



## **RESISTÊNCIA À CORROSÃO EM CHAPAS PINTADAS SUBMETIDAS À PRÉ TRATAMENTO À BASE DE NANOTECNOLOGIA**

### ***RESISTANCE TO CORROSION IN PAINTED PLATES SUBMITTED TO PRE-TREATMENT BASED ON NANOTECHNOLOGY***

Maira da Silva Custódio – fatecsoldagem.maira@outlook.com

Paulo Rogério de Souza – paul.roger1980@hotmail.com

Estudantes do Curso Superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem  
Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – São Paulo – Brasil

Prof. Dr. Péricles Bosquetti – pericles.bosquetti@fatec.sp.gov.br

Profa. Mestra Márcia Aparecida Gomes – marcia.gomes@fatec.sp.gov.br

Prof. Pós-Dr. Diogenes Bosquetti – prof\_diogenes@yahoo.com.br

Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – São Paulo – Brasil

### **RESUMO**

Esse trabalho apresenta estudos comparativos da qualidade de sistemas de pinturas em aços revestidos do tipo zincado e galvalume, com aplicação de tratamento nanocerâmico de dois fornecedores diferentes, sendo que um deles (produto N<sup>1</sup>), já está sendo utilizado no tratamento dos aços da empresa denominada de empresa X, e o outro fornecedor do nanocerâmico que está em homologação (produto N<sup>2</sup>). Assim pôde-se verificar qual dos fornecedores possui a maior qualidade de tratamento nanocerâmico para receber a pintura à pó, através do processo de pintura eletrostática, formando assim um sistema de pintura apresentando grande resistência à corrosão quando submetido à ensaios corrosivos. A pesquisa experimental fundamentou-se na revisão bibliográfica e abordou sobre aço carbono, tipos de revestimentos, nanotecnologia, pintura e corrosão. Para este estudo, foram utilizadas várias amostras de chapas cedidas pela empresa X, sendo que cada uma delas foram preparadas através de processo de lavagem, desengraxe e aplicação do tratamento nanocerâmico dos dois fornecedores, sendo utilizados aços zincados da CSN, aços galvalume da CSN e aços zincados da Arcelor. Todos esses aços foram pintados com tinta à pó por processo eletrostático em camadas especificadas de tinta e polimerizado em estufa. Os ensaios para avaliação do desempenho foram realizados no laboratório de corrosão da FATEC/STZ aplicando-se nas amostras cortes na forma de “X”, avaliando-se a ocorrência de empolamento da tinta, de penetração subcutânea e do deslaque das camadas de tinta. Realizaram-se os ensaios de névoa salina, imersão em solução de detergente e em umidade saturada. Como resultados, pôde-se verificar que ambos os produtos N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup> apresentaram excelente desempenho nos ensaios, para ambos os tipos de aços, sem nenhum ataque aos aços galvalume, porém, em ensaio de névoa salina e imersão em detergente, obteve-se melhores resultados com o tratamento nanocerâmico do fornecedor em homologação (produto N<sup>2</sup>) para os aços zincados. No ensaio de umidade saturada os resultados foram similares para ambos os produtos.

**Palavras-chave:** Corrosão. Tratamento Nanocerâmico. Galvalume.



## ABSTRACT

This work presents a study of the quality of painting systems in zinc-coated and galvalume-type steels, with the application of a nanoceramic treatment of two different suppliers, and one of them (product N1) is already being used in Treatment of the steels of the company called Company X, and the other supplier of nanoceramic which is in component type-approval (N2 product). Thus, it was possible to verify which of the suppliers has the highest quality of nanoceramic treatment to receive the powder painting, which is made by electrostatic painting process, thus forming a painting system presenting great resistance to corrosion when subjected to corrosive tests. The experimental research was based on the bibliographical review and approached about carbon steel, types of coatings, nanotechnology, paint and corrosion. For this study, several samples of plaques provided by company X were used, each of which were preprocessed by washing, degreasing and applying the nanoceramic treatment of the two suppliers, using galvanized steels of CSN, Galvalume steels of CSN and galvanized steels of Arcelor. All these steels were painted with powder paint by electrostatic process polymerized in greenhouse in specified layers of ink. The tests for performance evaluation were carried out in the FATEC/STZ corrosion Laboratory Applying in the samples cuts in the form of "X", evaluating the occurrence of blistering, subcutaneous penetration and deplaque of the coats of paint. The tests of saline mist, immersion in detergent solution and saturated humidity were carried out. As a result, it was verified that both N1 and N2 products presented excellent performance in the tests, for both types of steel, however, in the test of salt-spray and immersion in detergent, better results were obtained with the nanoceramic treatment of the Supplier in type-approval (N2 product) for galvanized steels. In the saturated humidity test the results were similar to both products.

