

Tema: Engenharia de Superfície

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO E MEDIÇÃO NO ENSAIO DE PREECE EM ARAMES GALVANIZADOS (CLASSE B)*

Tiago Salzmann Vilela¹

Resumo

No mercado de arames e cordoalhas galvanizadas para indústria de distribuição de energia elétrica, o ensaio de preece tem se tornado um requisito constante para assegurar a uniformidade da camada de zinco formada. Neste trabalho, foram estudados os efeitos da velocidade de galvanização tanto na uniformidade da camada de Zinco como na espessura da camada intermetálica de ferro-zinco. Também foi estudado o efeito do aquecimento após o processo de galvanização, observando o crescimento da camada intermetálica. Finalmente, serão mostradas as principais características de processo obtidas para garantir o atendimento ao ensaio de preece nos arames galvanizados (classe B) produzidos na Gerdau Cotia.

Palavras-chave: Preece; Revestimentos galvanizados; Zinco; Arame galvanizado.

INFLUENCE OF PROCESS VARIABLES AND MEASUREMENT ON PREECE TEST ON GALVANIZED WIRES (CLASS B)

Abstract

In the market of galvanized wire and stranded zinc-coated for electricity distribution industry, the preece test has become a constant requirement to ensure uniformity of the zinc layer formed. In this work, the effects of speed of galvanization on uniformity of the pure zinc layer and the thickness of the intermetallic layer of zinc-iron formed were studied. The heating effect was studied after galvanizing, observing the behavior of the intermetallic layer. Finally, we will show the main process characteristics obtained to ensure the preece test specification on galvanized wires (class B) produced at Gerdau Cotia.

Keywords: Preece test; Galvanized coatings; Zinc; Galvanized wire.

¹ Engenheiro de Materiais, Assessor Técnico, Facilitador de Melhorias, Tecnologia de Processos, Gerdau Aços Brasil, Gerdau Cotia, SP, Brasil.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O ensaio de preece é uma ferramenta muito comum para verificação da uniformidade da camada de zinco em arames e cordoalhas galvanizadas. A norma que regulamenta o ensaio de preece é a NBR 7400 (Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido por imersão a quente - Verificação da uniformidade do revestimento - Método de ensaio). A norma apresenta o método de preparo da solução, limpeza e execução do ensaio. Além da NBR 7400, as normas NBR 6756 (Fios de aço zincados para alma de cabos de alumínio e alumínio liga) e NBR15583 (Cordoalhas de fios de aço zincados para alma de cabos de alumínio e alumínio-liga - Requisitos e métodos de ensaio) solicitam o ensaio de preece para verificar a uniformidade da camada formada.

De acordo com a NBR 7400 [1], no ensaio de preece um arame galvanizado é imerso em um banho de sulfato de cobre por um tempo de 60 segundos (tempo de uma imersão) com temperatura e densidade controlada. O sulfato de cobre reage com o zinco da superfície do arame até que a camada de recobrimento seja desfeita em algum ponto específico, expondo o metal base. Nesse momento o sulfato de cobre reage com o ferro e forma um depósito de cobre na superfície do metal base. Na tabela 1 pode ser visto a especificação de imersões necessárias conforme o diâmetro do arame de acordo com a NBR 6756 [2].

Tabela 1. Especificação de preece e gramatura para arames conforme NBR 6756 [2]

Diâmetro nominal do fio (mm)		Número mínimo de imersões de 1 min		Massa de zinco mínima (g/m ²)	
Acima de	Até	Classe 1 ou A	Classe 2 ou B	Classe 1 ou A	Classe 2 ou B
1,24	1,52	2	3	185	370
1,52	1,9	2	3 1/2	200	400
1,9	2,28	2	3 1/2	215	430
2,28	2,64	2 1/2	4	230	460
2,64	3,05	3	5	245	490
3,05	3,56	3	6	260	520
3,56	4,57	3 1/2	6	275	550
4,57	5,5	3 1/2	6	305	610

Nota: 1/2 imersão equivale a uma imersão de 30 s.

Vale ressaltar que para arames com diâmetro acima de 3,05mm a norma solicita 6 imersões. Nesse caso, um processo na galvanização deve ser estabelecido para atender a exigência do preece como também a camada de zinco no arame.

