



## INFLUÊNCIA DA OXIDAÇÃO BRANCA EM CHAPAS APLICADAS AO PROCESSO DE GALVANIZAÇÃO A ZINCO POR IMERSÃO A QUENTE CONTÍNUA

Emílio Zappellini<sup>1</sup>

Henrique Cechinel Casagrande<sup>2</sup>

Marcio Afonso de Souza<sup>3</sup>

Célia de Fraga Malfatti<sup>4</sup>

Anderson Daleffe<sup>5</sup>

Gilson De March<sup>6</sup>

Jovani Castelan<sup>7</sup>

**Resumo:** Aços galvanizados a zinco são amplamente utilizados nas indústrias, pois apresentam bons resultados do ponto de vista custo e benefício, bem como, propriedades químicas/físicas requisitadas. Manchas esbranquiçadas na superfície de aços galvanizados a zinco são eventualmente observadas nos processos industriais antes mesmo de sua aplicação final – conhecidas por oxidação branca. Além da aparência estética comprometida, muitas vezes é difícil adotar medidas preventivas de proteção para evitar essa patologia. Além disso, a evidente redução dos custos em virtude da competitividade industrial, origina uma diminuição da camada protetiva de zinco ou um tempo de zincagem menor. Elaborou-se um estudo visando avaliar a variação da resistência mecânica relacionado com o grau de oxidação/corrosão, no processo de galvanização por imersão a quente contínua. Dessa forma, através de ensaios mecânicos foi analisado a possível mudança na resistência do material com amostras contendo diferentes estágios de oxidação branca. A caracterização mecânica se deu por ensaio de tração. Devido ao fato de a oxidação branca não ter apresentado um estágio avançado de corrosão, não foi verificada variações significativas da resistência mecânica nos corpos ensaiados. Contudo, a amostra com maior taxa de oxidação branca demonstrou um maior índice de deformação, e menor valor de tensão máxima. Quando comparado com um aço SAE 1015, o material galvanizado a quente possui propriedades mecânicas inferiores, o que pode vir a ser devido ao fato de o banho em zinco possuir temperatura de 450 °C, influenciando nos resultados.

**Palavras-chave:** Galvanização a quente contínua, aço carbono de baixa liga, ciência dos materiais, oxidação branca.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Eng. Metalúrgica. UniSATC. E-mail: [emiliozap@gamil.com](mailto:emiliozap@gamil.com)

<sup>2</sup> Mestrando em Eng. Metalúrgica. UniSATC. E-mail: [henrique\\_cechinel@hotmail.com](mailto:henrique_cechinel@hotmail.com)

<sup>3</sup> Mestrando em Eng. Metalúrgica. UniSATC. E-mail: [souzamarcioafonsode@gmail.com](mailto:souzamarcioafonsode@gmail.com)

<sup>4</sup> Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: [materiaisxenergia@gmail.com](mailto:materiaisxenergia@gmail.com)

<sup>5</sup> Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: [anderson.daleffe@satc.edu.br](mailto:anderson.daleffe@satc.edu.br)

<sup>6</sup> Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: [gilsom.march@satc.edu.br](mailto:gilsom.march@satc.edu.br)

<sup>7</sup> Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: [jovani.castelam@satc.edu.br](mailto:jovani.castelam@satc.edu.br)



## 1 INTRODUÇÃO

O cenário industrial, comercial e de serviços, vem apresentando um contexto de competitividade e globalização acirrados, reflexo de uma pandemia que interferiu nas várias áreas do desenvolvimento econômico mundial, como consequência, ocorreu uma oferta maior de produtos e aberturas de mercados para fornecimento de insumos (matérias-primas, técnicas de processamento com comercialização de máquinas e equipamentos de tecnologia avançados e oferta da mão de obra) e produtos beneficiados (manufaturados), remodelando o cenário econômico mundial.

