

Caracterização de chapa de aço galvanizada para uso industrial revestida por imersão a quente com liga zn-al-mg

Bruno Carlos Amaral da Silva¹; 0009-0006-2894-7249
Karolina Stefany Costa Lanchin¹; 0009-0005-3172-8613
Marcio Frazão Guimarães Lins¹; 0009-0006-9859-0388
Stéfane Suellen Oliveira Bertolaccini¹; 0009-0004-3071-2014
Sandro Rosa Corrêa²; 0000-0001-8973-2002
Janaina da Costa Pereira Torres de Oliveira¹; 0000-0002-6580-7687

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
bruno.silva4@unifoa.edu.br

2 – CEFET/RJ – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Itaguaí, RJ.

Resumo: Os revestimentos galvânicos à base de zinco com adições de alumínio e magnésio vêm sendo cada vez mais usados para aplicações de aço na forma de perfis estruturais e de cobertura expostos à corrosão atmosférica em ambientes rurais e urbanos, especialmente na construção de estações geradoras de eletricidade a partir de energia solar. Neste artigo está descrito as principais características de uma chapa produzida industrialmente em linha contínua de galvanização por imersão a quente, não identificada, visando contribuir para melhor conhecimento do produto disponível comercialmente para aplicação em projetos de componentes e peças a serem utilizadas no mercado. As características encontradas neste estudo indicaram se tratar de uma chapa de aço baixo carbono de grau estrutural revestido com uma liga de Zn com Al e Mg, ambos em teores em torno de 3,0%.

Palavras-chave: Aço revestido. Corrosão. Galvalume. Difração de raio X. Dureza.

INTRODUÇÃO

A galvanização por imersão a quente é o processo mais utilizado mundialmente para produção de chapas de aço para aplicações em diversos segmentos industriais. Na construção civil, que representa cerca de 60% do consumo global, são comercializadas mais de 40 milhões de toneladas anuais de chapas galvanizadas. No Brasil, o ritmo atual de produção é de cerca de 3,3 milhões de toneladas anuais de chapas galvanizadas.

O revestimento tradicional em zinco puro ainda predomina, mas ligas com alumínio, silício e magnésio representam cerca de 20% do mercado de chapas galvanizadas na construção civil, oferecendo maior resistência à corrosão. Entre elas, destaca-se o Galvalume (55%Al-43,5%Zn-1,5%Si), com desempenho duas vezes superior ao zincado comum. No Brasil, sua produção anual é de cerca de 480 mil toneladas, correspondendo a 15% do total nacional.

Uma tecnologia que tem sido aplicada nos produtos destinados a algumas aplicações de construção civil, é o uso de componentes fabricados a partir de chapas de aço revestidas com uma liga Zn-Al-Mg (IAB, 2024).

Neste contexto, uma amostra de aço revestido é caracterizada quanto ao revestimento e ao aço-base, de maneira a se determinarem suas composições químicas e microestruturais. Aplicam-se técnicas e ensaios como difração de raios-X, microscopia ótica e por varredura de elétrons, análise química e ensaio de dureza, e busca-se elucidar a constituição e as propriedades da amostra.

MÉTODOS

Foi recebida uma amostra de produto comercial, de origem não informada, com boa planicidade, sem corrosão aparente, da qual foram recortadas amostras de posições e tamanhos variados a fim de se proceder a caracterização do material. Algumas amostras foram direcionadas para inspeção por difração de raio X (DRX), para a análise de sua estrutura cristalina. As medições foram conduzidas a temperatura ambiente usando radiação $\text{CuK}\alpha$ em um difratômetro Shimadzu XRD-61000, operando com 40 kV de tensão a 30 mA de corrente, conforme descrito em protocolos previamente estabelecidos na literatura de referência. Os parâmetros de aquisição incluíram um intervalo de varredura de $10^\circ < 2\theta <$

80°, com um passo angular de 0,02° e um tempo de aquisição de 0,60 segundos por ponto, seguindo práticas recomendadas em estudos anteriores para garantir a precisão das medidas (Martins *et. al.*, 2022).