De acordo com Campanher [3] alguns fatores podem influenciar a camada de zinco e a camada intermetálica:

- Características superficiais do metal base (rugosidade);
- Composição química do metal base;
- Composição química do banho de zinco;
- Temperatura do banho de zinco;
- Tempo de imersão do metal base;
- Velocidade do fio na galvanização;
- Método de raspagem do zinco;
- Resfriamento do arame galvanizado.

* Contribuição técnica ao 69^o Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14^o ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Alguns dos fatores citados acima, tais como velocidade da linha e tempo de imersão, foram estudados mais profundamente e ensaiados. Os demais fatores não foram detalhados nesse trabalho. Groesbeck e Walkup [4] avaliaram o efeito do tipo de camada de zinco na taxa de remoção do zinco da camada durante o ensaio de preece conforme Tabela 2.

Tabela 2. Perda de massa de Zn (g/m^2) em diferentes tipos de revestimento [4]

Material/Processo de galvanização	Número de imersões	Perda de peso (g/m^2)	Média da perda de revestimento (g/m^2)
Arame de Zinco	1	51,9	NA
	2	56,1	
	3	56,8	
	4	58,9	
	5	49,7	
	Total	273,4	NA
	Média	54,7	
Eletrodeposição	1	47,3	402,78
	2	75,4	
	3	74,8	
	4	69,0	
	5	68,4	
	6	65,6	
	Total	400,3	NA
	Média	66,7	
Galvanização à fogo	1	41,8	241,05
	2	63,5	
	3	51,3	
	4	39,4	
	Total	195,9	NA
	Média	49,0	
Galvanizado e recozido	1	39,1	317,34
	2	32,3	
	3	31,7	
	4	33,6	
	5	36,6	
	6	34,2	
	7	31,7	
	8	33,0	
	Total	272,2	NA
	Média	34,0	
Spray de zinco	1	74,1	357
	2	76,6	
	3	74,1	
	4	67,1	
	Total	292,0	NA
	Média	73,0	

Groesbeck e Walkup [4] comparam a perda de zinco em cinco diferentes tipos de material/recobrimento: Arame de zinco, *Eletrodeposição*, *Galvanizado à fogo*, *Galvanizado e recozido* e *Spray de zinco*. Em cada um dos revestimentos foi encontrada uma taxa de perda de zinco diferente. No processo de eletrodeposição a camada é formada praticamente por zinco puro. A observação desse experimento mostrou que a taxa de perda de massa por imersão foi a segunda maior de todas, apresentando resultado $66,7 \text{ g/m}^2$.

* Contribuição técnica ao 69^o Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14^o ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



No processo de *Galvanização à fogo*, o zinco aquecido é arrastado pelo arame e também reage com o metal base formando uma camada intermetálica denominada Fe-Zn. Vemos que neste caso, a taxa de perda de massa por imersão foi de 49 g/m², sendo menor que no processo de eletrodeposição. Já no processo com galvanização e Recozimento, após o zinco ser depositado na forma metálica sobre o metal base, o arame volta a ser aquecido (recozido). O zinco por aquecimento continua a se difundir e aumenta a camada de intermetálico ao ponto de termos apenas Fe-Zn. Como essa camada intermetálica tem maior resistência ao ataque do sulfato de cobre, a perda é de apenas 34 g/m². Temos aqui a menor taxa de remoção da camada de zinco, mostrando que a camada intermetálica Fe-Zn oferece maior resistência no ensaio de preece.

De acordo com Mallet [5] as maneiras possíveis para aumentar a camada de Fe-Zn do arame são: aumentar o tempo de exposição do arame ao zinco (tempo de imersão na cuba) ou aumentar a temperatura do banho de zinco. Como a temperatura do banho de zinco já trabalha com 450°C, aumentar a temperatura significa em deslocar a reatividade do zinco com o metal, podendo causar forte deposição de zinco nas bordas da cuba e danificar sua estrutura metálica.

Na figura 1 é mostrado o pico de reatividade do zinco com o ferro.