**Keywords:** Corrosion. Nanoceramic treatment. Galvalume.

**DOI:**

## 1 INTRODUÇÃO

O tratamento nanocerâmico foi desenvolvido para melhoria dos tratamentos superficiais realizados em aços, melhorando assim sua resistência à corrosão e aderência entre o zinco, o galvalume ou outros revestimentos metálicos e o sistema de pintura protetiva. Outro objetivo desse tratamento foi substituir a fosfatização tricatiônica, que é um tratamento superficial utilizado em aços galvanizados, que geram resíduos nocivos à saúde humana, devido à íons de níquel e manganês utilizado neste processo, além de outros resíduos pesados, que afetam o meio ambiente. O tratamento nanocerâmico é isento destes metais pesados como fosfato de níquel e manganês, sendo realizado pela imersão do material em íons de zircônio ou através de corrente elétrica por deposição eletroquímica.



A empresa X<sup>1</sup>, do ramo de eletrodomésticos, utiliza um tratamento superficial nos aços revestidos utilizados na fabricação de seus produtos, para melhorar a resistência a corrosão.

Este trabalho teve o objetivo de analisar a qualidade do tratamento nanocerâmico de dois fornecedores diferentes, sendo que um deles já está sendo utilizado no tratamento dos aços da empresa X, e a outra está em homologação. Assim pode-se verificar qual delas possui a maior qualidade para receber a pintura eletrostática, e verificar qual apresenta maior resistência à corrosão quando submetidas a ensaios corrosivos.

O ensaio de névoa salina simula os efeitos que ocorrem em materiais que são utilizados em ambientes marítimos ou com maresia. Esse ensaio é realizado em câmaras que pulverizam os corpos de provas com uma solução de 5% de sal e temperatura acima das normais do ambiente, em torno de 35 a 45°C mantendo constante a temperatura dentro da câmara, sendo realizado durante várias horas, e assim, após o término, é avaliado a corrosão sofrida pelo material.

No ensaio de imersão em detergente, as amostras são colocadas em soluções aquosas de detergente em formulação padronizada (como a fórmula da norma ASTM D2248), sendo os materiais recobertos totalmente por essa solução, tendo três parâmetros que precisam ser controlados corretamente, pois podem mascarar o resultado final, sendo eles a aeração, a velocidade e a temperatura.

O ensaio de umidade saturada é realizado em uma câmara que gera uma atmosfera saturada em umidade, sendo assim, a mesma precisa ser fabricada de um material altamente resistente à corrosão bem como os demais equipamentos para ensaios de corrosão. A umidade relativa nessa câmara é de 95 a 100% e a temperatura também é maior que as condições ambientais, sendo normalmente por volta 40°C, mas podendo ser utilizado até 60°C, de forma que ocorra a condensação de umidade sobre os corpos de prova.

## 2 NANOTECNOLOGIA

Segundo Bossardi (2007, p.16) “a definição frequente de nanotecnologia usada pelas instituições e indústrias é a tecnologia que envolve a fabricação de estruturas, aparelhos e sistema com propriedades e funções novas devido a arranjos dos seus átomos na escala de 1 à

---

<sup>1</sup> A empresa não autorizou a divulgação do nome



100 nanômetros”. O termo nanotecnologia surgiu na década de 70, na faculdade de ciências pelo professor Norio Taniguchi, pois necessitava de matérias que possuem tolerâncias manométricas. Na década de 80 novamente foi reinventado em um livro do Dr. Eric Drexler, reacendendo assim o interesse pela nanotecnologia, conseguindo nessa época a patente de um microscópio de varredura para análise mais específica desses materiais. A partir do microscópio de sonda, além de pode analisar as superfícies manométrica, também era possível manusear átomos e moléculas (BOSSARDI, 2007).

