

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO REVESTIMENTO EM TUBOS DE AÇO GALVANIZADO*

Kellen Tebaldi da Cunha¹
Hugo Marcelo Veit²

Resumo

Todos os materiais experimentam algum tipo de interação com os ambientes em que são expostos. Nos metais, o processo de corrosão é considerado um processo natural, indesejado. Nos aços carbono esse processo pode ser bem acelerado, o que suscita o desenvolvimento de revestimentos protetores. O processo mais comumente utilizado é a galvanização por imersão a quente (que consiste na aplicação de zinco metálico). Neste trabalho o objetivo foi avaliar a qualidade do revestimento de zinco em tubos galvanizados por imersão a quente produzidos por uma empresa metal-mecânica, comparando o processo antigo de produção (com baixo grau de controle e automação) com o processo modernizado (mais automático e com melhores controle operacionais). A investigação ocorreu através de testes realizados em amostras retiradas do processo antes e após a melhoria com intuito de comparar os resultados e evidenciar as melhorias obtidas. Os ensaios utilizados foram: medição da espessura do revestimento através de ensaio não destrutivo e ensaio destrutivo, uniformidade do revestimento, achatamento e análise metalográfica do revestimento de zinco. Os principais resultados obtidos demonstraram que houve uma melhora significativa na qualidade da camada de revestimento, bem como controle na espessura de revestimento após a melhoria no processo produtivo.

Palavras-chave: Galvanização; Revestimento; Zinco; Tubos.

EVALUATION OF COATING QUALITY IN GALVANIZED STEEL PIPES

Abstract

Every material experiences some kind of interaction with the surroundings in which they are exposed. In metals, the corrosion process is considered a natural, unwanted process. In carbon steels, this process can be very fast, which leads to the development of protective coatings. The most commonly used process is hot dip galvanizing (consisting on the application of metallic zinc). In this work, the objective was to evaluate the quality of zinc coating in hot dip galvanized pipes produced by a metal-mechanic company, comparing the old production process (with low degree of control and automation) with the modernized process (more automatic and with better operational control). The investigation was performed through tests performed on samples taken from the process before and after the improvement in order to compare the results and evidence the improvements obtained. The tests used were: measurement of coating thickness by non-destructive test and destructive test, coating uniformity, flattening and metallographic analysis of the zinc coating. The main results showed that there was a significant improvement in the quality of the coating layer as well as control in the coating thickness after the improvement in the production process.

Keywords: Galvanizing; Coating; Zinc; Pipes.

¹ *Engenheira Sanitarista e Ambiental, Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre/RS - Brasil.*

² *Engenheiro Metalúrgico, Doutorado, Professor, Departamento de Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre/RS - Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Todos os materiais experimentam algum tipo de interação, em maior ou menor grau, com os ambientes em que são expostos. Tais interações podem comprometer a utilização dos materiais, resultado da deterioração das suas propriedades, sendo que os mecanismos de deterioração ocorrem de maneira diferente em cada tipo de material.

Nos metais, o processo de corrosão normalmente ocorre por processos eletroquímicos, sendo considerado um processo natural, indesejado. Os metais apresentam uma condição termodinâmica instável e tendem a mudar para uma condição estável através da formação de óxidos, hidróxidos, sais, etc. Os ambientes de corrosão incluem atmosfera, solução aquosa, solo, ácidos, bases, solventes inorgânicos, dentre outros. As variáveis dos ambientes de corrosão influenciam diretamente na propriedade de corrosão dos materiais [1, 2].

Os gastos com prevenção ou manutenção e substituição de superfícies corroídas apresentam proporções significativas em termos econômicos. Como medidas para prevenir ou minimizar os efeitos da corrosão podemos citar a seleção do material, a interação do ambiente, uso de inibidores, aplicações de revestimento, proteção catódica e alterações no projeto.

