

# ANÁLISE DO DEFEITO “MANCHA DO REVESTIMENTO” (MOTTLING) NO MATERIAL GALVALUME® PRODUZIDO NA ARCELORMITTAL VEGA<sup>1</sup>

Rafael Costa Farias<sup>2</sup>  
Gabriela Gomes De Oliveira<sup>3</sup>  
Fernando Coelho De Oliveira<sup>4</sup>  
Éder Adolfo Serafim<sup>5</sup>  
Bruno Kneipel<sup>6</sup>

## Resumo

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um estudo do defeito de qualidade intitulado “Mancha de revestimento” no produto Galvalume®, o qual prejudica o aspecto do material contrariando critérios de qualidade. O defeito foi caracterizado em laboratório através de análises microestruturais e foram avaliados os parâmetros de processo com potencial de influência na ocorrência do mesmo. Com base nos estudos realizados foram tomadas medidas de melhorias no processo visando à mitigação do defeito.

**Palavras-chave:** Mancha de revestimento; Galvalume; Revestimento.

## ANALYSIS OF DEFECT “MOTTLING” ON THE GALVALUME® MATERIAL PRODUCED AT ARCELORMITTAL VEGA

## Abstract

This article presents the study of the quality issue entitled “Mottling” on Galvalume® products which affect the appearance of the material contradicting quality requirements. Different factors with potential influence on the defect were considered as well as its characterization. Based on these studies improvement measures have been taken in the process aiming at the mitigation of the quality issue.

**Keywords:** Mottling; Galvalume; Coating.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 50º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 18 a 21 de novembro de 2013, Ouro Preto, MG, Brasil..

<sup>2</sup> Especialista de Processo de Produção – ArcelorMittal Vega.

<sup>3</sup> Especialista de Processo de Produção – ArcelorMittal Vega

<sup>4</sup> Gerente de Área de Produção Galvanização – ArcelorMittal Vega

<sup>5</sup> Especialista em Laboratório – ArcelorMittal Vega

<sup>6</sup> Técnico em Metalografia – ArcelorMittal Vega

# 1 INTRODUÇÃO

A ArcelorMittal Vega produz em torno de 145 mil toneladas de material Galvalume por ano, atendendo a clientes em diversas aplicações como telhas, tubos, laterais de galpões, entre outros. Em grande parte desse material não é utilizada pintura, portanto, o aspecto do revestimento é fator essencial na qualidade do produto. O defeito “Mancha de revestimento” (*Mottling*) é característico do material Galvalume por estar diretamente relacionado com a presença de silício (Si) no banho de alumínio-zinco.<sup>(1)</sup> Como pode se observar na Figura 1, a presença do defeito torna o aspecto da chapa de aço com manchas claras e escuras, quando o ideal seria um aspecto homogêneo.

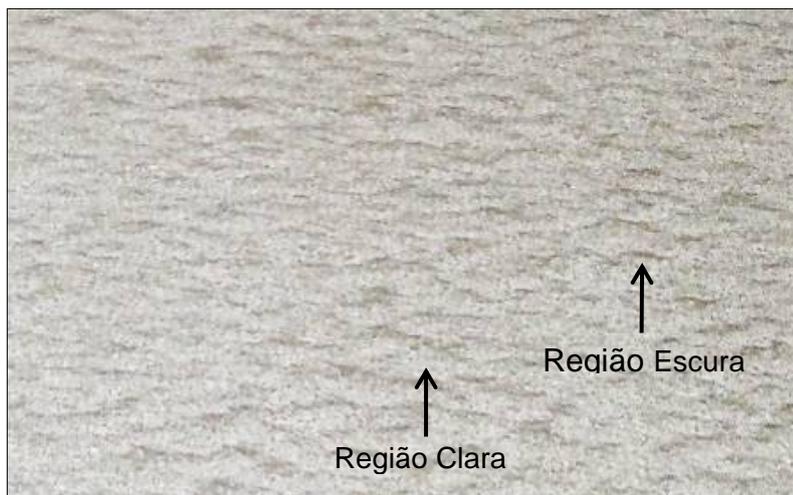


Figura 1. Aspecto do revestimento com o defeito “Mancha de Revestimento”

O defeito é considerado crítico pelos clientes, por ser facilmente visualizado a olho nu. O gráfico da Figura 2 mostra a representatividade do defeito em relação ao volume total de Galvalume produzido.

