



## AValiação DE FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESPESSURA DE GALVANIZAÇÃO APLICADA EM AÇO CARBONO ABNT 1010<sup>1</sup>

Diogo Lins Alves e Silva<sup>2</sup>  
Magda Rosângela Santos Vieira<sup>3</sup>  
Alice Alexandra Santos Vieira<sup>4</sup>  
Diniz Ramos de Lima Júnior<sup>5</sup>  
Cezar Henrique Gonzalez<sup>6</sup>  
Severino Leopoldino Urtiga Filho<sup>6</sup>

### Resumo

A galvanização a quente consiste no processo de deposição de zinco metálico, por meio da imersão do metal base em um banho de zinco fundido. Esse tipo de revestimento é amplamente utilizado como alternativa de proteção anticorrosiva por proporcionar ao substrato proteção catódica. Alguns fatores influenciam diretamente na natureza da camada de zinco depositada, entre os quais podem ser destacados: elementos de liga e impurezas presentes no substrato; rugosidade do substrato; elementos de liga no banho; influência da temperatura de imersão e influência do tempo de imersão; velocidade de entrada; velocidade de remoção das peças do banho e velocidade de resfriamento. Neste trabalho, foi investigada a influência do tempo de imersão e da rugosidade na espessura do revestimento de zinco obtido. Foram depositados revestimentos de zinco variando-se o tempo de imersão em 1, 2 e 3 min, e para o tempo de 1 min, avaliou-se o efeito do substrato com e sem tratamento superficial por jateamento abrasivo. Para observação das camadas intermetálicas foram obtidas fotomicrografias da interface substrato/revestimento. Os resultados alcançados revelam forte influência do aumento do tempo de imersão e da rugosidade no aumento da espessura do revestimento e crescimento das camadas intermetálicas formadas.

**Palavras-chave:** Galvanização, tempo de imersão, camadas intermetálicas.

### EVALUATION OF FACTORS INFLUENCING THE THICKNESS OF GALVANIZING APPLIED IN ABNT1010 CARBON STEEL

#### Abstract

The hot dip galvanizing is the process of deposition of metallic zinc by immersing the base metal in a bath of molten zinc. This coating is widely used as an alternative for providing corrosion protection to the substrate cathodic protection. Some factors directly influence the nature of the deposited layer of zinc, among which may be highlighted: alloying elements and impurities in the substrate, substrate roughness, alloying elements in the bath; influence of immersion temperature and influence of immersion time; input speed, speed of parts removal from the bath and cooling rate. In this study, we investigated the influence of immersion time of the roughness and thickness of zinc coating obtained. Zinc coatings were deposited by varying the immersion time in 1, 2 and 3 min, and the total time of 1 min, we evaluated the effect of the substrate with and without surface treatment by grit blasting. For observation of the intermetallic layers were obtained photomicrographs of the interface substrate / coating. The results show strong influence of the increase of immersion time and increasing the roughness of the coating thickness and growth of intermetallic layers formed.

**Keywords:** Hot dip galvanizing; Immersion time; Intermetallic layers.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Graduando – Departamento de Química Fundamental – UFPE

<sup>3</sup> Doutoranda – Departamento de Eng. Mecânica – UFPE

<sup>4</sup> Graduada – Departamento de Ciências Biomédicas - UFPE

<sup>5</sup> Mestrando – Departamento de Eng. Mecânica – UFPE

<sup>6</sup> Prof. Doutor – Departamento de Eng. Mecânica – UFPE

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre os processos de aplicação de revestimentos metálicos, destaca-se o processo de imersão a quente, no qual o substrato a ser revestido é imerso em um banho do metal de revestimento no seu estado fundido.<sup>(1-3)</sup>

Ao longo do período de imersão ocorre um processo de difusão, em que há a formação de uma camada de liga na superfície do substrato (intermetálica). A composição dessa camada é variável, sendo mais rica em metal de revestimento à medida que se afasta da interface metal/revestimento. Sendo então, a camada mais externa, composta do metal de revestimento puro.<sup>(1-3)</sup>

No caso dos processos de imersão a quente, o mais utilizado é o de galvanização, que também é conhecido como zincagem a quente ou zincagem a fogo, que de forma simples corresponde à deposição zinco numa superfície metálica, geralmente aço carbono ou ferro fundido através da imersão da peça metálica a ser revestida em um banho de zinco fundido.<sup>(1,2,4)</sup>