Com o crescimento da nanotecnologia, várias pesquisas começaram a ser desenvolvidas para a melhoria dos tratamentos superficiais realizados em aços. Com isso surgiu um novo processo de tratamento superficial depois de várias pesquisas e testes, o tratamento nanocerâmico, que foi desenvolvido a fim de substituir o tratamento de fosfatização, que pode causar danos à saúde, devido a presença de íons níquel entre outros. Com esse novo processo, ganhou-se uma camada ainda mais fina, com maior qualidade, e que causa menos impacto ao meio ambiente que é o grande objetivo mundial (BOSSARDI, 2007).

O objetivo do processo de fosfatização e agora mais recente o nanocerâmico, ocorreu devido à necessidade de um aumento da resistência à corrosão e uma melhor aderência entre o zinco e pintura dos aços galvanizados, pois sem esses tratamentos superficiais, não favorecem a aderência da pintura, permitindo-se que depois de pouco tempo a tinta se desloque do substrato e o mesmo comece a corroer. Com esse tipo de tratamento, aumentam-se resistência à corrosão e aderência da tinta, mantendo assim os aços galvanizados protegidos por mais tempo quando submetidos a ambientes corrosivos (BOSSARDI, 2007).

Os revestimentos nanocerâmicos formam uma camada fina, uniforme e comparados à fosfatização, têm menor gasto de energia, pois é feita em temperatura ambiente e tem o consumo de água reduzido e isenção de materiais pesados como (BALDIN, 2013).

O tratamento nanocerâmico baseia-se em mistura de cerâmicas com outros metais como o zircônio ou titânio, sendo realizados em banhos de soluções aquosas de zircônio, titânio, boro e sílica, podendo conter alguns tipos de polímeros para melhorar a resistência à corrosão, sendo aplicado de uma forma mais rápida que a fosfatização (ZARO, 2011).

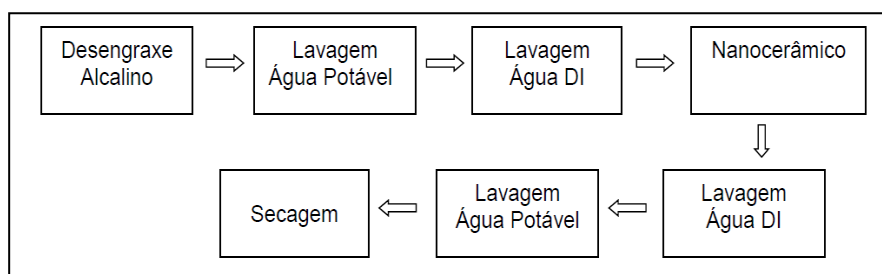
A camada nanocerâmica é constituída à partir da conversão das faces metálicas do material, e as mesmas se encontram em uma condição ativa passando para passiva, com a introdução dos íons e formação de substâncias quando expõe-se o material a imersão em íons



de zircônio ou através de corrente elétrica por deposição eletroquímica, sendo essa camada que se forma, chamada de camadas de conversão (BALDIN, 2013).

O processo nanocerâmico consiste em etapas, iniciando-se pelo desengraxe alcalino, depois é levado a lavagem com água potável e na sequência, a uma lavagem com água deionizada. É então realizado o mergulho do material no banho nanocerâmico, e então mais uma vez passa por uma lavagem com água deionizada e lavagem com água potável, e na sequência é levado para a secagem (ZARO, 2011). A figura 6 mostra a sequência detalhada

**Figura 6 - Sequência de imersão para o processo nanocerâmico**



Fonte: Baldin (2013)

## 2.1 Pintura

O recobrimento de superfície com tintas, são utilizados há muito tempo como um dos principais meios de proteção, tendo como objetivo depositar uma camada de tinta com a finalidade de proteção da peça, principalmente contra a corrosão que é dificultada por ação de três mecanismos de proteção: proteção por barreira, inibição anódica e proteção catódica (BALDIN, 2013), conforme as características das tintas utilizadas.

A tinta utilizada neste trabalho usa a proteção por barreira, que ocorre por qualquer tinta em função da impermeabilidade. Quanto maior espessa e impermeável for a camada de tinta em relação à água e o oxigênio, maior será a eficiência da barreira. A sua finalidade é manter o eletrólito afastado da superfície do aço, evitando a formação de uma pilha galvânica e, por tanto, inibindo a corrosão. (BALDIN, 2013).