Diferente da maioria dos revestimentos, a galvanização por imersão a quente produz um revestimento aderente, onde ferro e zinco reagem formando fases intermetálicas. Sendo o zinco um metal mais eletronegativo que o ferro, quando o revestimento de zinco sofre descontinuidade, o zinco sofre, preferencialmente, a dissolução eletrolítica, protegendo catodicamente o ferro. O zinco também oferece proteção por barreira, uma vez que os produtos da corrosão do zinco são insolúveis e aderentes, se depositam na superfície protegendo o metal com o contato direto com a atmosfera, evitando a sua corrosão [3, 4].

A camada de zinco presente nos revestimentos de aço galvanizado por imersão a quente, conhecido como *galvannealed* (GA), é composta por fases intermetálicas intermediárias com teores de ferro e zinco diferente em cada uma delas, sendo respectivamente: fase Gama (Γ) 75%Zn – 25% Fe, fase Delta (δ) 90% Zn – 10% Fe, Zeta (ζ) 94% Zn – 6% Fe e Eta (η) 100% Zn. A qualidade do revestimento, composição das fases e espessura, dependem do controle das reações entre o banho de zinco e o ferro do aço, como: temperatura do banho, tempo de imersão, composição química do banho de zinco e do aço, sistema de saída da peça, velocidade da linha de galvanização, resfriamento do material [5, 6].

Para galvanização por imersão a quente, aconselha-se o uso de temperaturas entre 445°C – 465°C, temperaturas acima de 470°C intensificam as reações entre o aço e o zinco, podendo ocasionar ataque excessivo às paredes da cuba de galvanização, interferência na aderência da camada, perdas devido a formação de borras na superfície e maior consumo de energia.

O tempo de imersão pode variar de 10 a 300 segundos, de acordo com as características da peça a ser galvanizada, onde, no primeiro minuto de imersão, observa-se um crescimento acentuado e em seguida ocorre uma reação mais lenta até determinado limite onde se atinge a estabilidade.

Composição química do banho e do material a ser galvanizado também devem ser controlados pois afetam na reação entre o aço e o zinco. O resfriamento do material deve ocorrer rapidamente para cessar o crescimento das camadas de revestimento. Este resfriamento pode ser feito em água ou solução de passivação [6, 7].

Uma das aplicações do aço galvanizado é em tubos para condução de fluidos não corrosivos. Estas tubulações são produzidas em aço carbono e são utilizados para fins industrial, mecânico ou estrutural e podem apresentar características especiais quanto ao seu aspecto superficial, revestimento, seção, formato, diâmetro, comprimento e outros requisitos, conforme a aplicação desejada.

Nesse contexto, este trabalho analisou o revestimento de zinco em tubos galvanizados por imersão a quente, em uma linha de galvanização que passou por modernização, automatizando o processo e os sistemas de controle e também mudanças na etapa de limpeza da superfície, como troca da solução de decapagem.

2 DESENVOLVIMENTO

Para realização do estudo, foram coletados corpos de prova do processo 1 (processo antes da modernização) e do processo 2 (pós modernização), escolhendo três diâmetros nominais de tubos galvanizados, sendo eles 21,30mm; 60,30mm e 76,10mm.

2.2 Processo de galvanização antes da modernização (Processo 1)

O processo de galvanização de tubos por imersão a quente antes da melhoria apresentava dificuldades no controle dos parâmetros.

Na etapa de preparação da superfície, o desengraxe era realizado por solução alcalina (água + soda cáustica 50%) aquecido em torno de 65°C, lavagem em água, decapagem realizada em solução aquecida de ácido sulfúrico (acidez da solução 10% em temperatura entre 55-65°C), lavagem em água e o cloreto de amônia sólido na superfície do zinco à entrada da cuba ("colchão de amônia"). Não havia pré aquecimento das peças antes da imersão na cuba de galvanização.

Como combustível para aquecimento do forno de galvanização, utilizava-se óleo BPF. Para tal, fazia-se necessário a utilização de caldeira para queima do combustível e aquecimento do forno de galvanização. A temperatura utilizada era entre 445-465°C, porém, devido a problemas estruturais, era difícil manter a temperatura sempre estabilizada, gerando maior consumo de combustível e também interferia no resultado do aspecto superficial do revestimento.

