

FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS
Programa de Pesquisa, Produção e Divulgação Científica.

BÁRBARA NAYANE NÓBREGA ZACARIAS
HARILSON CARLOS MAGALHÃES
GUILHERME HENRIQUE NAZARETH LOPES
FELÍCIO FRANCISCO JARDIM MATOS

PROCESSOS DE GALVANIZAÇÃO DE TUBOS

BELO HORIZONTE – MG
JUNHO/ 2022

BÁRBARA NAYANE NÓBREGA ZACARIAS
HARILSON CARLOS MAGALHÃES
GUILHERME HENRIQUE NAZARETH LOPES
FELÍCIO FRANCISCO JARDIM MATOS

PROCESSOS DE GALVANIZAÇÃO DE TUBOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais (FEAMIG), como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Produção Industrial

BELO HORIZONTE – MG

JUNHO / 2022

RESUMO

A pesquisa consiste em um estudo descritivo, baseado em análises de processos de tratamento de superfície de ferro e aço, especificamente o processo de galvanização a fogo. As informações serão coletadas a partir das publicações sobre siderurgia e fundição de zinco, do qual se originam o método da galvanização a fogo. Foram também usados como fontes de pesquisas teses universitárias, livros e documentários, biografias, sites de indústrias especializadas em galvanização a fogo. O objetivo geral deste estudo é elucidar o processo de tratamento de superfície em aço, através da galvanização a fogo, demonstrando o quanto é eficiente no combate a corrosão, sua durabilidade e seu baixo custo comparados a outros processos de proteção ao aço.

Palavras-chave: Processo de galvanização. Galvanização a quente. Galvanização a fogo. Zincagem.

ABSTRACT

The research consists of a descriptive study, based on analysis of iron and steel surface treatment processes, specifically the hot-dip galvanizing process. Information was collected from publications on steel and zinc smelting, from which the hot-dip galvanizing method originates. University theses, books and documentaries, biographies, websites of specialized industries in hot galvanizing were also used as research sources. The general objective of this study is to elucidate the process of surface treatment in steel, through hot galvanizing, demonstrating the how efficient it is in combating corrosion, its durability and its low cost compared to other steel protection processes.

Keywords: Galvanizing process. Hot galvanizing. Hot galvanizing. Zinc plating.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de galvanização	13
Figura 2 - Layout do processo de galvanização	14
Figura 3 - Teste de determinação da massa de zinco por unidade área.....	16
Figura 4 – Teste de verificação de aderência do revestimento de zinco	18
Figura 5 - Teste de verificação da uniformidade do revestimento (ensaio de prece)	19
Figura 6 - Amostra de liga ferrosa, mostrando o contraste entre parte decapada e não decapada.....	20
Figura 7 - Camadas de oxidação do ferro	20
Figura 8 - Camadas formadas no processo de zincagem	24
Figura 9 - Influência do teor de silício na camada de zinco.....	24
Figura 10 - Durabilidade dos produtos galvanizados	28
Figura 11 - Layout do processo de galvanização	44
Figura 12 - Layout do processo de galvanização modificado.....	45
Figura 13 – Gráfico de ocupação nos três cenários realizados.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Massa de zinco por unidade de área de materiais zincados	15
Tabela 2 - Espessura da camada em relação ao tempo de imersão	26
Tabela 3 – Esquema de pintura x Tipo de atmosfera.....	31
Tabela 4 – Taxa de corrosão do aço zincado na ECA Lorena	31
Tabela 5 - Taxa de corrosão do aço zincado na ECA Santo André	31
Tabela 6 – Taxa de corrosão do aço zincado na ECA São Paulo.....	32
Tabela 7 – Disponibilidade de tempo das etapas do processo.....	45
Tabela 8 – Disponibilidade de tempo das etapas do processo 2.....	46

Sumário

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Contexto da Pesquisa.....	10
1.2 Problema da Pesquisa.....	10
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo Geral	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 Justificativa	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Etapas do processo de galvanização	12
2.1.1 Descrições do processo de galvanização	12
2.1.2 Fluxograma do processo de galvanização	13
2.1.3 Layout do processo de galvanização	14
2.2 Requisitos exigíveis para galvanização de produtos em aço.....	14
2.2.1 Norma Brasileira NBR 6323	14
2.2.2 Normas Complementares	16
2.3 Processos de preparação do aço para imersão no zinco em fusão	19
2.3.1 Decapagem (ácido clorídrico)	19
2.3.2 Aço.....	20
2.3.3 Fluxagem (Bethaflux)	22
2.3.4 Zincagem	23
2.4 Principais fatores que contribuem para uma galvanização e como atuam	25
2.4.1 Estado da superfície.....	25
2.4.2 Velocidade de imersão e remoção:.....	25
2.4.3 A temperatura do banho.....	25
2.4.4 Tempo de imersão	25
2.4.5 Composição do banho	26
2.4.6 Acabamento	27
2.5 Vantagens e desvantagens da galvanização fogo.....	27
2.5.1 Vantagens da galvanização a fogo	27
2.6 Desvantagens da galvanização a fogo	30
2.7 Comparativos de durabilidade perante outro tipo de processo.....	31
2.7.1 Galvanizações X Pintura	31
2.8 Custos comparativos	32
2.9 Benefícios de Galvanizar a fogo	33
2.9.1 Benefícios	33
3 METODOLOGIA.....	35

3.1 Pesquisa quanto aos fins	35
3.2 Pesquisa quanto aos meios	36
3.3. Organização em estudo.....	38
3.4. Universo de pesquisa e amostra.....	38
3.5. Formas de coleta e análise de dados.....	38
3.6. Limitações da Pesquisa.....	38
4 RESULTADOS	39
4.1 Requisitos exigíveis para galvanização a quente segundo norma NBR 6323..	39
4.1.1 Requisitos e referências normativas.....	39
4.2 Os principais fatores que ocasionam a qualidade de uma galvanização e como atua cada fator dentro do processo.....	40
4.2.1 Controle de qualidade da matéria-prima.....	40
4.3 Análises de resultados.....	41
4.3.1 Galvanização de aço 1º cenário.....	42
4.3.2 Galvanização de aço 2º cenário.....	44
5. CONCLUSÃO.....	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A história da galvanização a fogo tem início no ano de 1741, quando um químico francês chamado Melouin descobriu que o zinco era capaz de proteger o aço da corrosão. Ele apresentou os fundamentos do método em uma reunião na Academia Real Francesa. Entretanto, o método não foi muito utilizado até que outro químico francês, Sorel, obteve a patente, em 10 maio de 1837, introduzindo a decapagem sulfúrica (a 9%) e a fluxagem com cloreto de amônio como etapas anteriores e fundamentais ao processo.

Galvanização a fogo (por vezes chamada de Galvanização a quente) é um processo de aplicação de zinco em componentes de aço ou de revestimentos de ferro fundido através da imersão do componente em um banho de zinco fundido. A simplicidade do processo de galvanização a fogo é uma vantagem sobre os outros métodos de proteção contra a corrosão.

A galvanização a fogo pode ser encontrada em quase todo tipo de aplicação e indústria onde o aço é aplicado. As indústrias de utilidades domésticas, processos químicos, papel e celulose, construção civil, automotiva e de transporte, são algumas poucas que tem feito grande uso da técnica até hoje. Por mais de 140 anos, a galvanização a fogo tem sido um sucesso comercial como método de produção, frente à corrosão de uma grande variedade de aplicações, por todo o mundo.

A corrosão é responsável pelo maior consumo de ferro e aço. Cerca de 20% da produção mundial é destruída anualmente. Por isso, não se pode mais esperar que a corrosão apareça para depois se providenciar uma solução, mas sim enfrentá-la como um fato possível de acontecer e, portanto, evitá-la ainda na elaboração do projeto. Na tentativa de reduzir esse índice tão alarmante, esforços tecnológicos são realizados a nível internacional visando à proteção desses materiais metálicos.

1.1 Contexto da Pesquisa

A corrosão e deterioração do aço, principalmente exposto a um ambiente aberto, trazem muitos prejuízos, levando à troca frequente do produto, podendo gerar custos altos. O processo de galvanização a quente nada mais é do que um tipo de beneficiamento do aço. Basicamente a galvanização é uma camada protetora na parte externa de qualquer produto feito de aço.

1.2 Problema da Pesquisa

O que especifica os requisitos exigíveis para galvanização de produtos de aço?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Elucidar o processo de tratamento de superfície em aço, através da galvanização a fogo, demonstrando o quanto é eficiente no combate a corrosão, sua durabilidade e seu baixo custo comparados a outros processos de proteção ao aço.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Apresentar segundo a norma brasileira de regulamentação (NBR 6323) os requisitos exigíveis para galvanização de produtos de aço, revestidos de zinco, por imersão a quente;

- b) Identificar o processo e elucidar os principais fatores que ocasionam a qualidade de uma galvanização e como atua cada fator dentro do processo.
- c) Analisar resultados de uma alteração no layout de um processo de galvanização em tubos.

1.4 Justificativa

Devido à corrosão ser a principal responsável pela grande perda de ferro no mundo, foram cogitados vários processos pelos quais este problema seria resolvido. Alguns processos se mostraram muito eficientes, mas apresentavam problemas quanto ao tempo e custo, que se mostraram altíssimos. A galvanização a fogo confere longevidade ao ferro e aço de, em média, vinte anos, podendo durar até cem anos, dependendo do ambiente.