### **2.1.1 Pintura eletrostática a pó**

No processo de pintura à pó eletrostático para a aplicação da tinta, utilizam-se cargas elétricas, sendo um dos processos mais utilizados atualmente. Essa pintura é mais aplicada em superfícies metálicas, porém pode ser utilizada em qualquer material carregado eletricamente. A tinta utilizada é em pó e se subdivide em três tipos: Poliéster: Com ótima aderência e dificilmente fica amarelada, utilizada bastante em ambientes externos. Epóxi: Com grande resistência à corrosão. Híbrido: Que é a combinação das duas anteriores (FERRO, 2014).

Para realizar este tipo de pintura, é utilizada uma pistola eletrostática onde há um compartimento para armazenar a tinta em pó e antes de ser esguichado para fora, este pó é carregado eletricamente com cargas positivas ou negativas, e a superfície onde será aplicado será carregado eletricamente com cargas opostas às da tinta. Com isso, quando a tinta entra em contato com a superfície ocorre a atração entre as cargas opostas fazendo a tinta fixar na superfície. Depois desse processo o material é levado a uma estufa para polimerizar a tinta e ganhar perfeita uniformidade na superfície do material (FERRO, 2014).

## **2.2 Ensaio de Corrosão**

A finalidade de um ensaio de corrosão é testar a resistência de um metal à corrosão, fazer uma comparação entre diferentes metais e selecionar o mais resistente. Há três métodos de ensaios de corrosão metálica: ensaio de laboratório, ensaio de campo e ensaio de serviço. O mais utilizado é o ensaio em laboratório, por que os resultados são obtidos em curto espaço de tempo e são confiáveis e reprodutíveis (RAMANATHAN, 2015). Alguns dos principais tipos de ensaios de corrosão em laboratório são: Ensaio de névoa salina (Salt Spray), Ensaio de imersão em meios diversos e Ensaio de umidade saturada (RAMANATHAN, 2015).

Os ensaios de corrosão têm a finalidade de caracterizar a agressividade de um determinado meio corrosivo e fornecer fundamentos básicos para fazer o controle da corrosão, e com esses resultados é possível obter a resistência de um material, capaz de suportar a corrosão causada pela ação de agentes químicos ou por oxidação.



### 2.2.1 Ensaio de névoa salina

O teste de nevoa salina (Salt Spray) é uma simulação dos efeitos de uma atmosfera marítima em diferentes metais com ou sem camadas protetoras. Envolve a pulverização contínua, a uma pressão de 0,8 a 1,2 Kgf/cm<sup>2</sup> de uma solução salina 5% de sal (cloreto de sódio – NaCl) sobre as amostras testadas, em uma câmara com temperatura controlada de 35°C onde as amostras ficam constantemente úmidas e sujeitas à corrosão, descrito pela norma ASTM B117 (2011).

**Fotografia 1 - Câmara de ensaio de corrosão de névoa salina**



Fonte: fotografada pelos autores no Lab. de Corrosão da FATEC de Stz

### 2.2.2 Ensaio de imersão em detergente

Neste ensaio, as amostras são totalmente imersas em soluções aquosas de detergente em concentrações determinadas, e precisam ser controlados três parâmetros que são: aeração, velocidade e temperatura. É preciso ter este controle para que o resultado final saia com precisão e com resultados de representatividade exata da resistência à corrosão.

O controle da temperatura é conseguido por um meio termostato, a aeração é feita usando misturas controladas de oxigênio e nitrogênio, o controle da velocidade se dá movendo as amostras através do líquido ou movendo o líquido que circunda a amostra. O ensaio de imersão é realizado num equipamento de banho-maria, conforme mostra a fotografia 2.



**Fotografia 2 - Banho Maria para ensaio de imersão em detergente**



Fonte: fotografada pelos autores no Lab. de Corrosão da FATEC de Stz

### 2.2.3 Ensaio de umidade saturada

O ensaio consiste no teste da resistência dos revestimentos à condensação de água por meio da exposição das amostras revestidas a atmosfera com umidade relativa próxima à 100%. À medida que o ar mais quente saturado passa pelas amostras frias, a água é depositada sobre os corpos de prova na forma de condensação. A água permeia o revestimento em taxas que dependem das características do revestimento. Alterações de mudança de cor, formação de bolhas, perda de aderência ou fragilização são observados e relatados (VASQUES, 2016).

De acordo com a norma NBR IEC 60068-2-30, o ensaio simula uma condição de extrema umidade, porém sem poluição e sem sais. As condições no interior da câmara durante cada ciclo de 24 horas do ensaio são de 95-100% de umidade relativa do ar (atmosfera saturada) e a temperatura variando, de 25°C à 60°C. O ensaio é conduzido por ciclos contínuos de 24 horas onde a água evapora do fundo aquecido da câmara e condensa nos corpos de prova, retornando ao fundo da câmara. (VASQUES, 2016). A foto 3 mostra uma câmara de umidade saturada.

