**BRUNA PAULA DE OLIVEIRA**

**ABORDAGEM TEÓRICA DA APLICAÇÃO DE RESINA EPÓXI  
NA RESISTÊNCIA ANTICORROSIVA NA SUPERFÍCIE  
METÁLICA DE AÇO CARBONO**

*Trabalho de Conclusão de  
Curso (TCC) apresentado  
como exigência para obtenção  
do Título de Bacharel em  
Química Industrial pela  
Universidade Estadual da  
Paraíba – UEPB*

**Orientadora: Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz**

CAMPINA GRANDE – PB

2017

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

O48a Oliveira, Bruna Paula de.

Abordagem teórica da aplicação de Resina Epóxi na resistência anticorrosiva na superfície metálica de aço carbono [manuscrito] / Bruna Paula de Oliveira. - 2017.

56 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.

"Orientação: Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Aços-carbono. 2. Revestimentos protetores. 3. Anticorrosivo. 4. Tintas Epóxis. I. Título.

21. ed. CDD 667.9

**BRUNA PAULA DE OLIVEIRA**

**ABORDAGEM TEÓRICA DA APLICAÇÃO DE RESINA EPÓXI  
NA RESISTÊNCIA ANTICORROSIVA NA SUPERFÍCIE  
METÁLICA DE AÇO CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
(TCC) apresentado como exigência  
para obtenção do Título de Bacharel  
em Química Industrial pela  
Universidade Estadual da Paraíba -  
UEPB

Aprovado em: 17/08/2017

**BANCA EXAMINADORA**

Márcia Ramos Luiz

Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz  
(Orientadora - DESA / UEPB)

Neyllane Costa de Souza

Profa. Dra. Neyllane Costa de Souza  
(Examinadora - DESA / UEPB)

José Arimateia Nóbrega

Prof. Dr. José Arimateia Nóbrega  
(Examinador - DQ / UEPB)

Campina Grande - PB

2017



## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho e toda sua jornada especialmente a Deus.

Aos meus pais, Paulo e Maria, por me permitirem realizar essa conquista e pelo apoio incondicional em toda minha caminhada.

Ao meu amigo e amado irmão Bruno por sua fidelidade e companheirismo em todas minhas decisões e parceria comigo.

Deem graças ao Senhor porque ele é bom;  
O seu amor dura para sempre.

Salmos 107:1

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por suas graças e benignidade que me proporcionou e continua proporcionando, dando-me o sustento e sabedoria no decorrer de toda a minha caminhada.

Aos meus pais e irmão por toda força, dedicação, paciência, confiança e apoio. Amo vocês.

A minha orientadora Márcia Ramos Luiz, por sua paciência, dedicação, cumplicidade e capacidade intelectual na realização do trabalho.

Ao meu namorado Carlos Henrique, pela dedicação incansável e todo afeto.

Aos meus familiares e amigos que me ajudaram direto e indiretamente, e aos colaboradores da empresa Vão Livre por sua participação no assunto.

Agradeço em especial a banca examinadora Neyliane Costa e José Arimatéia por sua participação, presteza e fineza para conclusão dessa etapa tão importante na minha vida.

## RESUMO

Os perfis de estruturas metálicas são ligas ferrosas de aço-carbono mais empregados na construção mecânica, devido suas características e propriedades aos quais são utilizados. Os aços-carbono estão sujeitos a apresentarem corrosividade, caso não passem por um tratamento superficial adequado, pois está diretamente ligado ao meio. Os revestimentos protetores tendem a diminuir ou inibir a degradação de agentes corrosivos da estrutura. As tintas anticorrosivas são revestimentos orgânicos de menor custo e mais utilizados. As tintas epóxis são grupos de tintas nobres eficazes que apresentam maior resistência mecânica, térmica e química por barreira entre o substrato metálico e o meio, além dos efeitos estéticos, durabilidade e alto poder de aderência. O objetivo desse trabalho é realizar um levantamento no que diz respeito à aplicação de resina epóxi na resistência anticorrosiva de superfície metálica de aço-carbono com uma breve revisão da literatura. Propõe a apresentação de um estudo de caso que mostra que o aço-carbono deve passar por uma adequada limpeza e preparação para não prejudicar o desempenho da proteção anticorrosiva, pois é um fator importantíssimo na aderência e no esquema de pintura.

Palavras-chave: Aços-carbono; Revestimentos; Anticorrosivo; Tintas Epóxis.

## ***ABSTRACT***

The profiles of metal structures are ferrous alloys of carbon steels most used in the mechanical construction, their characteristics and properties for which they are used. Carbon steels are subject to a condition to corrode, which is not passing through an appropriate surface treatment, since it is attached to the medium. The inks Epoxies are groups of effective nobles that have higher mechanical strength, chemical and thermal barrier between the metallic substrate and the environment, as well as the aesthetic effects, durability and high power grip. The objective of this work is to conduct a survey with respect of application of epoxy resin in the anticorrosive resistance of metallic surface of carbon steels with a brief review of the literature. Proposes the presentation of a case study that shows that the carbon-steel must go through a proper cleaning and preparation so as not to harm the performance of corrosion protection, because it is a very important factor in the grip and the paint scheme.

Keywords: Carbon steel; Coatings; Anticorrosive; Inks Epoxies.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pilha de Minério de Ferro Lavado e Triturado em Serra Azul, MG. .	32
Figura 2 – Usina Siderúrgica - Alto Forno. ....	33
Figura 3 – Alto Forno. ....	33
Figura 4 – Ferro <i>Gusa</i> Derretido. ....	34
Figura 5 – Cadinho de Fundição do Ferro <i>gusa</i> . ....	34
Figura 6 – Despejo da Fundição do Aço em Cadinhos. ....	34
Figura 7 – Produção de Lingotes. ....	35
Figura 8 – Refino do Aço em Fornos – Aciaria. ....	35
Figura 9 – Ciclo dos Metais. ....	36
Figura 10 – Reação Espontânea da Corrosão no Meio. ....	37
Figura 11 – Efeito de Alternância Molhado e Seco no Aço. ....	39
Figura 12 – Corrosão Química. ....	39
Figura 13 – Corrosão Eletroquímica. ....	40
Figura 14 – Comparação de Perfis de Rugosidade. ....	46
Figura 15 – Medidor de Perfil de Rugosidade. ....	46
Figura 16 – Granalha de Aço <i>Steel Shot</i> . ....	47
Figura 17 – Representação Estrutural da Poliamida. ....	53
Figura 18 – Fluxograma Geral de Fabricação das Tintas Líquidas. ....	54
Figura 19 – Produção de Tinta em Pó para Revestimentos Industriais. ....	55
Figura 20 – Sistema de Revestimento. ....	57
Figura 21 – Tempo de Indução de Aplicação das Tintas. ....	59

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	24
1.1 – OBJETIVOS .....	25
1.1.1 – Objetivo Geral.....	25
1.1.2 – Objetivos Específicos .....	25
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	26
2.1. MINÉRIO DE FERRO .....	26
2.2. LIGAS METÁLICAS .....	27
2.3. METAIS FERROSOS .....	28
2.4. AÇO.....	28
2.4.1. Classificação dos Aços quanto ao Teor de Carbono.....	29
<b>2.4.1.1. Aços de baixo teor de carbono</b> .....	29
<b>2.4.1.2. Aços de médio teor de carbono</b> .....	30
<b>2.4.1.3. Aços de alto teor de carbono</b> .....	30
2.4.2. Classificação dos Aços quanto ao Processamento.....	30
2.4.3. Classificação dos Aços quanto a Aplicação .....	31
2.5. PRODUÇÃO DOS AÇOS .....	31
2.6. CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS.....	36
2.6.1. Meios Corrosivos .....	38
2.6.2. Classificação de Corrosões nas Estruturas Metálicas .....	39
2.6.3. Formas de Corrosão .....	40
2.7. TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO AÇO .....	41
2.8. PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS-CARBONO .....	41
2.8.1. Superfície Metálica .....	42
2.8.2. Tratamento Anticorrosivo e Acabamento de Estruturas Metálicas .....	42
2.8.3. Revestimentos Protetores.....	42
2.8.4. Revestimentos Metálicos .....	42

	23
2.8.5. Revestimentos Não Metálico Inorgânicos .....	43
2.8.6. Revestimentos Orgânicos .....	43
2.9. PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE METÁLICA E CONTAMINANTE .....	43
2.10. MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE METÁLICA .....	44
2.10.1. Limpeza de Peças Manual, Mecânica e por Ação Físico-química.....	44
2.10.2. Limpeza de Peças por Jateamento.....	45
2.11. INSPEÇÃO DE RUGOSIDADE.....	45
2.11.1. Abrasivo – Granalha de Aço .....	47
2.12. TINTAS .....	47
2.12.1. História da Tinta.....	48
2.12.2. Composição das Tintas Líquidas Industriais.....	49
<b>2.12.2.1. Veículo - Solventes .....</b>	<b>49</b>
<b>2.12.2.2. Veículo - Resina Epóxi.....</b>	<b>50</b>
<b>2.12.2.3. Pigmentos.....</b>	<b>52</b>
<b>2.12.2.4. Aditivos.....</b>	<b>52</b>
2.12.3. Processo de Fabricação das Tintas Líquidas e em pó .....	54
2.12.4. Tipos e aplicações das Tintas .....	56
2.12.5. Mecanismo de Proteção Anticorrosiva .....	57
2.12.6. Cores na Pintura Industrial .....	58
2.12.7. Preparação da Tinta.....	58
<b>2.12.7.1. Mistura, Homogeneização e Diluição da Tinta .....</b>	<b>58</b>
<b>2.12.7.2. Tempo de Indução e Temperatura de Aplicação .....</b>	<b>59</b>
2.13. IMPACTOS AMBIENTAIS.....	60
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>63</b>
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O homem descobriu o aço, liga de ferro e carbono e dele conseguiu obter características diferenciadas, como elevada dureza, através do aumento da velocidade de resfriamento das ligas ou trabalhando com aços de teores de carbono mais elevados, concluindo que esses fatores modificam as propriedades dos aços (VALE, 2011). Os aços ao serem utilizados, passam por determinados tratamentos superficiais para melhoria estética e protetora.

As superfícies metálicas deverão antes do tratamento da limpeza mecânica, ser lavada com água e tensoativos, esfregando com escova e secadas com ar comprimido isento de óleos, pois a remoção com jateamento de abrasivo: granalha de aço, não elimina todas as impurezas. O jateamento é uma operação com impacto de partículas impelidas e em alta velocidade contra uma superfície pré-tratada. Esse processo confere rugosidade e limpeza mais precisa (PANNONI, 2015). A rugosidade de uma estrutura metálica é um fator importante para aderência ideal e duradoura de um revestimento.

Entre os revestimentos anticorrosivos no processo da pintura industrial, os orgânicos são os principais, pois consiste na interposição de uma camada orgânica entre a superfície metálica e o meio corrosivo e permitem determinadas características como um bom poder de cobertura, secagem e cura, além da facilidade de aplicação e economia é aderente e possui ótimas propriedades mecânicas (PINHEIRO e SILVA, 2015).

O esquema de pintura se inicia desde a fase do projeto até a aplicação da última demão de tinta de acabamento.. Ao se especificar o esquema de pintura, tem por objetivo um bom desempenho contra o meio corrosivo (QUINTELA, REIS e GARRIDO, 2002).

As resinas epóxi são bastante utilizadas como *primer* (primárias ou tintas de fundo são tintas especiais com pigmentos anticorrosivos colocadas como primeira demão de tinta sobre o substrato metálico para proteção por barreira contra o meio), por se tornar impermeáveis após a cura devido ao mecanismo de polimerização térmica ou de condensação na formação da película da tinta e ao ser associado aos pigmentos anticorrosivos aumenta a resistência do substrato (LEITINHO, 2005).

As tintas são materiais muito frágeis, que não permitem que ocorra qualquer tipo de erro ao ser manuseado, podendo sofrer inutilização do



conteúdo. Deve ser controlada a viscosidade de uma tinta e respeitada as indicações de proporcionalidade ministradas pelo fornecedor para um bom sistema de pintura (CARDOSO, 2009).

Ao se tratar de pintura deve ser considerado processos de revestimentos de tratamento superficial com alterações na composição química e propriedades dos materiais como os tratamentos termoquímicos, consistindo em submeter as peças metálicas ao calor em um meio apropriado e o tempo desse processo, aumentando a dureza e a resistência ao desgaste contra a corrosão, ao mesmo tempo mantendo dúctil e tenaz o núcleo do material (ZOLIN, 2010).

