



EFEITO DO CORTE E DOBRA NA RESISTÊNCIA A CORROSÃO DO AÇO GALVALUME® NO ENSAIO DE NÉVOA SALINA

Antonio Carlos da Silva Lima¹

Anderson Daleffe²

Resumo: O presente trabalho analisa a resistência a corrosão da chapa de Aço Galvalume® AZM150, aplicada na construção civil, em formato de telha trapezoidal TP100, chapa plana e dobrada a 90°, com 0,50 mm de espessura, quando submetida no ensaio controlado em câmara de névoa salina. Através de corpos de prova com bordas de corte realizadas por guilhotina e esmerilhadeira, submetidos a 1.000 horas de ensaio. Tendo parâmetros do efeito do corte e dobra na evolução da corrosão vermelha no aço Galvalume®. Os resultados apresentaram comportamento distinto entre as amostras de aço Galvalume® com bordas de corte protegidas, sem manifestação de corrosão vermelha até 1.000 horas de ensaio, em relação as amostras sem proteção das bordas de corte, sendo maior avanço da corrosão pelo corte esmerilhadeira em relação ao corte guilhotina. As dobras na chapa Galvalume® não apresentaram trincas no revestimento que pudessem contribuir para acelerar o processo de corrosão.

Palavras-chave: Corrosão. Aço Galvalume®. Névoa Salina.

Abstract: This work analyzes the corrosion resistance of Galvalume® AZM150 steel sheet, applied in civil construction, in the shape of a TP100 trapezoidal tile, flat sheet and bent at 90°, 0,50 mm thick, when submitted to the controlled test in salt spray chamber. Through specimens with cutting edges made by guillotine and grinder, submitted to 1.000 hours of testing. Having parameters of the effect of cutting and bending on the evolution of red corrosion in Galvalume® steel. The results showed a different behavior between the samples of Galvalume® steel with protected cutting edges, without manifestation of red corrosion up to 1.000 hours of testing, in relation to the samples without protection of the cutting edges, with greater advance of corrosion by the grinder cut in relation to to guillotine cutting. The bends in the Galvalume® plate did not show cracks in the coating that could contribute to accelerating the corrosion process.

Keywords: Corrosion. Galvalume® steel. Salt Spray.

¹ Mestrando em Engenharia Metalúrgica, UniSATC. E-mail: carlos.slima@gmail.com

² Coordenador e Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br



1 INTRODUÇÃO

Devido as suas características, como; resistência à corrosão, refletividade térmica o aço Galvalume® é utilizado em grande escala na construção civil (CSN, 2021). Sendo amplamente utilizado para: telhas de coberturas, fachadas, fechamentos laterais, calhas e rufos (ARCELORMITTAL, 2020).

Galvalume® é a denominação comercial para chapa de aço revestido com liga 55%Al-Zn, foi desenvolvido em 1972 pela Bethlehem Steel Corporation (CONI, 2004).

Pode-se citar alguns tipos de revestimentos que possuem marcas comercialmente registradas entre eles: Galvalume®, Zinalume®, Zinalit®, Aluzinc®, entre outros. O Galvalume® objeto deste estudo, é conhecido comercialmente pela chapa de aço com revestimento em peso, 55% Alumínio, 43,4% Zinco e 1,6% Silício (ARCELORMITTAL, 2020). Onde o alumínio atua como barreira protetora, o zinco como proteção galvânica Al-Zn e silício proporciona a aderência da liga zinco-alumínio ao aço base (AMÉRICO, 2016; CONI, 2004; CSN, 2021).

O aço Galvalume® além da construção civil, também é utilizado em utilidades domésticas, na indústria de automóveis, em máquinas e equipamentos (setor agrícola) entre outras aplicações, com características de resistência a corrosão e conformabilidade (CONI, 2004; ARCELORMITTAL, 2020).