Um fator determinante para o sucesso da galvanização a fogo é seu menor custo inicial, baixo custo de manutenção, durabilidade, confiabilidade, rapidez no processo, resistência do revestimento, cobertura completa, facilidade de inspeção, além de ser versátil na sua aplicação.

A galvanização hoje se mostra com grande aceitação no mercado de proteção ao aço e ferro, e como todo processo, também apresenta dificuldades em alguns campos e necessidade de melhorias em algumas fases do processo. A importância desse estudo se deve à necessidade de conhecimento da produção de produtos que estão no nosso dia a dia. Um método simples, que faz total diferença na qualidade de muitos produtos de aço. A engenharia de produção busca cada vez mais, um método de trabalho mais eficiente e econômico para produtos galvanizados. Com isso, o seu cliente poderá ter um produto de qualidade com baixo preço.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Etapas do processo de galvanização

- 1) Transporte entre tanques
- 2) Tanque de ácido
- 3) Tanque de água
- 4) Tanque de cloreto
- 5) Bancada de gabaritação
- 6) Estufa de secagem
- 7) Cuba de zincagem
- 8) Tanque de resfriamento
- 9) Bancada de desgabaritamento e embalagem

2.1.1 *Descrições do processo de galvanização*

No processo de galvanização são submersos 50 tubos em um tanque de ácido, com tempo mínimo de 15 minutos. Após este tratamento, as peças são transportadas pela ponte rolante com tempo aproximado de 3 minutos, até o tanque de água onde a mesma passa pelo processo de enxágue com duração de 5 minutos.

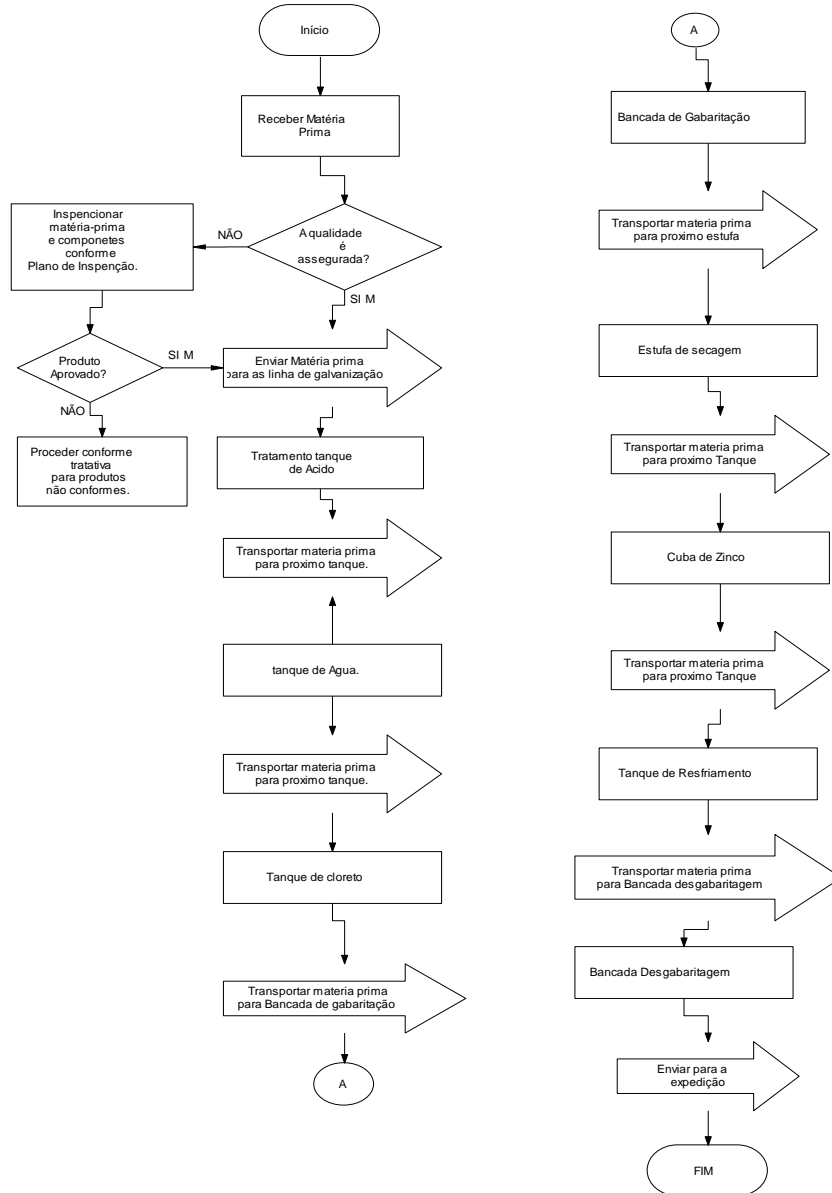
Em seguida, as peças são transportadas para o tanque de cloreto onde permanecem por 5 minutos. Após este processo, as peças são transportadas para a bancada de gabaritação, onde a gabaritação dura em média 5 minutos.

Depois de finalizadas, são enviadas para a estufa de secagem onde permanecem por 15 minutos. Em seguida, as peças são imersas na cuba de zinco por 5 minutos. Logo após, elas são enviadas para o tanque de resfriamento onde permanece por 2 minutos.

As peças são transportadas para a bancada de desgabaritagem onde as mesmas serão embaladas. Este ciclo dura em média 5 minutos.

2.1.2 Fluxograma do processo de galvanização

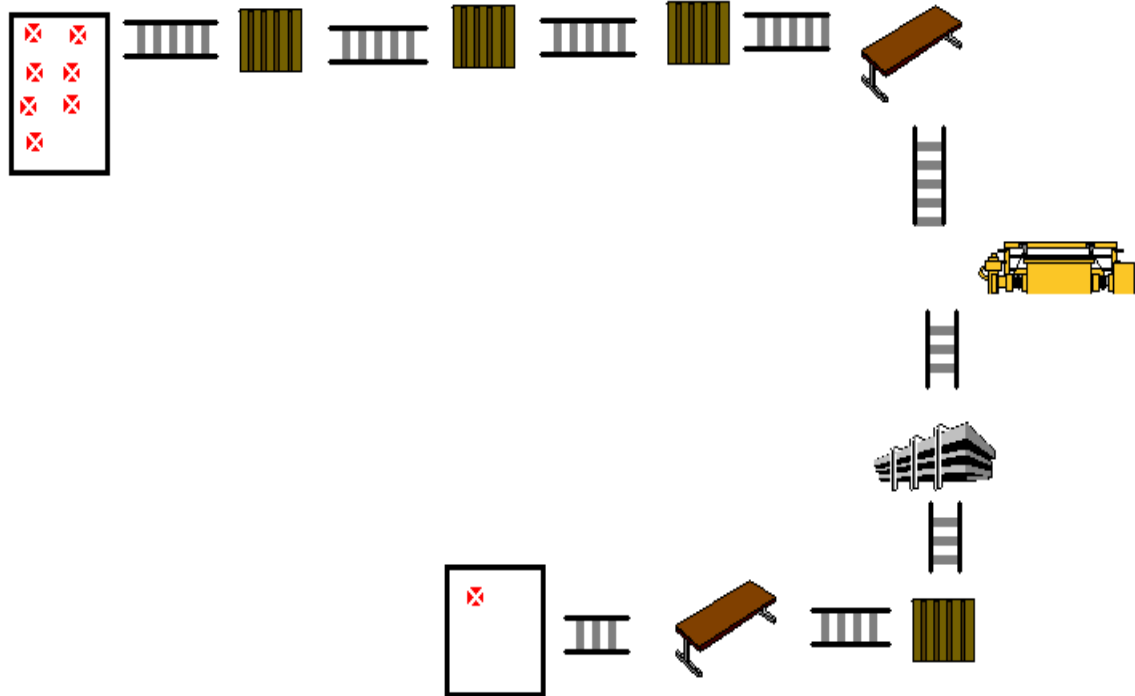
Figura 1 - Fluxograma do processo de galvanização



Fonte: (LOPES, 2020)

2.1.3 Layout do processo de galvanização

Figura 2 - Layout do processo de galvanização



Fonte:(FOGAL,2009)

Conforme a desenho acima, segue as seguintes etapas do processo:

Tanque de ácido, Tanque de água, Tanque de cloreto, Bancada de gabaritação, Estufa de secagem, Cuba de zincagem, Tanque de resfriamento, Bancada de desgabaritamento e embalagem.

2.2

Segue as normas vigentes para o processo de galvanização do aço.

2.2.1 Norma Brasileira NBR 6323

Fixa condições exigíveis dos produtos zincados por imersão a quente, sendo alguns assuntos tratados (FOGAL, 2009):

- Menciona normas complementares;
- Menciona qualidade de zinco utilizado aspecto superficial;
- Massa de zinco por unidade de área aderência de revestimento;
- Uniformidade do revestimento;
- Retoque do revestimento;
- Inspeção;
- Aceitação e rejeição;
- Aspecto superficial e geral do revestimento;
- Tabela de massa de zinco por unidade de área;
- Corrosão branca.