## 1.1 – OBJETIVOS

### 1.1.1 – Objetivo Geral

Realizar um levantamento da literatura no que diz respeito à aplicação de resina epóxi na resistência anticorrosiva na superfície metálica de aço-carbono.

### 1.1.2 – Objetivos Específicos

- Abordar e classificar as diferenças entre os teores de carbono no aço para determinadas propriedades.
- Mostrar as formas de corrosão, os meios corrosivos e as operações que dão características ao aço-carbono.
- Realizar uma pesquisa bibliográfica sobre os fundamentos teóricos da Resina Epóxi e suas finalidades e aplicações nos aços carbono para proteção anticorrosiva.
- Apresentar uma discussão com um artigo, no qual foi usada a Resina Epóxi de acordo com o proposto.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. MINÉRIO DE FERRO

O ferro é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, sendo utilizado pelo homem desde 1200 a.C. na Europa e no Oriente Médio (VIEIRA, 2009). São encontrados no subsolo ou expostos formando verdadeiras montanhas (LOPES, 2015).

Na pré-história era considerado de origem meteórica, pois as civilizações achavam que vinha do céu e eram sagrados. Os malaios acreditavam em uma bola “sagrada” de ferro e os povos *dayaks de Sarawak* (Etnia de povos que se localiza na malásia) acreditavam que eram “pedras” e refletiam o que ocorria na terra e nas almas dos doentes. Na idade do ferro, o minério era colocado em buracos no solo e aquecido e o ar insuflado manualmente facilitava a queima do carvão. A partir dessa técnica era obtido um material facilmente moldável, constituído basicamente por ferro metálico (MEDEIROS, 2010).

Diversos minérios têm ferro como componente essencial, mas somente os óxidos apresentam grandes concentrações. Os principais minerais que o contêm são: hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), goethita ( $\text{FeO}/\text{OH}$ ), pirita ( $\text{FeS}_2$ ), limenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) e siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) (PEREIRA, 2012).

As Formações Ferríferas Bandadas (FFB) constituem grandes depósitos de compostos de minerais de sílica e ferro originados da precipitação química e por ação da natureza produzindo uma nova textura na rocha modificada denominado de metamorfismo, ainda mais rico em ferro. No Brasil, esses depósitos são denominados itabiritos e nas explorações de fins comerciais tem-se os grupos dos minérios itabirítico e hematítico e são classificados pelo teor de mineral e textura (CARVALHO *et al.*, 2014).

A produção de minério de ferro no Brasil se desenvolveu em minas a céu aberto. O minério bruto após o beneficiamento gera produtos com classificação granulométrica acima de 6,3 mm, utilizados diretamente nos altos fornos e os finos passam por processos de aglomeração (sinterização e pelotização), para posteriormente serem adicionados nos fornos de redução. A comercialização do ferro depende das características físicas (tamanho das

partículas) e químicas correspondentes aos teores do ferro e impurezas no minério (PEREIRA, 2012).

## 2.2. LIGAS METÁLICAS

As ligas metálicas são materiais que contém mais de um elemento e tem propriedades características dos metais (BROWN, LEMAY e BRUCE, 2005). São misturas homogêneas em que pelo menos um é metal; a plasticidade associada a uma boa resistência permite que tenham grande aplicação estrutural (ZOLIN, 2010).

Quando uma mistura de dois metais é aquecida ou quando é misturado a outro elemento não metálico, podem ser formados compostos iônicos, uma liga intersticial e uma liga substitucional resultando em uma simples mistura e para que ocorra depende da natureza química, dos elementos envolvidos e dos tamanhos relativos dos átomos metálicos e adicionais. Como a maioria dos metais é um retículo compacto de átomos ou íons esféricos, existem muitos interstícios. Se o elemento adicionado tiver átomo pequeno, ele se acomoda sem alterar a estrutura do metal (LEE, 1999).

As estruturas das ligas são mais complicadas que as do metal puro, porque elas são formadas por dois ou mais tipos de átomos de metal com raios diferentes. Os átomos de carbono são muito menores do que os de ferro e podem substituí-los no retículo cristalino, pois são tão pequenos que podem se acomodar nos interstícios do retículo do ferro. O material resultante é a liga intersticial, onde o raio do elemento que é o soluto deve ser inferior a 60% do raio do elemento hospedeiro. Os átomos intersticiais interferem na condutividade elétrica e no movimento do átomo que forma o retículo, esse movimento restrito torna a liga mais dura e mais forte do que o metal hospedeiro puro (ATKINS e JONES, 2007).

Uma desvantagem das ligas metálicas é a de ser suscetível a corrosão (LOPES, 2015). O ferro apresenta baixo custo quando comparado a outros metais de ligas metálicas de alta resistência mecânica (MEDEIROS, 2010). O ferro é um dos constituintes mais importantes na produção do aço (ADRIANO, 2010).

### 2.3. METAIS FERROSOS

Um material metálico é considerado ferroso quando é ligado um ferro com carbono e outros elementos. É dito aço quando a quantidade de carbono presente no metal for menor que 2% (AVANZI *et al.*, 2011).

Os metais ferrosos são ligas metálicas que apresentam ferro na sua composição e um percentual de carbono e outros metais como manganês e cobre e não-metais como fósforo, silício, e enxofre em pequenas quantidades. Possuem uma porcentagem de ferro superior a 90%. São geralmente magnéticos e tem alta resistência a tração, apresentando boas propriedades mecânicas devido ao processo de tratamento térmico (tratamento de aquecimento ou resfriamento controlado dos metais, que altera as propriedades físicas e mecânicas, sem alterar o produto final) e termoquímico (tratamentos de endurecimento superficial, modificando a composição química por difusão termoquímica dos elementos na superfície do aço) (ZOLIN, 2010).

Os metais ferrosos mais comuns são aços carbono comuns, aços ferramentas, aços inoxidáveis e ferro fundido (LOPES, 2015). Com a variação de quantidade do teor de carbono, as propriedades dos materiais ferrosos se comportam de formas diferentes, pois ao aumentar a quantidade de carbono, a estrutura ganha mais dureza, tensão de escoamento e ruptura e ao diminuir o teor de carbono, a estrutura perde sua tenacidade, ductilidade e dificulta a soldabilidade (ZOLIN, 2010).

### 2.4. AÇO

Os aços são ligas de ferro carbono com concentrações de outros elementos, podendo ser dois tipos fundamentais, como os aços carbono comuns e aços-ligas. Os aços carbono comuns, contém, geralmente, 0,008% até 2,11% em peso de carbono, além dos elementos residuais no processo de fabricação adicionado para proporcionar características específicas. O peso 0,008% é o que representa a máxima solubilidade do carbono no ferro em temperatura ambiente e a concentração de 2,11% em peso representa a máxima quantidade de carbono dissolvido em ferro na temperatura 1148°C. Os aços ligas também contém ferro e carbono, além de concentrações maiores de

elementos residuais intencionalmente nas concentrações específicas (LOPES, 2015).

Em 1856, com a invenção do conversor de Bessemer por Henry Bessemer, passou a ser possível à produção de aço em grande escala e a baixo custo. O princípio deste processo, é a remoção de impurezas de ferro através da oxidação das mesmas pelo ar, soprado no interior do conversor. Em 1856 foi desenvolvido o processo Siemens – Martin. Este processo foi idealizado pelo metalurgista francês Pierre Martin e desenvolvido pelo engenheiro e físico Wilhelm Siemens. A sua vantagem em relação ao conversor de Bessemer, era a possibilidade de utilizar grandes quantidades de sucatas de aços. (OLIVEIRA, 2009). O aço é empregado na maioria das construções mecânicas por suas características e adaptabilidade (AVANZI *et al.*, 2011).

Na confecção de perfis de estruturas metálicas, o aço carbono é o mais empregado, por suas propriedades mecânicas (CASTRO, 1999). Os aços carbono são as categorias de aços mais consumidas em relação a aços ligas, pois são de baixo custo e dependendo da variação do teor de carbono e o estado de fornecimento apresenta ampla gama de propriedades (CARUSO, 2001).

Os aços constituem um grupo dos mais importantes materiais utilizados na indústria e engenharia. As propriedades mecânicas do aço-carbono sem adição de elementos secundários e na maioria sem algum tipo de tratamento é suficiente para atender a maioria das aplicações. Além de ter baixo custo no mercado (KINA, 2011).

#### 2.4.1. Classificação dos Aços quanto ao Teor de Carbono

##### **2.4.1.1. Aços de baixo teor de carbono**

Os aços com essa classificação são aplicados em situações que exigem ductilidade elevada. O seu estado de fornecimento pode ser laminado a quente, recozido ou normalizado. Pode ser aplicado em situações que exigem a soldabilidade. Como exemplos têm-se os tubos e chapas para estampagens (CARUSO, 2001).

Possuem normalmente baixa resistência, dureza e alta tenacidade e ductilidade, bastantes usináveis e soldáveis e apresentam baixo custo de produção (OLIVEIRA, 2007).

#### **2.4.1.2. Aços de médio teor de carbono**

Possuem teores de carbono que variam 0,25 e 0,60% em peso (LOPES, 2015). Possuem maiores resistências e dureza, porém menor ductilidade e tenacidade que os de aço de baixo carbono (OLIVEIRA, 2007).

Possui ductilidade a quente associados à média resistências a frio, em produtos forjados (CARUSO, 2001).

#### **2.4.1.3. Aços de alto teor de carbono**

Esse limite alto de escoamento é devido à presença de elementos de liga, mediante têmpera (resfriamento brusco) e revenido (tratamento térmico que corrige inconvenientes decorrentes do processo de têmpera). Sua utilização exige limite de escoamento, como as molas, vergalhões de concreto (CARUSO, 2001). Apresentam teor de carbono maior que 0,7%, aços de alta dureza e resistências (WALENDOWSKY e IMIANOWSKY, 2017).

### **2.4.2. Classificação dos Aços quanto ao Processamento**

É o tipo de operação que é executado sobre o aço, dando ao mesmo a forma estrutural modificada. O tratamento térmico altera a microestrutura do aço e afeta as propriedades. Os processamentos que impõe uma forma aos aços de acordo com a conformação mecânica são os aços trabalhados a quente, onde suas propriedades apresentam-se moderadamente resistentes e elevada ductilidade, devido à ausência de tensões residuais e recristalização do aço, e os aços trabalhados com tratamento a frio, onde apresentam elevadas resistências e baixa ductilidade, devido a microestrutura ter grãos alongados e encruados (altamente densos) (CARUSO, 2001).

### 2.4.3. Classificação dos Aços quanto a Aplicação

Segundo Caruso (2001), dependendo do tipo e aplicação pretendida do aço podem ser classificados: estruturais, de beneficiamento e ferramentas.

- Estruturais: são destinados a estruturas metálicas atendendo os requisitos de baixo custo, resistência mecânica, soldabilidade e disponibilidade de mercado, destinadas á construções de estruturas metálicas.
- Beneficiamento: são aços que contém ou não elementos de ligas, pois atendem os requisitos de temperabilidade, propriedades mecânicas de peças e materiais e características geométricas.
- Ferramentas: tiveram como primeiras peças e utensílios os aços comuns, sem elementos de ligas, mas a partir de 1868 devido às exigências e o crescente desenvolvimento, a adição de ligas, foram aplicadas garantindo mais estabilidade dimensional e facilidade de fabricação como as usinagens e isenções de trincas nos tratamentos térmicos.

## 2.5. PRODUÇÃO DOS AÇOS

Segundo Zolin (2010), o processo da metalurgia que obtém das ligas o aço é realizada na siderúrgica em altos fornos onde são abrangidas todas as etapas para produção do aço que resultam em uma liga ferro-carbono com alto teor de carbono. Neste, os componentes básicos que formam as matérias-primas, são:

- O principal componente o minério de ferro para formação o *ferro gusa* (produto de primeira fusão do alto-forno, devido o alto teor de carbono é injetado oxigênio que reduz o carbono).
- O carvão de origem mineral ou vegetal que é o combustível que fornece calor e também fornece carbono para redução do óxido de ferro no processo, podendo, indiretamente, fornecer esse carbono no elemento de liga do *ferro gusa*.

- O fundente (calcário) que combina com impurezas do minério para formar a escória (resultado dos resíduos do carvão que são aglutinação com o calcário).

Segundo Lopes (2015), o processo de produção de aço ocorre em cinco etapas simplificadas.