A amostra tem uma espessura total de 1,5 mm e o revestimento tem a espessura estimada de 25 µm em cada face, essa espessura foi estimada com base na escala das imagens de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV).

Para a análise do aspecto microestrutural do metal base foi feito embutimento em baquelite, com polimento progressivo até a pasta de diamante 0,1 µm, seguido de ataque com Nital 3% para revelar a microestrutura, e observação em microscópio óptico ao aumento 400X.

A análise do revestimento em MEV foi feita com as amostras previamente polidas adequadamente até a pasta de diamante 0,1 µm e observadas em modo Analy em aumentos de 1500X, 2000X, 3000X e 4000X.

As imagens obtidas nesta análise foram analisadas usando os padrões disponíveis no software *Crystallographica Search-Match* (CSM). Os difratogramas foram gerados a partir dos sinais dos detectores eletrônicos de radiação, destacando reflexões que correspondem aos picos dos planos de difração (h, k, l) da estrutura dos revestimentos das amostras.

O ensaio de dureza Rockwell foi conduzido norma NBR ISO 6508-1 (ABNT, 2019) para avaliar a resistência à penetração do material, indicativo do seu nível de resistência mecânica. A metodologia empregada envolveu o uso de um durômetro de bancada Pantec RBS-M e as amostras foram preparadas e montadas adequadamente para garantir a estabilidade durante o ensaio.

Tanto para o aço base quanto para o revestimento foi realizada a análise química por fluorescência de RX e por absorção atômica respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o resultado da metalografia óptica do metal-base com aumento de 400X evidenciando uma estrutura não típica dos aços baixo carbono mais comuns. A microestrutura apresenta a ferrita (grãos mais claros) em um padrão acicular indicando alguma adição ou tratamento térmico. Na Figura 2 pode-se ver a mesma amostra em

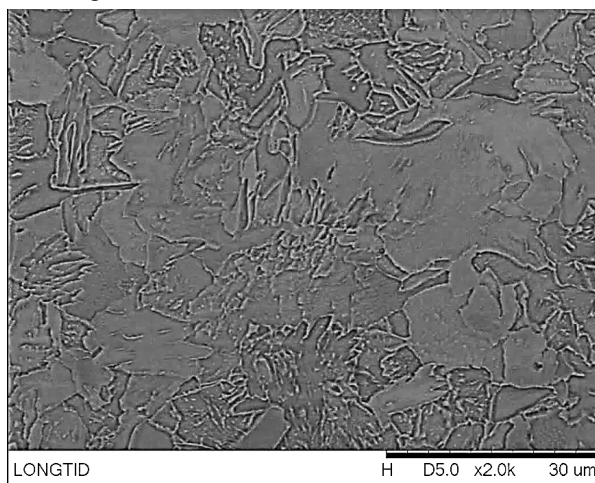
aumento 2000X mostrando as dendritas de cementita compondo a fase perlítica.

Figura 1. Metalografia ótica do metal base - 400X



Fonte: Autores (2025)

Figura 2. Metalografia de varredura eletrônica do metal base - 2000X



Fonte: Autores (2025)

A análise de composição química do aço-base acusou um teor perto de 0,20% de carbono conforme expectativa, porém um teor elevado de manganês em 0,789% indicando que pode não se tratar de um aço comum, conforme Quadro 1.