Usualmente o aço galvalume® é comprado em forma de bobina de usina. Para fabricação das telhas, estas bobinas são desbobinadas em processo contínuo e conformadas em máquina que dão a forma da seção e geometria por uma sequência de ondas senoidais ou trapezoidais (GOMES, 2023). E ao final do processo são cortadas por guilhotina obtendo o tamanho pré definido da telha. Este mesmo corte é comum para cortar a bobina para fabricação de calhas e rufos. Usualmente as telhas, em campo, quando requer necessidades para manter seção ou geometria da cobertura são normalmente cortadas por esmerilhadeira.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a resistência à corrosão do aço Galvalume® após o corte de bordas por guilhotina e por esmerilhadeira, em corpos de prova em seção de telha TP100, chapa plana e dobrada a 90°. Avaliando seu comportamento em inspeções periódicas, identificando o processo de corrosão vermelha, a fim de mapear nos corpos de prova o avanço corrosivo quando submetidos ao ensaio de névoa salina.



2 REVISÃO DE LITERATURA

A construção civil é um setor econômico em constante desenvolvimento. A utilização de materiais que apresentam melhora no desempenho e durabilidade é uma busca constante do setor.

A corrosão, é um processo que consiste na deterioração dos materiais transformando de forma gradual, pela interação com o meio, onde o desempenho e a durabilidade podem deixar de satisfazer os fins a que se propõem (GENTIL, 2012).

Segundo Lucena 2014, na indústria o processo de corrosão causa prejuízos de alto valor, devido à aplicação dos materiais metálicos de forma geral, na maioria dos setores da economia como por exemplo na construção civil, a utilização de recursos são principalmente com a troca e reparos dos materiais danificados, além de proporcionar riscos de acidentes com falhas estruturais.

A forma mais disseminada de deterioração dos materiais metálicos é a corrosão atmosférica, ocasionando a degradação parcial ou total dos mesmos. Possuindo grande relevância visto que, a maioria dos materiais fabricados estão expostos a ambientes atmosféricos. (NATESAN; VENKATACHARI & PALANISWAMY, 2006).

Estudos com finalidade de mitigar custos com substituição de materiais corroídos são de extrema importância para economia mundial. (FRANCA, 2017).

2.1 GALVALUME®

Galvalume® é a denominação comercial para chapa de aço revestido com liga 55%Al-Zn, foi desenvolvido em 1972 pela Bethlehem Steel Corporation (CSN, 2021).

A chapa de aço com revestimento constituído por peso de 55% de alumínio Al, 43,4% de zinco Zn e 1,6% de silício Si, é comercialmente conhecida como Galvalume® (ARCELORMITTAL, 2020). O alumínio atua como barreira protetora, o zinco como proteção galvânica Al-Zn e silício proporciona a aderência da liga zinco-alumínio ao aço base baixo-carbono (AMÉRICO, 2016; CONI, 2004; CSN, 2021).

Pode-se citar alguns tipos de revestimentos que possuem marcas comercialmente registradas entre eles: Galvalume®, Zincalume®, Zincalit®,



Aluzinc®, entre outros. O Galvalume® objeto desta pesquisa, é conhecido comercialmente pela chapa de aço com revestimento em peso, 55% Alumínio, 43,4% Zinco e 1,6% Silício (ARCELORMITTAL, 2020).

Com diversas características como resistência à corrosão, conformabilidade entre outras, o Galvalume® é utilizado na construção civil, utilidades domésticas, na indústria de automóveis, em máquinas e equipamentos (setor agrícola) entre outras aplicações (CONI, 2004).

2.1.1 Ensaio Acelerado de Corrosão Névoa Salina

O objetivo do ensaio de corrosão é testar ou comparar a resistência de um metal à corrosão (RAMANATHAN, 2015). Submetendo a um determinado meio corrosivo e fornecendo resultados e parâmetros da resistência do material.

Entre os ensaios em laboratório de corrosão, pode-se citar um dos principais o de névoa salina.

A principal função do ensaio de névoa salina é elevar em câmara, o nível crítico de exposição das amostras em ambiente controlado, com objetivo de acelerar o processo de corrosão, obtendo resultados com prazos reduzidos (TRIDAPALLI, 2011). O ensaio de névoa salina é normalizado pelas normas ASTM B-117 e NBR 8094.

As condições da zona de exposição na névoa salina é com a aplicação de solução aquosa de aproximadamente 5% de cloreto de sódio (NaCl) em temperatura de $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de 100% (NBR 8094, 1983). Este ensaio é semelhante a exposição marítima (AMÉRICO, 2016).