Segundo Jornal da USP (2020), a economia global retrocedeu cerca de 4,4% em 2020, e aproximadamente 5,2% em 2021. Entretanto, com toda tensão devido as incertezas do futuro, as duas maiores potências mundiais (China e Estados Unidos) estão em uma disputa cada vez maior para chegar ao topo da maior economia global.

Já não bastasse tantas dúvidas, uma guerra vem sendo travada na Europa. Sendo que um dos protagonistas da guerra é a Rússia, o maior exportador de gás natural do mundo e um dos maiores exportadores de petróleo (CNN BRASIL, 2022). Com isso, é notável o reajuste de preço em diversos segmentos, refletindo no valor dos metais.

Segundo CNN Brasil (2022), em pouco mais de dois anos se teve um aumento de 155% no preço da bobina de aço, seguidos de 77% do alumínio e 72% do cobre. Para o presidente do Instituto Nacional dos Distribuidores de Aço (INDA), de 2021 até 2022 o aumento de preço do aço vai ficar entre 50% a 60%. Dessa forma, se torna mais viável exportar o metal. (NOTÍCIAS DE MINERAÇÃO BRASIL, 2022).

No Brasil, o consumo de zinco cresce em virtude da entrada de produtos importados, e cerca de 55% do zinco consumido no país destina-se a revestimentos (BATISTA, 2013).

Pensando dessa forma, as indústrias estão exportando matéria-prima, onde encontram um preço mais competitivo. A China, maior produtor de aço do mundo, é a referência mais solicitada quando se trata de exportação (ABM, 2020). Usualmente, o material que é exportado chega através de navios, e se tratando de metais, o termo corrosão ganha notoriedade devido umidade e oxigênio presentes



no ambiente marítimo. Dentre os tipos de corrosão, existe a oxidação branca, que ocorre no zinco e será tema de discussão neste artigo.

Diante o fato, o presente estudo busca entender como ocorre o fenômeno químico de oxidação e qual a influência na resistência mecânica do aço galvanizado. Como já citado, com a grande competitividade no mercado é necessário presar por produtos de qualidade que atendam as propriedades técnicas requisitadas, dando ênfase aos requisitos solicitados pelos clientes.

A oxidação em geral aplicada para ferro e aço, não só implica na estética do material, mas compromete resistência mecânica e conseqüentemente a vida útil do material. Para Wiercinski (2015), a corrosão é quem consome a maior quantidade de aço e ferro mundial, com aproximadamente 20% desses metais retornando para natureza em forma de corrosão.

Essa corrosão pode chegar a 4% do PIB para economia de países industrializados e, em média 5% da economia para países emergentes. Para o ano de 2013 o Brasil obteve um PIB de aproximadamente R\$ 4,84 trilhões, se considerado 5%, isso equivale a R\$ 242 bilhões gastos com corrosão, (CARDOSO, 2014).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O mundo metal mecânico oferece diversificadas opções geométricas para uso industrial, dentre essas geometrias estão as chapas de aço, podendo ser produzidas com diferentes tipos de materiais. O processo de laminação responsável pela conformação das chapas é realizado com auxílio de dois rolos cilíndricos que giram em sentidos opostos onde a força de atrito entre rolo e a chapa faz o movimento de laminação (Krelling, “s.d”).

Para esse tipo de processo (chapas laminadas), é possível obter cinco diferentes derivados: chapa grossa, normalmente empregada a serviços navais, máquinas pesadas, e setores que exige uma estrutura mecânica elevada. Chapa xadrez, tem como objetivo trabalhar como antiderrapante pois leva em sua superfície um ressalto ao longo de sua extensão. Chapa laminada a quente e chapa laminada a frio, essas duas últimas podem ser utilizadas na indústria automotiva, agrícola dentre outras. E por fim a chapa galvanizada, que tem como objetivo elevar o tempo de vida útil do metal utilizando um material de sacrifício (GALVAMINAS, 2022).