A alimentação dos tubos na cuba de galvanização era realizada por uma esteira e a imersão por um afogador que mergulhava os tubos na entrada da cuba (Figura 1). A retirada dos tubos não era automatizada ou controlada. Nesta atividade não havia controle preciso do tempo de imersão dos tubos, onde o primeiro tubo a entrar na cuba de galvanização nem sempre era o primeiro tubo a sair, ou seja, havia uma variação aleatória do tempo que cada tubo permanecia em imersão. Os tubos retirados da cuba de galvanização eram então encaminhados para o sopro e após resfriamento em solução de passivação.

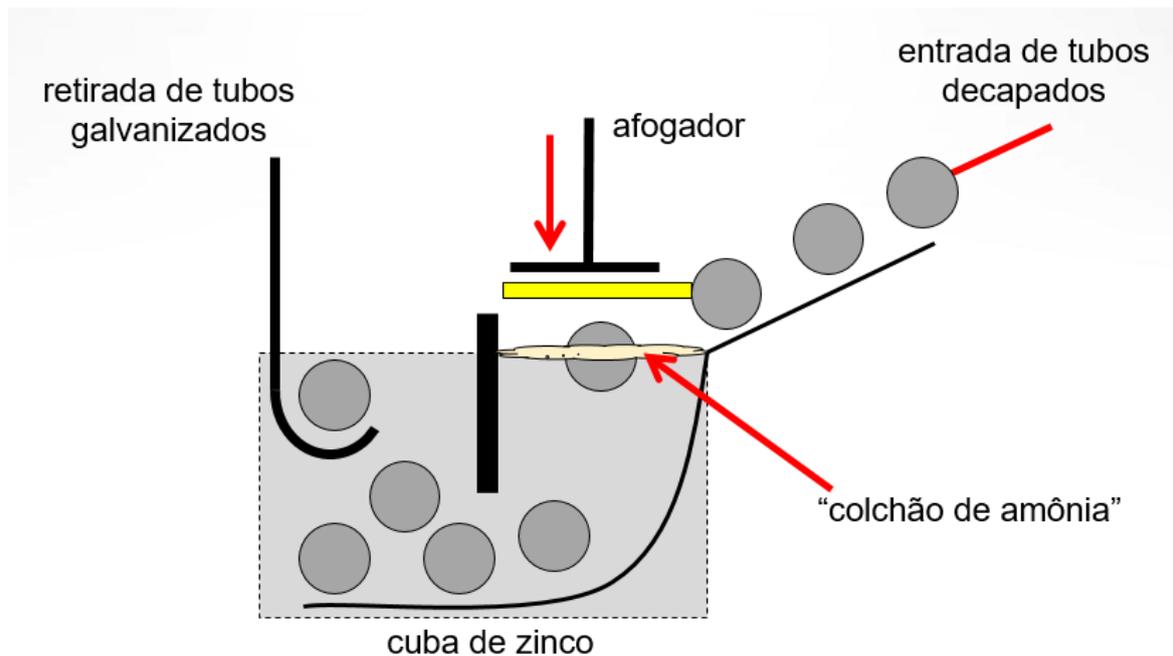


Figura 1 – Ilustração do processo 1 de galvanização de tubos.
Fonte: cedido pela empresa.

2.3 Processo de galvanização após modernização (Processo 2)

Após modernização na linha de galvanização de tubos, a produção tornou-se automatizada e com controle dos parâmetros de processo.

Na etapa de preparação de superfície o desengraxe é realizado por solução desengraxante alcalina aquecida em torno de 65°C, lavagem em água, decapagem dos tubos é realizada em solução de ácido clorídrico (em torno de 16%) em temperatura ambiente, dois banhos de lavagem em água, o “colchão de amônia” foi substituído pela fluxagem em solução aquecida entre 50-55°C (solução de cloreto de zinco e cloreto de amônia). Antes de entrar na cuba de galvanização, os tubos passam por secagem em estufa à 110°C.