2.1.2 Resistência à corrosão do Galvalume® no Ensaio de Névoa Salina

Os manuais do aço Galvalume® disponibilizado pela ArcelorMittal (2020), apresentam a resistência à corrosão do Galvalume® conforme Fig. 1, no ensaio de névoa salina até que 5% da superfície apresente corrosão vermelha (aço base).

Figura 1: Resistência à corrosão em ensaio de névoa salina Galvalume®.



Fonte: Adaptado de AcerlorMittal (2020) - OCAS/S. Claessens (2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados corpos de prova em aço com revestimento Galvalume® AZM150, com espessura de camada de 20 µm e espessura de chapa de 0,50 mm, em formato de telha trapezoidal TP100, conforme é ilustrado na Fig. 2 a seção transversal da telha trapézio 100 mm e regiões onde foram retiradas as amostras.

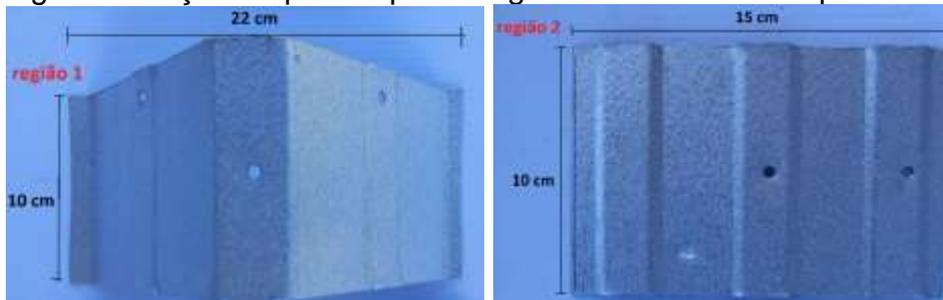
Figura 2: Seção transversal telha trapézio 100 mm (TP100).



Fonte: Do autor (2022).

A Fig. 3, apresenta dimensões dos corpos de prova, demonstrando a região 1 sendo 10 x 22 cm e região 2 sendo 10 x 15 cm.

Figura 3: Seção corpos de prova região 1 e 2 da telha trapezoidal (TP100).



Fonte: Do autor (2022).

Foram também utilizadas, amostras em chapas plana e dobrada a 90°, com dimensões de 5 x 10 cm, com bordas cortadas por guilhotina e esmerilhadeira.

Os corpos de provas foram cortados com máquina de corte guilhotina no laboratório do UNISATC e com auxílio da ferramenta esmerilhadeira manual com disco de corte comum para aço.

Os ensaios de exposição foram realizados em equipamento de câmara de névoa salina da marca Equilam Fig. 4, no laboratório da empresa Farben de Içara, com base na norma ABNT NBR 8094/1983, em nebulização de 5% de cloreto de sódio (NaCl), a temperatura de 35 °C, em inspeções periódicas e por registro fotográfico até 1.000 horas de ensaio.

Figura 4: Câmara de ensaio névoa salina.



Fonte: Do autor (2022).



Em alguns conjuntos de corpos de prova para o ensaio em névoa salina foram realizadas proteção total das bordas de corte com massa epóxi para completa proteção das faces cortadas.

As análises macrográficas foram realizadas por inspeção visual e registro fotográfico, sendo as imagens digitalizadas e utilizado software CAD para medição das áreas em porcentagem de corrosão vermelha.

As análises micrográficas foram realizadas com auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV), realizadas no laboratório do UNISATC, em que os corpos de prova foram analisados em vista de topo para identificação da morfologia superficial.

4 RESULTADOSE DISCUSSÕES

Na tabela 1 é apresentada a porcentagem em área de corrosão vermelha em relação ao tempo de exposição ocorrido com o corte esmerilhadeira, sendo possível identificar em 400 horas de ensaio apresentou 8,21% de corrosão vermelha e em 1.000 horas de exposição demonstrou 99,05%.