## 2.1 CHAPAS GALVANIZADAS

Com a competitividade em evidência, buscam-se meios para ofertar produtos com maior resistência, maior confiabilidade, preços atrativos, e dessa forma, manter-se presente no mercado industrial. Um dos meios de produzir materiais melhores elaborados e com propriedades superiores é utilizar técnicas de camadas protetivas aos metais. Para tal procedimento, existem dois modelos de revestimentos do ponto de vista da resistência à corrosão: revestimento nobre e revestimento de sacrifício (PANNONI, “s.d”)

Revestimento nobre trata-se do chumbo, níquel, prata ou cromo, onde esses são mais nobres que o metal de base. Já para os elementos conhecidos como de sacrifício se tem o zinco e cádmio, alumínio ou até mesmo estanho (PANNONI, “s.d”).

De acordo com Batista, Castro e Lins (2013), vale ressaltar que o zinco oferece formas de proteção importantes quando utilizado como metal de sacrifício: camada de revestimento, proteção galvânica e ação protetora adicional. Além disso, é um metal de baixo custo e de fácil aplicação.

Na Figura 1, demonstram-se os diferentes tipos de proteção superficial possíveis, desde medida protetiva relativamente simples - tintas, como também, materiais mais estruturados com processos tecnológicos avançados – aplicação de camada de zinco ligada diretamente na rede cristalina do metal, utilizando uma galvanização a fogo, por exemplo.

Figura 1: Tipos de proteção para metais.



Fonte: ELETROBRAScepel (2022).



### 2.1.1 Galvanização

A galvanização é um processo que tem como objetivo principal proteger um determinado material. O material mais empregado na galvanização é o zinco (Zn), por ser mais viável financeiramente e por ter uma boa resistência a corrosão atmosférica. Isso se tem ao fato de o zinco ser mais propenso a oxidação em comparação ao ferro, por possuir uma eletronegatividade maior, dessa forma, o zinco atua como ânodo e o ferro como cátodo, onde o ânodo (Zinco) por ser mais ativo libera elétrons para o cátodo (Ferro), que este absorve e permanece na região de imunidade, não ocorrendo oxidação no ferro. (PARANHOS, 2010).

A importância do revestimento protetivo, é algo que está diretamente relacionado ao investimento financeiro para recuperar os danos causados pela corrosão. Em sua dissertação, Batista pontua a seguinte informação que justifica a relação citada:

Estima-se que a cada 90 segundos, em todo o mundo, uma tonelada de aço é consumida pela corrosão; de cada duas toneladas de aço produzido, uma é para substituir o aço corroído. Ao proteger uma tonelada de aço contra a corrosão, através da galvanização por imersão a quente, economiza-se energia suficiente para atender às necessidades de uma família média por várias semanas (PONTE, 2003) (Batista, Castro e Lins, 2013, p.6).

### 2.1.2 Galvanização por imersão a quente contínua

Segundo Júnior et al., (2014) foi o químico francês P.J. Melouin que no ano de 1741 descobriu a proteção do aço da corrosão através da aplicação do zinco por galvanização à quente.

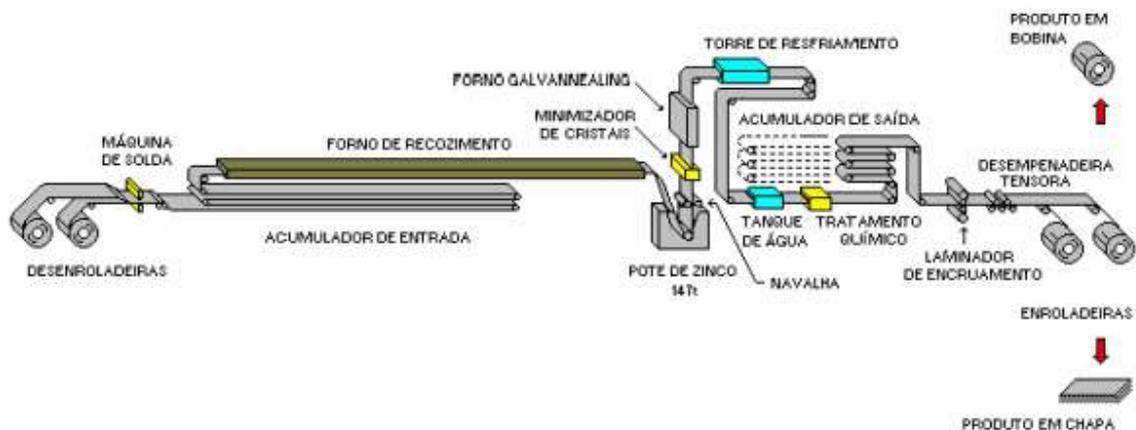
É um processo de galvanização empregado ao aço e ferro fundido que pode ser aplicado em estruturas de tamanho e grau de complexidade diferente, internamente ou externamente (ICZ, 2015).