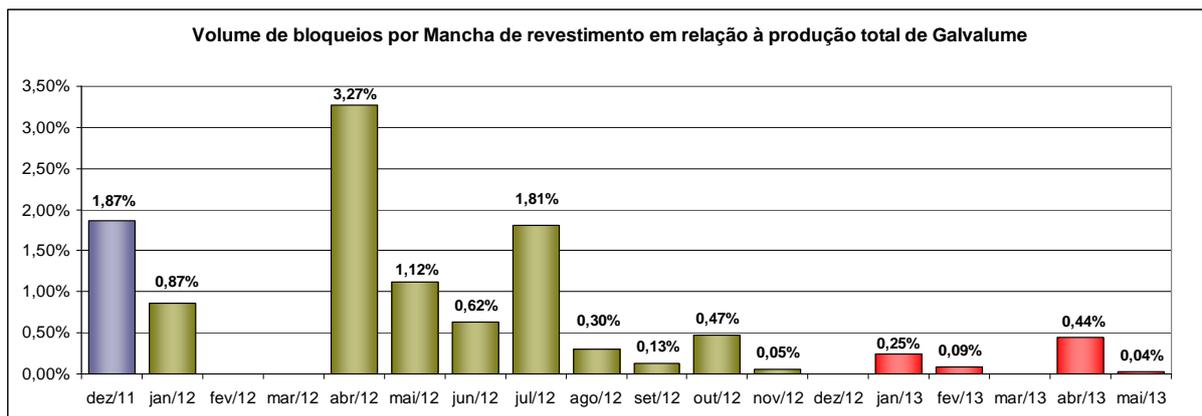


Figura 2. Bloqueios por mancha de revestimento.

Desde o momento da identificação do defeito foram observados os parâmetros de processo visando encontrar as causas da geração do mesmo. Esse artigo apresentará a influência de cada variável do processo e as melhorias implementadas para a redução do defeito.

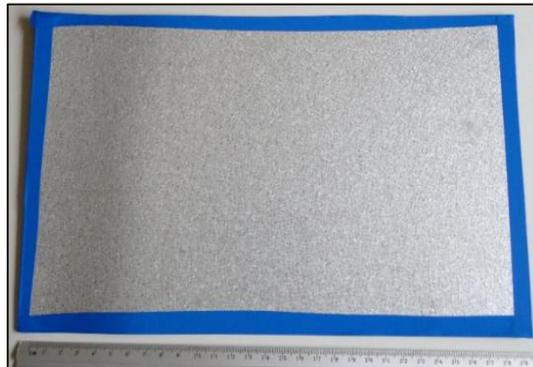
## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Caracterização do Defeito

Foram analisadas duas amostras, de material com e sem o defeito conforme as Figuras 3 e 4.



**Figura 3.** Amostra com defeito.



**Figura 4.** Amostra sem defeito.

Todas as análises foram realizadas nas duas amostras visando à comparação dos resultados. Observa-se que o defeito é formado por regiões escuras e regiões claras, nesse caso as análises foram feitas em ambas as condições.

#### 2.1.1 Análise de superfície – microscópio óptico

Para a caracterização do defeito através de análise de superfície, via microscopia óptica, foi realizado um processo de polimento na superfície do defeito. Este polimento tem como objetivo uniformizar a superfície para que se possa realizar a análise em microscópio óptico.

A Figura 5 mostra as análises realizadas sobre a amostra com defeito (comparando-se a região da “mancha escura” e “mancha clara”) e a amostra sem defeito. Observou-se que na “mancha escura”, no defeito, há uma grande concentração de partículas de Silício (Si) distribuídas na superfície do revestimento. O mesmo fenômeno não foi observado na “mancha clara” em menor quantidade. Na amostra sem defeito foi identificado uma pequena concentração de partículas.