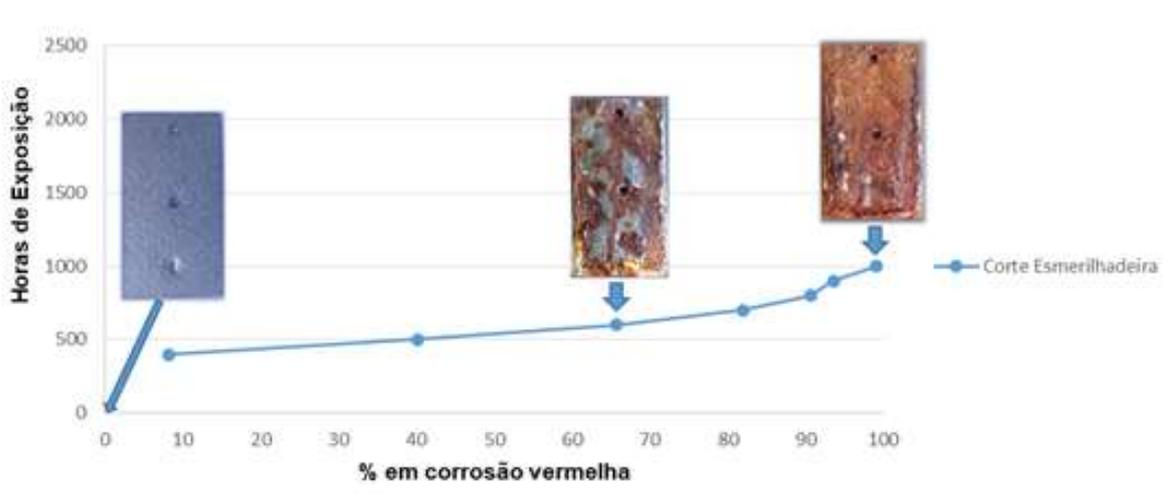
Tabela 1: Resultados ensaios - Corte Esmerilhadeira, Horas de Exposição x Porcentagem da área com corrosão Vermelha.

	Horas de Exposição (h)	Porcentagem da Área em Corrosão Vermelha (%)
CORTE ESMERILHADEIRA	400	8,21
	500	40,12
	600	65,76
	700	81,92
	800	90,59
	900	93,57
	1.000	99,05

Fonte: Do autor (2023).

A Fig. 5 ilustra com um gráfico, o avanço da corrosão vermelha com o corte esmerilhadeira até 1.000 horas de ensaio. Onde em zero hora de exposição sem corrosão, em 600 horas com 65,76% de corrosão e em 1.000 horas apresentando 99,05% de sua área com corrosão vermelha.

Figura 5: Resultados - Gráfico de Resistência à corrosão aço Galvalume® no ensaio de névoa salina (% de corrosão vermelha) - corte esmerilhadeira.



Fonte: Do autor (2023).

A tabela 2 demonstra a porcentagem em área de corrosão vermelha em relação ao tempo de exposição ocorrido com o corte guilhotina, sendo possível identificar em 700 horas de ensaio 4,50% de corrosão vermelha, em 800 horas apresentou 35,19% e em 1.000 horas de exposição demonstrou 64,76%.

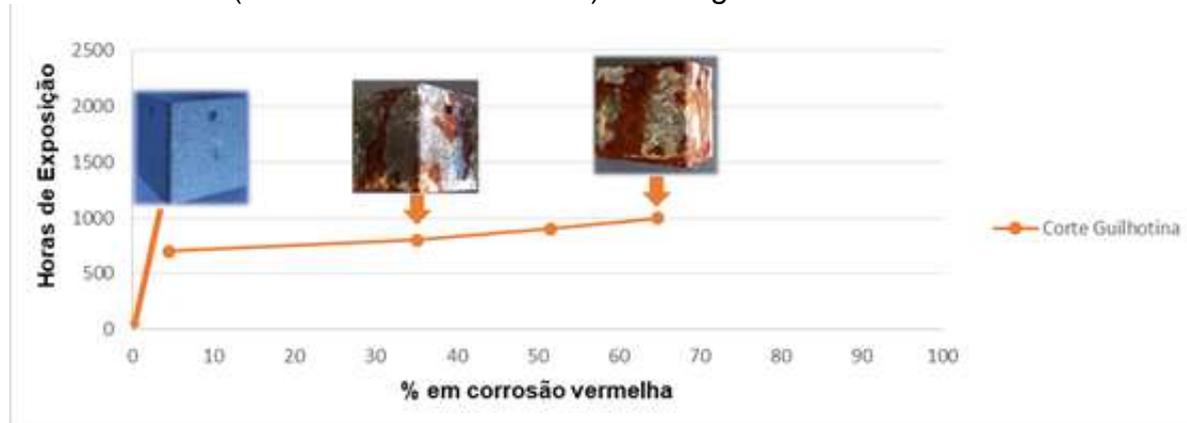
Tabela 2: Resultados ensaios - Corte Guilhotina, Horas de Exposição x Porcentagem da área com corrosão Vermelha.