A galvanização por imersão a quente é o processo de revestimento com zinco, realizado em torno de 450 °C, podendo ser aplicado em qualquer tipo de aço. A imersão em zinco fundente pode modificar as propriedades mecânicas do metal base, sendo necessário, em alguns casos, o emprego de aços com propriedades mecânicas selecionadas (PARANHOS, 2002).

Para o processo contínuo de galvanização usa-se como matéria-prima bobinas laminadas a frio. A Figura 2 relata o processo onde, a primeira etapa busca desenrolar a bobina metálica e soldar seu final com a última bobina que estava em processo, para dar continuidade na galvanização. (DANIELLE, 2013).

O próximo passo é o recozimento que tem como objetivo principal eliminar as tensões residuais do processo de laminação a frio, onde a chapa é aquecida em temperaturas de 700 C° a 800 C°. Logo após ocorrer o recozimento, a temperatura fica em torno de 460 C° para evitar o superaquecimento do banho de zinco, e assim, a chapa é colocado no recipiente de zinco para o processo de imersão a quente. Chegando ao fim do processo, após sair do banho de zinco, a chapa passa por um processo de controle de gramatura feito através de navalhas de ar ou nitrogênio para obter a espessura final desejada.

Figura 2: processo de galvanização a quente contínuo.



Fonte: Danielle (2013).

A Figura 3, detalha o comportamento do zinco da superfície até chegar ao metal de base. Nota-se que a camada mais afastada do metal base é composta com 100% de zinco, conforme o metal de sacrifício vai se aproximando do núcleo (metal de base), aumenta a penetração de zinco na estrutura cristalina do aço, formando assim uma liga de ferro e zinco.

Figura 3: Penetração do zinco no ferro.



Fonte: ICZ (2015).

### 2.1.3 Galvanização NBR-7008-ZC-Z275

O material estudado é regulamentado pela norma ABNT NBR-7008-ZC-Z275 sendo considerado um aço com baixo teor de carbono. A Tabela 1 detalha a composição química para este material.

Todavia, este tipo de galvanização possui 275 g/m<sup>2</sup> de zinco depositado para as duas faces da chapa, resultando em uma camada com espessura de 19 µm (micrômetro).

Esse tipo de material é utilizado quando há necessidade de um alto grau de estampagem, sendo empregados para construção automotiva, avicultura ou construção civil.

Tabela 1: Composição química NBR-7008 ZC Z275

Composição química	Valores %
Carbono (C)	0,150
Enxofre (S)	0,035
Fósforo (P)	0,120
Manganês (Mn)	0,600
Ferro (Fe)	bal.

Fonte: Normas técnicas (2018).

## 2.2 AÇO AO CARBONO

Salienta-se que aços que iniciam com o algarismo 10 são aços sem a presença relevante de elementos de liga, como no caso do aço SAE 1015. Analisando sua denominação com o exposto até então, temos que ele é um aço ao carbono, com cerca de 0,15% de carbono, sendo considerado um aço com baixo teor de carbono (CHIAVERINI, 2005).