**ETAPA 1:** O minério de ferro é retirado da natureza, lavado para retirada das impurezas e triturado em pedaços menores. Na Figura 1 pode ser observada a lavagem e o tritramento de ferro.

**Figura 1** – Pilha de Minério de Ferro Lavado e Triturado em Serra Azul, MG.



FONTE: ARCELORMITTAL MINERAÇÃO (2017).

**ETAPA 2:** O minério de ferro é levado para usina siderúrgica através de esteiras para o alto forno, onde é reduzido o óxido de ferro para ferro metálico, desse modo removendo impurezas do metal. O minério é depositado em camadas sucessivas, misturadas ao coque (obtenção do aquecimento sem combustão em recipiente fechado) e os fundentes calcários. É injetado ar no interior do forno, que ajuda a queimar o carvão coque e derreter o minério, denominado ferro *gusa* ou ferro de primeira fusão e as impurezas flutuam sobre ele. Na Figura 2 pode ser observado o processo da usina siderúrgica e alto forno.



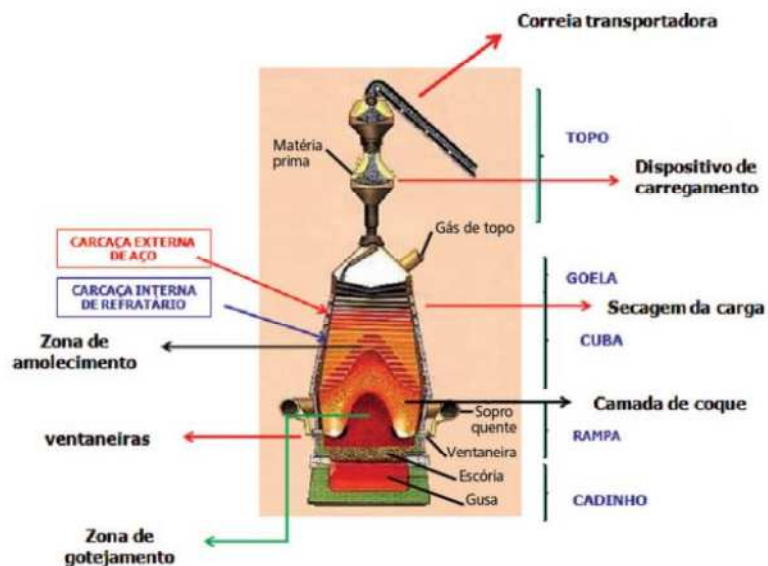
**Figura 2** – Usina Siderúrgica - Alto Forno.



FONTE: MECÂNICA INDUSTRIAL (2017).

Nos altos fornos as matérias-primas são colocadas em suas devidas proporções. Nessa etapa, é formada a liga de carbono encontrada em excesso pelo calor e então é combinado com ferro no estado líquido (ZOLIN, 2010). De acordo com a Figura 3.

**Figura 3** – Alto Forno.



FONTE: SILVA (2011).

**ETAPA 3:** O ferro *gusa* derretido possui quantidades excessivas de elementos que serão reduzidos ( $Fe^{++}$  ou  $Fe^{+++}$  para  $Fe^0$ ). Na Figura 4 é observado o derretimento do ferro *gusa*.

**Figura 4 – Ferro *Gusa* Derretido.**



FONTE: MODULAX (2015).

Antes da produção do aço é retirado em cadinhos (Figura 5) e despejados em lingoteiras e a escória em outra abertura. Será solidificado e resfriado o lingote de ferro *gusa*. Conforme apresentados nas Figuras 5 e 6.

**Figura 5 – Cadinho de Fundição do Ferro *gusa*.**



FONTE: SOCIESC (2008).

**Figura 6 – Despejo da Fundição do Aço em Cadinhos.**



FONTE: BIAGIO (2017).

**ETAPA 4:** Os lingotes são barras de um metal puro que recebem tratamentos, para posteriormente serem utilizados na confecção de peças que não serão usinadas (LOPES, 2015). Na Figura 7 apresenta a produção dos lingotes:

**Figura 7** – Produção de Lingotes.



FONTE: SILVA (2011).

**ETAPA 5:** O ferro *gusa* é levado para aciaria (unidades da siderúrgica voltadas para processo de transformação do ferro *gusa* em diferentes tipos de aço), em seu estado líquido na queima de impurezas e adições, onde será feito o refino do aço em fornos a oxigênio ou elétricos. De acordo com a Figura 8, pode-se verificar o refino do aço em fornos.

**Figura 8** – Refino do Aço em Fornos – Aciaria.



FONTE: ALMEIDA (2012).

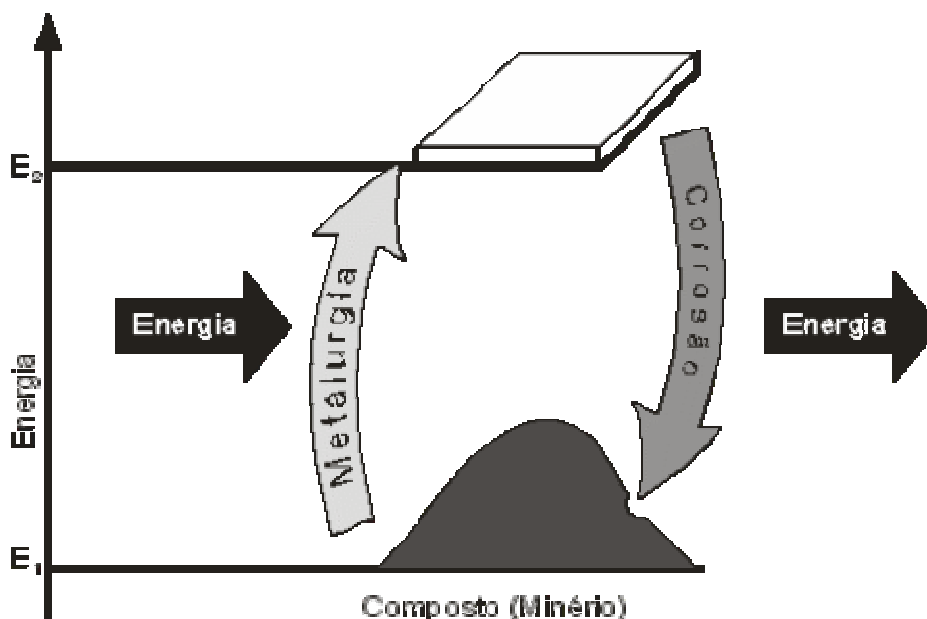
## 2.6. CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS

A corrosão é geralmente designada a um fenômeno natural, onde há deterioração de metais através de um processo eletroquímico ou reações químicas com seu ambiente (PANNONI, 2015).

A corrosão pode ser descrita como sendo a deterioração que ocorre quando o metal reage com seu ambiente, levando á perda de suas propriedades (STORCK, 2013). Faz com que os materiais percam suas qualidades essenciais que não possuem em suas características originais, como a resistência mecânica e ductilidade (CASTRO, 1999).

O processo de corrosão é o inverso da metalurgia e ocorrem reações espontâneas, pois na obtenção do metal é adicionada energia e espontaneamente ela volta combinada com liberação de energia, que é denominada de ciclo dos metais (KRANKEL, 2014), apresentado na Figura 9.

**Figura 9** – Ciclo dos Metais.

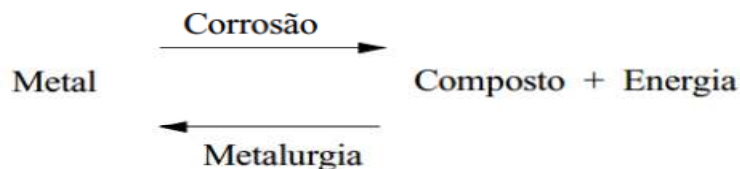


FONTE: KRANKEL (2014).

Neste caso, o metal tende a reagir espontaneamente com o meio, onde perde a energia adquirida na fabricação e volta a um estado não metálico. Como os metais são encontrados na natureza em compostos, com exceção dos metais nobres, os metais reagem com líquido e gases do meio espontaneamente, pois o conteúdo energético dos compostos menor que os

metais são estáveis, na presença de condições influentes do meio e características físico-químicas do metal em conjunto é que ocorre a reação química da corrosão (CASTRO, 1999). Conforme apresentado na Figura 10.

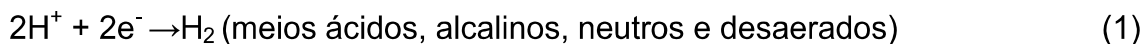
**Figura 10** – Reação Espontânea da Corrosão no Meio.



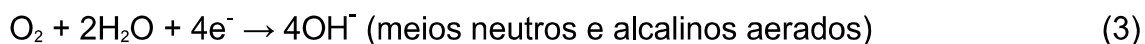
FONTE: CASTRO (1999).

A corrosão aquosa da eletroquímica na reação catódica que da origem a duas reações representando quase a totalidade dos casos, dão origem as correntes elétricas dependendo do fenômeno, podendo ser :

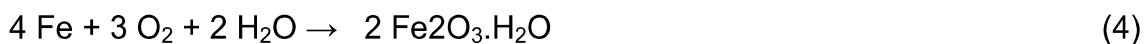
**Reação de Evolução do hidrogênio:** o íon hidrogênio recebe elétrons livres formando o hidrogênio e dando condições ao meio para que ocorra uma reação química no cátodo da pilha eletroquímica para formação do processo de corrosão, de acordo com a reação (1).



**Reação de redução de oxigênio:** pode ocorrer simultaneamente. Como as soluções aquosas contêm oxigênios dissolvidos, a principal reação catódica é a redução do oxigênio, nas reações (2) e (3).



**Reação de Óxido de ferro Hidratado:** é a reação química que representa a forma do metal oxidado, ou ferrugem, de acordo com a reação 4.



### 2.6.1. Meios Corrosivos

Dependendo do grau de corrosividade ambiental, pode-se classificar de acordo com o tipo de ambiente que a estrutura está exposta, como emerso (aparece, surge) ou enterradas (mergulhado, submerso) (CIN, 2013).

O meio atmosférico é determinado quando o ar condensa sobre a superfície metálica, na presença de gases ou poeira (STORCK, 2013). Neste meio, se tem a forma mais comum de ocorrer à corrosão em estruturas metálicas, a depender da localização pode ser retardada (quando se localiza em ambientes como marítimos estão sujeitos a presença de cloretos que acelera o processo corrosivo).

Já em ambientes urbanos, os gases oriundos da queima de combustíveis apresentam alto teor de enxofre que acelera a corrosão e os ambientes rurais, a atmosfera é relativamente limpa de contaminantes, por ter as melhores condições ambientais. As partículas sólidas têm influência também no processo, podendo esses ficar dispostos superficialmente sob a forma de poeira na estrutura, criando condições de aeração, onde não exista nenhum tipo de proteção (CASTRO, 1999).

Segundo o mesmo autor, outros fatores influenciam, favorecendo a velocidade das reações eletroquímicas, como a temperatura, os ventos, concentrações de soluções conforme o pH da água (alcalinas são menos agressivas e ácidas mais agressivas).

A velocidade de corrosão depende da higroscopicidade dos produtos de corrosão e fatores atmosféricos (gases, poeira e poluentes), nas situações de superfícies que estão somente molhadas ou somente secas a todo tempo, são menos agravantes do que alternando de molhado e seco, pois a corrosão é acelerada quando o vento e o calor do sol secam e favorecem a corrosão (GNECCO, MARIANO e FERNANDES, 2003).

Na Figura 11 apresenta os efeitos da alternância da ocorrência de molhado e seco no aço.



**Figura 11** – Efeito de Alternância Molhado e Seco no Aço.



FONTE: GNECCO, MARIANO E FERNANDES (2003).

A contaminação por meio de água pode ser de forma natural ou do mar. As de forma natural podem conter ácidos, bases, sais minerais, poluentes diversos; as do mar são excelentes eletrólitos, pois constituem uma quantidade de sais e gases dissolvidos que aceleram a corrosão (KRANKEL, 2014).

Qualquer que seja a natureza da água, ela conterà sais dissolvidos que tem ação sob o material imerso e deverá evitar o contato direto entre a água e o metal, como o caso das plataformas marítimas que adotam tecnologias apropriadas e específicas (CASTRO, 1999).