CORTE GUILHOTINA	Horas de Exposição (h)	Porcentagem da Área em Corrosão Vermelha (%)
	700	4,50
800	35,19	
900	51,63	
1.000	64,76	

Fonte: Do autor (2023).

Na Fig. 6, ilustra o avanço da corrosão vermelha com o corte guilhotina até 1.000 horas de ensaio. Sendo possível analisar que em zero hora de exposição não havia corrosão inicial, em 800 horas com 35,19% de corrosão e em 1.000 horas apresentando 64,76% de sua área com corrosão vermelha.

Figura 6: Resultados - Gráfico de Resistência à corrosão aço Galvalume® no ensaio de névoa salina (% de corrosão vermelha) - corte guilhotina.

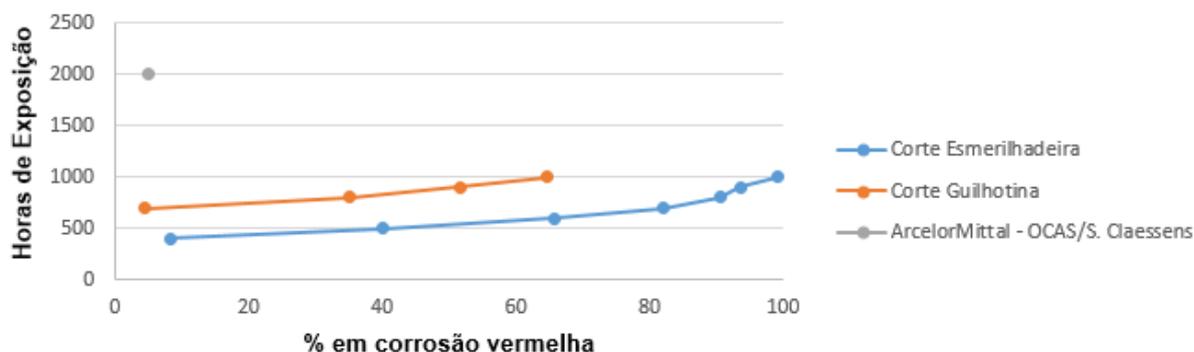


Fonte: Do autor (2023).

As amostras com proteção completa das bordas de corte com massa epóxi não apresentaram corrosão vermelha em 1.000 horas de ensaio. Conforme fornecedor ArcelorMittal (2020) - OCAS/S. Claessens (2003) sobre a resistência à corrosão do aço Galvalume® em névoa salina para mesma espessura de revestimento Galvalume® para que ocorra 5% da superfície com corrosão vermelha são necessárias 2.000 horas de ensaio. Segundo Américo (2016), em sua pesquisa em 300 horas de exposição do aço Galvalume® no ensaio de névoa salina não apresentou corrosão vermelha.

A Fig. 7, apresenta um comparativo entre a resistência a corrosão no ensaio de névoa salina do aço Galvalume® entre corte guilhotina, corte esmerilhadeira e fornecedor ArcelorMittal – OCAS/S. Claessens.