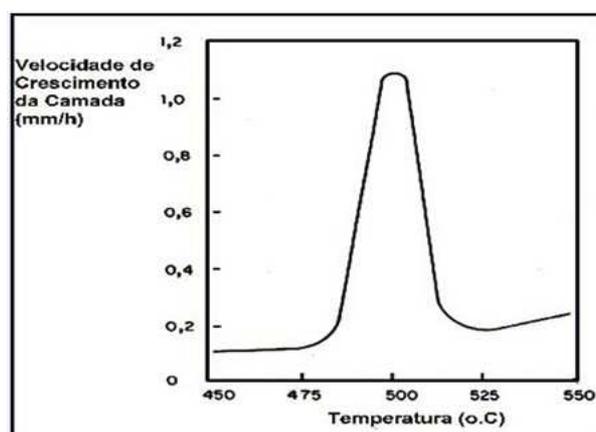


Figura 1. Pico de reatividade do zinco entre 475°C e 525°C [5]

Uma alternativa razoável para aumentar a camada de Fe-Zn é aumentar o tempo de exposição do arame ao zinco. Isso pode ser feito de algumas maneiras, tais como: aumentando o tamanho da cuba, reduzindo a velocidade do fio ou realizando mais de uma passada do arame pela cuba. Na figura 2, é possível ver o comportamento das camadas de zinco e Fe-Zn em função da velocidade. Em resumo, aumentando-se a velocidade, têm-se camadas de zinco puro mais espessas, porém com redução de Fe-Zn.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

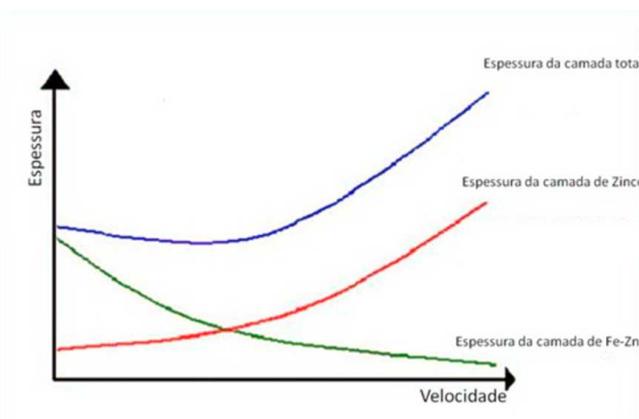


Figura 2. Relação do aumento da velocidade com as espessuras das camadas de Zn e Fe-Zn [5]

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Perfil das Camadas de Zn e Fe-Zn com a Velocidade na Galvanização

Para avaliar a influência da velocidade nas camadas de Zn e Fe-Zn foi proposto um DOE (design of experiments) utilizando MINITAB® onde três grupos de arames com diâmetro 3,05mm (SAE1072) foram submetidos a velocidades de galvanização diferentes. O experimento teve início com velocidade de 10m/min, aumentando de 5 em 5m/min até atingir 35m/min. Para a raspagem do zinco foi utilizado o processo com vermiculita. Foi avaliada a gramatura dos arames produzidos (g/m²) bem como a espessura das camadas de Zn e Fe-Zn (µm) através de metalografia da secção transversal do arame. As amostras foram envolvidas no papel alumínio, embutidas no baquelite ou resina e após isso o processo preparação comum (lixamento e polimento utilizando pasta de diamante). No ataque químico, utilizou-se nital 1%, para revelar somente a estrutura da camada de zinco.

2.2 Crescimento da Camada de Fe-Zn com Aquecimento

Para avaliar o crescimento da camada de Fe-Zn após o processo de galvanização um conjunto de arames com diâmetro de 3,05mm foi submetido a aquecimento em mufla e mantido por aproximadamente 300 segundos. Após esse tempo foram realizadas metalografias para avaliar a relação das camadas de zinco e Fe-Zn antes e após o aquecimento. Na figura 3 pode ser visto a mufla e a posição dos arames.

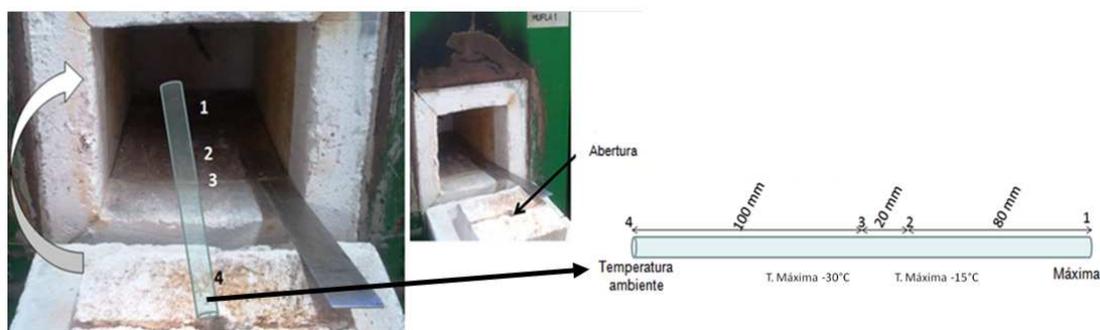


Figura 3. Mufla utilizada no aquecimento dos arames e as medições de temperatura em cada ponto