Tabela 1 – Massa de zinco por unidade de área de materiais zincados

Material	Massa mínima por unidade de área (g/cm ²)		Espessura mínima equivalente do revestimento (µm)	
	Amostra individual	Média das amostras	Amostra individual	Média das Amostras
Fundidos	550	600	77	85
Conformados Mecanicamente				
Espessuras (E)				
e < 1,0 mm	300	350	42	49
1,0 mm =< e < 3,0 mm	350	400	49	56
3,0 mm =< e < 6,0 mm	450	500	63	70
e >= 6,0 mm	530	600	74	84
Parafusos				
0 >= 9,5 mm	305	380	43	53
0 < 9,5 mm	260	305	37	42
Um revestimento de zinco com 1 g/m ² corresponde a uma espessura de 0,14 µm do revestimento. O valor da espessura do revestimento em µm multiplicado por 7,14 equivalentes, aproximadamente, à massa da camada em g/m ² .				

Fonte: FOGAL, (2009)

2.2.2 Normas Complementares

Segue as normas complementares aplicadas no processo de galvanização.

2.2.2.1 NBR 7397

Prescreve o método para determinação da massa de zinco por unidade área, sendo alguns assuntos tratados na norma:

- Aparentagem.
- Solução para decapagem do corpo de prova.
- Tamanho dos corpos de prova.
- Procedimentos.

Princípio básico do teste:

- 1) Galvaniza-se o corpo de prova juntamente com a carga de produtos a serem galvanizadas;
- 2) Calcula-se a área do corpo de prova;
- 3) Pesa-se o corpo de prova galvanizado;
- 4) Remove-se o zinco através de uma solução de ataque;
- 5) Pega-se a peça sem o revestimento e por diferença a quantidade de zinco que estava aderido;
- 6) Estabelece a proporção entre a massa de zinco aderida e a área do corpo de prova em gramas por metro quadrado.

Figura 3 - Teste de determinação da massa de zinco por unidade área



Fonte: FOGAL, (2009)

OBS: Determinar se a espessura do revestimento de zinco (em micras) através da fórmula $E = M \text{ área} / 7,14$ onde $7,14 \text{g/cm}^3$ é o valor admitido para densidade do zinco.

2.2.2.2 NBR 7398

Prescreve o método de verificação de aderência do revestimento de zinco, sendo algumas exigências da norma:

- Aparelhagem;
- Ensaio em materiais planos, circulares e fios;
- Projeto e detalhamento do martelo-basculante;
- Ensaio do martelo-basculante (massa no ponto de impacto 213 gramas).

Princípios básicos para teste:

- 1) Percutir o gume do martelo, fazendo o bascular do repouso a 90° com relação a superfície a ser testada, efetuando paralelos distanciados de 6 mm.
- 2) A espessura do revestimento, proporcional a "relutância do fluxo magnético" através do substrato do revestimento.
- 3) Através da média das medições pode se estabelecer a massa de zinco por unidade de área multiplicando-se a espessura média, pela densidade do zinco.

Figura 4 – Teste de verificação de aderência do revestimento de zinco



Fonte: FOGAL, (2009)

2.2.2.3 NBR 7399

Prescreve o método para verificação da espessura do revestimento, utilizando aparelho magnético, sendo alguns assuntos tratados:

- Aparelho magnético (princípio de funcionamento).
- Calibração do aparelho.

Princípio básico do teste:

- 1) A espessura do revestimento, proporcional a "relutância do fluxo magnético" através do substrato do revestimento. A atração magnética entre um ímã permanente e o metal;
- 2) Através da média das medições pode se estabelecer a massa de zinco por unidade de área multiplicando-se a espessura média, pela densidade do zinco. Ex.: **100 Microns x 7,14 = 714** gramas de zinco por metro quadrado.

2.2.2.4 NBR 7400

Prescreve o método para verificação da uniformidade do revestimento (ensaio de prece), sendo alguns assuntos tratados:

- Preparação da solução de sulfato de cobre;
- Execução do ensaio;

- Considerações gerais;
- Procedimentos.

Princípio básico do teste:

- 1) Trata-se de um teste de corrosão acelerado;
- 2) O zinco metálico do revestimento em contato com a solução sai da peça deixando para cada átomo, 2 elétrons na lâmina;
- 3) O zinco metálico vai para solução na forma de íon zinco;
- 4) O cobre da solução de sulfato de cobre que está na forma iônica vai até, o corpo de prova, apanha os dois elétrons e deposita na lâmina na forma de cobre metálico (avermelhado);
- 5) Cada imersão deve durar 1 (um) minuto, a seguir o corpo de prova deve ser levado e enxugado;
- 6) Repetir por seis vezes a operação;
- 7) Se tiver um ponto de não conformidade, o depósito de cobre será sobre o metal base e será aderente. (FOGAL, 2009)

Figura 5 - Teste de verificação da uniformidade do revestimento (ensaio de prece)



Fonte: FOGAL, (2009)

2.3 Processos de preparação do aço para imersão no zinco em fusão

2.3.1 Decapagem (ácido clorídrico)

Define-se como decapagem, especificamente a decapagem química, o processo sobre superfícies metálicas diversas com o objetivo de remover oxidações e impurezas inorgânicas, como as chamadas carepas de laminação e recozimento, as camadas de oxidação (no caso das ligas ferrosas chamadas popularmente de ferrugem), crostas de fundição e incrustações superficiais.

A decapagem pode ser precedida do jateamento abrasivo, feito com o objetivo de remover grande parte da carepa e criar rugosidade no material (PANNONI, 2006).

Figura 6 - Amostra de liga ferrosa, mostrando o contraste entre parte decapada e não decapada



Fonte: (PANNONI, 2006)

2.3.2 Aço

O aço, assim como as demais ligas ferrosas, apresenta a seguinte disposição de camadas de oxidação:

Figura 7 - Camadas de oxidação do ferro



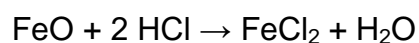
Fonte: FOGAL, (2009)

Utilizam-se ácido clorídrico (ou sulfúrico) em concentrações entre 10 e 20% em água e o tempo de decapagem depende da espessura da carepa ou ferrugem.

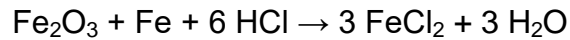
O ácido clorídrico é usado a temperatura ambiente (devido à formação de vapores venenosos e corrosivos, o ácido clorídrico só é aquecido em casos especiais. Possui a vantagens de atacar menos o metal, de reduzir a fragilidade na decapagem, de gerar superfícies mais claras, de ser armazenável mesmo concentrado em embalagens de polietileno de alta densidade, como bombonas ou tambores.

O ácido clorídrico reage mais rapidamente com a crosta que o ácido sulfúrico, citando-se o dobro de velocidade, ataca menos o metal de base e o aço decapado fica com uma melhor superfície, tanto em termos de aspereza quanto em cor (mais clara) quanto limpeza, para as posteriores operações de revestimento ou de deposição, além de ser produzida menor quantidade de solução usada de decapagem, facilitando os posteriores tratamentos.

A razão da superfície atacada pelo ácido clorídrico apresentar esta qualidade superior é que o cloreto ferroso, FeCl₂, é mais solúvel que o sulfato ferroso, FeSO₄. A reação de decapagem é composta de vários níveis dependendo do tipo de óxido envolvido e da concentração do banho na região da peça em tratamento e do cloreto, porém a reação básica para o óxido ferroso sempre é a seguinte:



A reação que caracteriza esta aplicação para o óxido férrico/ferro é:



A qualidade técnica do ácido com concentração de 18% de HCl é a mais comumente usada nos agentes de decapagem de aços carbono.(GUIA DA SIDERURGIA, Edição 39, 2007)

A decapagem com ácido sulfúrico é recomendada principalmente para a pré-decapagem de peças com pontos de solda, quando a concentração utilizada normalmente é na faixa de 20 a 30% e a temperatura de 50°C para aceleração da reação.

Para decapagem após o desengraxe eletrolítico utilizam-se soluções diluídas de ácido sulfúrico (10 a 20%), sendo este o último estágio de tratamento antes da formação da própria camada e com tal tratamento verifica-se a qualidade do desengraxamento).

2.3.3 Fluxagem (*Bethaflux*)

A camada passiva que se desenvolve sobre o aço não é uma camada ou óxido simples, como aquela que se forma ao aquecer-se o material. Em temperaturas elevadas, a camada passiva transparente e pré-existente tem sua espessura aumentada passando a ter coloração mais escura até formar uma camada de óxido acinzentada (semelhante ao “queimado de solda”). A formação desta camada de óxido está associada à redução da resistência à corrosão em temperatura ambiente.

Componentes de aço carbono para uso em altas temperaturas tais como partes de fornos, tiram proveito da formação destas camadas de óxido espessas, porém tenazes para alcançar boa resistência à oxidação a temperatura elevada.

Em contraste, peças destinadas a aplicações em temperaturas próximas da temperatura ambiente contam com a camada passiva, fina e transparente para a sua

resistência à corrosão. Apesar deste processo de passivação ocorrer naturalmente, ele pode ser induzido através da ação de ácidos fortemente oxidantes.

Ácido clorídrico é um dos reagentes mais utilizados para este fim em tratamentos de passivação comercialmente disponíveis para aços. Ácidos mais fracos, como o cítrico, podem também auxiliar na formação da camada passiva. Deve-se notar que o aço inoxidável entregue pelas usinas produtoras e distribuidores de reputação no mercado já têm suas superfícies plenamente passivadas.

O tratamento de passivação, portanto, pode ser uma necessidade para peças usinadas, por exemplo as várias famílias de aço têm procedimentos de passivação próprios, que podem ser tratamentos de um ou dois estágios e que usam soluções de ácido nítrico ou de bicromato de sódio.