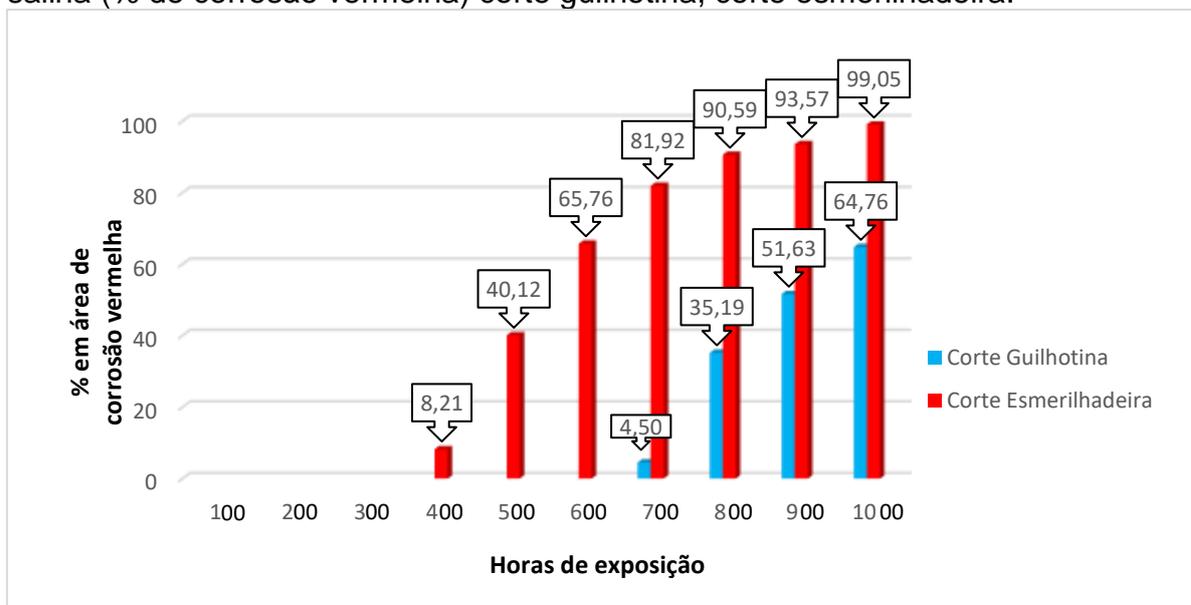
Figura 7: Resultados - Gráfico de Resistência à corrosão aço Galvalume® no ensaio de névoa salina (% de corrosão vermelha) x ArcelorMittal.



Fonte: Do autor (2023).

É possível verificar na Fig. 8, uma análise macrográfica com comparativo em porcentagem de área com corrosão vermelha no ensaio de névoa salina, do aço Galvalume® entre corte guilhotina e corte esmerilhadeira no ensaio experimental.

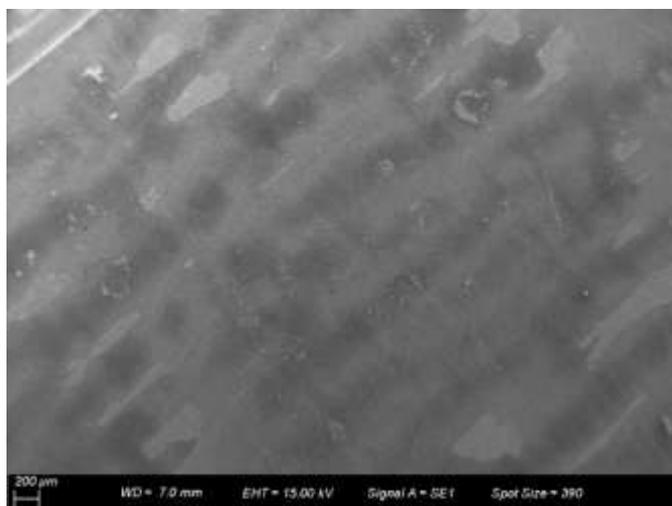
Figura 8: Resultados - Resistência à corrosão aço Galvalume® no ensaio de névoa salina (% de corrosão vermelha) corte guilhotina, corte esmerilhadeira.



Fonte: Do autor (2023).

Na análise micrográfica por microscopia eletrônica de varredura – MEV segundo Fig. 9, o aço com revestimento Galvalume®, não apresentou trincas no revestimento nas dobras a 90° e nem nas regiões conformadas da telha TP100.

Figura 9: Imagem MEV do aço Galvalume® antes do ensaio (área conformada TP100).



Fonte: Do autor (2022).