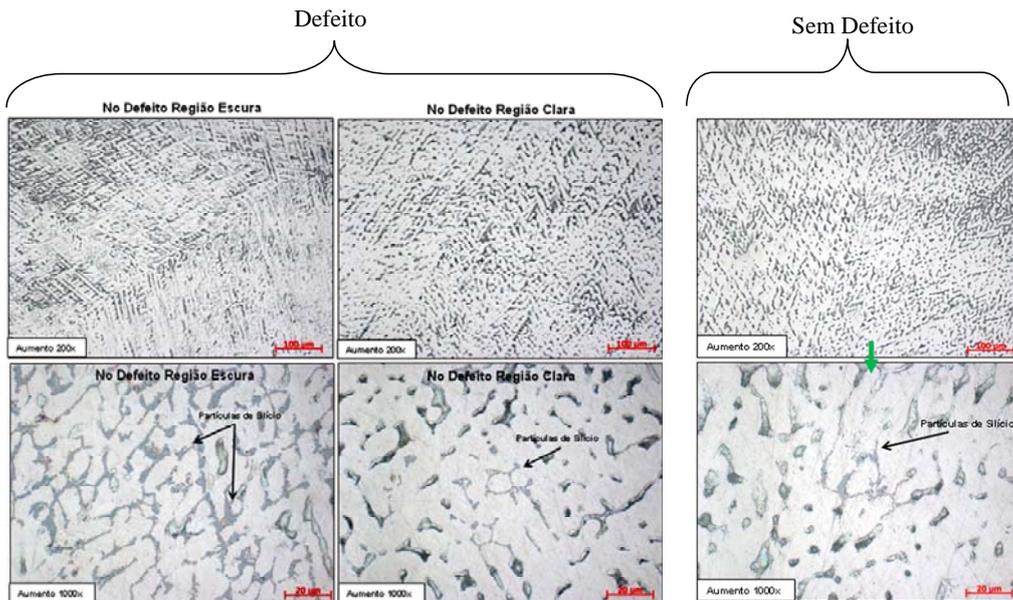


Figura 5. Superfície das amostras, foto em microscópio óptico.

### 2.1.2 Análise de superfície – MEV

Após as análises realizadas em microscopia ótica, as amostras foram analisadas em MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e EDS (*Energy Dispersive Spectrum*), através da técnica de Mapeamento de Raios X. A Figura 6 mostra a superfície das amostras analisadas em MEV e o mapeamento de raios X do elemento Si (regiões em vermelho). Na região escura do defeito há uma grande concentração de Si na superfície do revestimento, na região clara a concentração de Si na superfície é menor; já na amostra sem o defeito a quantidade de silício na superfície é mínima.