**Fotografia 3 - Câmara úmida para ensaio de umidade saturada**



Fonte: fotografada pelos autores no Lab. de Corrosão da FATEC-STZ





### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa experimental foi realizada no laboratório de corrosão da Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho (FATEC/STZ), e foram utilizados os equipamentos como Câmara de névoa salina (Salt-spray), um banho termostaticado para ensaio de imersão em detergente e Câmara de umidade saturada. Em todos os ensaios, as chapas pintadas (corpos de prova) foram avaliadas, e após sua retirada, avaliaram-se os seguintes aspectos: a penetração subcutânea da corrosão, o desfolhamento de tinta retirando-se, para isso, a camada de tinta nessa região e por fim, avaliou-se a ocorrência de empolamento (bolhas na camada de tinta).

#### 3.1 Materiais e Métodos

Para a realização deste trabalho, foram preparadas 24 (vinte e quatro) chapas de aço zincado, e 12 (doze) chapas de aço galvanizado, com tratamento nanocerâmico N<sup>1</sup> (empresa que está fornecendo o tratamento nanocerâmico atualmente para a empresa X) e N<sup>2</sup> (empresa que solicitou homologação de seu tratamento nanocerâmico). Ambos os produtos foram aplicados em chapas dos fornecedores ARCELOR e CSN. Para cada produto nanocerâmico, utilizaram-se 18 (dezoito) chapas, sendo 6 (seis) de aço zincado do fornecedor CSN, 6 (seis) de aço galvanizado do fornecedor ARCELOR, e 6 (seis) de aço galvanizado do fornecedor CSN.

Após o desengraxe e a aplicação do tratamento nanocerâmico nas chapas, fez-se o recobrimento utilizando-se tinta à pó eletrostática, e em seguida, as chapas pintadas foram preparadas para serem submetidas aos três tipos de ensaios de corrosão, através de realização de um corte em “X” realizado por um estilete adequado atingindo-se o substrato metálico das chapas. Para os ensaios fez-se a seguinte distribuição dos CPs: para o ensaio de névoa salina foram utilizadas 12 (doze) chapas, sendo 4 (quatro) de aço zincado ARCELOR, 4 (quatro) de aço galvanizado CSN e 4 (quatro) de aço galvanizado CSN. A mesma quantidade de chapas foi utilizada para os ensaios de imersão em detergente 1% e a ensaios em umidade saturada.

N<sup>1</sup> A empresa não autorizou a divulgação do nome.

N<sup>2</sup> A empresa não autorizou a divulgação do nome.



A Tabela 1 apresenta o tempo de exposição das amostras nos ensaios de corrosão realizados com os tratamentos nanocerâmicos N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup>.

**Tabela 1 - Tempo dos ensaios de corrosão**

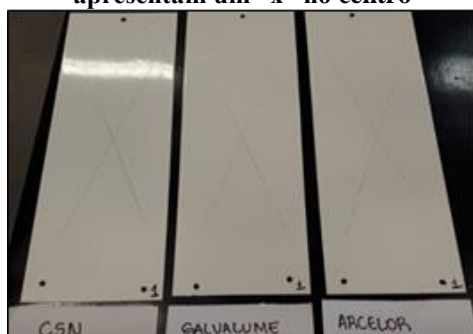
Aços utilizados	Ensaio de névoa salina	Ensaio de imersão em detergente 1%	Ensaio de umidade saturada
Aço zincado (CSN)	500 horas e	250 horas e	750 horas e
Aço galvalume (CSN)	1000 horas	500 horas	1500 horas
Aço zincado (Arcelor Mittal)			

**Fonte: elaborada pelos autores**

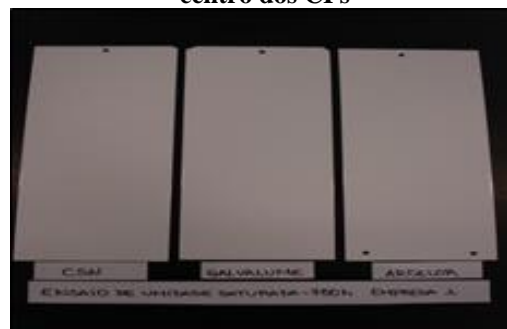
Os ensaios de névoa salina de 500 h, imersão em detergente de 250 h e umidade saturada de 750 h, foram avaliados após cada ensaio e cada tipo de material de acordo com os valores de especificações fornecidos, identificando qual dos fornecedores possuem o melhor tratamento nanocerâmico. Os ensaios de névoa salina de 1000 h, imersão em detergente de 500 h e umidade saturada de 1500 h, foram realizados somente para efeitos comparativos.