Anteriormente à realização do tratamento de passivação é importante garantir que a superfície do aço carbono esteja:

- Livre de qualquer camada de óxido;
- Tenha removido por decapagem qualquer camada empobrecida de cromo (como, por exemplo, a região sobre a qual formou-se o “queimado de solda”);
- Esteja limpa (sem contaminação orgânica, lubrificante de máquinas operatrizes, óleo e graxa).

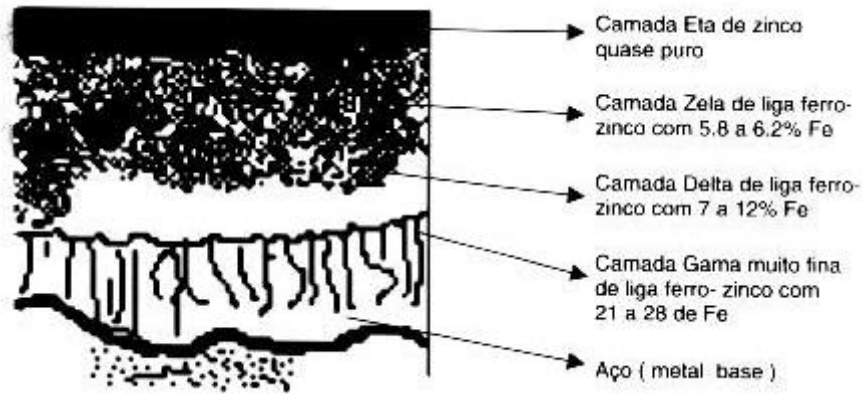
Conforme acima informado, a passivação deve ser realizada após a decapagem, entendendo-se que, enquanto a decapagem é uma operação de limpeza, a passivação é uma operação de proteção (SIDERURGIA BRASIL, Edição 28, 2006).

2.3.4 Zincagem

Após realizada esta primeira etapa, inicia-se a fase de zincagem, que consiste na imersão da peça em uma cuba com zinco fundido à temperatura entre 445 e

460°C, onde o ferro vai reagir com o zinco, iniciando-se a formação de quatro camadas que vão formar o revestimento protetivo.

Figura 8 - Camadas formadas no processo de zincagem

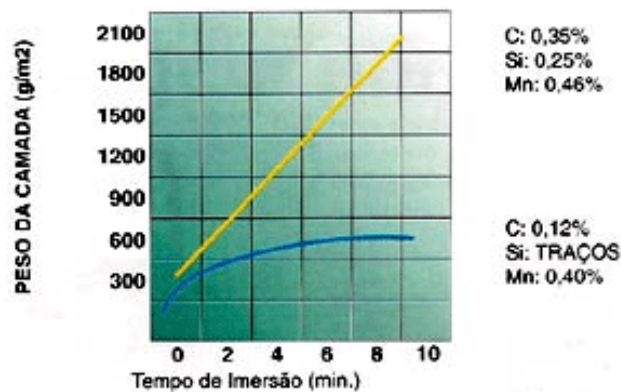


Fonte: (QUIUMENTO, 2009)

Na imersão da peça em zinco fundido (zincagem), existem alguns fatores que vão influenciar na formação do revestimento. Existem alguns metaloides na composição do aço que são elementos aceleradores na reação Fe-Zn. O silício é o maior ativador na geração das fazes Fe-Zn, proporcionando rapidamente cristais longos e espessos. Quando o teor deste elemento é superior a 0,12% já se observa seu efeito com o crescimento da fase Zeta até a superfície, do recobrimento acinzentado e/ou áspero. A espessura do revestimento será maior que o especificado, podendo ser 2x maior. (CONSTRUÇÃO METÁLICA, Edição 50, ABCEM)

Figura 9 - Influência do teor de silício na camada de zinco

Influência do teor de silício na camada de zinco



Fonte: (FOGAL,2009)

2.4 Principais fatores que contribuem para uma galvanização e como atuam

2.4.1 Estado da superfície

Quanto maior rugosa a superfície, mais espessa é a camada de zinco, isto é explicado pelo fato de se ter maior superfície exposta à reação entre o Zn e o Fé, trazendo maior ancoragem mecânica da última camada que fica por arraste durante a remoção da peça.

2.4.2 Velocidade de imersão e remoção:

A imersão deve ser a mais rápida possível a fim de que a camada tenha o mesmo tempo de formação em toda a peça. A velocidade recomendada varia entre 6 e 7m/min.

A remoção deve ser mais lenta e constante para proporcionar um revestimento mais uniforme. A última camada (Eta) é formada por arraste de material da superfície do banho durante a remoção. A velocidade recomendada é por volta de 1,5m/min.

2.4.3 A temperatura do banho

A temperatura de fusão do zinco é por volta de 419°C. A temperatura de trabalho está entre 430 e 460°C. Temperatura mais elevada acelera a reação Fé - Zn, gerando cristalizações grosseiras e frágeis com uma aparência externa irregular, além de afetar seriamente a vida útil da cuba, pois acima de 470°C, a reação do zinco com as paredes da cuba se torna mais intensa.

2.4.4 Tempo de imersão

A camada cresce com o tempo de imersão. Até aproximadamente 1 minuto ela cresce rapidamente. A partir daí, ela é lenta.

O tempo mínimo permitido de imersão é aquele necessário para que toda a peça esteja na mesma temperatura do zinco fundido.

Tabela 2 - Espessura da camada em relação ao tempo de imersão

Tempo de Imersão	Espessura (um)	
	Sem jateamento	Com jateamento
15 s	33	80
30 s	52	110
60 s	60	130
2 min.	82	180
3 min.	110	220
4 min.	130	240

Fonte: (FOGAL, 2009)

2.4.5 Composição do banho

Entre os elementos encontrados ou adicionados ao banho de zinco, o alumínio é o único que exerce uma ação marcante. Quantidade abaixo de 0,006% abrilhanta a superfície de liga. Quantidades acima reduzem ou suprimem a reação entre o ferro e o zinco.

Estes fatores determinantes na formação da camada de zinco devem ser bem controlados, pois se verifica que o tempo de vida do revestimento depende da massa ou peso da cama de zinco.

Resfriamento e passivação da camada de zinco: Com o intuito de que o revestimento de zinco adquira logo em sua superfície uma capa protetora, procede-se a passivação em soluções aromatizantes a base de ácido crômico e bicromato. Esta passivação dá ao produto zincada um aspecto amarelado.

2.4.6 Acabamento

A última etapa deste processo é o acabamento que se houver necessidade pode ser feito através de limagem de excessos, metalização (deposição de zinco por aspersão térmica) ou Galvalum (espécie de tinta com alto teor de zinco maior que 90%). (CONSTRUÇÃO METALICA; Edição50-ABCEM)

2.5 Vantagens e desvantagens da galvanização fogo

2.5.1 Vantagens da galvanização a fogo

Galvanização a fogo, um meio versátil e econômico de proteger estruturas, peças e equipamentos contra corrosão.

2.5.1.1 Menor Custo Inicial

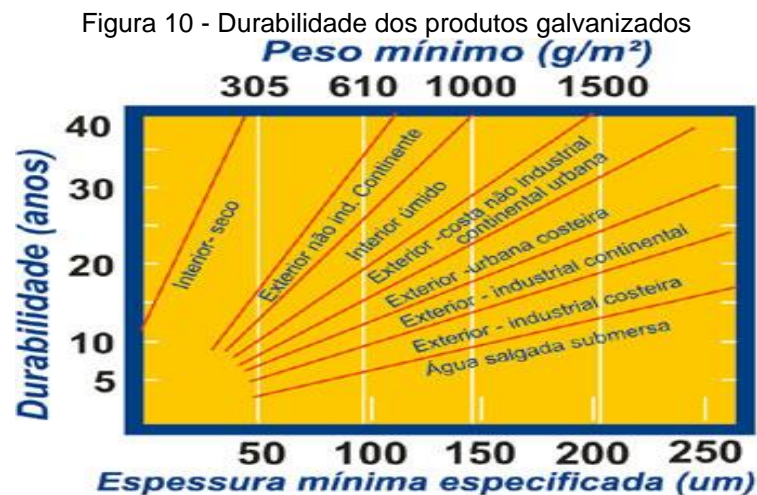
Por ser um processo industrial altamente mecanizado, a galvanização a fogo, tem um custo inicial menor do que os outros revestimentos anticorrosivos (GALVÂNICA BERETTA, 2008).

2.5.1.2 Baixo Custo de Manutenção

A galvanização é o mais versátil e econômico para se proteger o aço e o ferro fundidos, por longos períodos, contra a corrosão. Em equipamentos ou estruturas localizados em áreas de difícil acesso, montadas de forma compacta ou ainda com restrições quanto à segurança o aumento dos intervalos de manutenção reduz os custos decorrentes desta operação e da interrupção de serviços (GALVÂNICA BERETTA, 2008).

2.5.1.3 Durabilidade

A durabilidade dos produtos galvanizados é, diretamente, proporcional à espessura do revestimento de zinco e inversamente, à agressividade do meio ambiente. Ela costuma atingir 20 anos em atmosferas industriais, 20 anos na orla marítima e mais de 25 em áreas rurais (GALVÂNICABERETTA, 2008).



Fonte: (GALVÂNICABERETTA, 2008)

2.5.1.4 Confiabilidade

O processo de galvanização é simples, direto e totalmente controlado. A espessura (massa) do revestimento formado é uniforme, previsível e de simples especificação (NBR 6323) (GALVÂNICABERETTA, 2008).