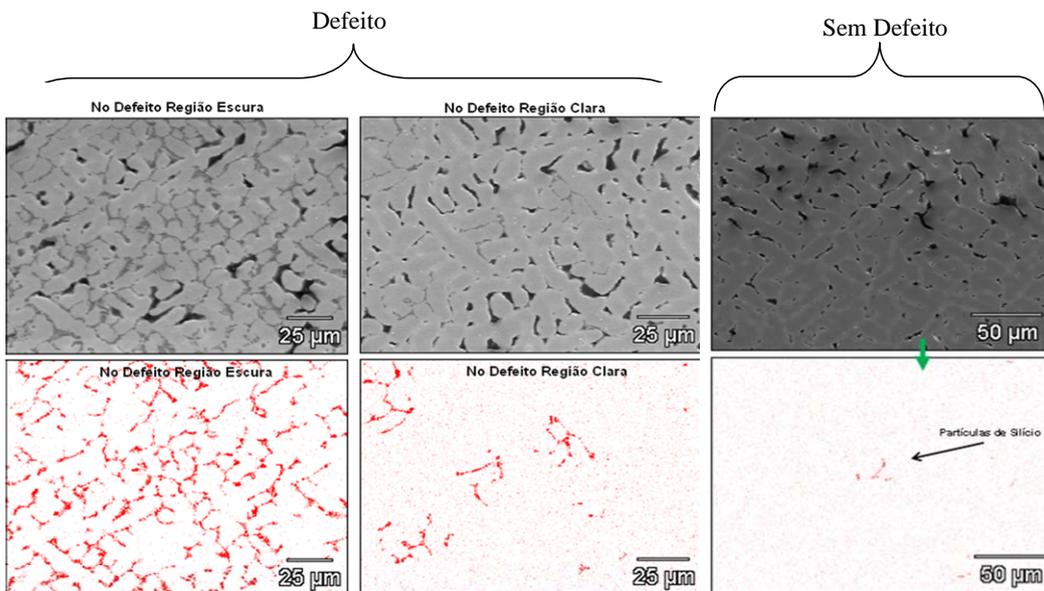


Figura 6. Superfície das amostras com mapeamento de Raios X, elemento Si

### 2.1.3 Análise de seção

Para verificar o posicionamento do Si na espessura do revestimento realizou-se análise de seção metalográfica. As amostras foram analisadas com as mesmas técnicas da análise de superfície, MEV e EDS através da técnica de Mapeamento de

Raios X. É possível observar na Figura 7 que nas regiões do defeito (mancha escura e mancha clara) a localização do Si está mais próxima da superfície do revestimento, mostrando que a solidificação do Si ocorreu por superesfriamento. Na amostra sem defeito a localização do Si está mais próxima da superfície do substrato, mostrando que a solidificação ocorreu por presença de núcleos, neste caso, o próprio substrato.

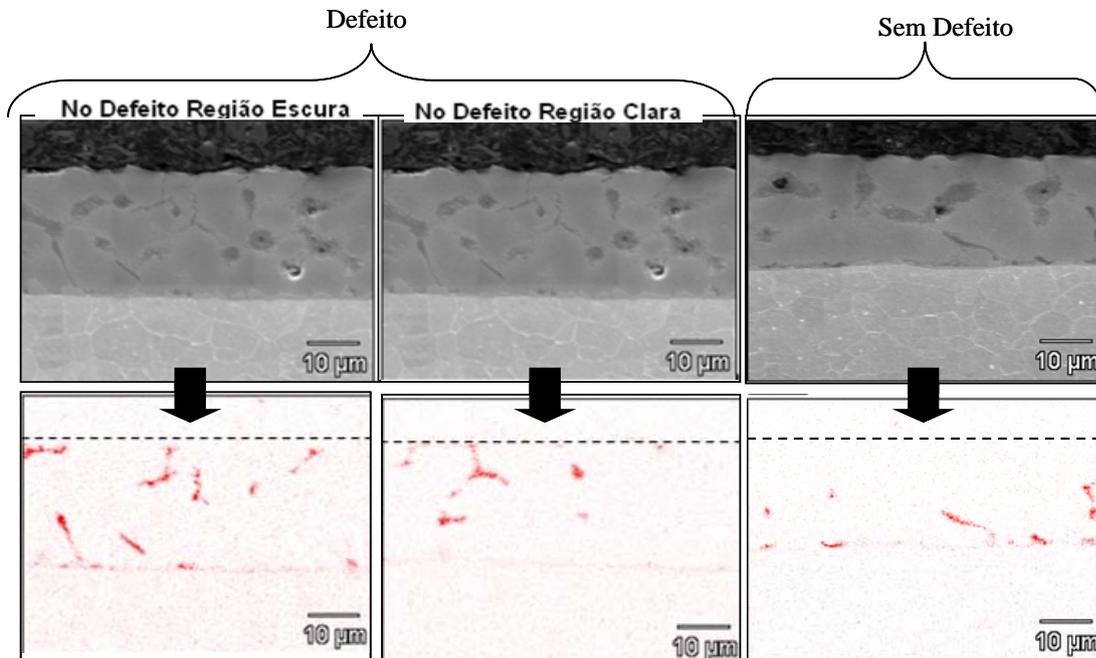


Figura 7. Seção das Amostras com Mapeamento de Raios X, elemento Si

#### 2.1.4 Características do revestimento

A Tabela 1 mostra algumas características do revestimento Galvalume, sendo que mais importante para associar com o defeito Mancha de Revestimento é o parâmetro D.A.S (*Distance Arm Spacing*), ou seja, espaçamento entre os braços secundários da dendrita. Esse parâmetro é um indicativo do quão rápido foi o resfriamento, pois quanto mais rápido o resfriamento, menor o espaço entre os braços secundários da dendrita.