5 CONCLUSÕES

Com os ensaios realizados pode-se analisar que a proteção de bordas de corte com massa epóxi foi efetiva não apresentando nenhum processo de corrosão até 1.000 horas de ensaio. Segundo o fornecedor ArcelorMittal (2020) - OCAS/S. Claessens (2003), são necessárias 2.000 horas de ensaio em névoa salina para que o Galvalume® com mesma espessura de revestimento apresente 5% da superfície com corrosão vermelha.

E, também, como resultados obtidos através dos ensaios experimentais para o aço Galvalume® AZM150 com espessura de chapa de 0,50 mm é possível afirmar que os corpos de prova com corte por esmerilhadeira apresentaram 99,05% de área com corrosão vermelha e para o corte guilhotina 64,76% de área com corrosão vermelha em 1.000 horas de ensaio em névoa salina. Evidenciando o corte esmerilhadeira sendo mais agressivo ao material em estudo, porém mesmo o corte guilhotina apresentando redução de 34,3% em relação a corrosão pelo corte esmerilhadeira, apresentou uma porcentagem significativa de corrosão vermelha, não sendo suprido o avanço de corrosão com esse tipo de corte em exposição.

Comparando os resultados obtidos com os disponibilizados fornecedor, apresentou significativamente redução de 5 vezes aproximadamente o tempo necessário de exposição para a mesma área de corrosão vermelha inicial para o corte esmerilhadeira, e redução de 2,85 vezes para o corte guilhotina.

Os resultados mostram que na análise por microscopia eletrônica de varredura – MEV o aço com revestimento Galvalume®, não apresentou tricas nas dobras a 90° e nem nas regiões conformadas da telha TP100 que pudessem contribuir para acelerar o processo de corrosão.

REFERÊNCIAS

AMÉRICO, Renato. **Efeito da conformação mecânica na resistência a corrosão dos aços NBR7008 ZC/Z275 e galvalume® ASTM A792 CSB/AZM150.**

Dissertação. PPGE3M, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

ARCELOR MITTAL, **AMT Galvalume®**, Brasil 2020.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma ABNT NBR 8094: **Material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina – Métodos de ensaio**, 1983.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL, **Manual CSN Galvalume®**, Brasil 2021.

CONI, Nicodemos Henrique da Silva. **Estudo das Propriedades Mecânicas do Aço Zincado por Imersão à Quente e Galvalume® produzidos na CSN-PR**. Dissertação. PIPE, Universidade Federal do Paraná, 2004.

FRANCA, Maria Gleiziane Araújo. **Avaliação da camada de conversão nanocerâmica em substratos metálicos galvanizados e não-galvanizados combinados com tinta poliéster**. Dissertação – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

GENTIL, Vicente. **Corrosão / Vicente Gentil** – 6.ed. Rio de Janeiro: LTC 2012.

GOMES, Idalmo Gonçalves. **Benefícios das telhas termoacústicas na indústria da construção civil**. Revena Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem, v. 6. p.404-416, 2023.

LUCENA, Maíra de Paula Pereira. **Estudo e otimização dos parâmetros do processo de conversão de revestimentos a base de Zr e Ti sobre aço galvanizado**. Dissertação - Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

NATESAN, M.; VENKATACHARI G.; PALANISWAMY, N. **Kinetics of atmospheric corrosion of mild steel, zinc, galvanized iron and aluminium at 10 exposure stations in India**. Corrosion Science, v.48, p.3584–3608, 2006.

RAMANATHAN, Lalgudi Venkataraman. **Corrosão e seu Controle**. 3. ed. São Paulo: Hemus. 2015.

TRIDAPALLI, Claudia Wagenführ. **Estudo comparativo de metodologias de ensaios acelerados de corrosão por frestas nas ligas de aço inox AISI 430 e AISI 304**. Dissertação. PPEQ Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

®	Marca registrada
NaCl	Cloreto de Sódio
Al	Alumínio
Mev	Microscopia Eletrônica de Varredura
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
NBR	Norma Brasileira



CAD	Desenho Assistido por Computador
Si	Silício
Zn	Zinco
ASTM	Norma Americana
AZM150	Especificação e espessura do revestimento do aço Galvalume®
TP100	Telha metálica trapezoidal 100 mm altura do trapézio