O forno e a cuba de galvanização foram substituídos por estruturas novas, com sistema de aquecimento uniforme e estável, a caldeira foi desativada e o combustível utilizado para aquecimento do forno é o gás natural. A temperatura é controlada através de painéis e mantida de maneira estável entre 445°C-465°C.

A alimentação da cuba de galvanização é realizada por esteira que distribui um tubo por vez em estruturas denominadas helicoidais (Figura 2), que conduzem os tubos um no banho de zinco até sua retirada e envio para o sopro e posterior resfriamento em solução de passivação, garantindo que o primeiro tubo a entrar no banho de zinco é o primeiro tubo a sair. Com este processo é possível controlar o tempo de imersão, que pode variar de 180 a 240 segundos de acordo com o diâmetro, comprimento de tubo e espessura do revestimento desejado.

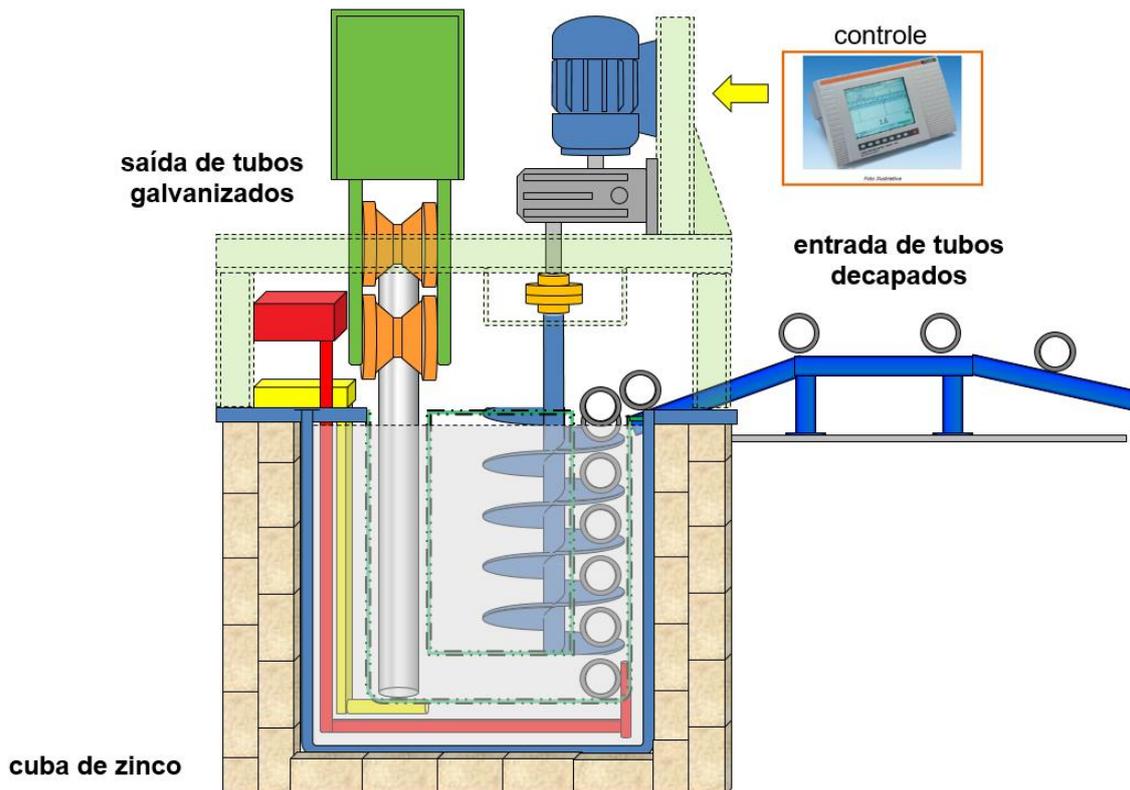


Figura 2 – Ilustração do processo 2 de galvanização de tubos.
Fonte: cedido pela empresa.