#### 2.6.2. Classificação de Corrosões nas Estruturas Metálicas

Segundo Storck (2013), dependendo da ação do meio em um determinado material, a deterioração por uma corrosão pode ser de origem química e eletroquímica. A corrosão química é determinada pela ausência de água, surgindo no processo de industrialização em altas temperaturas, acima do ponto de orvalho. De acordo com a Figura 12.

**Figura 12** – Corrosão Química.



FONTE: RIJEZA (2017).

A corrosão eletroquímica é constituída pela presença de água líquida, abaixo do ponto de orvalho, com presença de circulação de elétrons na superfície da estrutura metálica. Na Figura 13 pode ser observada a corrosão eletroquímica.

**Figura 13** – Corrosão Eletroquímica.



FONTE: FOGAÇA (2017).

São mais frequentes na natureza, caracterizados por presença de água em estado líquido em baixas temperaturas formando pilha ou célula de corrosão, onde uma região é anódica e outra catódica com circulação de elétrons na superfície e o eletrodo é a corrosão. O surgimento de pilhas de corrosão é consequência da diferença de potenciais de eletrodos em dois pontos da superfície metálica em contato com um eletrólito (KAPPS; SIMÕES e CUSTÓDIO, 2012).

### 2.6.3. Formas de Corrosão

Há várias formas de corrosão nas peças metálicas de aço carbono: corrosão por placas, que apresentam em partes formação de placas com escavações; corrosão alveolar, semelhante aos alvéolos e corrosão por tipos puntiformes identificadas por apresentarem pontos em determinadas áreas localizadas na superfície produzindo cavidades maiores que o seu diâmetro (GNECCO, MARIANO e FERNANDES, 2003).

Castro também retratou sobre às formas de corrosão, sendo considerada como: corrosão uniforme a identificada por apresentar na



superfície de uma extremidade a outra, perfazendo toda a extensão. Ela é envolvida por uma camada de óxido de ferro pouco aderente, devido ao aço carbono sem proteção ou por ser inadequada, estando exposta diretamente a ambientes agressivos, mas de fácil detecção. Já a corrosão por frestas ocorre em pontos onde estão próximas e em contato nas superfícies de difícil acesso a manutenção (CASTRO, 1999).

## 2.7. TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO AÇO

O tratamento térmico é um processo de aquecimento e resfriamento em condições controladas de ligas metálicas, ferrosas e não ferrosas, onde se objetiva modificar as propriedades do aço. Confere modificar determinadas características aos materiais melhorando a ductilidade, usinabilidade, resistência mecânica, remoção de tensões internas, aumento e diminuição de dureza, resistência à corrosão ao calor e propriedades elétricas e magnéticas (VALE, 2011).

É um processo industrial, utilizado para alterar as propriedades dos materiais, sendo aplicado em diversos materiais, porém o mais comum é na metalúrgica (COSTA *et al.*, 2015).

Zolin (2010) relata que os tratamentos termoquímicos aumentam a dureza e a resistência aos desgastes superficiais da corrosão na estrutura, mantendo o núcleo do material dúctil e tenaz. É um tratamento produzido nos constituintes primários das superfícies das ligas ferrosas, que mudam as propriedades mecânicas além de alterar a composição química da estrutura superficial e cristalina. As peças metálicas são submetidas ao calor em um meio apropriado que serão responsáveis por determinadas alterações.

## 2.8. PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS-CARBONO

Fatores que afetam as propriedades dos aços-carbonos podem ser de natureza química e microestrutura. Na composição química, quando aumenta o teor carbono melhora suas propriedades de resistência mecânica, piorando a ductilidade e tenacidade, isso devido ao esfriamento normalmente. Na microestrutura ela é afetada pela composição química, dependendo do estado de composição do aço e velocidade de resfriamento (LOPES, 2015).

### 2.8.1. Superfície Metálica

Toda superfície sofre com algum tipo de desgaste, seja devido ao intemperismo natural ou outros agentes externos, como a corrosão.

### 2.8.2. Tratamento Anticorrosivo e Acabamento de Estruturas Metálicas

Quando o aço está em condições de ambiente agressivas é exigida uma proteção com tinta anticorrosiva para inibir a corrosão. Os pré-tratamentos asseguram que a barreira criada entre a corrosão e o substrato proteja durante bastante tempo. Os métodos que tem objetivo crucial nesse fator são os físicos (limpeza por ferramentas manuais e mecânicas) e químicos (limpeza de solventes, soluções ácidas e produtos alcalinos) (CARDOSO, 2009).

### 2.8.3. Revestimentos Protetores

Quando é aplicado um revestimento sobre a superfície metálica e a mesma não tem contato direto com o meio corrosivo, diminui-se a degradação (STORCK *et al.*, 2014). Há vários sistemas de proteção que são utilizadas em estruturas metálicas, que dependerá de diversos fatores como custos, objetivo, condições ambientais e características de utilização (CASTRO, 1999).

### 2.8.4. Revestimentos Metálicos

Os revestimentos metálicos consistem na interdeposição de uma película metálica entre o meio corrosivo e o metal que se precisa proteger. Seus mecanismos de proteção podem ser por formação de produtos insolúveis ou por barreiras. Em alguns revestimentos, o material metálico é imerso em banho de metal fundido, como a clarificação e metalização, onde a superfície é previamente preparada e revestida com zinco (OLIVEIRA, 2008).

### 2.8.5. Revestimentos Não Metálico Inorgânicos

Consiste na interposição de uma película não metálica inorgânica entre o meio corrosivo e o metal. Essencialmente reveste por inibição anódica (OLIVEIRA, 2008).

### 2.8.6. Revestimentos Orgânicos

São de baixo custo e bons meios para proteção de superfície metálica contra corrosão, quando consiste por uma camada de natureza orgânica entre a superfície metálica e o meio corrosivo. Obedecem a algumas características como a durabilidade, resistência elétrica e mecânica, boa e permanente aderência ao metal e estabilidade de variação de temperatura (LEITINHO, 2005).

A eficiência dos recobrimentos protetores depende do preparo da superfície. A duração de um revestimento pode ser ampliada quando ele possui pigmentos protetores, como as tintas de fundo (cromato de zinco, fosfato de zinco). Os principais revestimentos orgânicos são as pinturas industriais e revestimentos com borrachas (OLIVEIRA, 2008).

## 2.9. PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE METÁLICA E CONTAMINANTE

Preparar a superfície do aço significa executar operações que permitam obter limpeza, como materiais estranhos, contaminantes e rugosidade, onde aumenta a superfície de contato e ajuda a melhorar a aderência. Removendo completamente óleos, graxas e gorduras, aplicando métodos desengraxantes (WEG, 2017).

O grau da preparação da superfície metálica dependerá de fatores como métodos disponíveis as restrições operacionais, o custo de operação e esquema de pintura (GNECCO, MARIANO e FERNANDES, 2003). É uma das etapas mais importantes na execução da pintura industrial, pois ao preparar corretamente a superfície, melhora a adesão do sistema ao substrato, prolongando a vida útil da pintura. Como o aço carbono, que em meios mais agressivos se deterioram mais fácil, devem ser protegidos por pintura para

garantir uma boa aderência para aplicar posterior a tinta (STORCK *et al.*, 2014).

A eficiência e durabilidade dos revestimentos anticorrosivos vão depender exclusivamente do preparo da superfície, onde esse substrato de aço carbono se encontra (STORCK, 2013).

## 2.10. MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE METÁLICA

### 2.10.1. Limpeza de Peças Manual, Mecânica e por Ação Físico-química

Uma superfície limpa, livre de ferrugem, isenta de graxas, sujidade e umidade oferece uma base para proteção por recobrimento do substrato metálico. Alguns meios de remoção de impurezas metálicas como detergentes removem filmes e sujidade aderida à superfície metálica sem ter reações diretas com o metal. As limpezas por ação química que é destrutiva em certa natureza ácida removendo carepas de laminação (tipos de contaminantes formados no processo de laminação, em que o oxigênio reage com o ferro apresentando uma camada de óxido na superfície, sendo aderentes, impermeáveis e duros. Processo que já sai da siderúrgica com esse aspecto), utilizando tensoativos ou por natureza alcalinas utilizando ácidos orgânicos que removem camadas de ferrugens na superfície do aço e as limpezas por ação mecânica que removem por processo de jateamento mecânico abrasão de óxidos ate ficar limpa a superfície (OLIVEIRA, 2012).

A limpeza por ação físico-química utiliza solventes que remove óleos e graxas. É aplicada antes de todos os processos de preparação das superfícies destinada a remoção de carepas e produtos de corrosão. A limpeza manual é um método de preparo da superfície do metal pelo emprego de ferramentas manuais. Ela remove todo óleo e graxa com emprego de água e detergente ou solventes, evitando a contaminação das ferramentas que vão ser utilizadas no preparo. A limpeza de forma mecânica remove carepas de laminação, ferrugens e tintas antigas, produzindo uma superfície mais adequada para aplicação da tinta (SABESP, 2001).

O tratamento de superfície por ferramentas manuais utiliza escovas, espátulas, lixas e outras ferramentas manuais de impacto. Processo dispendioso e aplicação limitada, por não remover todo o resíduo de óxido nem

a carepa intacta aderida. Já os tratamentos de superfícies por ferramentas mecânicas utilizam escovas rotativas, elétricas e pneumáticas, exigindo remoção de placas de ferrugens. Ambas são aceitáveis a permanência de oxidação ou pintura firmemente aderida (ABNT 15239, 2005).

#### 2.10.2. Limpeza de Peças por Jateamento

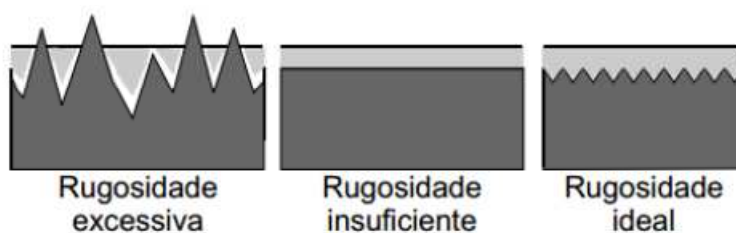
O jateamento em abrasivos é um método de trabalho a frio que consiste no arremesso de partículas contra uma determinada superfície, a elevadas velocidades, visando: remover elementos contaminantes, obtenção de acabamento superficial pré-determinado ou aumento de resistência à fadiga de peças sujeitas a tensões cíclicas (SINTO BRASIL b, 2012). Esse processo de limpeza é o mais usado e eficiente na preparação da superfície ferrosa a ser pintada, pois proporciona condições de aderência e desempenho da tinta na rugosidade da superfície (HARTER, 2013).

#### 2.11. INSPEÇÃO DE RUGOSIDADE

A especificação de uma pintura determina o perfil de rugosidade e a espessura da película da tinta, pois a vida útil da pintura depende desses fatores. Um perfil de rugosidade muito baixo é uma base insuficiente de aderência, já um perfil elevado, resulta em cobertura desigual dos picos, ocasionando pontos de corrosão em falha e consumo elevado de tinta (WEG, 2017).

O perfil de rugosidade é função principal da granulometria do abrasivo escolhido para limpeza da superfície para gerar a rugosidade necessária para tinta aderir. Está diretamente ligado ao custo, pois o controle de consumos de tintas e aderência sobre o substrato, não pode ser muito pequeno para não influenciar na ancoragem da tinta e nem tão grande para não gerar corrosão no substrato pela baixa espessura da tinta nesse determinado ponto e assim haver um consumo exagerado de tinta (HARTER, 2013), como pode ser verificado na Figura 14.

**Figura 14** – Comparação de Perfis de Rugosidade.



FONTE: GNECCO, MARIANO e FERNANDES (2003).

O aparelho utilizado na aferição de superfícies metálicas no processo de pintura por meio de jateamento abrasivo é denominado medidor de perfil de rugosidade do tipo agulha deslizante, com exatidão 5  $\mu\text{m}$  (ABNT 15488/2007). Um exemplo do medidor de perfil de rugosidade pode ser observado na Figura 15.

**Figura 15** – Medidor de Perfil de Rugosidade.



FONTE: MEDTEC (2017).