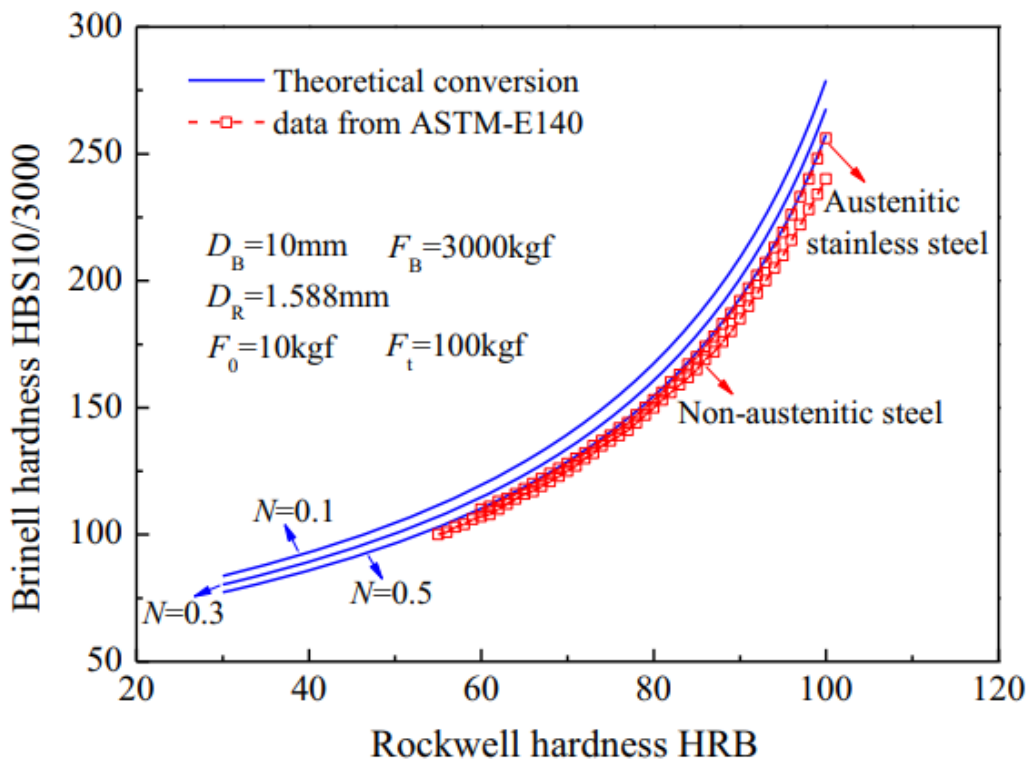
Quadro 1. Composição química metal base

Elemento	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	Al
Composição (%)	0,209	0,789	0,009	0,004	0,010	0,020	0,042	0,001	0,000	<0,005	0,040

Fonte: Autores (2025)

Após a delineação das características mecânicas do aço através do ensaio de dureza Rockwell B em vários pontos da amostra e que resultou em uma dureza média de 84,1 HRB com desvio padrão de 0,4, infere-se a correlação com outras propriedades mecânicas através de conversões por meio de análise gráfica que é largamente disponível nas literaturas técnicas disponíveis. Foi adotado nestas conversões aproximadas o Limite de Resistência sendo estimado por aproximadamente $3,45 \cdot HB$ (Callister; Rethwisch, 2024) e a relação entre HB (dureza Brinell) e HRB (dureza Rockwell) pela relação apontada por (Hui Chen *et. al.*, 2018) na Figura 3, onde utilizando este ábaco chega-se a uma estimativa de 160 HB o que dá uma estimativa de 550 MPa de limite de resistência à tração. Essa estimativa foi confrontada com o ensaio de tração realizado conforme norma NBR 6892 (ABNT, 2013) que gerou os seguintes resultados: média do limite de escoamento de 400,5 MPa e 0,2 de desvio padrão; média de limite de resistência à tração de 534,7 MPa e desvio padrão de 1,7, o que sugere se tratar de um aço estrutural de resistência excepcional.