Dessa forma, será comparado as resistências para um aço SAE 1015 e um aço SAE 1015 com galvanização a zinco. Ditos isto, a Tabela 2 detalha os valores de resistência mecânica para o aço SAE 1015.

Tabela 2: Resistência mecânica aço SAE 1015.

Tipo de aço	Tensão máx. (MPa)	Tensão Esc. (MPa)	Alongamento (%)
Aço SAE 1015	385	325	18

Fonte: LUZ (2017).

## 2.2 OXIDAÇÃO BRANCA

A primeira etapa da degradação do metal é a oxidação, ocasionada comumente por ação química ou eletroquímica, sendo um exemplo, o contato do metal com ar, água, névoas e vapores. A menos que tratada em fases iniciais, a degradação evolui para o estado de corrosão, havendo ferro na composição do metal, esta degradação começa a apresentar ferrugem (ACOPLANO, 2017).

Utilizado como camada protetora, o zinco reage com o ar e forma o carbonato de zinco, que se apresenta através de um filme passivo e colabora pra proteção da estrutura. Porém, se as chapas galvanizadas entrarem em contato com a água, podem formar a mancha de estocagem devido a reação de formação do hidróxido de zinco (ZnOH), conhecida também como corrosão branca e ferrugem branca (DURAN, 2011).

Chama-se corrosão branca ou ferrugem branca, os depósitos que acabam se formando na superfície de materiais galvanizados. Esses depósitos são prejudiciais para a formação do filme passivo. Portanto, para que isso não ocorra é de importância transportar e armazenar esses metais em locais secos e arejados. Caso fiquem em locais expostos a ambientes úmidos é necessário a circulação livre do ar, vale ressaltar a importância de evitar o armazenamento desses materiais com sua embalagem, (FILHO, 2011).

## 2.3 ENSAIO MECÂNICO DE TRAÇÃO

Este ensaio é obtido com a ajuda de duas garras presas em uma máquina de movimento axial. Uma das garras é estática a máquina e a outra móvel. Esse

processo é sem atrito, e possui sensores para registrar o alongamento e resistência do corpo de prova (SILVA, 2019).

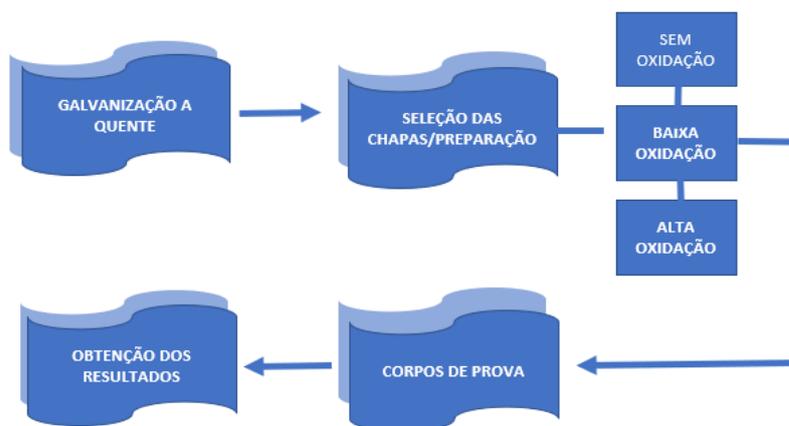
Auxilia na caracterização mecânica dos materiais estudados para se necessário, reajustar o projeto. O ensaio é realizado com a aplicação de uma carga (força) a um corpo de prova, onde ao mesmo tempo é medido as variações no comprimento (SOUZA, 1982).

Ao realizar o ensaio obtém-se um gráfico tensão-deformação, onde no eixo vertical se tem as tenções de trabalho, e para o eixo horizontal a deformação. Com a leitura do gráfico de forma correta, o mesmo fornece tensão de escoamento, máxima e ruptura, módulo de elasticidade, tenacidade, resiliência e entre outras informações úteis para caracterização mecânica. (BIOPDI, 2021). A norma que regulamenta esse ensaio é a NBR ISO 6892.