Esse tipo de revestimento é bastante utilizado como alternativa de proteção anticorrosiva por proporcionar ao substrato proteção catódica, ou seja, o revestimento sofre corrosão preferencial protegendo o metal base.<sup>(1,5)</sup>

A zincagem por imersão a quente é realizada através das seguintes etapas: pré-tratamento, fluxagem, imersão no banho fundido e pós-tratamento.<sup>(1,2)</sup> Muitos fatores podem influenciar na natureza da camada de proteção de zinco depositada, entre os quais se destacam: elementos de liga e impurezas presentes no substrato; rugosidade do substrato; elementos de liga no banho; influência da temperatura; do tempo de imersão; velocidade de entrada; velocidade de remoção das peças do banho e velocidade de resfriamento.<sup>(1,2)</sup>

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do tempo de imersão e da rugosidade na espessura do revestimento de zinco obtido através do processo de galvanização a quente aplicado em aço carbono ABNT NBR 1010.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparação dos Corpos-de-prova

Foram utilizados corpos-de-prova de aço carbono ABNT NBR 1010, de diferentes formatos e dimensões para cada ensaio a ser realizado, conforme descrição apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1:** Dimensões dos corpos-de-prova e seus ensaios realizados

| Ensaio                 | Dimensões dos corpos-de-prova (mm) |
|------------------------|------------------------------------|
| Medição de Espessura   | 100x100x3                          |
| Aderência              | 100x100x3                          |
| Uniformidade de camada | 30x30x3                            |
| Metalográfico          | 25x10x3                            |

Na Tabela 2 é apresentada a composição química elementar do aço ABNT 1010, utilizado neste trabalho.

**Tabela 2:** Composição química elementar do aço carbono ABNT 1010

| Composição | C    | Mn   | Si   | P     | Cu   | Ni    | Al    | S     |
|------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| Percentual | 0,09 | 0,02 | 0,03 | 0,015 | 0,06 | 0,016 | 0,036 | 0,011 |

## 2.2 Processo de Aplicação dos Revestimentos

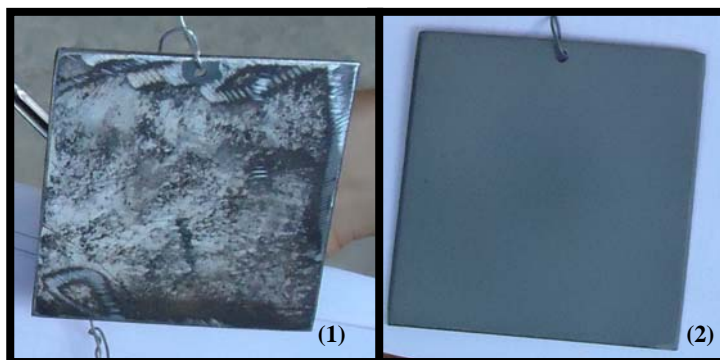
Neste trabalho, investigaram-se revestimentos galvanizados obtidos através de processo industrial de galvanização realizado na empresa Galvanisa, localizada em Igarassu-PE, aplicados sobre aço ABNT 1010.

### 2.2.1 Processo industrial de galvanização

O processo de galvanização da empresa Galvanisa, o qual foi utilizado nesse trabalho de pesquisa é apresentado abaixo.

- *Tratamento de superfície*

Os corpos de prova foram tratados superficialmente através de jateamento abrasivo Sa2 ½ por projeção pneumática com escória de cobre, utilizando-se uma pressão média entre 5,5 kgf/cm<sup>2</sup> e 6 kgf/cm<sup>2</sup>. Para estudo do efeito da rugosidade no processo de deposição da camada de zinco, alguns corpos de prova não foram jateados. Na Figura 1, são apresentadas fotografias dos corpos de prova não jateados e após jateamento.



**Figura 1:** (1) Corpo de prova sem jateamento e (2) Corpo de prova após jateamento.

- *Desengraxe alcalino*

O desengraxe das amostras foi realizado através do processo de imersão a quente em solução detergente alcalina com hidróxido de sódio, em temperatura média de 70°C. As peças permaneceram imersas nesse banho num tempo de aproximadamente 5 minutos. Esse processo tem a função de remover, do corpo-de-prova, as sujidades orgânicas, como por exemplo, graxas em geral. Após essa etapa, os corpos-de-prova foram imersos em dois banhos seqüenciais de água, com o objetivo de remover toda a substância alcalina, evitando assim contaminação do banho seguinte.