Após a execução dos ensaios, foi avaliado a resistência do sistema de pintura e a eficiência dos tratamentos nanocerâmicos utilizados N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup>, medindo-se a penetração da corrosão na pintura à partir de uma marca em “X”, medindo-se à partir deste risco, a penetração da corrosão subcutânea e o deslaque de tinta, sendo utilizado nas medidas um paquímetro convencional do laboratório de corrosão. Foi ainda avaliado a presença de blisters ao longo da superfície pintada, nas áreas mais distantes do risco em “X”. As fotos 4 e 5 mostram as amostras preparadas para os ensaios de névoa salina, detergente e câmara úmida.

**Fotografia 4 - Amostras para realização dos ensaios de névoa salina e imersão em detergente – apresentam um “x” no centro**



**Fotografia 5 - Amostras para realização dos ensaios de câmara úmida – não se faz o “X” no centro dos CPs**



**Fonte: fotografadas pelos autores no Lab. de Corrosão da FATEC-Stz**



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para análise dos resultados dos ensaios de corrosão realizados de névoa salina, imersão em detergente 1% e câmara úmida saturada, foram avaliados conforme a especificação, e envolveram avaliações da penetração subcutânea da camada de tinta e o deslaque da tinta das mesmas após exposição nos períodos. Os valores especificados e critérios de avaliação estão descritos na tabela 2.

**Tabela 2 - Especificações dos ensaios das chapas de aço zincado CSN utilizando os produtos N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup>**

Especificações	Penetração (P)	Deslaque (D)	Empolamento (E)
Salt-Spray 500h	Máximo 5mm	Máximo 5mm	Ausente
Salt-Spray 1000h	Não especificado	Não especificado	Não especificado
Imersão Detergente 1% 250h	Máximo 5mm	Máximo 5mm	Ausente
Imersão Detergente 1% 500h	Não especificado	Não especificado	Não especificado
Câmara Úmida 750h	Não especificado	Não especificado	Ausente
Câmara Úmida 1500h	Não especificado	Não especificado	Não especificado

**Fonte: Especificações e critérios de avaliação da empresa solicitante dos ensaios**

Os resultados obtidos em cada um dos tipos de chapas utilizadas bem como os três ensaios de corrosão para ambos os tratamentos nanocerâmicos N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup>, foram descritos e estão apresentados em tabelas na sequência, sendo a letra P (Penetração), D (Deslaque) e E (Empolamento).

A tabela 3 mostra um resumo de todos os resultados dos ensaios utilizando-se as chapas zincadas CSN para ambos os fornecedores N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup> nos ensaios realizados.



**Tabela 3 - Resultados de todos os ensaios das chapas de aço zincado CSN utilizando os produtos N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup>**

Fornecedores	N <sup>1</sup>			N <sup>2</sup>		
	P	D	E	P	D	E
Tipos de avaliações						
Névoa salina 500 horas	2,5	4,0	0	0,5	0	0
Névoa salina 1000 horas	4,0	15	0	0	1,0	0
Imersão em detergente 1% 250 horas	4,0	5,0	0	6,0	7,0	0
Imersão em detergente 1% 500 horas	2,0	2,0	0	20,0	22,0	0
Umidade saturada 750 horas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Umidade saturada 1500 horas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Fonte: elaborada pelos autores**

A tabela 4 mostra um resumo de todos os resultados dos ensaios utilizando-se as chapas zincadas Arcelor para ambos os fornecedores N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup> nos ensaios realizados.