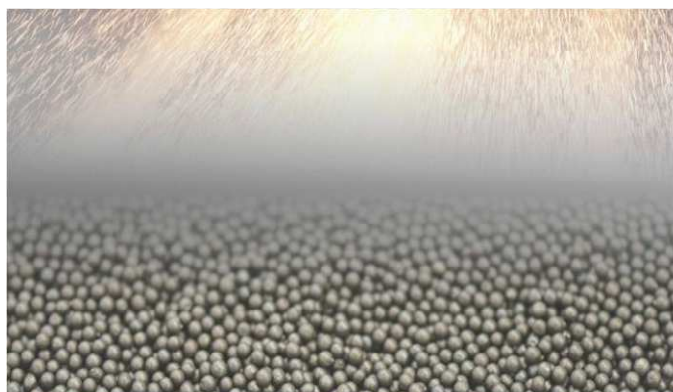
A sua execução é feita com o instrumento de medidor de perfil, ajustada em zero em uma superfície plana e lisa como uma placa de vidro. É efetuada a medição do perfil de rugosidade no primeiro metro quadrado de área jateada em 200mm x 200mm em cinco medições uma no centro geométrico e as demais nas diagonais. O valor é obtido pela média aritmética das cinco medições efetuadas (ABNT 15488/2007).

### 2.11.1. Abrasivo – Granalha de Aço

Os abrasivos são utilizados em operações de jateamento. A areia é um abrasivo natural de baixo custo utilizado em áreas abertas devido o alto teor de sílica livre que podem acarretar problemas respiratórios, pois se transforma em pó. Assim, iniciou-se a utilização de granalhas de aço (abrasivo artificial de partículas de aço com elevado teor de carbono), devido seu poder impactante e reutilização nas peças jateadas (SINTO BRASIL a, 2012).

Segundo o mesmo autor, as granalhas de aço são microestruturas homogêneas obtidas por meio controlado de produção, que possibilita uma composição mais dura e ao mesmo tempo resistente ao impacto, o que lhe proporciona uma maior vida útil e transmissão de energia. Podem se apresentar em formatos esféricos (*Shot*) ou angulares (*grit*). Sua finalidade é remover óxido e outras substâncias que ficam depositadas sobre a superfície, eliminando impurezas e auxiliando na ancoragem das tintas para melhor desempenho e durabilidade (HARTER, 2013). Na Figura 16 pode ser observado um exemplo de granalha de aço *Steel Shot*.

**Figura 16** – Granalha de Aço *Steel Shot*.



FONTE: SINTO BRASIL a (2012).

### 2.12. TINTAS

Segundo a NBR 12554:13, as tintas são produtos compostos de veículos, pigmentos, aditivos, quando aplicados sobre um substrato, se convertem em película sólida, dada a evaporação do solvente e/ou reação química, com a finalidade de decoração e proteção. Podem ser de alto ou baixa

quantidade de sólido (teor volátil) , espessura e à base de água ou solventes orgânicos.

A parte líquida das tintas que é denominada de veículo é constituída pela resina e o solvente (KRANKEL, 2014), que depois de aplicada sobre a superfície, passa por um processo de secagem ou cura e se transforma em filme sólido, fino, aderente, impermeável e flexível. Tem a finalidade de proteger e embelezar as superfícies e são classificadas pelo conteúdo de solventes de baixo ou alto teor de compostos orgânicos voláteis (GNECCO, MARIANO e FERNANDES, 2003).

Em relação ao custo-benefício, as tintas constituem o produto industrial mais efetivo no mundo. No mercado, é encontrada uma extensa variedade de tipos de tintas, devido às formulações variadas, disponibilidade e funções técnicas especiais, como: reduzir a absorção de água, resistência à abrasão e crescimento de fungos e melhora (ANGHINETTI, 2012).

As tintas anticorrosivas podem ser líquidas, pastosas ou quase sólidas, porém com conteúdo sólido. Ao ser aplicado em finas camadas nas superfícies apropriadas sob uma prévia diluição, com um tempo se torna um filme sólido, homogêneo, colorido e opaco (HORIKAWA, 2003). Há certas exigências para que as tintas anticorrosivas sejam aplicadas no aço, pois quando estão em condições ambientais agressivos obedecem alguns parâmetros de seleção para preparação da superfície, a localização, as condições de superfície e grau de limpeza (CARDOSO, 2009).

### 2.12.1. História da Tinta

Antigamente, percebeu-se que determinados produtos, como o sangue, espalhados nas rochas deixavam manchas que não desapareciam e começaram a ser utilizados para transmitir informações. Veio à necessidade de diversificar e aumentar a durabilidade das pinturas, utilizando os óxidos naturais abundantes nas superfícies dos solos e os sebos ou seiva vegetal como ligantes para que pudesse fixar os pigmentos à superfície, dando-lhe maior durabilidade (POLITO, 2006).

Em meados séculos XIX, a tinta passou por uma transformação radical, no decorrer da Revolução Industrial. Com o desenvolvimento da pesquisa química, no surgimento de novos pigmentos e desenvolvimento da indústria a



base de óleo obteve-se variedades com a textura e plasticidade. Iniciou-se a utilização de resinas sintéticas nos anos 50 e criaram-se as tintas especiais para superfície externa, assim como o avanço na variação de cores (CUNHA, 2011).

Os homens das cavernas utilizavam tintas a base de água e com o tempo, foram substituídas por tintas a base de pigmentos inorgânicos naturais e posteriormente por inorgânicos e orgânicos sintéticos, aglomerados com resinas á base de óleos vegetais e superadas por poliméricas sintetizadas pela indústria química. A indústria química evoluiu com solventes mais fortes poliméricas sintéticas, como os derivados do petróleo, a aguarrás vegetal (extrato de resina utilizado como solvente para diluição de tintas), onde o mesmo apresenta duas vertentes, pois tornavam a qualidade da tinta melhor em termos de propriedades, mas criavam problemas ambientais e profissionais ligados à segurança e saúde do operador na pintura. Diante dessas situações, a tecnologia desenvolveu a tinta com menores quantidades de solventes e maiores solubilidades e de alto teor sólido, mas a tendência é que apresentem tintas a base de água e totalmente isentas de solventes orgânicos (LEITE, 2004).

#### 2.12.2. Composição das Tintas Líquidas Industriais

As tintas líquidas contêm constituintes básicos incorporados que lhe conferem propriedades especiais, como plastificantes, espessantes, tensoativas, secantes e gelificantes (forma gel sem alterar as propriedades) (KRANKEL, 2014). Os constituintes das tintas são: solventes, resina epóxi, pigmentos e aditivos.

##### **2.12.2.1. Veículo - Solventes**

Os solventes são líquidos voláteis, geralmente de baixo ponto de ebulição, utilizados na indústria e correlatos para dissolver a resina aumentando a aderência ao substrato (CUNHA, 2011). Após a aplicação da tinta, o solvente evapora deixando uma camada de filme seco sobre o substrato (YAMANAKA *et al.*, 2006).

Além dessa função, apresenta a diminuição da viscosidade que facilita a aplicação na estrutura a ser pintada e dar melhoramento a aderência e ao poder de solvência, além de apresentar características como odor forte, toxicidade e inflamabilidade (GNECCO, MARIANO e FERNANDES, 2003).

Alguns solventes com componentes orgânicos são muito tóxicos, como o caso do benzeno e tricloroetileno, por isso são evitados. Os compostos orgânicos como os glicóis, tolueno e cetonas são balanceados numa proporção para que o tempo de secagem seja apropriado, tenha boa solvência e formação de película de menor custo. Os *Thinner* são misturas de solventes, indicados para limpezas de peças e os diluentes que não são solventes de veículos, mais a finalidade é diluir a tinta (KRANKEL, 2014).

Os solventes compreendem uma família ampla de produtos que vão desde a água até os produtos complexos, conforme sua utilização. Evaporam-se com mais ou menos rapidez de acordo com a composição e é encontrado o ponto ótimo de fluidez considerando o método empregado (CARDOSO, 2009). São produtos que tem a capacidade de dissolver outros materiais sem alterar suas propriedades químicas (POLITO, 2006).

#### **2.12.2.2. Veículo - Resina Epóxi**

É um grupo que apresenta um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono. As resinas são os componentes mais importantes da tinta e fazem parte do composto não volátil. É conhecida como ligante ou aglutinante, pois adere às partículas aos pigmentos, a partir do mecanismo de reações químicas do sistema polimérico, muito embora os demais componentes também tenham influência em retardar, acelerar e inibir as reações (ANGHINETTI, 2012).

De modo geral podem ser naturais (substâncias orgânicas, sólidas, solúveis em solventes orgânicos e oriundos de plantas) ou sintéticas (obtidas por reações de polimerização, por duas ou mais moléculas que formam substâncias múltiplas) (CUNHA, 2011).

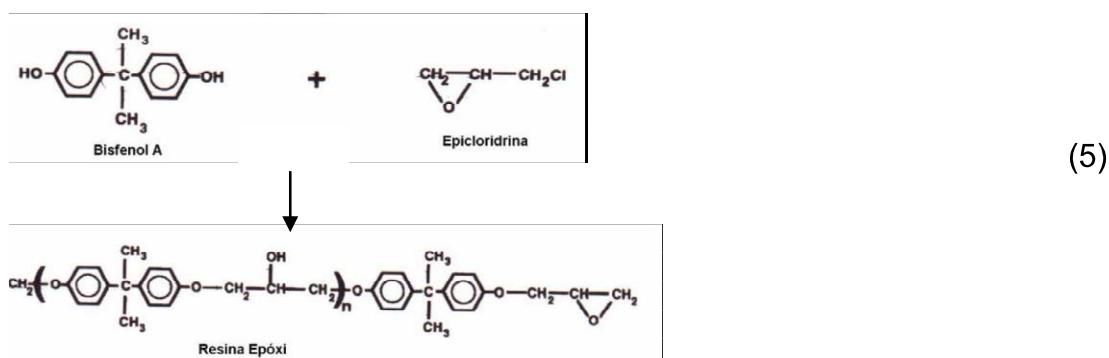
As resinas epóxicas apresentam melhor desempenho a resistência química, dureza e ao impacto, mesmo com baixa resistência a radiação solar e oferece uma ótima resistência por barreira (GUERRA E AIRES, 2014).

São caracterizadas pela viscosidade, ponto de fusão e cor por meio de procedimentos padronizados. Essa resina é um polímero sintético termorrígido

com excelente resistência mecânica, química e isolamento elétrico quando reagida com um agente de cura. Devido o seu poder de aderência é mais utilizado e têm grande importância na construção civil (LIMA, 2012). Seu ponto de partida é o estado líquido e logo se transforma em um sólido termorrígido, devido ao parâmetro de viscosidade da resina em função da temperatura, logo determina os parâmetros do processo (ALMEIDA, 2005).

As resinas epóxi são obtidas por condensação e são preparadas com estruturas e pesos moleculares, obtendo resinas sólidas e líquidas (GAUTO, 2007). É um polímero formado pela reação de Bisfenol A e Epicloridrina, com baixa resistência a intempéries. Aplicada nos acabamentos de estruturas metálicas e equipamentos industriais, conforme a finalidade e as orientações do fabricante (ANGHINETTI, 2012).

A primeira patente da resina epóxi foi produzida por Schlarck em 1933, obtida a partir da bisfenol A e epicloridrina, na presença de hidróxido de sódio que resulta no monômero do diglicidil éter de bisfenol A e a resina epóxi é obtida da reação desse monômero DGEBA com excesso de epicloridrina (HORIKAWA, 2003). Como pode ser verificado na reação (5).



FONTE: HORIKAWA (2003).

A resina epóxi não apresenta propriedades e função sozinha na tinta, por isso ela reage com os agentes endurecedores (de cura), os catalisadores que dependendo da natureza química tem propriedades específicas (KRANKEL, 2014). Possuem características notáveis incluindo dureza extrema, baixo encolhimento durante a cura devido à ausência de matéria-prima volátil, excelente resistência térmica e química, especialmente aos solventes e a água por possuir alta aderência e poder de molhabilidade (habilidade de um líquido manter contato com uma superfície sólida, resultante da interação intermolecular quando são colocados juntos) (DONADIO, 2011).

### **2.12.2.3. Pigmentos**

Os pigmentos são materiais sólidos finamente divididos, insolúveis ao meio, que tem a finalidade de conferir cor, opacidade e outras características de consistência e resistência à tinta (ANGHINETTI, 2012) e ao ser empregado são considerados dois aspectos primordiais, como aumento do teor de sólidos das tintas e econômico com menor custo benefício (KRANKEL, 2014).