2.5.1.5 Tenacidade

Devido ao processo de imersão no zinco fundido surge um revestimento unido metalurgicamente ao aço pela formação de camadas de liga Fe-Zn e Zn. Este revestimento confere ao produto galvanizado uma grande resistência a avarias mecânicas durante a manipulação, estocagem, transporte e instalação. Além disso, a dureza do revestimento faz com que ele seja particularmente adequado em

aplicações, onde a abrasão poderia ser um problema (GALVÂNICA BERETTA, 2008).

2.5.1.6 Total Cobertura

Superfícies internas, externas, cantos vivos e fendas estreitas são totalmente revestidos através do processo de imersão da peça de zinco. Somando-se a isto, este processo de galvanização mantém a espessura do revestimento nos cantos e bordas (GALVÂNICA BERETTA, 2008).

2.5.1.7 Facilidade de Inspeção

O produto galvanizado pode ser facilmente inspecionado. A natureza do processo é contínua e perfeita. A espessura do revestimento pode ser facilmente verificada a qualquer momento através de equipamento magnético e por testes não destrutivos (GALVÂNICA BERETTA, 2008).

2.5.1.8 Rapidez no Processo

Em alguns minutos, pode-se obter um revestimento sobre uma peça. As modernas linhas de zincagem contínua, por exemplo, produzem, no ritmo de 500 m²/min, chapas com excelente qualidade de revestimento. Se exigir preparação da superfície, retoques ou pinturas, logo após a galvanização, a peça está pronta para ser utilizada (GALVÂNICA BERETTA, 2008).

2.5.1.9 Proteção da Galvanização

O revestimento produzido pela galvanização protege o aço de três maneiras (GALVÂNICA BERETTA, 2008):

- 1) O revestimento de zinco sofre uma corrosão ambiental mínima sob ação do meio ambiente, o que proporciona uma vida longa e previsível;
- 2) O revestimento é corroído preferencialmente, fornecendo uma proteção catódica (de sacrifício) para as pequenas áreas da peça expostas ao meio ambiente devido, por exemplo, ao esmerilhamento, cortes ou danos acidentais. Se o revestimento for riscado, os sulcos são preenchidos por compostos de zinco formados pela corrosão ambiental, os quais impedem que o metal base seja corroído;
- 3) Quando a área danificada é extensa, a proteção catódica do zinco impede que a corrosão se propague sob o revestimento.

2.6 Desvantagens da galvanização a fogo

A técnica, entretanto, também possui algumas desvantagens. As principais podem ser descritas como (AAA GALVANIZING, 1998):

- A galvanização a fogo não pode ser feita no canteiro de obras. O processo só pode ser feito em uma unidade industrial, a galvanizadora;
- A coloração do zinco somente pode ser alterada através da pintura;
- As dimensões dos componentes ou estrutura a galvanizar são limitadas pelas dimensões da cuba de zinco líquido;
- A alta temperatura do banho pode causar distorções em certos componentes.
- Existe o risco de que, painéis grandes e planos, não enrijecidos, possam sofrer distorções, assim como o empenamento de perfis I, H ou U, de grandes dimensões e pequena espessura de alma/mesas. Um bom projeto aliado à boa prática de galvanização previne as distorções;
- A soldagem de componentes de aço galvanizados a fogo pode demandar procedimentos diferentes daqueles demandados pelos aços não revestidos. A soldagem de componentes galvanizados resultará na perda, em algum nível, de parte da camada de revestimento. A camada é volatilizada durante o processo. Torna-se necessário, assim, o condicionamento do revestimento

ao longo do cordão de solda e áreas adjacentes, através da metalização, da utilização de tintas ricas em zinco ou outro método.

2.7 Comparativos de durabilidade perante outro tipo de processo

Segue comparativos dos processos de galvanização e pintura:

2.7.1 Galvanizações X Pintura

Tabela 3 – Esquema de pintura x Tipo de atmosfera

ESQUEMA DE PINTURA	TIPO DE ATMOSFERA								
	RURAL			INDUSTRIAL			MARINHA		
	Retoques	Repintura Parcial	Repintura Total	Retoques	Repintura Parcial	Repintura Total	Retoques	Repintura Parcial	Repintura Total
CONVENCIONAL	4 a 6	6 a 8	8 a 10	2 a 4	4 a 7	7 a 10	0,3 a 0,8	0,8 a 1,5	1,5 a 2,5
SEMINOBRE	5 a 7	7 a 10	10 a 12	3 a 6	6 a 8	8 a 12	0,5 a 1	1 a 2	2 a 4
NOBRE	4 a 6	8 a 12	12 a 16	5 a 7	7 a 10	10 a 15	2 a 4	4 a 7	7 a 10

Fonte: ALMEIDA, PANOSSIAN, (2009)

Tabela 4 – Taxa de corrosão do aço zincado na ECA Lorena

Taxa de corrosão do aço zincado na ECA Lorena – Atmosfera rural ($\mu\text{m}/\text{ano}$)							
Categoria de corrosividade	Tempo da análise (anos)						Ambiente Externo
	0,5	2	4	6	8	12	
C3 (média) e C2 (baixa)	1,48	0,44	0,26	0,2	0,17	0,14	Pouca contaminação com compostos de enxofre. Baixa concentração de material particulado e elevada U.R.

Fonte: ALMEIDA, PANOSSIAN, (2009)

Tabela 5 - Taxa de corrosão do aço zincado na ECA Santo André

Taxa de corrosão do aço zincado na ECA Sto. André – Atmosfera industrial ($\mu\text{m}/\text{ano}$)

Categoria de corrosividade	Tempo da análise (anos)						Ambiente Externo
	0,5	2	4	6	8	12	
C3 (média) e C4 (alta)	2,17	1,82	1,76	1,74	1,73	1,72	Contaminação elevada de compostos de enxofre e material particulado

Fonte: ALMEIDA, PANOSSIAN (2009)

Tabela 6 – Taxa de corrosão do aço zincado na ECA São Paulo

Taxa de corrosão do aço zincado na ECA São Paulo – Atmosfera urbana ($\mu\text{m}/\text{ano}$)							
Categoria de corrosividade	Tempo da análise (ano)						Ambiente Externo
	0,5	2	4	6	8	17	
C3 (média) e C2 (baixa)	2,14	1,18	1,02	0,96	0,94	0,89	Contaminação moderada com compostos de enxofre, com particulado e ausência de contaminação por outros poluentes

Fonte: ALMEIDA, PANOSSIAN, (2009)

2.8 Custos comparativos

Na escolha de qualquer revestimento, deve ser levada em conta sua vida útil, relacionada com o custo inicial e despesas de manutenção.

No campo usual das aplicações, os produtos zincados por imersão a quente só encontram competição nos revestimentos orgânicos.

A comparação pode ser mais facilmente realizada se os custos forem calculados por unidade de superfície a ser protegida. Entretanto deve-se considerar que o custo de pintura é praticamente independente do tipo de estrutura, sendo função direta do tamanho da superfície a ser revestida; por outro lado, o custo da

zincagem por imersão a quente depende da relação superfície/peso da estrutura, resultando em custos relativamente baixos para peças de secções pouco espessas e de componentes construídos com chapas, e em custos maiores que os da pintura, por exemplo, para o caso de secções mais espessas.

Os dados ora apresentados, permitem concluir que geralmente os revestimentos zincados por imersão a quente têm maior duração que os obtidos por pintura; portanto, apesar de poderem ter um custo de aplicação maior, podem ser mais vantajosos para aplicação em estruturas que exigem uma longa vida, sem necessidade de serviços de manutenção frequentes.

Estudos comparativos dos custos entre ambos, mostram que o custo de zincagem sobre a pintura considerado uma vida útil de 25 anos é de 2 a 3 vezes mais barato.

Entretanto, a aplicação de pintura sobre produtos zincados mostra outro aspecto, e, de fato econômico (Sistema Duplex). Sua validade é nítida para atender a requisitos especiais de resistência à corrosão ou aparência, sabendo-se que uma boa pintura pode alongar a vida útil dos produtos zincados a mais que o dobro, quando expostos a atmosferas agressivas (C5 e C6), além de proporcionar posteriormente manutenções fáceis e baratas (ALMEIDA, PANOSSIAN, 2009).

2.9 Benefícios de Galvanizar a fogo

Os benefícios da galvanização são:

2.9.1 Benefícios

2.9.1.1 Menor custo a longo prazo

A Galvanização por Imersão a Fogo tem o mais baixo custo em relação aos revestimentos alternativo para o Aço, pois além da durabilidade mais exige muito menos manutenção.

2.9.1.2 Vida longa

A expectativa de vida nas peças Zincadas por Imersão a Quente em exposição urbana, rural e litorânea é de 20 a 25 anos em média.

2.9.1.3 Confiabilidade

A Galvanização a Fogo é realizada nos padrões apropriados da ASTM e ABNT, dando uma maior confiança ao cliente no desempenho e na vida útil do produto. Por isso quando for Galvanizar a Fogo, contate somente empresas filiadas à ABCEM - Associação Brasileira de Construção e Estrutura Metálica. "É garantia de Qualidade Total".

2.9.1.4 Proteção Completa

Toda parte de um produto Galvanizado a Fogo é protegido, mesmo em rebaixos, cantos vivos, e áreas inacessíveis. Antes de consultar algum tipo de revestimento, procure saber se sua aplicação tem o mesmo poder de proteção que a Galvanização a Fogo no seu produto (TORRES, 2006).