Em ambos os processos é utilizado como composição do banho de zinco o Zn SHG (Special High Grade) com pureza igual a 99,995% e adição de alumínio em pequenas quantidades, de 0,005% até 0,01% a fim de melhorar o escorrimento e brilho das peças galvanizadas. Cabe também mencionar que os tubos são produzidos pela própria empresa, o que proporciona controle sobre o material a ser galvanizado, evitando aços reativos.

2.4 Realização dos ensaios

Os corpos de prova foram submetidos aos seguintes ensaios:

- Verificação da espessura de revestimento protetor de zinco, através de ensaio não destrutivo;
- Verificação da massa do revestimento protetor de zinco;
- Verificação da uniformidade do revestimento protetor de zinco (Ensaio de Preece);
- Ensaio de achatamento;
- Análise metalográfica para verificação das fases intermetálicas do revestimento de zinco.

Para a realização do teste de verificação da espessura do revestimento de zinco, através de ensaio não destrutivo, conforme NBR 7399, as peças galvanizadas foram verificadas em dez pontos distintos com equipamento medidor de espessura ultrassônico marca Instrutherm e considerado como resultado a média das medições.

Para verificação da massa de revestimento, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio destrutivo pelo método gravimétrico, conforme NBR 7397.

O ensaio de uniformidade de revestimento, conforme NBR 7400, foi realizado considerando como número de imersões o que a NBR 5580 determina, sendo 4 imersões de 1 minuto cada.

O ensaio de achatamento, foi realizado conforme o método 2 descrito na NBR 6154. Para a análise dos resultados de ensaios destrutivos e não-destrutivos foram consideradas as normas NBR 6323 e NBR5580, sendo esta última específica para tubos de condução.

As análises metalográficas foram realizadas em triplicata. Para realização do ensaio foram preparadas 3 amostras de cada corpo de prova. As mostras foram cortadas, embutidas a quente em baquelite, lixadas em lixas de gramaturas 220, 320, 500 600, 1000, polidas com alumina 1 μ m. Para visualização dos contornos de grãos, as amostras foram submetidas a ataque químico em solução de Nital 2% e analisadas em microscópio ótico Axion onde as imagens foram obtidas pelo software Axion Vision com ampliação na lente de 50x.

2.5 Resultados

Os resultados obtidos nos ensaios podem ser visualizados nas tabelas 1 (processo antes da modernização) e 2 (processo pós modernização).

Tabela 1. Ensaios realizados com amostras do processo 1

		Espessura de camada				Uniformidade da camada		Achatamento
		Ensaio não destrutivo		Ensaio destrutivo				
Amostra		Espessura (μ m)	Referência NBR 5580 (μ m)	Espessura (g/m ²)	Referência NBR 5580 (g/m ²)	Imersões	Resultado	Resultado
21,30	A	92	57	750,77	400	4	Aprovado	Aprovado
	B	65	57	490,27	400	4	Aprovado	Aprovado
	C	67	57	569,13	400	4	Aprovado	Aprovado
60,30	A	89	57	648,13	400	4	Aprovado	Aprovado
	B	69	57	488,21	400	4	Aprovado	Aprovado
	C	67	57	497,94	400	4	Aprovado	Aprovado
76,10	A	65	57	486,67	400	4	Aprovado	Aprovado
	B	70	57	512,63	400	4	Aprovado	Aprovado
	C	70	57	510,44	400	4	Aprovado	Aprovado
Desvio padrão		10,31		91,76				

Tabela 2. Ensaios realizados com amostras do processo 2

		Espessura de camada				Uniformidade da camada		Achatamento
		Ensaio não destrutivo		Ensaio destrutivo		Imersões	Resultado	Resultado
Amostra	Espe- ssura (μm)	Referência NBR 5580 (μm)	Espe- ssura (g/m^2)	Referência NBR 5580 (g/m^2)				
21,30	A	58	57	435,45	400	4	Aprovado	Aprovado
	B	70	57	516,04	400	4	Aprovado	Aprovado
	C	65	57	465,39	400	4	Aprovado	Aprovado
60,30	A	69	57	509,42	400	4	Aprovado	Aprovado
	B	65	57	464,16	400	4	Aprovado	Aprovado
	C	65	57	481,49	400	4	Aprovado	Aprovado
76,10	A	65	57	481,04	400	4	Aprovado	Aprovado
	B	65	57	486,51	400	4	Aprovado	Aprovado
	C	65	57	467,25	400	4	Aprovado	Aprovado
Desvio padrão		3,34		24,50				