Figura 3. Relação HB e HRB



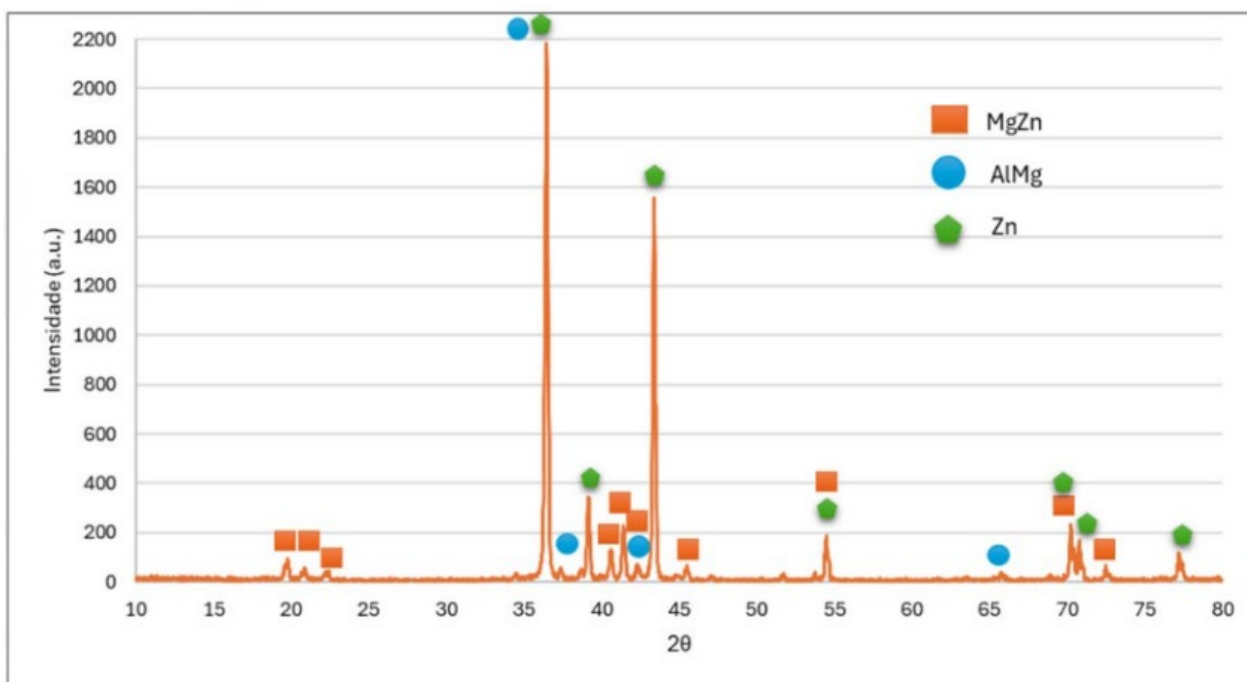
Fonte: Chen e Cai (2018)

Quanto ao revestimento, a análise do difratograma DRX indicou os constituintes sendo



conforme esperados: Zn, MgZn e AlMg, após a análise em software supracitado por comparação em seu banco de dados, conforme Gráfico 1.

Gráfico 1. Difratograma do revestimento



Fonte: Autores (2025)

A análise química do revestimento confirma a composição esperada, conforme Quadro 2.

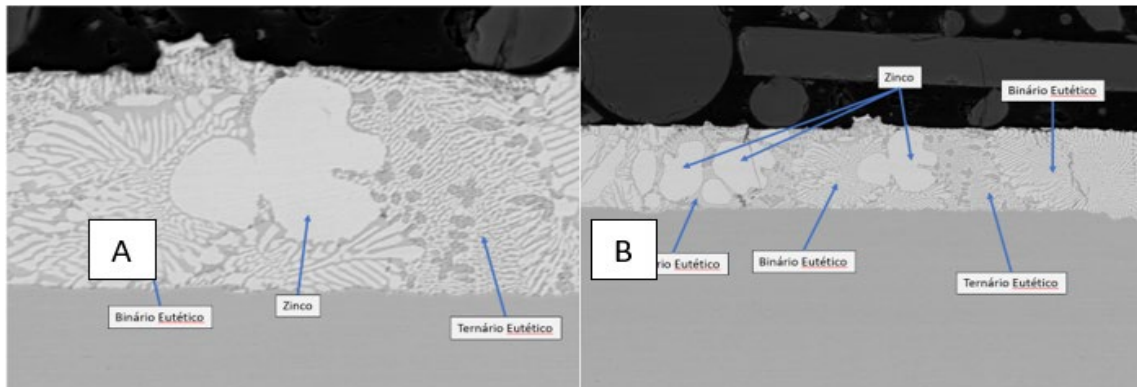
Quadro 2. Análise química do revestimento

Elemento	Al	Mg	Zn
Composição química (%)	2,94	3,16	balanço

Fonte: Autores (2025)

A análise do revestimento em MEV, mostra na Figura 4, as fases esperadas de acordo com o descrito por Zhang *et. al.*, 2022, onde deve-se ter uma fase rica em Zinco, o Binário Eutético ($ZnMgZn_2$) e o Ternário Eutético ($Zn-MgZn_2-Al$), sendo a fase mais escura e contínua, a rica em Zinco, a fase lamelar o Ternário Eutético e a fase de estruturas mais espessas, o Binário Eutético.