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



2.3 Uniformidade da Camada de Zinco nas Etapas do Processo de Galvanização

Para verificar a existência de algum ponto ou mecanismo específico que pudesse deslocar a camada de zinco do arame após saída da cuba, foram coletadas amostras em diversos pontos da linha de galvanização. A velocidade da linha foi mantida em 20m/min e subitamente o processo foi interrompido. Nesse momento amostras foram coletadas nos pontos mostrados na figura 4 e avaliadas quanto a uniformidade da camada de zinco. Respeitou-se a posição do arame, efetuando uma marcação no sentido “sul” do mesmo. Posteriormente as amostras foram submetidas a metalografia da secção transversal para avaliar uniformidade da camada.



Figura 4. Posição de amostragem do arame nas etapas do processo de galvanização

2.4 Velocidades de Processo na 1ª e 2ª Passada e Resultado de Preece

Nessa etapa do estudo foram produzidos arames galvanizados variando as velocidades da 1ª e da 2ª passada, avaliando o resultado de preece em cada caso. O objetivo é obter os parâmetros de processo para garantir mais de 6 imersões no ensaio de preece nos arames galvanizados classe B acima de 3,05mm. As velocidades variaram de Y a 6*Ym/min e objetivaram formar quantidade de Fe-Zn adequada para garantir proteção do arame como também atender a especificação de gramatura de zinco, sem excesso de sobrecamada.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Perfil das Camadas de Zn e Fe-Zn com a Velocidade na Galvanização

A figura 5 nos permite visualizar o resultado de gramatura obtida quando a velocidade do arame foi elevada de 10m/min a 35m/min.

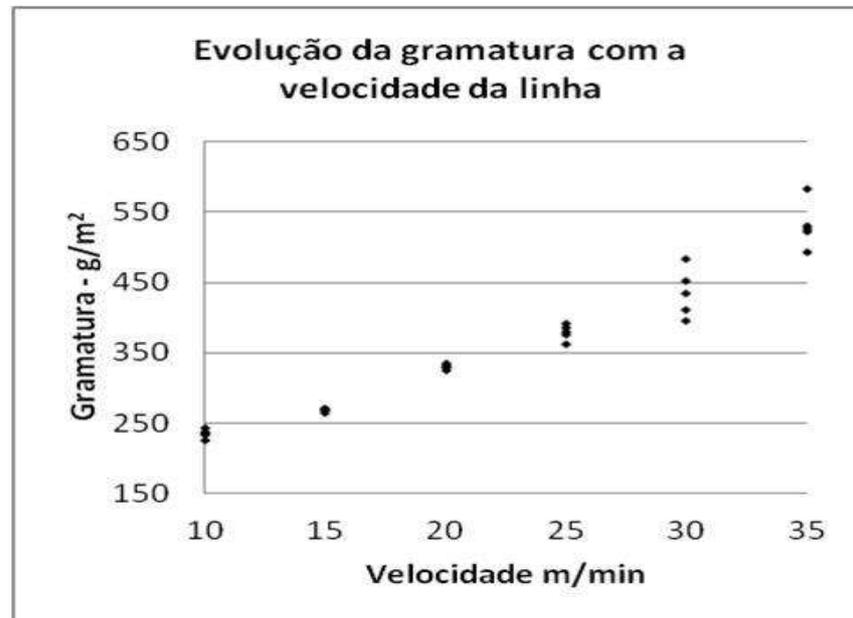


Figura 5. Aumento da gramatura em função da velocidade de extração

Por meio da figura 6 pode-se observar que a camada de zinco perde uniformidade à medida que a velocidade aumenta. Nas metalografias abaixo os arames foram avaliados nas velocidades de 10, 20 e 30 m/min. Na figura 7, a amostra produzida com 20m/min foi avaliada com maior escala de ampliação, avaliando a uniformidade tanto da camada de zinco como de Fe-Zn.