**Tabela 4 - Resultados de todos os ensaios das chapas de aço zincado ARCELOR utilizando os produtos N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup>**

Fornecedores	N <sup>1</sup>			N <sup>2</sup>		
	P	D	E	P	D	E
Tipos de avaliações						
Névoa salina 500 horas	0,5	0,5	0	0	0	0
Névoa salina 1000 horas	1,0	1,5	0	0	1,0	0
Imersão em detergente 1% 250 horas	3,0	1,0	0	2,0	3,0	0
Imersão em detergente 1% 500 horas	3,0	4,0	0	2,5	3,5	0
Umidade saturada 750 horas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Umidade saturada 1500 horas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Fonte: elaborada pelos autores**

A tabela 5 mostra um resumo de todos os resultados dos ensaios utilizando-se as chapas em galvalume CSN para ambos os fornecedores N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup> nos ensaios realizados.



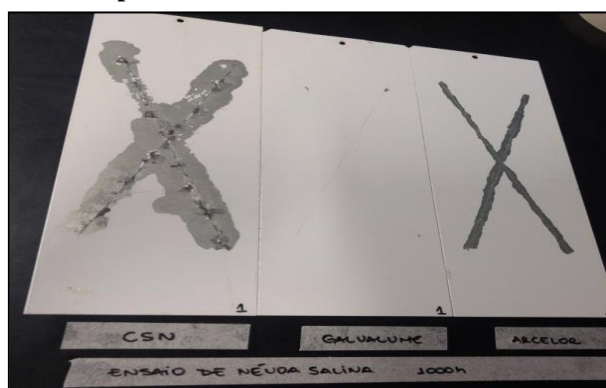
**Tabela 5 - Resultados de todos os ensaios das chapas de aço galvalume dos fornecedores N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup>**

Fornecedores	N <sup>1</sup>			N <sup>2</sup>		
	P	D	E	P	D	E
Tipos de avaliações						
Névoa salina 500 horas	0	0	0	0	0	0
Névoa salina 1000 horas	0	0	0	3	2	0
Imersão em detergente 1% 250 horas	1	1,50	0	1	1	0
Imersão em detergente 1% 500 horas	2	1	0	2	1	0
Umidade saturada 750 horas	0	0	0	0	0	0
Umidade saturada 1500 horas	0	0	0	0	0	0

**Fonte: elaborada pelos autores**

Nos ensaios de névoa salina após 1000h da amostra do fornecedor N<sup>1</sup>, apresentada na foto 6, observou-se um grande desfolhamento da tinta no aço zincado CSN, chegando a 15mm de desfolhamento, sendo mais moderado na amostra zincada ARCELOR e sem nenhuma penetração no aço galvalume. Já para o fornecedor N<sup>2</sup>, os aços zincados CSN e Arcelor apresentaram apenas desfolhamento de 1 mm, enquanto o aço galvalume apresentou penetração de 3 mm e desfolhamento de 2 mm,

**Fotografia 6 - Amostras após o ensaio de névoa salina de 1000 horas do fornecedor N<sup>1</sup>**



**Fonte: fotografada pelos autores no Lab. de Corrosão FATEC de Stz**

O ensaio de imersão em detergente com duração de 250h, do fornecedor N<sup>1</sup>, o desfolhamento do aço zincado CSN atingiu o limite especificado, com 5mm, sendo o galvalume o que apresentou melhores bons resultados. Já para o fornecedor N<sup>2</sup>, o aço zincado CSN foi



superior ao Arcelor, enquanto o aço galvalume apresentou melhores resultados. As fotos 7 e 8 apresentam as amostras após ensaios de imersão em detergente