3 METODOLOGIA

De acordo com Gil (2006, p.42) define-se pesquisa como: “...processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos”.

Para Moresi (2003), é uma forma simplista de procurar respostas para indagações que foram propostas ou levantadas através de observação.

Para tanto, é necessário classificá-la tendo em vista o método usado para o desenvolvimento da pesquisa. Portanto, os próximos tópicos a seguir apresentarão definições sobre os tipos de pesquisas existentes, as formas de coleta e análise de dados, evidenciando quais foram utilizados para a produção desse trabalho.

3.1 Pesquisa quanto aos fins

Gil (2002) aponta três tipos de pesquisas quanto aos objetivos gerais, sendo classificadas como: exploratórias, descritivas e explicativas.

- Exploratória: Tem como objetivo proporcionar familiaridade com o problema, deixando mais claro ao construir as hipóteses. É fundamentado na criação de problema, buscando desenvolver, esclarecer e modificar os conceitos;
- Descritiva: Busca descrever as características de determinada população ou fenômeno e/ou estabelecer de relações entre variáveis;
- Explicativa: Identifica fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. Explica a razão e o porquê das coisas. É a que mais se aproxima da realidade e o tipo mais complexo, pois há o risco de cometer erros.

Pela natureza da presente pesquisa, pode-se classificá-la como descritiva. Objetivando descrever o processo de tratamento da superfície em aço, através da galvanização a fogo. Assim como suas características e particularidades.

3.2 Pesquisa quanto aos meios

Quanto aos meios, as pesquisas podem ser classificadas em vários tipos. Sendo os mais importantes deles:

- Pesquisa Bibliográfica: “A pesquisa bibliográfica lida com o caminho teórico e documental já trilhado por outros pesquisadores e, portanto, trata-se de técnica definida com os propósitos da atividade de pesquisa, de modo geral” (MELLO, 2006, p. 61);
- Pesquisa documental: De acordo com Gil (2008), a Pesquisa Documental assemelha-se a pesquisa bibliográfica, diferenciando apenas na natureza das fontes onde na pesquisa documental, vale-se de materiais que não receberam um tratamento analítico;
- Pesquisa Laboratorial: As pesquisas laboratoriais são associadas, de forma equivocada como exclusivamente pesquisas experimentais; Todavia, muitas áreas das ciências humanas usam estes lugares para o desenvolvimento de estudos e atividades não experimentais (como a Sociologia e a Psicologia Social) (MAZUCATO, 2018);
- Estudo de Campo: Caracteriza-se pela predominância de técnicas de observação, em contra partida da interrogação para a elaboração do estudo a ser realizado (GIL, 2008);
- Estudo de caso: Consiste em um estudo minucioso de um ou poucos objetos, de maneira a permitir seu conhecimento amplo e detalhado (GIL, 2008);

O presente trabalho se classifica como uma Pesquisa Bibliográfica, sendo fundamentada por livros e artigos científicos, tratando-se de uma leitura atenta e minuciosa para melhorar a compreensão e ponderar informações relevantes que eventualmente serviram para elaborar a teórica do estudo.

3.3. Organização em estudo

Esse trabalho de Conclusão de Curso busca destrinchar o processo de galvanização a fogo, a partir de referencial bibliográfico e da NBR 6323, não tendo uma organização de estudo em foco.

De um modo geral, a busca por se obter um melhor conhecimento do objeto de estudo se dá por análise de dados secundários, conversas informais, com diversos profissionais da área e com pessoas especializadas no assunto.

3.4. Universo de pesquisa e amostra

O Universo pode ser definido como o conjunto de elementos com determinadas características, usualmente apresentando conceitos de população como referência ao total de habitantes de determinado lugar, todavia, em termos estatísticos, pode-se entender como um todo. Amostra é um subconjunto do universo, por meio do qual se estabelecem ou se estimam as características desse universo (Gil, 2008).

Já as amostras segundo Marconi e Lakatos, são uma parte da população ou universo pesquisado. Podendo ser escolhida de forma aleatória, estratificada, por acessibilidade e por tipicidade. Ainda sobre sua classificação, os autores apontam a possibilidade de serem probabilísticas e não probabilísticas, onde:

- Probabilísticas: Baseiam-se em leis estatísticas, com base em probabilidade matemática;
- Não probabilísticas: São estabelecidas através de critérios determinados pelo pesquisador.

Portanto neste trabalho, o universo é determinado como os livros, revistas e entrevistas informais com profissionais da área de Aço. Sendo as amostras não probabilísticas, por se tratarem de material sem análise matemática.

3.5. Formas de coleta e análise de dados.

Para a coleta dos dados foram realizadas pesquisas em livros, periódicas científicas, revistas conceituadas e artigos. Além disso, foram considerados apenas os artigos publicados em periódicos científicos porque sua seleção e avaliação são mais rigorosas e criteriosas, além de serem consideradas pesquisas de alto nível (MIGUEL et al., 2012).

Após a leitura de todo material, uma análise descritiva das informações compiladas foi feita, buscando estabelecer uma compreensão e ampliar o conhecimento sobre o tema pesquisado e elaborar o referencial teórico.

3.6. Limitações da Pesquisa

As limitações da pesquisa se dão a partir da inviabilidade de conhecimento prático da pesquisa. Devido a Pandemia do COVID 19 os autores ponderaram sobre a inconveniência de fazer um estudo de caso específico, levando em consideração problemas de saúde de alguns membros e os riscos que contato físico (mesmo que seguindo os protocolos sanitários) representaria ao grupo.

Outro ponto relevante se deve ao segredo de produção, apontado em muitas conversas informais com profissionais atuantes na área. Tal limitação gerou a necessidade de uma análise mais sistêmica às práticas comumente conhecidas, e a determinação de um fluxo generalista para o entendimento do processo.

4 RESULTADOS

Nos resultados abaixo, mostramos de forma mais explicativa os objetivos específicos desse estudo. Demonstrar os métodos e benefícios do galvanização como forma de combate a corrosão e durabilidade desses produtos.

4.1 Requisitos exigíveis para galvanização a quente segundo norma NBR 6323

Segundo a norma NBR 6323, existe algumas exigências que devem ser cumpridas para aplicar o processo de galvanização a quente, são ela:

Primeiramente essa norma não pode ser aplica em condições de:

- A) Galvanização contínua por imersão a quente de chapas, fios e telas trançadas ou soldadas.
- B) Galvanização por imersão a quente de tubos em plantas automatizadas.
- C) Galvanização por imersão a quente de outros produtos por quais existam normas específicas.

Essa norma não especifica os procedimentos relacionados aos critérios de segurança, saúde e preservação do meio ambiente. É necessário que o executor possua conhecimento adequado destes procedimentos, métodos, manuseios e utilização de produtos, que garantam a sua integridade e a preservação do meio ambiente, de acordo com a legislação vigente.

4.1.1 Requisitos e referências normativas.

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento.

- ABNT NBR 7397 Produção de aço e ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente
- ABNT NBR 7398 Produção de aço e ferro fundido galvanizado por imersão a quente. Verificação de aderência

- ABNT NBR 7399 Produção de aço e ferro fundido galvanizado por imersão a quente. Verificação de espessura por processo não destrutivo
- ABNT NBR 7400 Produção de aço e ferro fundido galvanizado por imersão a quente. Verificação de uniformidade do revestimento.
- ABNT NBR 7414 Produção de aço e ferro fundido galvanizado por imersão a quente. Terminologi

4.3 Os principais fatores que ocasionam a qualidade de uma galvanização e como atua cada fator dentro do processo

No processo de galvanização, a qualidade da matéria prima é um ponto muito importante no processo. Produtos sem um beneficiamento (superfície isenta de resíduos ou partículas) pode comprometer a durabilidade do produto.

4.3.1 Controle de qualidade da matéria-prima

Para assegurar uma galvanização de qualidade e uma durabilidade prolongada é executar, desde o início do processo, uma rigorosa seleção da matéria-prima, incluindo a própria escolha do aço. “Os elementos químicos na matriz do aço interferem na formação das fases intermetálicas na galvanização. Por isso, conforme a composição química do aço, ele pode ter uma reatividade pobre na hora de formar as ligas metálicas, ou o contrário, ou seja, uma hiper-reatividade, formando camadas grosseiras. Tudo isso prejudica o desempenho do material em campo. Para evitar isso, o controle fino começa na escolha da matéria-prima”, explica o consultor. “Outro detalhe importante é a escolha dos produtos químicos usados no processo. Na Brametal adotamos produtos muito similares aos que são usados na Europa, onde os padrões dos processos de galvanização são uma referência para todo o mundo”, completa.