- *Decapagem ácida*

Logo após, a lavagem com água, as peças foram imersas em banho de ácido clorídrico, em dois tanques sequenciais, cujas concentrações de ácido e ferro no meio são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Concentração de HCl e Fe no tanque de decapagem ácida

| Tabela 1: Concentração de HCl e Fe no tanque de decapagem ácida. Tanque | Concentração HCl (V/V%) | Concentração de Fe (g/L) |
|---|-------------------------|--------------------------|
| 1   | 6,7                     | 0,56                     |
| 2   | 10,5                    | 63,0                     |

As duas etapas tiveram um tempo de imersão de aproximadamente seis minutos. Esse processo de imersão em ácido é denominado de decapagem

ácida, e tem por função remover carepas de laminação e demais produtos de corrosão da superfície do substrato. Da mesma maneira que no caso do desengraxe alcalino, as peças foram lavadas em água, sendo agora, três banhos de lavagem seqüenciais, tendo a finalidade de remover todo o ácido da superfície do metal.

- *Fluxagem úmida*

Em seguida, as peças foram submetidas à etapa de fluxagem, em que as peças são imersas em um banho composto por sal duplo de cloreto de zinco e amônio à temperatura de 60°C a 80°C, visando à remoção das sujidades salinas remanescente e principalmente formar uma camada de recristalização do sal, impedindo uma reoxidação no banho de zinco. Além disso, o poder umectante (ou mordente) deste processo proporciona eficiente molhamento entre a peça e o zinco fundido no processo de zincagem. Imersão em zinco fundido. Após a fluxagem o corpo de prova foi submetido a um processo de pré-aquecimento, utilizando maçarico, com o objetivo de reduzir o efeito de choque térmico proveniente do contato com o zinco fundido.

- *Imersão em zinco fundido*

Os corpos-de-prova foram imersos em um banho de zinco fundido (pureza de 99,98%) a uma temperatura aproximadamente de 440°C - 443°C. Os tempos de imersão analisados nesse trabalho foram 1 minuto, 2 minutos e 3 minutos. A Figura 2 apresenta uma fotografia do tanque onde foi realizada a galvanização.



**Figura 2:** Tanque de imersão com zinco fundido: (1) Deposição em escala industrial; (2) Imersão dos corpos de prova e (3) Remoção dos corpos de prova.

- *Passivação*

Posteriormente, seguiu-se a etapa de passivação (ou cromatização) na qual a peça foi imersa em solução cromatizante a uma temperatura média de 70°C, para obtenção de uma superfície mais uniforme, através do preenchimento dos poros do revestimento. Esse processo serve também para promover um resfriamento intermediário, evitando assim o aparecimento de trincas no revestimento e principalmente propiciar uma maior proteção anticorrosiva.

### 2.3 Medição de Espessura (NBR 7399)

As espessuras dos revestimentos foram medidas usando 2 corpos-de-prova de dimensões 100x100x3 mm para cada condição. Foram realizadas 20 medições de espessura para cada condição processual de revestimento, sendo efetuadas 10 medidas em cada face dos corpos de prova. Utilizou-se um equipamento de medição de espessura de camada aplicada sobre base ferrosa da marca Mitutoyo modelo Digiderm 979 -747.

### 2.4 Aderência dos Revestimentos (NBR 7398)

Para avaliação da aderência dos revestimentos de zinco obtidos, utilizou-se o método da lâmina com base na norma NBR 7398. Foi efetuado um corte sobre o revestimento depositado até que se atingisse o metal base. Nesse ensaio o material é considerado deficiente se a camada esfoliar frente à lâmina.

### 2.5 Uniformidade de Camada (NBR 7400)

Para avaliação da uniformidade do revestimento de zinco, utilizou-se o ensaio químico de Preece, conforme a norma NBR 7400. Neste ensaio, os corpos-de-prova revestidos são imersos em um banho de sulfato de cobre, a uma temperatura de  $(18 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ , permanecendo durante 1 min. Essa etapa é repetida no máximo seis vezes, visando avaliar o possível depósito de cobre. Em caso positivo de depósito, a peça é submetida a uma lavagem com escova para remoção da camada brilhante. Se mesmo após a lavagem, a área brilhante permanecer ativa, isso caracterizará o depósito de cobre sobre o metal base e não sobre o revestimento, caracterizando desta forma uma não-uniformidade na camada de zinco depositada.