Observa-se que a amostra com o defeito apresenta um valor de D.A.S menor do que a amostra sem defeito, ou seja, é uma amostra oriunda de um processamento com maior taxa de resfriamento.

Tabela 1. Análise metalográfica do revestimento

Bobina (Galvalume)	Spangle		D.A.S	Camada Intermetálica	Camada Revestimento
	Tamanho (mm)	Desvio Padrão (mm)	Tamanho (µm)	Espessura (µm)	Espessura (µm)
Com Defeito FG Região Clara	2,01	0,2	10,40	1,12	26,60
Com Defeito FG Região Escura			*	1,09	30,20
Sem Defeito FG	1,92	0,2	11,67	0,82	21,70

OBS:

- o resultado de tamanho de *spangles* é a média de 6 análises;
- o resultado de espessura da camada intermetálica é a média de 3 análises;
- o resultado do espaçamento médio entre dendritas secundárias (D.A.S) é a média de 3 análises;
- o resultado de espessura da camada do revestimento (GL) é a média de 3 análises.

\* Na região escura não foi possível realizar a medição do espaçamento interdendrítico, pois, a formação do revestimento na região não esta definida em comparação com a região clara.



Figura 8. Análise metalográfica das amostras com e sem defeito

### 2.1.5 Análise do revestimento – composição química

Através da análise da composição química, nota-se que a influência do Si o defeito é realmente em relação à posição do mesmo na camada e não em relação ao teor do elemento. Isso porque a amostra sem defeito teve um teor de Si maior que a amostra com defeito.

Tabela 2: Composição química do revestimento

Amostra	Al (%)	Zn (%)	Fe (%)	Si (%)	Peso da Camada (g/m <sup>2</sup> )
Com defeito	56,31	38,25	1,81	1,21	78,94
Sem defeito	56,5	38,75	1,36	1,5	75,4

## 2.2 Influências do Processo na Formação do Defeito

Após a caracterização do defeito e a conclusão de que o mesmo está diretamente relacionado com a posição do silício na camada do revestimento, foram analisadas as variáveis do processo que interferem na formação da camada.

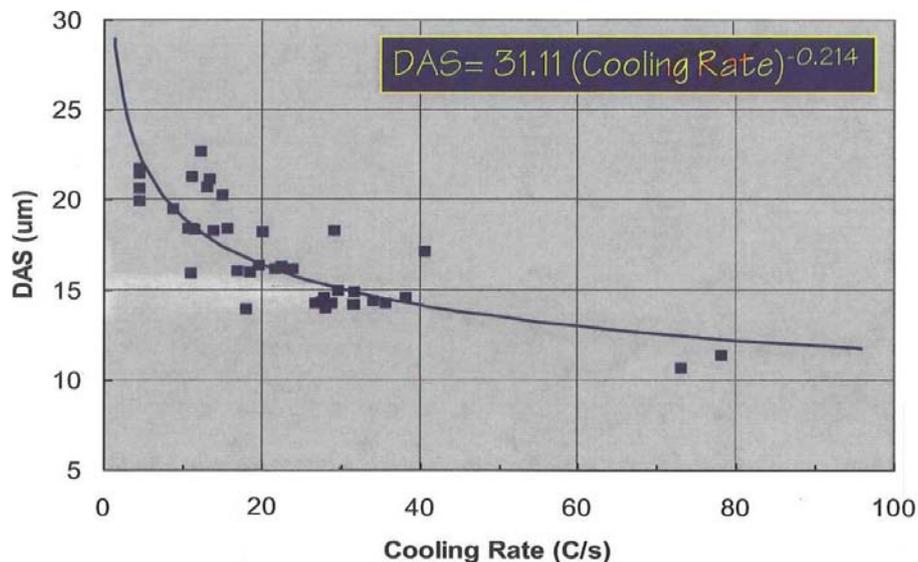
O resfriamento do revestimento após sua aplicação na superfície da chapa é fator mais determinante na geração do defeito e já foi evidenciado em alguns estudos realizados.<sup>(2)</sup>