Comparando os resultados de espessura do revestimento no processo 1 e no processo 2, pode-se observar que, para as amostras analisadas, nos corpos de prova de tubos 21,30mm houve uma redução de até 15% na espessura de revestimento em μm e 21% em g/m^2 de massa de revestimento. É importante mencionar que, devido as características do processo, sendo o menor diâmetro galvanizado, os tubos deste diâmetro apresentavam maior dificuldade no controle da camada no processo 1; para os corpos de prova dos tubos 60,30mm o processo 2 apresentou redução de 11% de espessura de revestimento quando analisado em μm e em g/m^2 ; os corpos de prova dos tubos 76,10mm apresentaram redução de espessura de revestimento em μm e em g/m^2 de 3% e 5% respectivamente.

Também pode-se verificar que as amostras do processo 2 apresentam uma maior uniformidade nas medições, o que indica que o processo está mais ajustado e com uma melhor repetitividade.

Os corpos de prova submetidos aos ensaios de achatamento e uniformidade do revestimento tiveram seus resultados aprovados para ambos processos.

O desvio padrão das amostras, no que diz à medição de espessura de revestimento (μm), apresenta valor de 10,31 para o processo 1 e 3,34 para o processo 2, nas medições da espessura em g/m^2 o desvio padrão apresentou valores de 91,76 e 24,50 respectivamente. Isto evidencia que após as melhorias na linha de galvanização a probabilidade de ocorrer produção fora dos parâmetros desejados é menor.