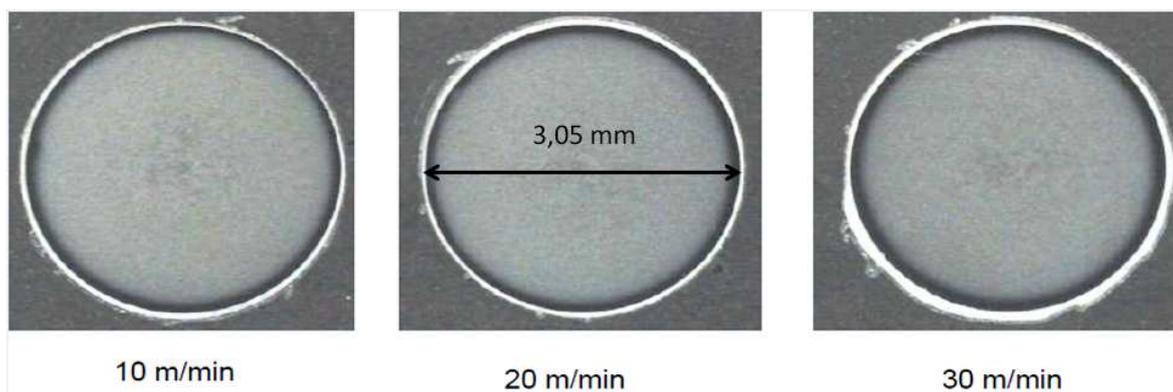


Figura 6. Metalografia da secção transversal das amostras produzidas a 10, 20 e 30m/min

* Contribuição técnica ao 69^o Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14^o ENEMET - Encontro Nacional de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

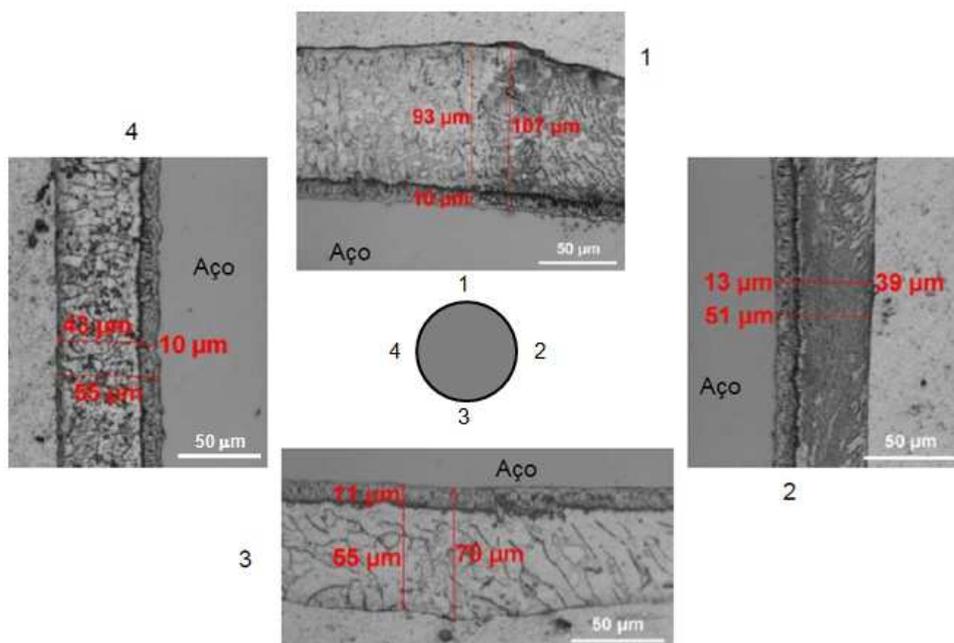


Figura 7. Metalografia da secção transversal da amostra produzida com 20m/min

Na tabela 3 pode ser vista a espessura da camada de Zn e de Fe-Zn em cada uma das velocidades avaliadas. Observa-se que na medida em que a velocidade aumenta a camada de Fe-Zn reduz em função da redução do tempo de reação do zinco com o ferro no interior da cuba.