O mecanismo de solidificação segue a sequência: precipitação do silício e em seguida a solidificação do alumínio e do zinco. Em condições adequadas de resfriamento, ou seja, em determinadas taxas de resfriamento, o silício se precipita na base do revestimento servindo de ponto de nucleação para a cristalização do alumínio e do zinco, gerando cristais com tamanho e aspecto segundo demanda do cliente.<sup>(3)</sup>

Já em condições de resfriamento além do esperado, o silício tende a se precipitar na região mediana e na superfície do revestimento gerando pontos de nucleação em

posições diferentes do observado nas condições visadas e por consequência gera um aspecto indesejado em relação ao solicitado pelo cliente.<sup>(3)</sup>

A taxa de resfriamento possui influência no espaçamento interdendrítico (DAS) sendo que quanto maior a taxa de resfriamento, menor o espaçamento,<sup>(2)</sup> tal como pode ser visualizado no gráfico da Figura 9.



**Figura 8.** Relação entre DAS x Taxa de resfriamento.<sup>(2)</sup>

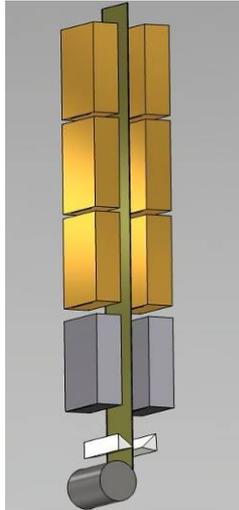
Os resultados da medição do DAS mencionados na Tabela 1 mostram um espaçamento menor para a amostra com defeito, sendo que as bobinas defeituosas foram processadas com uma maior taxa de resfriamento, estando alinhado com a tendência encontrada no gráfico da Figura 9.

A variável “taxa de resfriamento” não é controlada isoladamente no processo devido a dificuldade de monitoramento das temperaturas na torre de resfriamento. Dessa forma, as variáveis conhecidas são: temperatura do pote, temperatura no top roll (após o resfriamento) e potência dos quatro resfriadores da torre, além da velocidade da linha. Todos esses fatores tem influência direta na taxa de resfriamento.

Foi observado que temperaturas do pote de AlZn acima de 600°C geram o defeito, pois os resfriadores trabalham visando o preset de temperatura após o resfriamento, a qual normalmente é constante. Sendo a temperatura inicial maior, consequentemente a taxa de resfriamento também o será, gerando o defeito.

Além da influência na taxa de resfriamento, trabalha-se com a hipótese que haja uma maior interferência da temperatura do banho na formação do defeito. Porém ainda não é conhecido como isso ocorre. De qualquer maneira, os experimentos comprovam de forma consistente que temperaturas altas no banho geram o defeito. Sendo assim, o controle da temperatura tornou-se primordial para a redução do defeito, conforme será melhor adiante.

Como pode ser visualizado na Figura 10, há quatro resfriadores no processo: o primeiro é móvel e sua potência pode ser ajustada manualmente; já os outros três são fixos e ajustados automaticamente. Como o defeito está relacionado com o início da solidificação o resfriador móvel tornou-se um fator importante na determinação das melhores condições do processo para não ocorrência da mancha de revestimento.



**Figura 10.** Subida da torre de resfriamento (quatro zonas na subida, sendo a primeira móvel)

Outro fator observado durante a geração do defeito é a vibração da chapa na torre. Após testes foi identificado que o aumento das tensões e modificações na imbricação melhora o aspecto do defeito, pois assim a vibração diminui. Em materiais de largura estreita a incidência da macha de revestimento é maior, justamente devido à maior vibração.

A velocidade da linha tornou-se o fator primordial na redução do defeito. Reduzindo a velocidade, conseqüentemente a taxa de resfriamento é menor e o defeito não é gerado. Porém, essa ação interfere de maneira negativa na produtividade do processo e conseqüente faturamento da empresa.