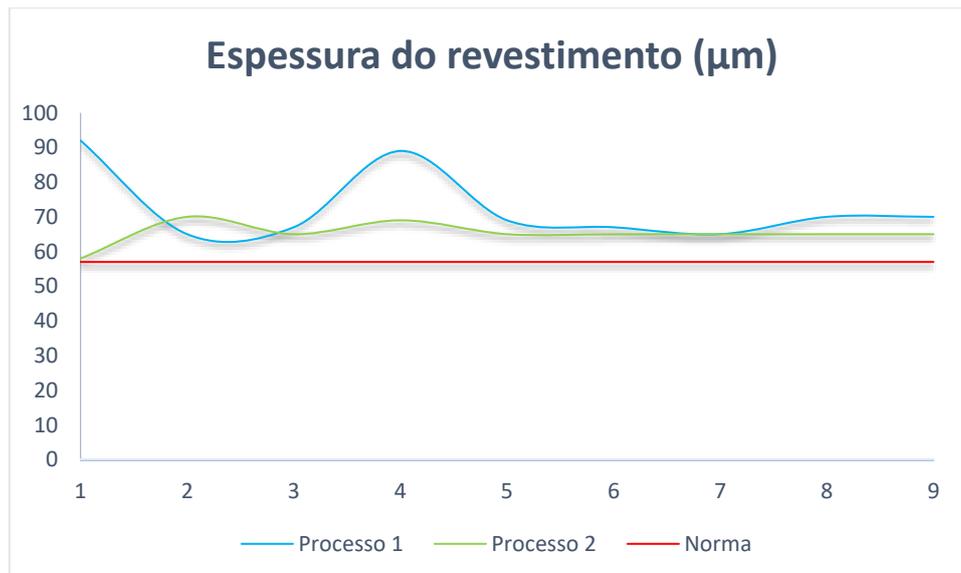
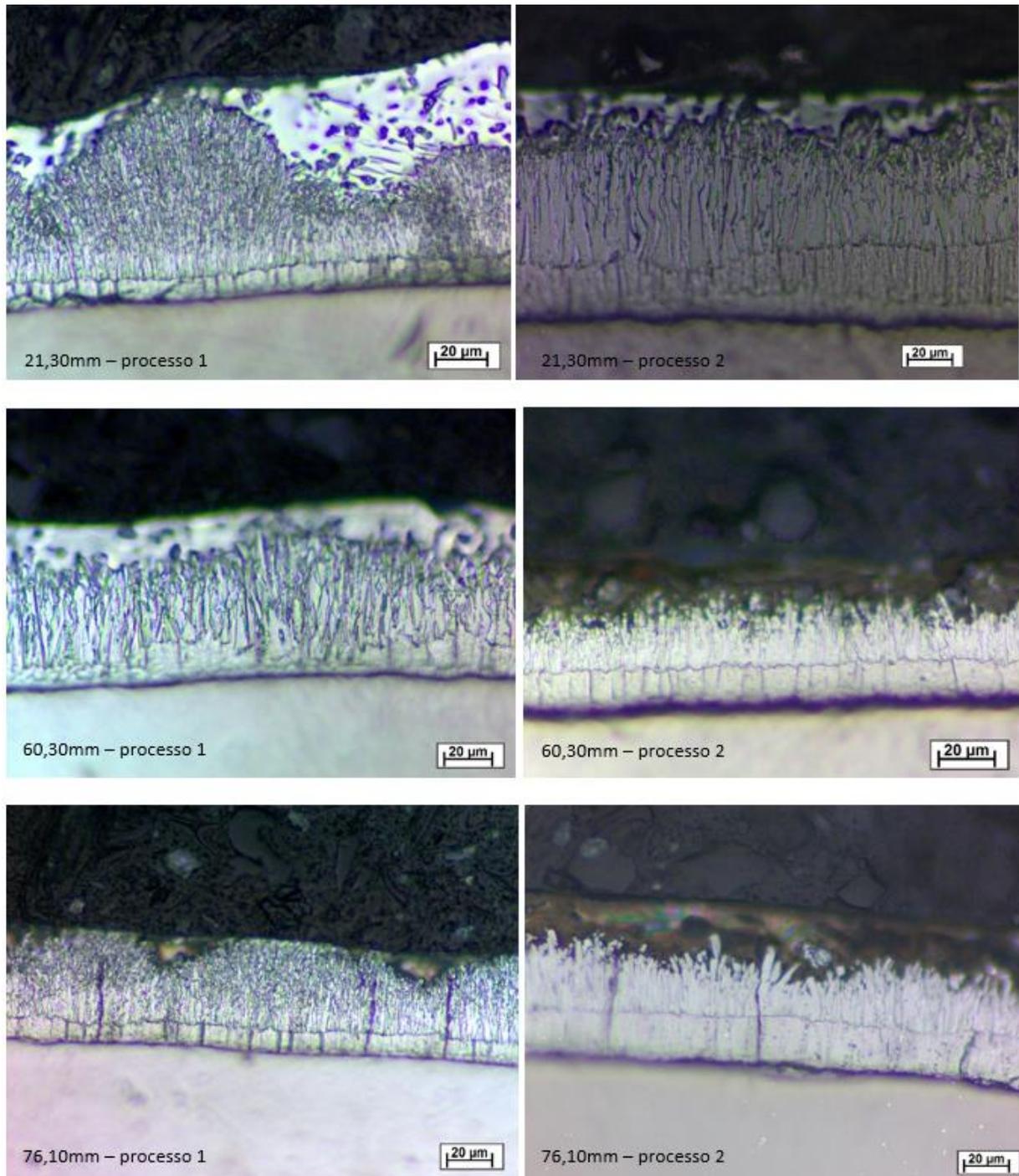


Gráfico 1. Espessura do revestimento das amostras comparando com o mínimo estabelecido pela NBR5580

No Gráfico 1 podemos acompanhar as medições de espessura de revestimento das amostras e observar que, ambas amostras estão acima do mínimo estabelecido pela norma utilizada como referência, NBR5580, porém, nas amostras do processo 1 a variação acima da referida norma foi maior.

Através das análises metalográficas foi possível visualizar e avaliar as fases intermetálicas formadas no processo de galvanização, antes e após a modernização. As metalografias estão apresentadas nas figuras 3 a 8.