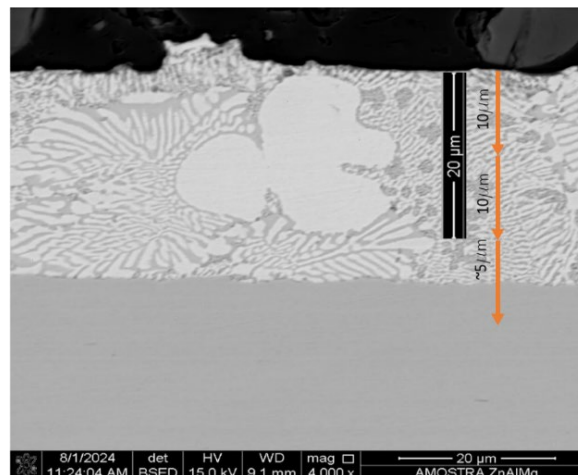
Figura 4. A: Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) 4000X; B: Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) 1500X.



Fonte: Autores (2025)

A espessura do revestimento em cada face foi estimada em 25 μm a partir da escala das imagens de microscopia de varredura eletrônica (MEV), conforme Figura 5.

Figura 5. Imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 4000X



Fonte: Autores (2025)

CONCLUSÕES

As técnicas laboratoriais empregadas neste estudo permitiram avançar bastante na caracterização do material recebido para avaliação, indicando que se trata de uma chapa de aço baixo carbono de grau estrutural revestido com liga Zn-Al-Mg.

A fim de aprofundar mais este trabalho de caracterização, alguns ensaios adicionais se fazem necessários para indicar com melhor precisão a norma em que se enquadra o material, considerando que com os valores encontrados de limite de resistência à tração e

de dureza, não foi possível identificar claramente a classificação do aço-base, porém indica-se tratar de um aço de grau estrutural, haja visto seu limite de resistência à tração e seu conteúdo de manganês combinado à sua característica metalográfica, sugere-se se tratar de um aço que foi endurecido por tratamento térmico.

Ensaio adicional de corrosão acelerada poderão estabelecer de forma comparativa o grau de proteção galvânica que o material apresenta, permitindo maior precisão na identificação do posicionamento normativo do produto comercial que deu origem à amostra avaliada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6892**: Materiais metálicos – ensaio de tração. Rio de Janeiro: ABNT. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 6508-1**: Materiais metálicos – ensaio de dureza Rockwell – Parte 1: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT. 2019.

CALLISTER, William D. Jr.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2024.

CHEN, Hui; CAI, Li-Xun. (2018) Theoretical conversions of different hardness and tensile strength for ductile materials based on stress-strain curves. **Metallurgical and Materials Transactions A**, 49, 1090-1101 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11661-018-4468-8>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11661-018-4468-8>.

INSTITUTO AÇO BRASIL (IAB). **Mercado brasileiro de aço**. 2024.

MARTINS, P. M. M.; SOUZA, A. M.; NOGUEIRA, G. B.; CORRÊA S. R. (2022). Avaliação do produto de corrosão em aços revestidos com ligas Zn-Al-Mg utilizando a técnica de difração de raios X. **Tudo é Ciência: Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares**, [S. l.], n. 1, p. 1-6, 2022. DOI: 10.47385/tudoeciencia.60.2022. Disponível em: <https://conferencias.unifoa.edu.br/tc/article/view/60>.

ZHANG, Ziyue; ZHANG, Jie; ZHAO, Xingyuan; XUEQUN, Cheng; JIANG, Sheming; ZHANG, Qifu (2022). Effects of Al-Mg on the microstructure and phase distribution of Zn-Al-Mg. **Metals** 13, n. 1: 46. <https://www.mdpi.com/2075-4701/13/1/46>.