Tabela 3. Espessura das camadas de Zn e Fe-Zn com a velocidade

Velocidade m/min	Total (μm)	Fe-Zn (μm)	Zn (μm)	Fe-Zn %	Total (g/m^2)
10	52,25	17,5	33,5	33,5	313
20	70,75	11	57,5	15,5	430
30	96,75	8,5	87,5	8,8	590

É possível confirmar por meio desse experimento que a velocidade tem forte influência sobre a gramatura final do arame galvanizado e que ao aumentar a velocidade o desvio padrão da gramatura sobe de 8,2 g/m^2 (10m/min) para 34,3 g/m^2 (35m/min). Outra constatação é que embora a quantidade de zinco cresça com a velocidade, a mesma perde a uniformidade.

3.2 Crescimento da Camada de Fe-Zn com Pós-aquecimento

No experimento realizado as amostras submetidas a um aquecimento em mufla não tiveram temperatura constante ao longo de todo o comprimento da amostra. Dessa forma não foi possível determinar a temperatura exata em cada ponto do arame. Na tabela 4 pode ser visto a espessura da camada de Fe-Zn, bem como o % de Fe-Zn em cada posição.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



Tabela 4. Espessura das camadas de Zn e Fe-Zn após o aquecimento

Espessura Fe-Zn	Posição	Ref (mm)	Temperatura (°C)	% Fe-Zn na camada
9,4	4	Fora	Ambiente	6%
13,5	3	0	max - 30°C	14%
43,1	2	20	max - 15°C	33%
126,5	1	100	Máxima	100%

Na figura 8 pode ser visto o comparativo metalográfico da secção longitudinal do arame em cada posição. Nesse caso, observa-se claramente o crescimento da camada de Fe-Zn (seta vermelha) com a temperatura, chegando ao ponto da camada de Zn puro ser totalmente transformada em Fe-Zn (Delta + Zeta).

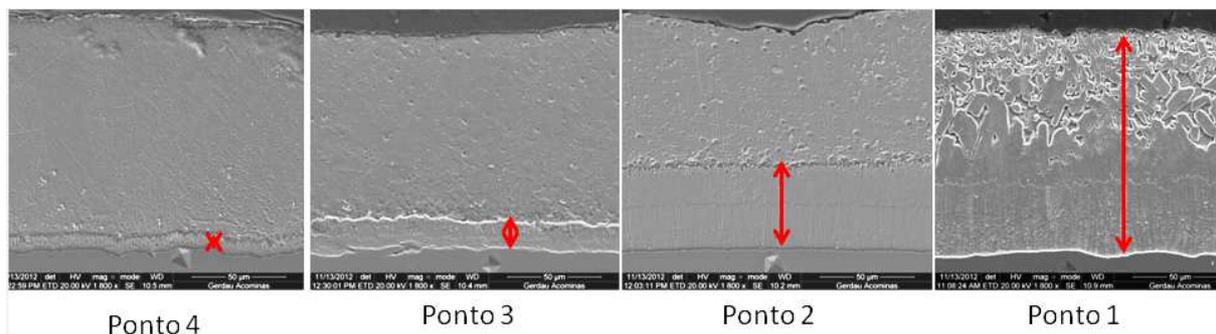


Figura 8. Aumento da camada de Fe-Zn com aquecimento após galvanização

A reação cinética de crescimento das camadas intermetálicas foi estudada por Marder [6]. Marder afirma que em curtos intervalos de tempo (cerca de 300s) a uma temperatura de 450°C a camada Zeta cresce rapidamente enquanto a camada Delta cresce lentamente até que toda camada Zeta seja transformada em Delta. Na figura 8 pode-se perceber que no ponto 1 existem duas camadas (Delta e Zeta), destacando dessa forma que não houve tempo suficiente para a completa transformação da fase Delta. Medindo a temperatura do arame no processo de galvanização foi observado que na roldana superior (ponto 4 da figura 4) o mesmo apresenta temperatura da ordem de 180°C. Isso mostra que o processo de transformação da camada de Zn puro em Delta pode continuar, aumentando a espessura da camada de Fe-Zn no arame.