Figuras 3 a 8. Imagens das análises metalográficas realizadas

Com o resultado das análises metalográficas do revestimento nas amostras de tubos galvanizados é possível observar que no processo 2 o crescimento das fases intermediárias Zn-Fe do revestimento tiveram um crescimento mais ordenado quando comparado às amostras do processo 1.

3 CONCLUSÃO

Diante das análises realizadas foi possível concluir que em ambos processos os corpos de prova estavam atendendo os parâmetros estabelecidos pela norma utilizada como referência. Porém, os corpos de prova analisados referentes ao

processo 2 apresentaram maior controle de espessura do revestimento de zinco, pois o desvio padrão das medidas diminuiu de 10,3 para 3,3 μm e de 91,76 para 24,50 g/m². Além disso, através das análises metalográficas realizadas foi possível observar maior ordenamento no crescimento das camadas intermediárias no processo 2. O que evidencia que após as melhorias realizadas no processo os controles estão mais eficientes, contribuindo para qualidade do revestimento e redução de custos.

Cabe mencionar que, mesmo nas amostras analisadas referente ao processo 1, onde a espessura da camada de revestimento de zinco apresentou um crescimento expressivo, não caracterizou um defeito no revestimento, uma vez que nos testes realizados não houve reprovação nas amostras analisadas. Este crescimento, por vezes excessivo, na espessura de revestimento pode ser explicado pela falta de controle no tempo de imersão dos tubos no processo 1. Este trabalho ainda não está concluído e novos ensaios serão realizados, em especial, ensaios acelerados de corrosão em névoa salina.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da UFRGS pela infraestrutura disponibilizada para ensaios, em especial aos laboratórios LACAR e LACOR do Departamento de Engenharia de Materiais e também a Soluções Usiminas pela disponibilidade dos corpos de prova e acesso aos processos de galvanização.

REFERÊNCIAS

- 1 GENTIL, V. Corrosão. Rio de Janeiro: GB. Almeida Neves; 1970.
- 2 CALLISTER, Jr. WD. Ciência e engenharia de materiais: uma Introdução. 5^o edição. Rio de Janeiro: LTC; 2002.
- 3 CENTRO DE PESQUISAS EM ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL. Galvanização: sua aplicação em equipamento elétrico. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico; 1979.
- 4 ICZ INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS. Guia de galvanização por imersão a quente [acesso em 05 mai 2019]. Disponível em: <http://www.icz.org.br/biblioteca-digital-publicacoes.php>
- 5 SANTOS, SG.; BARBOSA, AHA. Influência do teor de alumínio no banho de zinco na qualidade superficial de revestimentos galvannealed. In: 51^o Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos; 2014 out 28-31; Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração; 2014. p-3324-3332.
- 6 ICZ INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS. Fluxograma de um processo de galvanização a fogo [acesso 05 mai 2019]. Disponível em: <http://www.icz.org.br/fluxograma-de-um-processo-de-galvanizacao-a-fogo.php>
- 7 CAMPANHER, CG. Otimização experimental em processo de galvanização de arames de camada pesada. Porto Alegre. Dissertação [Mestrado em Engenharia] – Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2009.
- 8 NBR 5580 – Tubos de aço-carbono para usos comuns na condução de fluidos – Especificação. Set 2015.
- 9 NBR 7399 - Produto de aço e ferro fundido galvanizado por imersão a quente - Verificação da espessura do revestimento por processo não destrutivo - Método de ensaio. Nov 2015.

- 10 NBR 7397 - Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente - Determinação da massa do revestimento por unidade de área - Método de ensaio. Mai 2007.
- 11 NBR 7400 - Galvanização de produtos de aço e ferro fundido por imersão a quente - Verificação da uniformidade do revestimento - Método de ensaio. Nov 2015.
- 12 NBR 6154 - Tubos de aço de seção circular — Ensaio de achatamento. Jun 2015.
- 13 NBR 6323 – Galvanização por imersão a quente de produtos de aço e ferro fundido – Especificação. Jul 2016.