### 2.6 Ensaio Metalográfico

As análises metalográficas foram efetuadas no Laboratório de Materiais Compósitos (COMPOLAB) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE. Nesse ensaio foram utilizados corpos-de-prova cortados através de uma serra para dimensões 25x10x3 de uma das peças de dimensão 100x300x3. As etapas realizadas foram:

- *Embutimento* - As cinco amostras foram embutidas, todas juntas, a frio, utilizando-se uma resina da marca Vipi Flash reagindo com líquido acrílico autopolimerizável da marca Ortocor em um molde feito a partir de um pedaço de cano, permanecendo por 24h em processo de cura.
- *Lixamento* - Os corpos-de-prova embutidos tiveram suas seções transversais lixadas com papéis abrasivos de granulometrias 180, 220, 320, 400, 600 e 1.200, nesta respectiva ordem. O lixamento foi realizado de maneira manual com o auxílio de uma máquina lixadeira e politriz da marca Arotec, modelo APL 4 com circulação de água. Entre cada lixamento, o corpo-de-prova foi lavado com etanol e submetido à secagem através de um secador, para visualizar em microscópio óptico a uniformidade dos riscos sobre a superfície metálica.
- *Polimento* - Após o lixamento, foi realizado o polimento das amostras com auxílio de pasta diamantada de granulometria 3 microns, da marca Fortel, além do uso de lubrificante da marca Arotec, de cor vermelha,

específico para polimento metalográfico com pasta de diamante. O polimento foi realizado manualmente com o auxílio da mesma máquina lixadeira e politriz, utilizada na etapa de lixamento, com pano de feltro para polimento da marca Fortel.

- *Imagens dos corpos de prova* - Após o término de todo procedimento metalográfico foram tiradas fotos, com aumento de duzentas vezes, dos corpos de prova através de um microscópio eletrônico da marca Olympus modelo BX51M.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

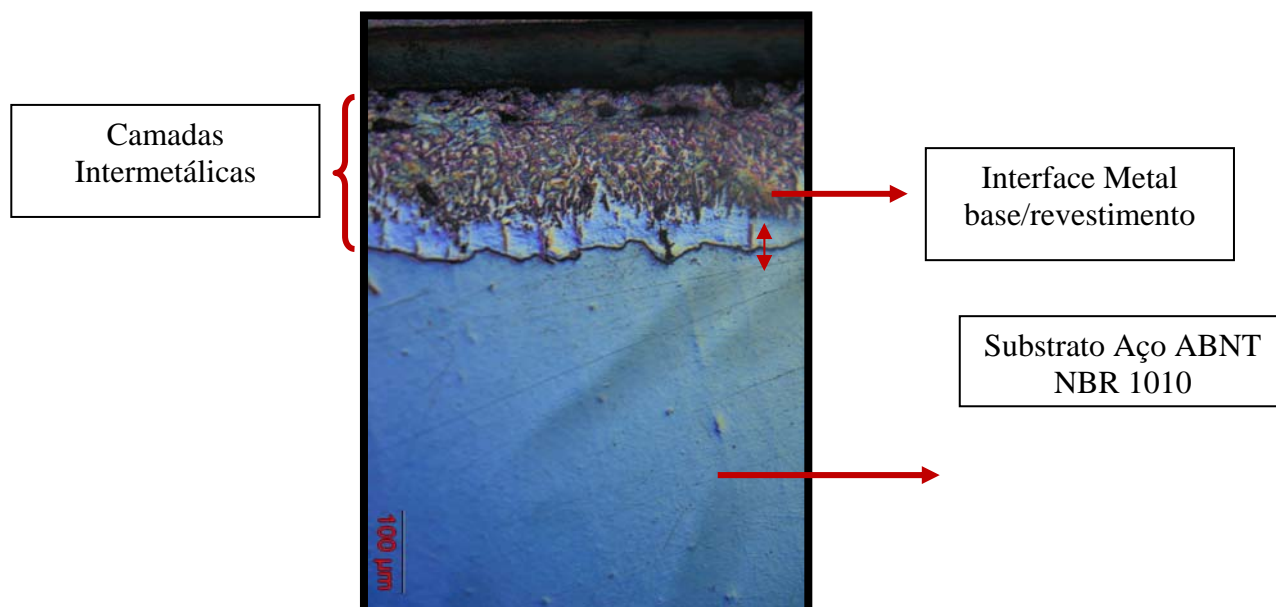
#### 3.1 Avaliação da Espessura do Revestimento