A primeira etapa do controle de qualidade, segundo Borges, é uma análise visual do material, ocasião em que é feita uma rigorosa busca, sem auxílio de aparelhos, de inconformidades como falhas de revestimentos, escórias, defeitos na galvanização como pontas ou superfícies pontiagudas, presenças de furos etc. A

Brametal dispõe Em segundo lugar, são realizados ensaios de aderência do revestimento. Neles, a superfície revestida com o zinco é cortada com uma lâmina de aço, e durante esse corte, essa lâmina não pode desmanchar em “escamas”. E por fim, em terceiro lugar, é feita uma inspeção da espessura média das camadas. Nesta etapa, tanto os inspetores de qualidade quanto as equipes da linha de produção aferem se as camadas dos produtos produzidos estão em conformidade com os requisitos das normas, especialmente nos casos de sobre galvanização. Tratamento e desempenho uniforme das estruturas para finalizar, Borges explica que, uma vez executada a galvanização por imersão a quente, a estrutura passará a ter um comportamento praticamente monolítico. Isso é importante, pois caso a peça tenha em sua origem pontos mais sujeitos a sofrer uma diferença de potencial – o que pode facilitar o surgimento de pontos de corrosão –, após a imersão a quente toda a superfície é reequilibrada e passa a ter esse comportamento uniforme, sem pontos sujeitos a essas diferenças. Pontos de soldas no aço, por exemplo, requerem esse cuidado maior, exigindo limpezas químicas pré tratamento para regularização e uniformização dos componentes. Quando todas essas etapas e todos esses cuidados rigorosos são adotados, o resultado são peças galvanizadas de excelente qualidade, com elevada durabilidade e mais vantajosas economicamente. E tudo isso com o benefício de contribuir para as boas práticas sustentáveis e para o bem do ambiente.

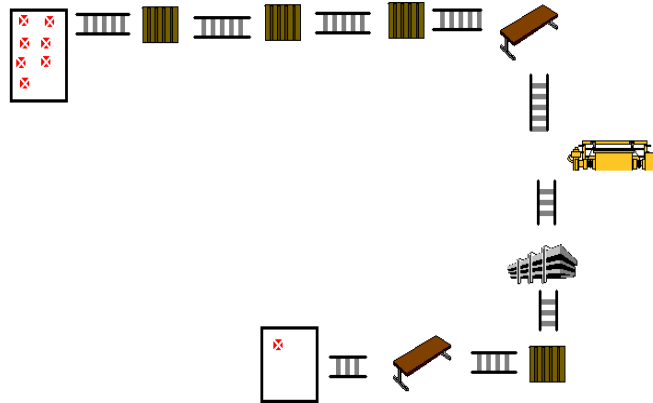
4.4 Análises de resultados de alterações de layout de um processo de galvanização de tubos

Durante a criação desse trabalho de conclusão de curso, o grupo acompanhou e ajudou na análise de uma mudança de layout de uma empresa que realiza beneficiamento de tubos de aço por meio do processo de galvanização a quente. Devido a regras estabelecidas pela empresa e com as limitações devido ao isolamento social, foi acordado que não podemos divulgar o nome da empresa e os acompanhamentos foram realizados de forma remota, sem visitar técnicas e entrevistas.

Objetivo proposto pela empresa é: Desenvolver novo lay out no qual o objetivo esperado será diminuir o tempo de transporte das pontes rolantes e aproveitamento maior de espaço de arranjo físico da fabrica e propor uma menor ociosidade das pontes promovendo um maior equilíbrio entre cada fase do processo. A simulação feita pelo grupo junto à empresa, refletiu perfeitamente o processo real de galvanização de tubos, mostrando que as pontes rolantes numero 4,5,6,7 e 8 ficam na maior parte do tempo ociosas, a distancia entre os tanques acaba ocupando grande espaço físico do lay out devido sua dimensão.

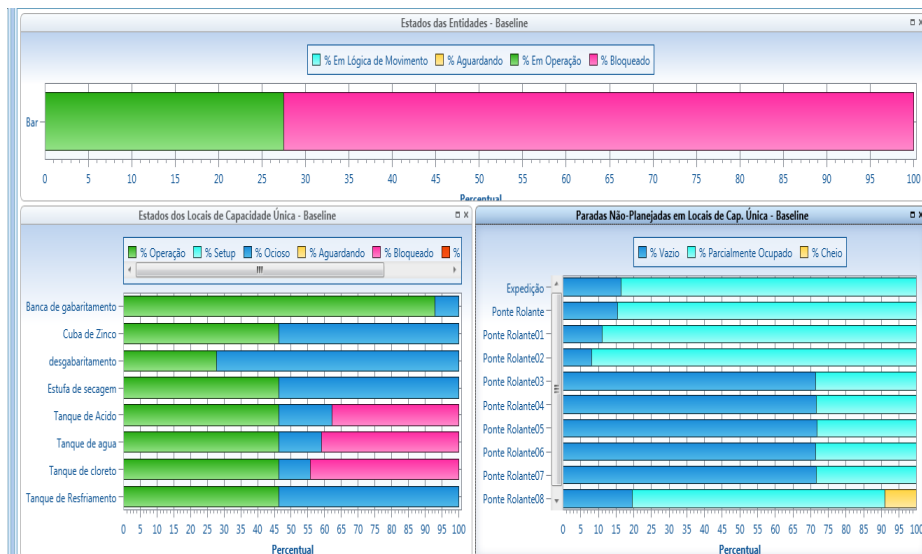
SITUAÇÃO ATUAL

Figura 11 - Layout do processo de galvanização



Fonte: (LOPES, 2021)

Tabela 7 – Disponibilidade de tempo das etapas do processo



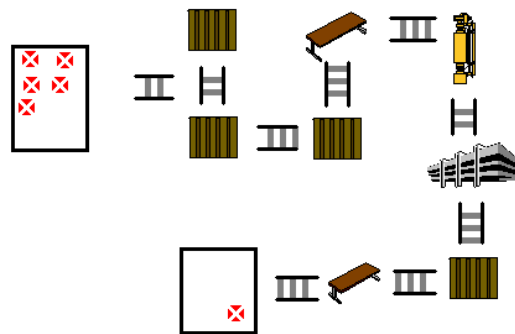
Fonte: (LOPES, 2021)

4.4.1 Galvanização de aço 1º cenário

No primeiro cenário podemos perceber o quando o layout sofreu uma redução considerável em sua área física podendo ser mais bem aproveitado para armazenamento de estoque ou até mesmo pra uma futura área de um processo posterior ao de Galvanização.

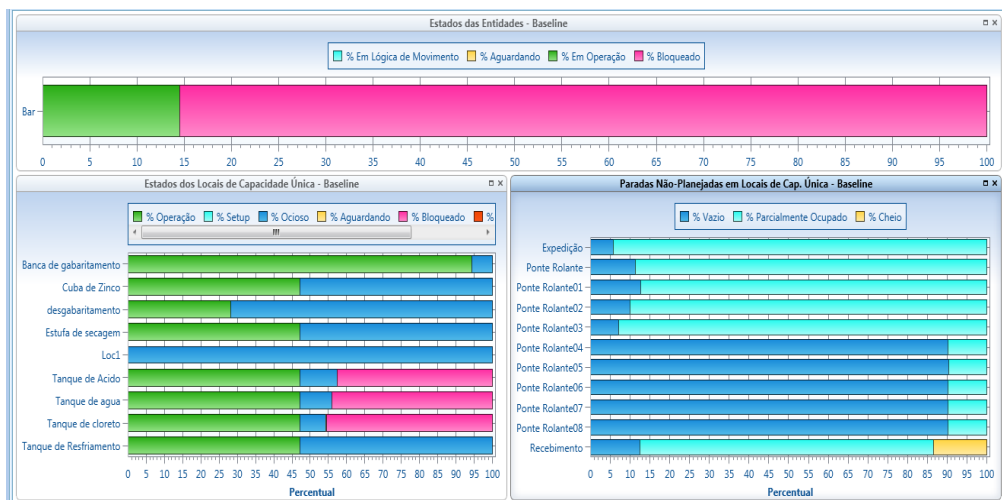
Mas também percebemos que acabou gerando um gargalo maior no gabarito de peças o que tornou um pouco mais ociosas as pontes, apesar da diminuição do tempo de transporte, ocasionado pela mudança de lay out.

Figura 12 - Layout do processo de galvanização modificado



Fonte: (LOPES, 2021)

Tabela 8 – Disponibilidade de tempo das etapas do processo 2

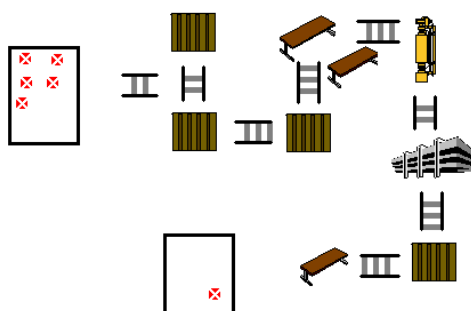


Fonte: (LOPES, 2021)