3.3 Uniformidade da Camada de Zinco nas Etapas do Processo

De acordo com a figura 4, foram selecionados seis pontos específicos da linha para avaliar a uniformidade da camada. Na figura 9 pode ser visto a metalografia da secção transversal em cada ponto, destacando o sentido “sul” mencionado anteriormente. Observa-se que embora o ponto 4 apresente maior deslocamento da camada (roldana superior), nos processos subsequentes esse deslocamento é corrigido pelos próximos pontos de contato com o arame. A justificativa para o deslocamento da camada é que nesse processo o jato de água não estaria sendo suficiente para solidificar toda camada de zinco, deixando a mesma suscetível a amassamento nas roldanas. Esse fato também pode ser corroborado pela temperatura elevada encontrada na roldana superior (aproximadamente 180°C).

* Contribuição técnica ao 69^o Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14^o ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

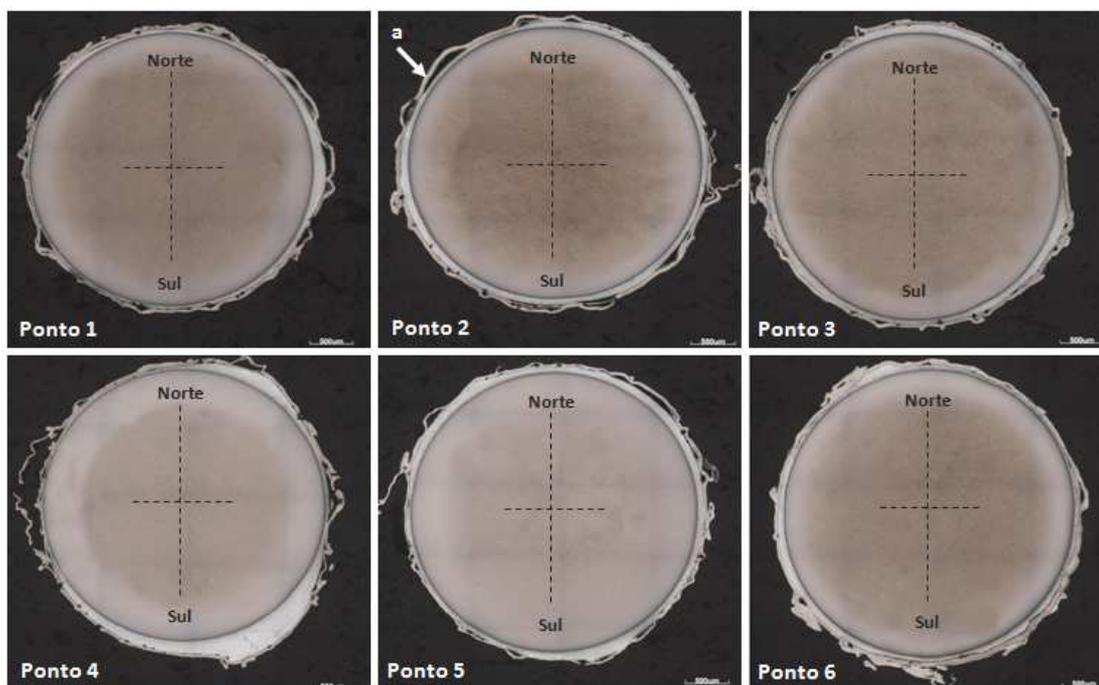


Figura 9. Metalografia da seção transversal dos arames em cada ponto de medição selecionado. Obs: O ponto 2 “a” exemplifica o papel alumínio utilizado no processo de embutimento das amostras. O papel alumínio é observado em todas as amostras e deve ser desconsiderado da análise.

3.4 Velocidades da 1ª e 2ª Passada versus Resultado de Preece

Inicialmente 300 kg de arame galvanizado foram produzidos na velocidade de Y_m/min e os outros 300 kg na velocidade de $2*Y_m/\text{min}$. Foram coletadas amostras desse material de forma a não comprometer o restante do produto. Das amostras retiradas, foi realizado ensaio de preece e os resultados são mostrados na tabela 5.