São classificados de acordo com a natureza, como orgânico ou inorgânico, ambos com finalidade tintorial, mas com características distintas. As orgânicas não apresentam características anticorrosivas, mas têm durabilidade e propriedades de permanência que não altera a cor, mesmo em ambientes externo, apresentam alto brilho, baixa densidade, fraca resistência aos raios ultravioletas e maior resistência química a ação de raio. Já os inorgânicos, apresentam pouco brilho, sendo eles os pigmentos verdadeiros ou ativos, como o dióxido de titânio ( $TiO_2$ ) capaz de garantir poder de cobertura, durabilidade e brilho e os pigmentos inertes ou cargas, que podem ser naturais ou sintéticos apresentando baixo índice de refração onde interfere no brilho, na resistência a abrasão e opacidade (ANGHINETTI, 2012).

Segundo Krankel (2014), os teores dos pigmentos influenciam e interferem nas propriedades das tintas, sejam elas de acabamentos ou anticorrosivas. As de acabamentos têm uma formulação própria de teor crítico de pigmento em volume, pois quando esses são elevados e mais permeáveis maiores são a tendência que sofrerá com a formação de ferrugem no aço. Nas tintas anticorrosivas apresenta alto teor de pigmento, isso devido à ação dos pigmentos protetores terem melhor eficiência na corrosão.

O mesmo autor relata que os altos teores de pigmentação na estrutura são mais foscos e mais permeáveis e ao refletir o feixe de luz incide em várias direções fazendo com que o brilho seja mais fraco. Já os baixos teores de pigmentação refletem todo o feixe apresentando mais brilho, isso porque a superfície é mais flexível, impermeável e mais porosa.

### **2.12.2.4. Aditivos**

Os aditivos combinam-se aos componentes primários, de modo a incrementar o desempenho da tinta. Variam de preservativos, pois evita que a

tinta estrague enquanto estiver estocada; e fungicidas, pois impede o crescimento de fungos na superfície da película (POLITO, 2006).

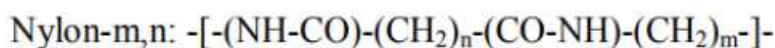
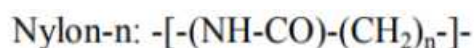
Esses são componentes empregados em baixas concentrações, geralmente, menores que 5%, e tem a função de conferir importantes propriedades as tintas e revestimentos, como aumento de proteção anticorrosiva, catalisador de reações, dispersantes e umectantes de pigmentos e cargas, melhoria de nivelamento, preservantes e antiespumantes (YAMANAKA *et al.*, 2006).

Conforme a conveniência do formulador, os aditivos apresentam finalidades que melhoram as características das tintas como plastificantes, deixando a película mais flexível e evitando o fendilhamento (perda de flexibilidade da película da tinta durante tempo de exposição). Os secantes são catalisadores que secam por oxidação dos óleos. Os antioxidantes evitam a formação de pele ou nata na parte superior da lata durante o armazenamento da tinta e os tensoativos aumentam a molhabilidade do pigmento retardando sua sedimentação (KRANKEL, 2014).

### **Catalisador / Agente de Cura – Poliamida**

A poliamida foi o primeiro agente de cura para tintas à base de água disponível não modificada, parcialmente neutralizada com ácidos carboxílicos, porém emulsifica rapidamente e a qualidade de cura é inferior a das bases poliamidas de solventes (HORIKAWA, 2003). Na Figura 17 pode ser observada a representação estrutural da poliamida.

**Figura 17** – Representação Estrutural da Poliamida



FONTE: COLOMBI (2017).

Denominados de nylon, as poliamidas são termoplásticos aromáticos obtidos por polimerização e condensação de um diácido orgânico com uma diamina alifática, melhorando o desempenho mecânico e térmico (LIMA, 2012). Essas tintas possuem algumas vantagens, como: ter baixa toxicidade, boa flexibilidade e boa resistência à água e algumas desvantagens

como: ter custo elevado, alta viscosidade e longo tempo de cura (ARAUJO, 2011).

A finalidade do agente de cura é de juntar ou formar uma ligação cruzada com os grupos reativos da resina epóxi para formação do polímero com reação completa ou curado (HUNTSMAN, 2011).

### 2.12.3. Processo de Fabricação das Tintas Líquidas e em pó

Na fabricação das tintas, as operações físicas são misturas, dispersões, filtragem e envase, enquanto as conversões químicas acontecem na produção dos componentes da tinta e na secagem do filme após a aplicação (YAMANAKA *et al.*, 2006).

Nesse processo, as matérias-primas são misturadas de acordo com a formulação desejada (KRANKEL, 2014).

Yamanaka *et al.* (2006), explicam que em um tanque de armazenamento, as matérias-primas são armazenadas antes de serem processadas, depois são pesadas conforme a formulação e o tipo de tinta. Na etapa da pré-mistura, os insumos são colocados em tanques providos de agitação por um determinado tempo onde é feito a homogeneização. Após essa etapa é realizado a moagem ou dispersão, um processo contínuo, onde ocorre desagregamento dos pigmentos e cargas e ao mesmo tempo formação de uma dispersão maximizada e estabilizada dos sólidos que aperfeiçoam o poder de cobertura e tonalidade. As tintas líquidas podem ser de acordo com o fluxograma da Figura 18.

**Figura 18** – Fluxograma Geral de Fabricação das Tintas Líquidas.



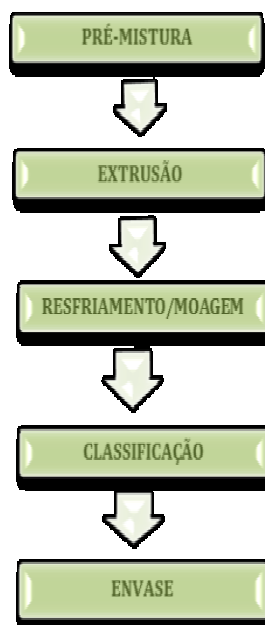
FONTE: YAMANAKA *et al.* (2006).

O processo de completagem é adicionado e ajustado os constituintes para proporção desejada, onde é feito os acertos finais que consiste nos ajustes necessários para conclusão do produto final, como adição de aditivos e pigmentos e correção do teor de sólido. Posteriormente, feita a filtração. E por fim, é envasada em embalagens pré-determinadas (YAMANAKA *et al.*, 2006).

Segundo os mesmos autores, as tintas de revestimentos a base de pó são produtos sólidos isento de componentes líquidos em sua formulação. Podem ser termoplásticos onde não apresenta transformação química no mecanismo ou termoconvertíveis, quando ocorre reação entre a resina e o agente de cura após a fusão do pó. O processo é de forma eletrostática e o pó fica aderido eletricamente na superfície da peça, enquanto é aquecido em uma estufa e ocorre fusão do pó formando o revestimento.

O processo produtivo das tintas em pó, para revestimentos industriais podem ser realizadas, de acordo com o fluxograma da Figura 19.

**Figura 19** – Produção de Tinta em Pó para Revestimentos Industriais.



FONTE: KRANKEL (2014).

A primeira operação unitária é a pré-mistura, onde os componentes são misturados até atingir a homogeneização adequada, a fim de obter uma tinta em pó uniforme nas suas propriedades. A etapa seguinte é a extrusão, nessa ainda ocorre à homogeneização, as resinas são fundidas resultando em um líquido viscoso. No resfriamento, o material fundido em forma de pasta é

rapidamente resfriado. Posteriormente, a etapa de moagem ou perfil granulométrico fundamental para o aspecto final da película. Na classificação e envase, a tinta passa por peneiras e por fim para comercialização, que dependendo é destinado ao mercado específico (KRANKEL, 2014).

#### 2.12.4. Tipos e aplicações das Tintas

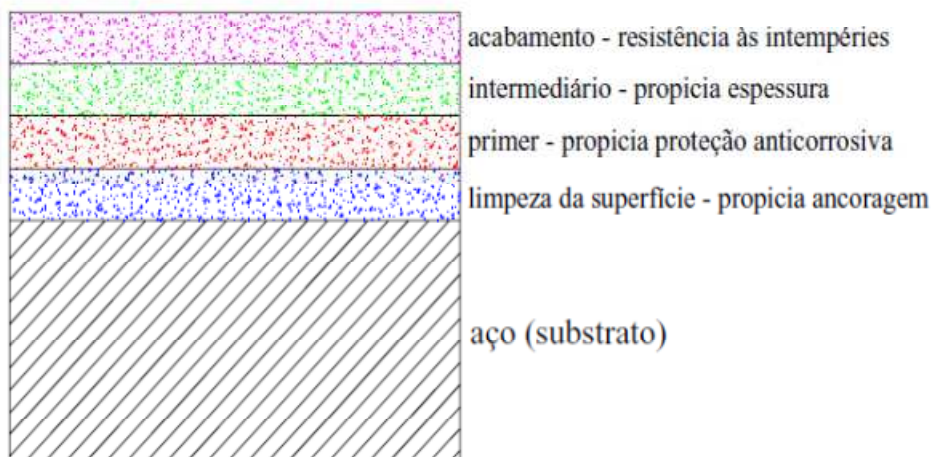
Os tipos de pinturas industriais podem ser entendidos por serem de fabricação em série e de campo. Em série, é feita por instalações fixas que limpam e condicionam a superfície, como as cabines de aplicações, estufas e o jateamento abrasivo. Já as de campo, são aplicações de tintas feitas por instalações móveis, como pistolas (KRANKEL, 2014).

As tintas contêm constituintes básicos que ao serem incorporados apresentam os tipos e conferem propriedades específicas. Podem ser classificadas por grupos que serão determinadas conforme sua aplicabilidade. As tintas convencionais são tintas de óleo, tintas betuminosas e líquidas sintéticas. As que são caracterizadas por secarem por evaporação do solvente são as lacas, como os grupos das tintas acrílicas, as tintas vinílicas são as chamadas de tintas seminobres e as tintas nobres, como os epóxis, poliuretano e as ricas em zinco (STORCK *et al.*, 2014).

As tintas *primer*, contêm pigmentos anticorrosivos que protegem o substrato e corrigem pequenas imperfeições, sendo a primeira a ser aplicada. As intermediárias melhoram a proteção com aumento de camada de barreira, proporcionando maior espessura. As de acabamentos dão aparência e espessura ao substrato, assim como cor e texturas estão em contato direto com o meio. Essas aplicações são relativamente para meios muito agressivos, em ambientes basicamente com pouca ou média agressividade, apenas é necessário o *primer* (CASTRO, 1999). Conforme apresentada na Figura 20 como deve ser o sistema de revestimento.



**Figura 20** – Sistema de Revestimento.



FONTE: CASTRO (1999).

Araujo (2011) relata que no processo inicial da estrutura metálica, o aço (substrato) passa por um tratamento de limpeza e melhoramento de aderência para receber as camadas de tintas. No sistema de pintura as “demãos” (pintar várias vezes o mesmo local) têm características próprias. O *primer* é a tinta base e o componente mais importante no sistema de pintura. Essa base deve ser adequada e compatível para camada subsequente conferindo características de aderência, coesão e dilatação por conter pigmentos anticorrosivos essa assegura uma boa proteção ao substrato.

Segundo o mesmo autor, a intermediária, permite alcançar maior aumento de espessura total, que melhoram outras propriedades de revestimentos, como a resistência química, abrasão e ao impacto, sendo uma base de aderência para a demão de acabamento. O acabamento desempenha a função de selar a resistência no sistema de pintura, formando a barreira superficial ao ambiente e dando características estéticas, cor e brilho final.

#### 2.12.5. Mecanismo de Proteção Anticorrosiva

As proteções anticorrosivas na película podem ser por barreiras, passivação anódica e catódica. As proteções por barreiras atuam impedindo o contato entre o meio corrosivo e a superfície que se quer proteger (LEITINHO, 2005). As proteções catódicas são técnicas baseadas nos princípios da eletroquímica, que transforma a estrutura metálica que quer

proteger em uma pilha artificial, evitando que a estrutura se deteriore. As proteções por passivação anódica, consagra uma aplicação de corrente anódica externa na superfície metálica que permite a formação de uma camada superficial de óxidos protetores, formam um obstáculo que permite o isolamento da superfície metálica impedindo o fluxo do processo de corrosão, constituídos do próprio metal a ser protegido (SILVA, 2016).

#### 2.12.6. Cores na Pintura Industrial

As cores podem apresentar dimensões como principais a luminosidade, tonalidade e saturação. Essas dimensões associadas determinam as cores dos sistemas de tintas usados dando melhor impressão visual (ANGHINETTI, 2012).