4.4.2 Galvanização de aço 2º cenário

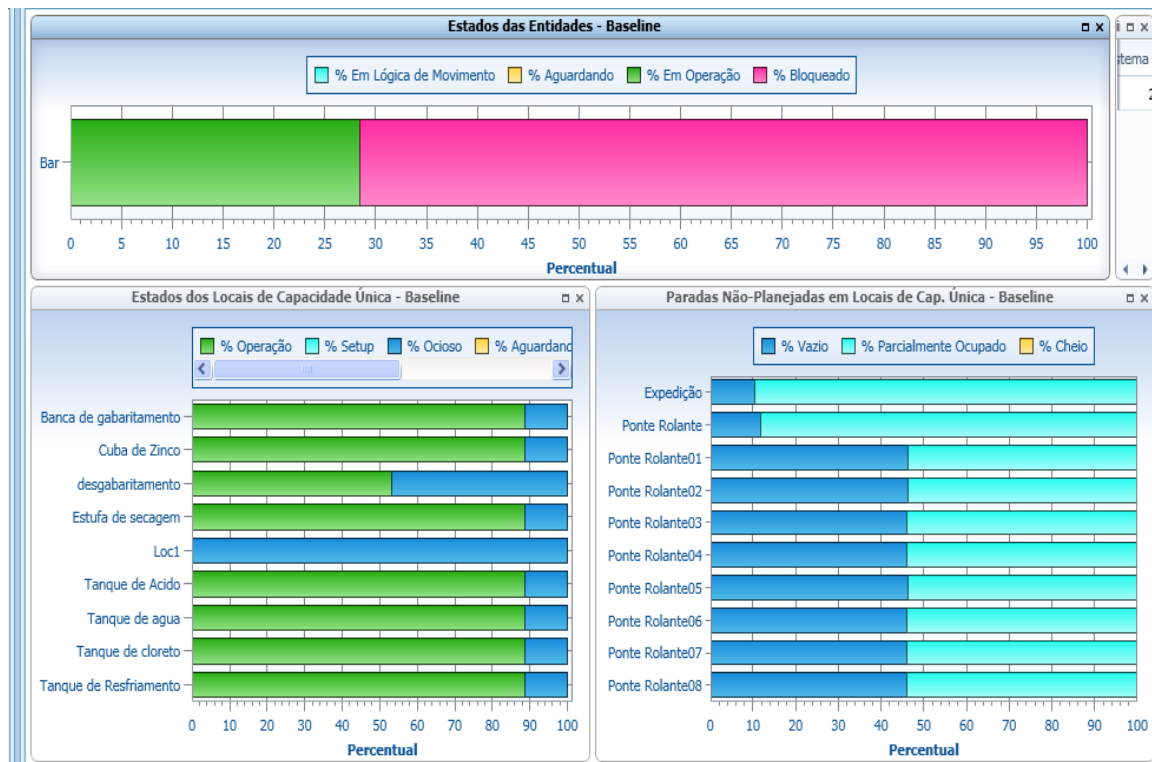
Na figura abaixo, mostra o layout no processo com as modificações sugeridas. Percebemos que o espaço ocupado pelos equipamentos são menores e o tempo de ociosidade diminui conforme tabela 09.

Figura 13 - Layout do processo de galvanização modificado 2.



Fonte: (LOPES, 2021)

Tabela 9 – Disponibilidade de tempo das etapas do processo 3



Fonte: (LOPES, 2021)

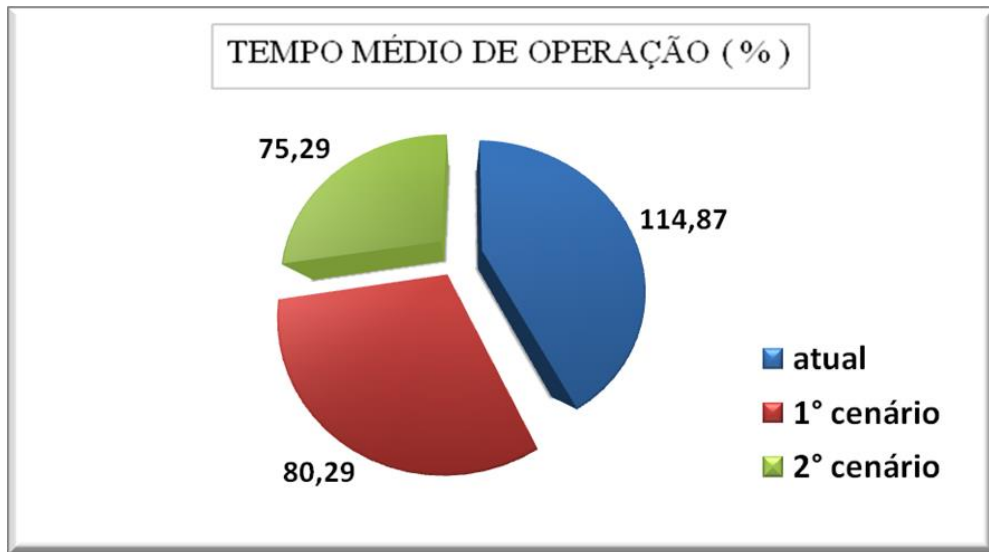
A implementação de uma segunda bancada o sistema de produção parece estar mais eficiente e equilibrado, como mostra o gráfico, sem necessariamente ter mudado o layout do 1º cenário, pois além de ter conseguido diminuir o tempo de transporte das pontes rolantes em 46%, houve um ganho de aproximadamente de 44% em tempo de operação ativa diminuindo consideravelmente o tempo de ociosidade de todo o processo.

Mostramos como a mudança de layout e a implementação de uma nova bancada influenciou diretamente no resultado da produção, pois antes o tempo que a ponte se deslocava de um tanque para outro acarretava uma grande perda de tempo e quanto conseguimos resolver este problema acabou gerando um gargalo na bancada de gabaritamento.

Mais com a implementação do 2º cenário onde acrescentamos mais uma bancada conseguimos resolver o problema do gargalo sem ter que alterar no dimensionamento do layout promovendo um equilíbrio entre as faces do processo e uma desenvoltura melhor ganhando assim em produção, tempo e espaço.

No gráfico abaixo, podemos perceber o tempo de ocupação da linha de produção nos 3 cenários realizados. No 1º cenário a ocupação era 75,29%, situação de perda de 24,71 % de produtividade da linha. No segundo cenário houve um pequeno aumento de 5% em comparação ao 1º cenário, mas não o ideal ainda. No 3º cenário podemos perceber uma considerável melhoria na ocupação da linha com as mudanças sugeridas. 34,58 % comparado ao 2º cenário.

Figura 13 – Gráfico de ocupação nos três cenários realizados.



Fonte: (LOPES, 2021)

5. CONCLUSÃO

Avalia-se que em uma vida útil de aproximadamente 25 anos, o custo de um sistema de pintura “barato” é quase 70% maior que o custo da galvanização. Levando em conta que o custo de um sistema de pintura mais “caro” é quase o dobro do custo da galvanização a fogo. Em termos de custo inicial ou primeiro custo, a galvanização a quente por imersão é comparável a um sistema de pintura de boa qualidade.

Os fatores econômicos têm grandes influencia na escolha da galvanização a fogo, pois é um processo que garante a durabilidade do produto e diminui a necessidade de manutenção gerando assim um custo mais vantajoso por quem opta por ele. Também se leva em conta qualidade e o visual que o processo oferece, sendo quase imbatível comparado a outros processos de proteção do aço.

A galvanização no passar dos anos vem cada vez mais ganhando mercado, tanto na sua procura para beneficiamento para terceiros, como no processo de fabricação nas indústrias. Mostrando cada vez mais seu valor e sua importância na evolução dos processos de tratamento de superfície em aço.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6323: Produto de aço e ferro fundido galvanizado por imersão a quente — Determinação da massa do revestimento por unidade de área — Método de ensaio**

Rio de Janeiro, p. 2. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7397: Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente revestido de zinco por imersão a quente** Rio de Janeiro, terceira edição. 05/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7399: Produto de aço e ferro fundido galvanizado por imersão a quente - Verificação da espessura do revestimento por processo não destrutivo - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, terceira edição. 11/2015.

ASSOCIAÇÃO Brasileira da Construção Metálica: Comitê de galvanização a fogo. [Www.abcem.org.com](http://www.abcem.org.com), 13 jul. 2010. Disponível em: 2010. Acesso em: 20 out. 2021.

BONATO, R. Qualidade no processo de galvanização: Fatores contribuintes. *In: Qualidade no processo de galvanização: Fatores contribuintes.* www.brametal.com.br: 1, 21 abr. 2010. Disponível em: 2010. Acesso em: 23 nov. 2021.

CONSTRUÇÃO metálica: Guia da construção, Ed. 50, rev.1 São Paulo. 2010.ABCEM

CORRÊA, Arnaldo; FERREIRA, J. D., Corrosão e Tratamento Superficiais dos Metais,2003.

GALVANIZAÇÃO a fogo. *In: Processo de galvanização a fogo.* São Paulo: Galvânica Berreta, 2020. Disponível em: 2020. Acesso em: 5 abr. 2022.

GALVANIZAÇÃO a fogo. *In: Processo de galvanização a fogo: História da galvanização.* [Www.abcem.org.com](http://www.abcem.org.com), 8 fev. 2008. Disponível em: 2022. Acesso em: 16 mar. 2022.

GUIA da metalurgia: Introdução à Siderurgia. 39. ed. rev. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007. 428 p. v. 1. ISBN 85-7737-015-1.

KAJIMOTO, Z. P.; ALMEIDA, N. L.; SIQUEIRA, F. J. S. – Corrosão atmosférica de metais no Estado de São Paulo, São Paulo, IPT, 1991 p. 59 (IPT Boletim 37)

OLIVATO, Zincagem a Quente. Zinco e Corrosão, n.01, p.6-8, 2000.

P.ROBERGER, Handbook of Corrosion Engineering, Mcgraw-Hill, New York, p.788. 2000.

PANOSSIAN, Z. Corrosão e proteção em equipamentos e estruturas metálicas. São Paulo: IPT, 1993, VZ, p. 427/430/488

PROCESSO de galvanização a fogo: Mudança de layout. Otimização de processo. [Www.fogal.com.br](http://www.fogal.com.br), 30 maio 2009. Disponível em: 2010. Acesso em: 7 set. 2021.

SIDERURGIA brasil: Siderurgia. 10. ed. rev. Rio de Janeiro: Globo, 2010. 303 p. v. 10.