### 3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Este estudo foi desenvolvido no centro Universitário SATC. As etapas experimentais do estudo foram planejadas e estão listadas na Figura 5, que apresenta a descrição resumida dos procedimentos a serem realizados em forma de fluxograma.

Figura 5: Fluxograma procedimento experimental



Fonte: Do autor, 2022.

### 3.1 ESCOLHA DAS CHAPAS

Para realização do estudo foi utilizado material NBR-7008-ZC-Z275 com espessura 2,3 milímetros, apresentando três estágios de oxidação, sendo: primeira amostra com ausência oxidação, segunda amostra com média oxidação e o último estágio, contendo um alto grau de oxidação branca. A Figura 6 demonstra os estágios citados.

Figura 6: estágios da oxidação para análise.



Fonte: Do autor, (2022)

### 3.3 ENSAIO MECÂNICO DE TRAÇÃO

O objetivo desse ensaio é verificar se há diferença de resistência mecânica para diferentes tipos de grau de oxidação.

As amostras foram cortadas em uma máquina a laser de fibra modelo LCG 3015 AJ da fabricante Amada Brasil. Foram preparadas três amostras para cada grau de oxidação, totalizando nove corpos de prova. Os corpos de prova foram ensaiados em uma máquina de ensaio mecânico de tração fabricante EMIC com capacidade para 100 KN a uma velocidade de 5 mm/min.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir é apresentado os resultados para o ensaio mecânico de tração. A Figura 7 apresenta o resultado da amostra sem oxidação.

Figura 7: Ensaio de tração amostra sem oxidação



Fonte: Do autor (2022).

A amostra da Figura 7 apresentou comportamento típico de um material dúctil. A tensão de escoamento ficou em aproximadamente 233 MPa e a tensão máxima em 289 Mpa, já a deformação ficou em 13,9 mm.

Dando continuidade nas análises dos resultados, Figura 8 faz referência a amostra com moderada oxidação.

Figura 8: Ensaio de tração para amostra com moderada oxidação.



Fonte: Do autor (2022).

Para a amostra com moderada oxidação a tensão de escoamento ficou em 226 MPa, enquanto a tensão máxima apresentou 285 MPa, o que ficou muito próximo da amostra sem oxidação.

A Figura 9 detalha o resultado para a amostra considerada com alta oxidação branca. Não apresentando um escoamento definido, comparado as outras situações anteriormente citadas.

Figura 9:Ensaio de tração para amostra com alta oxidação.



Fonte: Do autor (2022).

Porém, a amostra com alta oxidação branca apresentou resultado de tensão máxima inferior as outras situações, bem como uma deformação maior. A Tabela 2 demonstra os resultados para as três condições.

Tabela 2: Comparação tensão máxima, escoamento e alongamento.

Amostras	Tensão máx. (MPa)	Tensão Esc. (MPa)	Alongamento (mm)
Sem oxidação	289	233	13,90
Moderada oxidação	285	226	12,66
Alta oxidação	275	242	15,81

Fonte: Do autor (2022).

Na Figura 10 é possível avaliar as condições estudadas. Nota-se que para as condições sem oxidação e moderada oxidação o escoamento ficou muito próximo, diferente da amostra com alta oxidação, que apresentou um resultado maior de escoamento, porém reduzindo a tensão máxima.

Figura 10: Ensaio de tração: Sem oxidação, Moderada Oxidação e Alta oxidação.



Fonte: Do autor (2022).

Além disso, a amostra com alta oxidação teve o comportamento de deformação superior as outras duas situações.

## 5 CONCLUSÕES

Portanto, após análise dos resultados:

Os valores de tensão máxima ficaram próximos, no entanto, a amostra com alta oxidação apresentou redução de 5% neste valor comparado com a peça sem oxidação. Ainda, a tensão de escoamento para a amostra com alta oxidação branca foi maior em comparação as outras situações, ficando 6,6% maior. Todavia, os valores de alongamento foram os mais afetados, a amostra com moderada oxidação ficou 20% menor em relação com a amostra com alta oxidação.