Os contrastes das cores influenciam nas especificações, além dos efeitos estéticos. As cores escuras pesam, diminuem o espaço e absorvem o calor tornando o ambiente quente, enquanto as cores claras esfriam, alongam, trazem leveza ao meio e dependendo da tonalidade da cor traz maior luminosidade. As cores mais vivas (orgânicas) são mais suscetíveis à radiação solar, podendo desbotar com pouco tempo de aplicação, além de realçarem possíveis ondulações da superfície. As cores denominadas pastéis (inorgânicas) possuem maior estabilidade de cor (CUNHA, 2011).

#### 2.12.7. Preparação da Tinta

Antes de ser aplicada a tinta precisa de alguns cuidados relacionados à mistura, homogeneização e diluição (HARTER, 2013).

##### **2.12.7.1. Mistura, Homogeneização e Diluição da Tinta**

Na preparação da tinta para aplicação na estrutura metálica que seja com *primer* é adicionando o componente B ao componente A nas proporções (volume) indicadas, sob agitação até completar a homogeneização por meio de agitação mecânica ou pneumática, assegurando que nenhum sedimento fique retido no fundo das embalagens. O diluente Epóxi é adicionado após a mistura B+A, em um percentual indicado da diluição. Caso ocorra a excessiva diluição

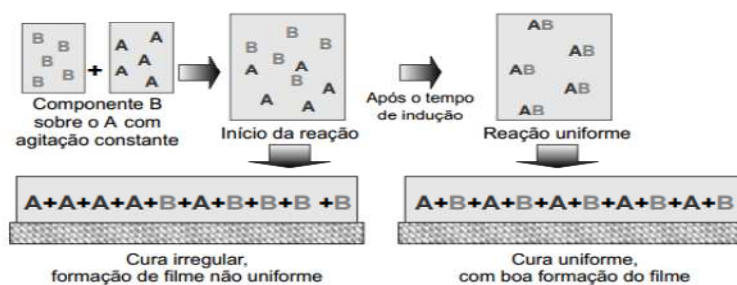
da tinta poderá formar um filme e assim dificultar a obtenção da espessura especificada (WEG, 2017).

As tintas em geral são fornecidas mais grossas (altamente viscosas), que mantêm os pigmentos em suspensão, porém quando são pouco viscosos, os pigmentos sedimentam rapidamente e formam um “bolo” duro e compacto no fundo da lata, por isso que são diluídas no momento do uso. A finalidade do componente B é afinar, diluir a tinta preservando as suas propriedades. Para evitar incompatibilidade, o diluente deve ter afinidade com resina e solventes da tinta, como sedimentação excessiva, coagulação, demorar a secar e dificuldades de espalhamento e nivelamento da tinta devido ao pouco ou alto poder de solvência (WEG, 2017).

### 2.12.7.2. Tempo de Indução e Temperatura de Aplicação

A indução é o tempo de espera que se tem com a tinta já misturada e diluída, onde as resinas já começam a reagir entre si e ao aplicar estejam mais homogêneas para aderência na superfície (GNECCO, MARIANO e FERNANDES, 2003). Como pode ser observado na Figura 21.

**Figura 21** – Tempo de Indução de Aplicação das Tintas.



FONTE: GNECCO, MARIANO e FERNANDES (2003).

O componente B (diluente) age sobre o componente A (base epóxi), com agitação constante para que inicie a homogeneização e as reações. Essa reação obedece ao critério de intervalo de “demão” para obter uma formação de filme uniforme. Se aplicar antes do intervalo mínimo especificado, o solvente anterior por não ter evaporado, a tinta apresenta espessura exagerada, podendo haver escorrimento nas superfícies verticais, demorando a secar e quando secar apresenta fissuras ou trincas. Caso seja após o intervalo a

aderência é prejudicada podendo haver destacamento entre as demãos, resultando em uma cura irregular. Obedecendo ao tempo suficiente da evaporação do solvente, ocorre interpenetração das camadas, resultando em uma cura uniforme de boa formação do filme (GNECCO, MARIANO e FERNANDES, 2003).

A temperatura do substrato e as condições climáticas e ambientais podem interferir no tempo de secagem do produto. Para melhor propriedade de aplicação, a temperatura da tinta deverá estar entre 21-27°C, antes da mistura e aplicação. O brilho e a cor poderão sofrer pequenas alterações, quando estiver com condições adversas, como URA (Umidade Relativa do Ar) acima de 85% ou superfícies condensadas (WEG, 2017).

As temperaturas abaixo de 10°C irão retardar a secagem da tinta, demorando mais na aplicação e nas próximas “demãos”, as temperaturas abaixo 10°C e acima 40°C alteram as condições de cura, as que estão acima de 40°C apresentam defeitos como fendilhamento (abrir pequenas fendas ou frisuras), formação de bolhas ou crateras e enrugamentos, mas quando a temperatura está muito elevada, a secagem é mais rápida onde a evaporação é comprometida e altera as propriedades da película seca (KRANKEL *et al.*, 2014).

### 2.13. IMPACTOS AMBIENTAIS

A partir dos anos 70 a preocupação com meio ambiente, levou ao início de mudança no padrão do setor industrial, lentamente ou gradativamente diminuindo a quantidade de solventes, substituindo total ou parcialmente por água. Os solventes nas tintas foram utilizados orgânicos derivados do petróleo e a crescente preocupação ambiental desenvolve produtos menos agressivos ao meio ambiente (HORIKAWA, 2003).

Os principais impactos ambientais estão associados ao processo produtivo, com emissão de efluentes e geração de resíduos. Além de outros aspectos que influenciam no impacto ambiental como as matérias primas e auxiliares empregadas apresentam propriedades tóxicas e irritantes a saúde humana e ao meio (YAMANAKA *et al.*, 2006).

É necessário que os produtos sejam avaliados de acordo com impacto ambiental causado na sua vida útil desde a extração dos recursos naturais até

a degradação e a disposição final do produto ao meio. As tintas e texturas ao serem degradadas exigem uma dispendiosa atividade de manutenção emitindo resíduos poluidores ao meio ambiente e a maioria das embalagens utilizadas não pode ser reutilizada, tornando-se um dos principais resíduos da construção civil (CUNHA, 2011).

As tintas a base de água vem mostrando melhor eficiência, no desempenho apresentando menor nível de compostos orgânicos voláteis e menor odor tanto no manuseio e agente externo (FERNANDES, 2008).

Para analisar a importância do presente estudo que retrata sobre a aplicação de resina epóxi na resistência anticorrosiva na superfície metálica de aço carbono, buscou-se um artigo sobre perfil de rugosidade de superfícies de aço-carbono x espessura de tintas e de esquemas de pintura – um tema para ser debatido. Apresentado por Celso Gnecco e Fernando Fragata, no II SBPA – Seminário Brasileiro de Pintura Anticorrosiva, apresentado no Othon Rio Palace Copacabana/RJ em 16 de Dezembro de 2014.

No artigo é apresentado ainda no resumo que o perfil de rugosidade dos substratos metálicos, em especial os de aço-carbono é um fator importante para proporcionar boas condições de aderência às tintas e aos esquemas de pintura. Um critério utilizado, ainda que antigo, para se estabelecer o perfil de rugosidade, é que este esteja compreendido entre 1/4 a 1/3 da espessura do revestimento. Com o desenvolvimento de novas tecnologias de tintas, houve uma mudança substancial nas propriedades físico-químicas das mesmas como, por exemplo, maior teor de sólidos e altas espessuras por “demão”. Com isso, a espessura dos revestimentos por pintura aumentou de forma expressiva, enquanto a rugosidade do substrato alterou pouco.

Com isso, eles fizeram um levantamento para se conhecer a espessura de certas tintas e esquemas de pintura e o perfil de rugosidade exigido para a aplicação dos mesmos.

Para os autores, a limpeza e preparação de um substrato metálico é um dos fatores mais importantes para obter uma aderência adequada nos revestimentos de pintura e não sendo levado em consideração pode prejudicar o desempenho da proteção, principalmente as proteções anticorrosivas. Revestimentos com fracas aderências apresentam falhas prematuras em curto espaço de tempo, expostos em condições de imersão ou em meios com altas umidades relativas, mesmo quando não sendo imersa, mas com variações de

temperatura levam as tintas a apresentarem falhas, ancoragem, aparecimento de bolhas, descascamentos e até corrosão. Há três mecanismos que contribui para aderência do substrato:

Os autores retrataram ainda sobre algumas considerações sobre a rugosidade do substrato na aderência mecânica dos revestimentos de pintura e constatou que ao ser aumentado a espessura do revestimento na estrutura metálica, há que se aumentar o perfil de rugosidade. Esse é o controle de perfil de rugosidade das superfícies mecânicas, pois ao ter rugosidade muito elevada pode resultar na presença de picos com espessura de tintas muitos baixos, o que constitui o aparecimento de pontos de corrosão e uma rugosidade muito baixa prejudica a aderência dos revestimentos dos substratos, logo a ideal propicia boas condições de aderência e boa cobertura do perfil de rugosidade.

Os resultados obtidos pelos autores mostraram a necessidade da realização de um amplo debate sobre o tema em questão, com a participação de profissionais e empresas envolvidas com a aplicação de tintas e esquemas de pintura, com o objetivo de se estabelecer critérios técnicos bem fundamentados para a especificação do perfil de rugosidade, em função da espessura e das características técnicas dos revestimentos anticorrosivos.

Para os autores pôde-se concluir que em função das novas tecnologias de tintas que surgiram nos últimos anos, é importante a realização de debates, com a participação de empresas e profissionais envolvidos com a pintura anticorrosiva, no sentido de se estabelecer os parâmetros ou critérios que devem nortear a seleção do perfil de rugosidade do substrato em relação à espessura dos revestimentos.

### **3. METODOLOGIA**

Este trabalho foi realizado através de revisão de literatura, que consiste no processo de busca, análise e descrição fundamentada em livros, artigos de periódicos, trabalhos de conclusões de curso, monografias, dissertações e teses, nacionais e internacionais, sobre o tema estudado. A partir do levantamento bibliográfico foi verificada, analisando um artigo, a importância de se estudar os pontos relevantes do assunto.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com o objetivo de buscar explicar, teoricamente, o sistema de pintura industrial desde a preparação da superfície metálica até a aplicação de revestimentos de pintura, este trabalho aborda um estudo a partir de pesquisas bibliográficas, boletins técnicos e NBR - ABNT sobre propriedades, aplicações e inspeção no sistema de pintura e do aço.

Foram considerados métodos de processamento, mecanismo, preparação e tempo de indução de uma tinta epóxi, como proteção anticorrosiva de um substrato metálico e destacado o processo que antecede essa etapa, como preparação e limpeza das peças metálicas. Abordando e classificando as diferenças entre os teores de carbono no aço para proporcionar determinadas propriedades. Apresentando também as formas de corrosão, os meios corrosivos e as operações que dão características ao aço-carbono. Retratou sobre os fundamentos teóricos da Resina Epóxi e suas finalidades e aplicações nos aços carbono para proteção anticorrosiva.

Na discussão com um artigo foi apresentada uma análise sobre o perfil de rugosidade e espessura de esquema de pintura de diversos tipos de tintas epóxis e a partir daí, foi possível observar que a aderência da espessura de tinta está diretamente ligada ao grau de perfil de rugosidade do aço, para proporcionar alicerce e aderência adequada.



## REFERÊNCIAS

- ADRIANO, Scheid. *AÇOS – Fabricação, Transformação e Usos*. Curso Básico de Aços. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR. 2010. 100f.
- ARCELORMITTAL MINERAÇÃO. Agência O globo. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/economia/para-ex-executivo-da-vale-2017-sera-desafiador-para-minerio-de-ferro-19950217>, acesso em: 24 de Julho de 2017.
- ALMEIDA, Cleber Nogueira de. *Propriedades Mecânicas e Térmicas do Sistema Epóxi DGEBA/ETILENODIAMINA Modificado com Nanoplateformas de Silsesquioxano substituídas com grupos ésteres*. Dissertação (Pós - Graduação em Física e Química) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005. 96f.
- ALMEIDA, Cristiano Faustino. Forno Panela (FP), 2012. Disponível em: <http://aciarianews.blogspot.com.br/2012/12/forno-panela-lf.html>. Acesso em: 24 de Julho de 2017.
- ANGHINETTI, Izabel Cristina Barbosa. *Tintas, suas propriedades e aplicações imobiliárias*. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012. 65f.
- ARAUJO, Gustavo Medina. *Análise do processo de pintura na conversão de navios em plataforma FPSO*. Graduação (Curso de Graduação em Tecnologia em Construção Naval) – Curso Superior de Tecnologia em Construção Naval UEZO, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011. 45f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15239: Tratamento de superfícies de aço com ferramentas manuais e mecânicas. 2005. 8f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15488: Pintura industrial – Superfície metálica para aplicação de tinta – Determinação de perfil de rugosidade. 2007. 5f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12554: Tintas para edificações não industriais – Terminologia. 2013. 7f.
- ATKINS, P.; JONES, L. *Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente*. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 968f. Tradução de Ricardo Bicca de Alencastro.
- AVANZI, Caio; SILVA, Antônio Carlos da; DOMINGOS, Douglas Borges; ANGELO, Edvaldo. BRASIL. Governo de São Paulo. *Mecânica: Tecnologia dos Materiais e Industrial*. São Paulo, 2011. Volume 2. 20-26f.
- BIAGIO. Disponível em: <http://fundicaobiagio.com.br/fundicao-de-ferro-e-aco/>. Acesso em 24 de Julho de 2017.
- BROWN, Theodore L.; LEMAY, H. Eugene; BRUCE, E. *Química: a ciência central*. 9ª ed. Prentice Hall Brasil, 2005. 992f.
- CARDOSO, Ana Patrícia Martins. *Procedimentos de Controle da Qualidade de Trabalhos de Pinturas na Construção de Edifícios*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto – Portugal, 2009.