As espessuras foram obtidas utilizando um equipamento digital, já anteriormente descrito. Foram coletadas 40 medidas para cada condição investigada, e em seguida calculadas as médias e os respectivos desvios-padrões, conforme apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4:** Espessura da camada de zinco depositada em diferentes condições processuais

| Condição de Superfície | Tempos de Imersão (min) | Média da Espessura ( $\mu\text{m}$ ) | Desvio-padrão ( $\mu\text{m}$ ) |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Jateada                | 1                       | 97,50                                | 10,70                           |
| Jateada                | 2                       | 112,35                               | 14,80                           |
| Jateada                | 3                       | 131,00                               | 17,98                           |
| Não Jateada            | 1                       | 56,53                                | 9,38                            |

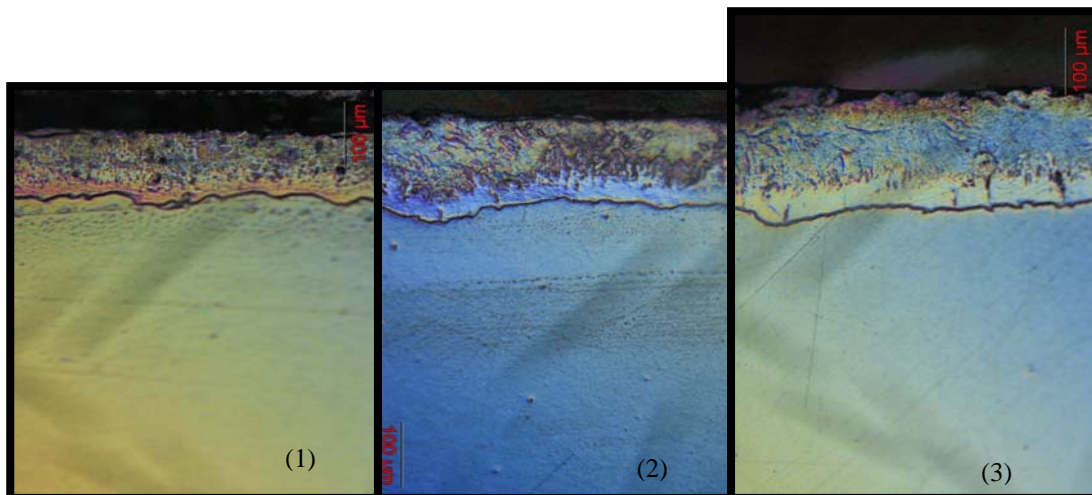
Na Figura 3, é apresentada uma micrografia da camada de revestimento obtida através de imersão em zinco fundido durante 3 minutos.



**Figura 3:** Micrografia da interface metal base/revestimento para corpo de prova imerso durante 3 min em zinco fundido.

Conforme pode ser observado na Figura 3, há uma clara delimitação da interface metal revestimento, uma eficiente interação do metal de revestimento com o substrato, e a formação de camadas intermetálicas Fe/Zn.

Na Figura 4 são apresentadas micrografias ópticas para os revestimentos nas três diferentes condições de tempo de imersão investigada.



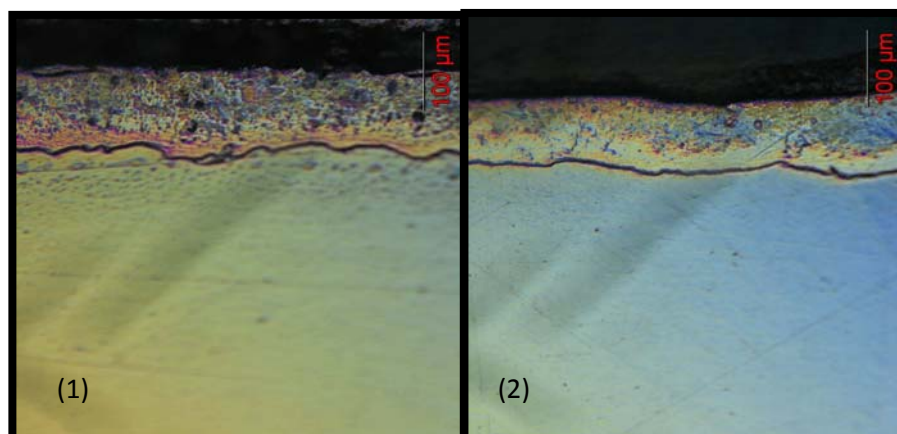
**Figura 4:** Fotografia da camada de zinco depositada através de diferentes tempos de imersão: (1) 1 min; (2) 2 min e (3) 3min.