Contudo, quando comparado com o aço SAE 1015, os valores das tensões para as amostras ensaiadas são inferiores. Isso pode ser ao fato de as chapas galvanizadas a quente serem mergulhadas em um banho com temperaturas de aproximadamente 450°C, o que pode ocorrer levemente um tratamento térmico de revenimento, baixando as tensões de trabalho e aumentando a deformação.



## REFERÊNCIAS

AÇOPLANO. Disponível em: <<https://www.acoplano.com.br/blog/entenda-a-diferenca-entre-oxidacao-corrosao-e-ferrugem/#:~:text=Quando%20a%20oxida%C3%A7%C3%A3o%20n%C3%A3o%20%C3%A9,metal%20passa%20a%20formar%20ferrugem>>. Acesso em: 29/07/2022.

BATISTA, Kenia Barros. **Caracterização de superfícies de aços galvanizados utilizando a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica**. 2013. 15 f. Dissertação (Mestrado em engenharia química). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-986HZV/1/disserta\\_o\\_15.04.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-986HZV/1/disserta_o_15.04.pdf)>. Acesso em 28/07/2022.

BIOPDI. Ensaio de Tração. Disponível em: <<https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-tracao/>>. Acesso em: 27/07/2022.

CARDOSO, Wandercleiton da Silva; PORCINO, **Brena da Silva**. **Galvanização eletrolítica contínua em chapas de aço**. 2014. Artigo, Faculdade Multivix. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Wandercleiton-Cardoso/publication/297884554\\_Galvanizacao\\_eletrolitica\\_continua\\_de\\_chapas\\_de\\_aco/links/56e4031508ae65dd4cbe75b0/Galvanizacao-eletrolitica-continua-de-chapas-de-aco.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Wandercleiton-Cardoso/publication/297884554_Galvanizacao_eletrolitica_continua_de_chapas_de_aco/links/56e4031508ae65dd4cbe75b0/Galvanizacao-eletrolitica-continua-de-chapas-de-aco.pdf)>. Acessado em: 27/07/2022.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. Associação Brasileira de Metalurgia – ABM- 2005.

DANIELLE, Cristina de Campos Silva Brepohl. **Caracterização das camadas formadas no processo de galvanização à quente sobre uma chapa de aço livre de intersticiais**. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica e de materiais). Universidade tecnológica Federal do Paraná departamento de pesquisa e pós-graduação programa de pós-graduação em engenharia mecânica e de materiais – PPGEM. Paraná, 2013. Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/567/1/CT\\_PPGEM\\_M\\_Brepohl%2C%20Danielle%20Cristina%20de%20Campos%20Silva\\_2013.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/567/1/CT_PPGEM_M_Brepohl%2C%20Danielle%20Cristina%20de%20Campos%20Silva_2013.pdf)>. Acesso em 29/07/2022.

Commodities industriais acumulam alta de até 155% em dois anos. **CNN Brasil**. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/commodities-industriais-acumulam-alta-de-ate-155-em-dois-anos-diz-levantamento/>>. Acesso em: 25/07/2022.

Economia Russa é surpreendentemente pequena; entenda sua importância para o mundo. **CNN Brasil**. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/economia-russa-e-surpreendentemente-pequena-entenda-sua-importancia-para-o-mundo/>>. Acesso em: 25/07/2022.



Efeitos da pandemia na economia global serão de longa duração. **Jornal da USP**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/radio-usp/efeitos-da-pandemia-na-economia-global-serao-de-longa-duracao/>>. Acesso em: 25/07/2022.

ELETROBRAScepel. **Departamento de tecnologias especiais**. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/10208701/>>. Acesso em: 26/07/2022.