**Fotografias 7 e 8: Amostras após 250h imersão em detergente fornecedor N<sup>2</sup> e N<sup>1</sup>**

**Fotografia 7**



**Fotografia 8**

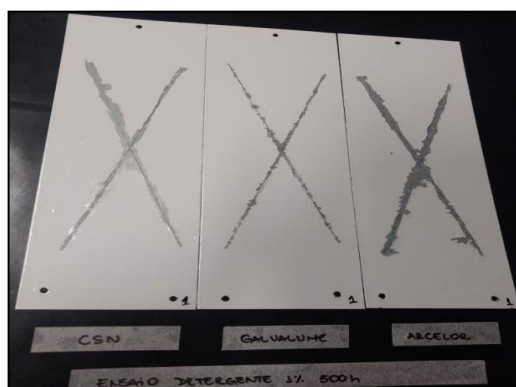


**Fonte: fotografadas pelos autores no Lab. de Corrosão FATEC de Stz**

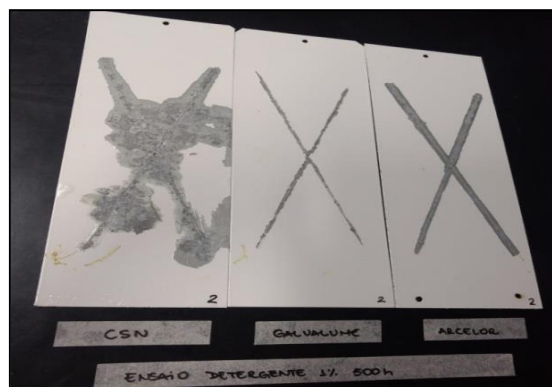
O ensaio de imersão em detergente de 500h do fornecedor N<sup>1</sup>, apresentou desfolha de 4 mm do aço zincado Arcelor, conforme mostra a foto 9. O ensaio de imersão em detergente com duração de 500h do fornecedor N<sup>2</sup>, os resultados obtidos com a amostra de aço zincado CSN mostraram grande desfolha da tinta, conforme a foto 10.

**Fotografias 9 e 10: Amostras após o ensaio de imersão em detergente de 500 horas do fornecedor N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup>**

**Fotografia 9**



**Fotografia 10**



**Fonte: fotografadas pelos autores no Lab. de Corrosão FATEC de Stz**

O ensaio de umidade saturada não possui valores de especificações para penetração e desfolha, tendo como único requisito a não ocorrência de blisters após as 750h de exposição.



Mesmo assim, os ensaios após 750h e 1500h do fornecedor N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup>, apresentaram resultados excelentes para os tratamentos nanocerâmicos dos dois fornecedores

## 5 CONCLUSÃO

Verificou-se que para os aços com revestimento em galvalume, ambos tratamentos nanocerâmicos dos fornecedores N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup> apresentaram os melhores resultados, sem praticamente ocorrer nenhuma penetração nem deslaque de tinta em todos os ensaios de corrosão realizados. Esses resultados foram excelentes tanto nas condições especificadas pela empresa “X” como pelo tempo estendido, em que foi realizado apenas para avaliação.

Já para os revestimentos zincados, observou-se uma penetração e deslaque de tinta que variou com o produto nanocerâmico utilizado. Assim, nos ensaios de névoa salina por 500 horas, o fornecedor N<sup>2</sup> obteve resultados melhores que o fornecedor N<sup>1</sup>, enquanto no ensaio de imersão em detergente 1% com duração de 250 horas o fornecedor N<sup>1</sup> foi o que apresentou os melhores resultados. Já nos ensaios de umidade saturada por 750 horas ambas as empresas apresentaram excelentes resultados.

Em termos de aprovação conforme a especificação da Empresa “X”, tivemos que a amostra do fornecedor N<sup>2</sup> foi REPROVADA, pois apresentou valores de penetração e deslaque superiores ao máximo especificado, atingindo-se 6mm de penetração e 7mm de deslaque. As amostras do fornecedor N<sup>1</sup> atendeu à todas as especificações.

## REFERÊNCIAS

ASTM B117. **Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus**. 2011.

BALDIN, Estela KnoppKerstner. **Pré-tratamento do aço carbono AISI 1010 com revestimentos nanocerâmicos para pintura eletrostática à base de resina poliéster**. 2013. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/107498>> Acesso em: 23 mar. 2018.

BOSSARDI, Kelly. **Nanotecnologia aplicada a tratamentos superficiais para aços carbono 1020 como alternativa ao fosfato de zinco**. 2007. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10889/000601310.pdf?sequence=1>> Acesso em: 8 mar. 2018.

FERRO, Wílian Assmann. **Viabilidade econômica da aquisição de uma linha de pintura associada ao tratamento de superfície de metais nanocerâmico**. 2014. Disponível em



<[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4159/1/PB\\_ESEP\\_I\\_2014\\_20.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4159/1/PB_ESEP_I_2014_20.pdf)>.  
Acesso em: 23 abr. 2018

RAMANATHAN, L. V.. **Corrosão e seu Controle**. 3. ed. São Paulo: Hemus. 2015

VASQUES, Roberta Bastos. **Avaliação da resistência à corrosão do aço carbono com revestimento nanocerâmico à base de zircônio**. 2016. Disponível em  
<<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/22579>> Acesso em: 8 mar. 2018.

ZARO, Gustavo. **Revestimento nanocerâmico à base de Zr E Zr/Ti como pré-tratamento em aços galvanizados**. 2011. Disponível em  
<<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/27250>> Acesso em: 14 mar. 2018.