Tabela 5. Resultado de preece e gramatura nas velocidades de Y_m/min e $2*Y_m/\text{min}$ na 1ª passada

Amostra	Velocidade Y_m/min		Velocidade $2*Y_m/\text{min}$	
	Preece	Gramatura (g/m^2)	Preece	Gramatura (g/m^2)
1	5	294	4	443
2	5	313	4	303
3	5	311	4	309
4	5	300	4	291
5	5	307	4	298
6	5	330	4	289
7	5	298	4	307
Média	5	307,6	4	320,0

É possível constatar que os resultados de gramatura obtidos na velocidade da 1ª passada nas amostras com velocidade de Y_m/min foi superior ao obtido com $2*Y_m/\text{min}$, não havendo diferença significativa de média. Posteriormente foi realizada a segunda etapa do teste, repassando o material com velocidade inicial de Y_m/min a 2Y, 4Y e 6Ym/min. Os resultados obtidos podem ser vistos na tabela 6 e

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

demonstram que apesar da grande diferença em gramatura, não houve diferença significativa das médias de resultado de preece.

Tabela 6. Resultado de preece e gramatura nas velocidades de 2Y, 4Y e 6Ym/min na 2^a passada

Velocidade 1 ^o pass (m/min)	Velocidade 2 ^o pass (m/min)	Preece		Gramatura g/m ²	
		Media	Desvio	Media	Desvio
Y	2Y	6,1	0,6	462,2	10,2
Y	4Y	6,8	0,7	608,8	11
Y	6Y	7	0,6	773,8	11,8

Como não houve diferença significativa entre o resultado de preece das amostras produzidas com 4*Ym/min e 6*Ym/min (embora a variação de gramatura tenha sido da ordem de 165g/m²) optou-se por padronizar a produção do material na velocidade de 4*Ym/min a fim de minimizar as perdas de zinco por sobrecamada, visto que o especificado para este material é de 520g/m² conforme tabela1.

4 CONCLUSÃO

A partir desse trabalho foi possível verificar que a velocidade da linha de galvanização tem forte influência sobre o arraste de zinco. Os estudos mostraram que com velocidade acima de 20m/min tem-se arraste excessivo de zinco, com perda de uniformidade da camada e redução da espessura da camada de Fe-Zn. Também foi possível verificar que mantendo a temperatura do arame após a cuba o processo de crescimento da camada de Fe-Zn pode continuar, aumentando-se a resistência no ensaio de preece.

Os testes no processo mostraram que é possível produzir o arame galvanizado classe B 3,05mm com processo de duas passadas pela cuba de zinco. A primeira passada foi realizada a Ym/min (favorecendo o crescimento da camada de Fe-Zn) e a segunda a 4*Ym/min (objetivando o atendimento da gramatura e uniformidade da camada). Com esses parâmetros, obteve-se êxito no ensaio de preece (6 imersões). Por fim, verificou-se que embora a roldana superior estivesse deslocando a camada de zinco por amassamento, os pontos de contato posteriores acabavam por uniformizar a camada de zinco.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer inicialmente ao Gerente de Tecnologia de Processos e Produtos da Gerdau Aços Brasil Leonardo Braga Polido Lopes pela oportunidade de apresentar este trabalho em um fórum tão prestigiado como a ABM. Gostaria também de agradecer ao consultor da Gerdau Jorge Adam Cleto Cohn pela valorosa e imprescindível contribuição técnica no desenvolvimento deste trabalho. Por fim, agradeço aos meus colegas de trabalho Cristiano Terres Monteiro, Luciana de Carvalho Affonso, Marcelo Giroto de Mattos e Tiago Nisio Gonçalves que contribuíram na revisão e execução deste trabalho.

* Contribuição técnica ao 69^o Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14^o ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

REFERÊNCIAS

- 1 ABNT NBR 7400:2009 - Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente - Verificação da uniformidade do revestimento. p. 1 – 4.
- 2 ABNT NBR 6756:2007 – Fios de aço zincados para alma de cabos de alumínio e alumínio-liga – Especificação. p. 1 – 9.
- 3 Campanher CG. Otimização experimental em processo de galvanização de arames de camada pesada. UFRG. Porto Alegre, RS (2009) p.1 – 97.
- 4 Groesbeck EE, Walkup HH. Preece Test (cooper-sulphate dip) for Zinc Coatings. Part of Bureau of Standards Journal of Research, vol. 12, June 1934, p. 785 - 802E.
- 5 Gracia Jr L, Mallet A. Curso de Galvanização do Grupo Gerdau. 1985, 1989, 1993.
- 6 Marder AR. The metallurgy of zinc-coated steel. Progress in Materials Science, p. 193 – 213, 2000. Progress in Materials Science, 2000; 45: 191 - 271.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.