FILHO, Gilberto Perreira Gonçalves. **Influência dos elementos Pb e Sb na resistência a corrosão de aço galvanizado com filme de cromo**. 2011. 3 f. Monografia (Graduação em engenharia metalúrgica). Universidade Federal do Ceará. Disponível em: <<https://www.repositoriobib.ufc.br/000020/00002034.pdf>>. Acesso em: 26/07/2022.

**GALVAMINAS**. Disponível em: <<https://galvaminas.com.br/como-sao-feitas-chapas-de-aco/>>. Acesso em: 26/07/2022.

ICZ. **Manual para especificação da galvanização por imersão a quente**. Disponível em: <<https://issuu.com/prodweb/docs/icz-manual-de-especificacao-de-galv>>. Acesso em 29/07/2022.

ICZ. **Protegendo Chapas de Aço Galvanizadas de Manchas de Estocagem**. 2011.1.f. Disponível em: <[http://www.icz.org.br/site/pdf/galvanizacao/GalvInfoNote\\_3\\_2.pdf](http://www.icz.org.br/site/pdf/galvanizacao/GalvInfoNote_3_2.pdf)>. Acesso em: 29/07/2022.

JÚNIOR, Osmar Barbosa De Sousa; BIEHL, Luciano Volcanoglo; HACKENHAAR, André. **Princípios do processo de galvanização à quente**. Vetor, Rio Grande, v. 24, n. 2, p. 93-110, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.furg.br/vetor/article/view/3730/3820>>. Acesso em: 26/07/2022.

LUZ, Gelson. **Aço AISI 1015 Propriedades Mecânicas e Composição Química**. Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em: <<https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-aisi-1015-propriedades-mecanicas.html>>. Acesso em: 11/07/ 2023.

**NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS BOBINAS GALVANIZADAS**. 2022. Disponível em: <<http://setefer.com.br/wp-content/uploads/2020/01/Bobinas-Galvanizadas-Zincadas-Chapas-Tiras-Blanks-Rolos.pdf>>. Acesso em: 26/07/2022.

PANNONI, Fabio Domingos. **Princípios da galvanização a fogo**. Disponível em: <<https://portalidea.com.br/cursos/316c3d007eeca28eb941020daeffdf6c.pdf>>. Acesso em 27/07/2022.

PARANHOS, Rosangela Maria Vitor. **Caracterização de fases intermetálicas presentes em aço galvanizado por imersão a quente com tratamento térmico do revestimento metálico**. 2010. 24 f. Tese de doutorado (Doutorado em engenharia química). Universidade federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2010. Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8N7EJZ/1/tese2\\_rosangela\\_paranhos.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8N7EJZ/1/tese2_rosangela_paranhos.pdf)>. Acesso em 26/07/2022.



SILVA, Carlos Henrique Ferreira da. **Comportamento Mecânico e Caracterização Microestrutural de um Aço DP Laminado a Frio com Revestimento de Zn para Estampagem**. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2019.

Disponível em:

<<http://tede.mackenzie.br/jspui/bitstream/tede/3837/5/Carlos%20Henrique%20Ferreira%20da%20Silva.pdf>>. Acesso em 27/07/2022.

SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaaios mecânicos de materiais metálicos – Fundamentos teóricos e práticos**. 5ª ed. São Paulo: Editora Bluncher, 1982.

TEIXEIRA, Anderson Maia. **Processo de galvanização a fogo: principais erros e soluções na engenharia de projetos das estruturas metálicas**. 2019. 14 f.

Monografia (Graduação em engenharia metalúrgica e ciência dos materiais).

Universidade Federal do Ceará. Disponível em:

<[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49230/3/2019\\_tcc\\_amteixeira.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49230/3/2019_tcc_amteixeira.pdf)>. Acesso em: 27/07/2022.

WIERCINSKI, Adriano. **Galvanoplastia: melhorias no processo de zincagem eletrolítica**. 2015, 12 f. Tese (especialista em engenharia). Universidade regional do noroeste do estado do Rio grande do Sul, 2015. Disponível em:

<<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/3109/Adriano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 25/07/2022.