Em relação à quantidade de Si no banho, foi identificado que há certa influência, porém não é tão significativa, visto que mesmo com um teor baixo de Si se a taxa de resfriamento for muito alta o defeito ocorrerá da mesma maneira.

### **3 RESULTADOS**

#### **3.1 Comparação das Variáveis de Processo das Amostras com e sem Defeito**

As amostras com e sem defeito analisadas acima são de bobinas produzidas no mesmo dia, porém com aproximadamente 8 horas de diferença (a amostra com defeito foi produzida antes).

A Tabela 3 mostra a diferença dos parâmetros no processamento das duas bobinas. Nesse caso específico ficou claro que a geração do defeito ocorreu devido a uma falha no termopar de referência, fazendo a temperatura real do pote atingir 608°C. As demais alterações foram realizadas na tentativa de amenizar o defeito enquanto a temperatura voltava ao normal.

**Tabela 3.** Comparação de dados do processo

	Amostra com defeito	Amostra sem defeito
Velocidade (m/min)	170	150
Temperatura do pote (°C)	608*	593
Temperatura no top roll (°C)	300	300
Temperatura de imersão (°C)	535	534,9
Tensão na torre (kgf/mm <sup>2</sup> )	1,9	2,2
Imbricação (mm)	30	25
Potência do resfriador móvel (%)	20	25
Potência dos resfriadores fixos (%)	43	23
Teor de Si no banho (%)	1,37	1,38

Pode-se observar que as potências dos resfriadores fixos estão diretamente ligadas com a velocidade da linha e a temperatura do banho. Pois com uma redução de 20m/min e 15°C a potência reduziu praticamente pela metade.

### 3.2 Melhorias Realizadas no Processo Visando à Redução do Defeito

- Diminuição da temperatura visada do pote em 5°C (de 600°C para 595°C) (redução da taxa de resfriamento).
- Implementação de controles para evitar medições erradas de temperatura
- Diminuição do teor de Si visado de 1,6% para 1,45%.
- Aumento da temperatura visada do *Top Roll* de 270°C para 300°C (redução da taxa de resfriamento).
- Aumento da tensão da torre e da imbricação de acordo com a necessidade de redução da vibração da chapa no pote.

Há casos de aparecimento da mancha de revestimento em que a temperatura do pote está correta (visado igual a 595°C) diferentemente do caso exposto acima. Nessas situações nota-se que o maior problema é a vibração da chapa no pote, fazendo-se necessárias as ações relativas à tensão e altura da navalha e em últimos casos a redução de velocidade da linha.

## 4 CONCLUSÕES

As análises realizadas comparando amostras com e sem o defeito mancha de revestimento contribuem para um melhor entendimento do mecanismo de geração do mesmo norteando as ações para contenção e redução de sua incidência.

A origem do defeito está diretamente relacionada à posição das partículas de silício na camada de revestimento, sendo que quanto mais concentrado próximo da superfície maior a intensidade do defeito.

A variável de processo, a qual possui maior influência no comportamento do silício e por consequência na geração do defeito é a taxa de resfriamento na torre de resfriamento após pote de AlZn. Mecanismos de prevenção e planos de reação

foram elaborados visando evitar a geração do defeito ou contê-lo em caso de ocorrência.

A medida mais eficaz para a redução do defeito foi a redução e o controle de temperatura do banho, o que leva a acreditar que exista realmente alguma relação com esse parâmetro diferente da conhecida (influência na taxa de resfriamento).

## **REFERÊNCIAS**

- 1 VILLARREAL, S.; SALINAS, A.. Mottling and its Relation with Process Variables in Ternium HYLSA G3 55Al-Zn line. Mexico
- 2 BIEC Internacional. 55% Aluminum-Zinc Coated Sheet Steel: Operating Technology Manual. Vancouver, USA. 1994.
- 3 CHEN, R.Y.; WILLIS D.J.; BLAKE, N.W. Silicon in Zincalume Coatings. InterZAC'98