Conforme pode ser observado na Tabela 4 e na Figura 4 ocorre um aumento da espessura com o aumento do tempo de imersão. O aumento do tempo de imersão possibilitou um aumento do tempo da reação de difusão entre o metal base e o zinco, resultando numa camada mais espessa de liga Fe-Zn.

### 3.2 Avaliação da Rugosidade do Substrato

Para avaliação do efeito da rugosidade do substrato nas espessuras das camadas de zinco obtidas, foram medidas as espessuras para o revestimento de zinco depositado na condição de 1 min de imersão, aplicado sobre aço jateado e não-jateado, conforme apresentado na Tabela 4.

A Figura 5 corresponde a micrografias dos corpos-de-prova imersos em zinco fundido durante 1 min de imersão, com a superfície jateada e não jateada.



**Figura 5:** Fotografia da camada de zinco obtida através da imersão por 1 min em zinco fundido em diferentes condições de rugosidade superficial: (1) Superfície jateada e (2) Superfície não jateada.

De acordo com os valores de espessuras observados na Tabela 4 e na Figura 5, o aumento do perfil de rugosidade do substrato promoveu um aumento da espessura da camada de zinco depositada, esse fato é atribuído ao aumento da área exposta à reação entre o zinco e o substrato.

Na Figura 5 (1) pode ser observado o aumento do perfil de rugosidade, por meio do maior número de picos e vales, que promove uma maior área de contato entre o metal de revestimento e o metal base.

### 3.3 Avaliação de Uniformidade e Aderência da Camada de Zinco

A uniformidade e aderência da camada de zinco foram avaliadas de acordo com as normas NBR7400 e NBR 7398. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5:** Resultado dos ensaios de uniformidade e aderência da camada de zinco

| Condição de Superfície | Tempos de Imersão (min) | Resultado do Ensaio de uniformidade | Ensaio de Aderência |
|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Jateada                | 1                       | Aprovado                            | Aprovado            |
| Jateada                | 2                       | Aprovado                            | Aprovado            |
| Jateada                | 3                       | Aprovado                            | Aprovado            |
| Não Jateada            | 1                       | Aprovado                            | Aprovado            |

Não foi observado depósito de cobre sobre a superfície do metal base, indicando dessa forma aprovação no ensaio de uniformidade de camada de todas as condições processuais investigadas. Para o ensaio de aderência não foi observada esfoliação do revestimento frente à lâmina para as condições investigadas.

## 4 CONCLUSÕES

Os revestimentos de zinco obtidos em diferentes tempos de imersão apresentaram de forma geral uma boa interação com o metal base, uma boa uniformidade de camada e relativa uniformidade de espessura, o que foi observado através da avaliação dos desvios-padrões calculados, que para as limitações processuais, podem ser considerados baixos.

Através das micrografias obtidas e das medidas de espessuras efetuadas, observou-se um aumento da espessura total da camada de zinco e das camadas intermetálicas em função do tempo de imersão.

O aumento do perfil de rugosidade do substrato mostrou-se ser um parâmetro bastante relevante na avaliação da espessura do revestimento de zinco, visto que o aumento da rugosidade promoveu um aumento da espessura da camada galvanizada, de 72,47%, para o mesmo tempo de imersão em zinco fundido.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Galvanisa (Igarassu – PE) por possibilitar a realização desse trabalho em suas instalações;





## REFERÊNCIAS

- 1 Panossian, Z. Corrosão e Proteção contra Corrosão em Equipamentos e Estruturas Metálicas. Volume II. 1ª edição.1993.IPT. São Paulo.
- 2 Wolyneç, S. 1976. Zincagem por Imersão a quente. Associação Brasileira de Metal (ABM). São Paulo.
- 3 Vieira, M. R. S., Silva, B.N.P., Vieira, A. A. S., Lima Jr, D.R., Lima, M. M., Urtiga, S. L., Gonzalez, C. H. Avaliação das propriedades anticorrosivas de aços galvanizados. In: 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, (CBECIMAT – 2008), Porto de Galinhas – PE.
- 4 Del Amo, B.; Véleva, L.; DI Sarli, A. R.; Elsner, C.I. Performance of coated steel systems exposed to different media. Part I. Painted galvanized steel. Progress in Organic Coatings. 50: 179–192, p., 2004.
- 5 Gentil, V. Corrosão. 3.ed. Rio de Janeiro: Editora LTC. 1.v. 1996. 345.p.