- CARUSO, Informações gerais sobre o aço. *Tecnologia Mecânica*. Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo – CEFET/SP, 2001.
- CARVALHO, Pedro. S. L.; SILVA, Marcelo Machado da; ROCIO, Marco Aurélio Ramalho; MOSZKOWICZ, Jacques. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. *Minério de ferro*. Insumos básicos BNDES setorial. Rio de Janeiro, 2014. 197-234f.
- CASTRO, Eduardo Mariano Cavalcante de. *Patologia dos Edifícios em Estrutura Metálica*. 1999. 204f. Dissertação (Pós – Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 1999.
- CIN, Guia de Esquema de Pintura 12944-5:2007, 2013.
- COSTA, Tiago Detrudes da; SILVA, Gislayne da; GONÇALVES, Ademir; DUBAY, José Henrique; GUIRAO, Rafael Kazuo Yamamoto. *A melhoria das propriedades mecânicas do aço por meio do tratamento térmico*. In: VI CONCCEPAR: Congresso Científico da Região Centro-Ocidental do Paraná. ISN 1983-7178. Faculdade Integrada do Campo do Mourão, 2015. Campo do Mourão – PR.
- COLOMBI, Bruna Lyra. Polimerização da Poliamida 6,6: Uma Breve Revisão. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, Florianópolis, v.11, n.3 (2016) 121- 129 ISSN 1809-8797. Junho de 2017.
- CUNHA, A. O. *O Estudo da Tinta/Textura como Revestimento Externo em Substrato de Argamassa*. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2011. 129f.
- DONADIO, P. A., ABRAFATI. *Manual básico sobre tintas*. Janeiro 2011.
- GAUTO, Marcelo Antunes. *Tintas*, módulo II. Curso Técnico em Química. Primeira edição – Março de 2007. Gravataí –RS.
- FERNANDES, Francisco Ivanildo Abreu. *Estudo de Tintas Epóxis à base d'água utilizando pigmentos anticorrosivos atóxicos*. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008. 89f.
- FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Corrosão dos metais. 2017. Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/corrosao-dos-metais.htm>. Acesso em: 31 de Julho de 2017.
- GNECCO, Celso; FRAGOSO, Fernando. *Perfil de Rugosidade de Superfícies de Aço-carbono x Espessura de Tintas e de Esquemas de Pintura – Um Tema Importante para Ser Debatido*. 2014. 12f. II SBPA – SEMINÁRIO BRASILEIRO DE PINTURA ANTICORROSIVA. Othon Rio Palace Copacabana-RJ em 16 de Dezembro de 2014.
- GNECCO, C.; MARIANO, R.; FERNANDES, F. Instituto Brasileiro de Siderurgia Centro Brasileiro da Construção em Aço. *Tratamento de Superfície e Pintura*. 2003, 96f. Série Manual da Construção em Aço. Rio de Janeiro. 2003.
- GUERRA, F. B.; AIRES, Matilde. *Avaliação da resistência e reparação ao estresse térmico das tintas alquídica e epóxi aditivadas com microesferas de*

*poli e-caprolactona*. Dissertação (Graduação em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014. 84f.

HARTER, Marcos. *Estudo dos Requisitos da Norma Petrobras para Controle da Qualidade do Processo de Pintura Industrial*. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi. 2013. 62f.

HORIKAWA, Carla Shizumi. *Transporte e Morfologia de Esquemas de Tintas Epóxi Poliamina Equivalentes à Base de Solvente e Água*. Dissertação (Pós - Graduação em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003. 113f.

HUNTSMAN, Enriching lives through innovation. Advanced Materials, Sistemas de Resina Epóxi. Guia de manuseio seguro. 2011.

KAPPS, V.; SIMÕES, A. L.C.; CUSTÓDIO, A. B. *Experimentos de Baixo Custo em Corrosão e Proteção de Dutos de Aço em Meios Ácidos*. REUCP. Petrópolis, v.7. n. 2, p. 23 – 38, ISSN 2318-0692. 2012.

KINA, Aline Yae. *Inibidores de Corrosão para Sistemas de Aço Carbono Submetidos a meios de Alta Salinidade e Presença de CO<sub>2</sub>*. Dissertação (Pós - Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Instituto Alberto Luiz Coimbra COOPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011. 96f.

KRANKEL, Fábio. *Manuais Técnicos: Pintura Industrial com Tintas Líquidas*. Referência 03. Treinamento: Desenvolvimento tecnológico DT-12: Pintura Industrial com tintas Líquidas. Revisão 04. 2014.

KRANKEL, Fábio. *Manuais Técnicos: Pintura Industrial em Pó*. Referência 03. Treinamento: Desenvolvimento tecnológico DT-13: Pintura Industrial com tintas em pó. Revisão 04. 20 de Junho de 2014.

LEE, J.D. *Química inorgânica, não tão concisa*. Ed. Edgard Blucher. 1ª ed. São Paulo. Edgard Blucher, 1999. 527 f.

LEITE, Adriana de Oliveira Sousa. *Desenvolvimento e Estudos de Tintas Epóxis Anticorrosivas Ecologicamente Corretas*. Tese (Doutorado em Química inorgânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza Ceará, 2004. 168f.

LEITINHO, Janaina Lopes. *Estabilidade Térmica de Tintas Epoxidicas em Presença de Pigmentos Anticorrosivos*. 2005. 85f Dissertação (Pós- Graduação em Química Inorgânica). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza- CE. 2005.

LIMA, Ana Carolina A. C. de. *A utilização de Plásticos na Construção Civil*. In: COBENGE XL CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA. 03 a 06 de Setembro 2012 – Belém – PA.

LOPES, Jorge Teófilo de Barros. *Materiais Ferrosos*. 2 - Materiais da Construção Mecânica - Naval. UFPA – ITEC – Faculdade de Engenharia Mecânica. 2015. Pág. 61-112. Cap. 042.

MEDEIROS, Miguel de Araújo. Elemento Químico, Ferro. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA. Brasília, 2010. v.32, n.3.

Mecânica Industrial. O que é uma usina siderúrgica. Disponível em: <https://www.mecanicaindustrial.com.br/556-o-que-e-uma-usina-siderurgica/>. Acesso em: 24 de Julho de 2017.

- MEDTEC. 2017. Disponível em:  
<http://medtec.com.br/detalhes.php?produto=355>. Acesso em: 31 de Julho de 2017.
- Modulax (2015). Disponível em:  
<http://www.verangola.net/va/pt/052015/MateriasPrimasTransformacao/1174>. Acesso em: 24 de Julho de 2017.
- OLIVEIRA, Marilei de Fátima. *Processo de Fosfatização a Base de Ferro II Contendo Tolitriazol para o Aço Carbono*. Dissertação (Pós-Graduação Química Aplicada). Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO – PR. Guarapuava, 2008. 75f.
- OLIVEIRA, Natalino de Paula. *Propriedades Mecânicas de um Aço de Baixo Carbono em Estrutura Ferrita Acicular*. Dissertação (Obtenção de Título de Mestre em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual de Paulista, Guaratinguetá, 2007. 108f.
- OLIVEIRA, Rafael Guimarães. *Produção e Reciclagem de aços inoxidáveis*. Projeto de Formatura – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009. 67f.
- OLIVEIRA, Antônio Roberto de. *Corrosão e Tratamento de Superfície*. 2012. 104f. Escola Técnica Aberta do Brasil. UFSM, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Santa Maria, Campus Belém-PA, 2012.
- PANNONI, Fábio Domingos. *Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em situação de corrosão e incêndio*. 6ª ed. 2015.
- PEREIRA, Suzana de Ávila Cortes. *O Mercado de minério de Ferro*. Monografia (Especialização em Engenharia de Recursos Minerais). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2012. 47f.
- PINHEIRO, Marcio Augusto Rollin; SILVA, Renato Cesar Lima. *Análise de Corrosão e Aplicação de Revestimentos Anticorrosivos em Cascos de navios*. 2015. Projeto de Graduação II. Universidade Federal Fluminense. TCE - Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Mecânica. 2015.
- POLITO, Giulliano. *Principais Sistemas de Pinturas e suas Patologias*. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, 2006. 66f.
- QUINTELA, Joaquim Pereira; REIS, Carlos Augusto; GARRIDO, Sergio de Almeida. *Um Novo Cenário para Pintura de FPSO'S*. In: 22º CONBRASCORR – 6º COTEQ – Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos. 19 a 21 de Agosto de 2002. Salvador – BA.
- RIJEZA METALURGICA. *Revestimento contra desgastes – Dica do especialista nº 4*. Disponível em: <http://www.rijeza.com.br/novidades/dica-do-especialista-ndeg4>. Acesso em: 19/08/17.
- SABESP - SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. NTS 085: *Preparo de superfície metálica para pintura – 2001*. 24f.
- SILVA, Jose Nazareno Santos. *Siderurgica*. Escola Técnica do Brasil II. Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 110F.
- SILVA, Rodrigo Sanchotene. *Tinta Inteligente na Proteção Anódica de Aço – Carbono*. Doutorado (Pós- Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e

de Materiais). Escola de engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. 161f.

SINTO BRASIL a. *Granalhas de aço - Introdução*. 2012. 10f.

SINTO BRASIL b. *Jateamento - Introdução*. 2012. 5f.

SOCIESC - SOCIEDADE EDUCACIONAL DE SANTA CATARINA. *Cadinhos para Fundação*. Joinville, 2008.

STORCK, Odair; GARLET, Eliane; SILVA, Vilmar Bueno; SILVA, Dinelle Izabel da; GODOY, Leoni Pentiado. *Eixo Temático: Inovação e sustentabilidade*. Implantação de um Processo de Preparação de Superfície e Pintura Líquida Poliuretana em uma Empresa de Médio Porte. In: 3º Fórum Internacional Ecoinnovar. 3 a 4 de Setembro de 2014. Santa Maria/RS, 2014.

STORCK, Odair. *Implantação de um Processo de Preparação de Superfície e Pintura Líquida Poliuretana em uma Empresa de Médio Porte*. 2013. 52f. Bacharel em Engenharia de Produção – Faculdade de Horizontina, Horizontina. 2013.

VALE, Alan Rafael Menezes do. *Tratamento Térmico: breve histórico da evolução do tratamento térmico*. Instituto Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2011. 130f.

VIEIRA, Mariana Antunes. *Idade dos metais*. 7f. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional – Texto). 2009.

WALENDOWSKY, Marcus Alberto; IMIANOWSKY, Guilherme Wanka. *Os principais Aços Carbonos utilizados na Construção Civil*. 2017.

WEG. *Tintas - Boletins Técnicos*. W-POXI ERP 322: Tinta Líquida. Referência/06, 2017.

YAMANAKA, Hélio tadishi; BARBOSA, Fabio Saad; BETTIOL, Neliane L.S.; TAMDJIAN, Renata M. Mariano; FAZENDA, Jorge; BONFIM, Gisele; FURLANETI, Fernando; SILVA, Luis Eugenio P.; MARTINS, Jaime; SICOLIN, Airton; BEGER, Ricardo. *Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes – Serie P+L*. São Paulo, SP: FIEP, 2006

ZOLIN, Ivan. *Materiais de Construções: Mecânicas*. Colégio Técnico industrial de Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria – RS. 2010. 3ª ed. 76f.