

# **SIMULAÇÃO FÍSICA DO COMPORTAMENTO DA CAMADA DE ESCÓRIA NA SUPERFÍCIE DO AÇO DE UMA PANELA AGITADA COM GÁS<sup>(1)</sup>.**

*Marcelo Freitas Caregnato<sup>(2)</sup>*

*Fernanda Pilla Coutinho<sup>(3)</sup>*

*Gabriel Pieta Dias<sup>(4)</sup>*

*Diego Andreis<sup>(5)</sup>*

*Julio Morales Pereira<sup>(6)</sup>*

*Magda Galant François<sup>(7)</sup>*

*Antônio C. F. Vilela<sup>(8)</sup>*

A presença de uma camada de escória é importante na fabricação do aço. Durante a agitação do aço líquido, desenvolve-se na superfície do banho uma área não coberta pela escória, chamada de “olho da pluma”, e simultaneamente fenômenos de emulsificação, ambos geradores de inclusões. Os objetivos desse trabalho são de desenvolver uma técnica que permita visualizar os fenômenos citados e quantificar o tamanho do “olho da pluma” através do emprego de um modelo físico. Para este estudo, utilizou-se um modelo físico de uma panela siderúrgica agitada com gás, e como simuladores do aço e da escória, água e querosene pigmentado respectivamente. Por meio de uma técnica fotográfica e um software comercial, os estudos foram realizados. Entre as variáveis operacionais testadas estão: vazão de gás, posição de injeção de gás e diferentes espessuras de camada de escória. Os resultados experimentais demonstram que o tamanho do olho da pluma aumenta com o aumento da vazão de gás e diminui com o aumento da camada de escória. Verifica-se também que a emulsificação de escória aumenta com a vazão de gás e espessura da camada de escória e com o deslocamento da posição do injetor de gás para o centro da panela. Estes resultados estão de acordo com os resultados obtidos por outros pesquisadores.

Palavras-chaves: Modelamento Físico de Panela Siderúrgica; Olho da Pluma; Emulsificação de Escória; Camada de Escória.

(1) 5<sup>o</sup> ENEMET, 25 a 29 de Julho de 2005, Belo Horizonte e Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil

(2) Graduando em Engenharia Metalúrgica - UFRGS

(3) Graduando em Engenharia Metalúrgica - UFRGS

(4) Graduando em Engenharia Metalúrgica - UFRGS

(5) Graduando em Engenharia Metalúrgica – UFRGS

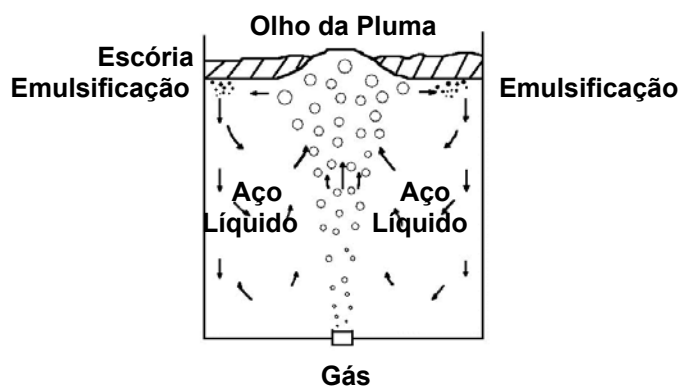
(6) Engenheiro Metalúrgico, Doutorando do LASID/PPGEM/UFRGS

(7) Engenheira Química, Dra., Pesquisadora LASID/PPGEM/UFRGS

(8) Engenheiro Metalúrgico, Dr. Ing., Professor do DEMET/PPGEM/UFRGS

## INTRODUÇÃO

A camada de escória presente na superfície do aço na panela siderúrgica tem como objetivo isolar termicamente o banho, protegê-lo da reoxidação e ajudar na remoção de impurezas (óxidos e sulfetos) (Mazumdar D., 1995, p. 1). Durante a agitação do aço líquido através da injeção de um gás inerte ocorre na interface metal/escória a emulsificação da escória no aço, e na superfície desenvolve-se uma área descoberta denominada “olho da pluma” (Figura 1).

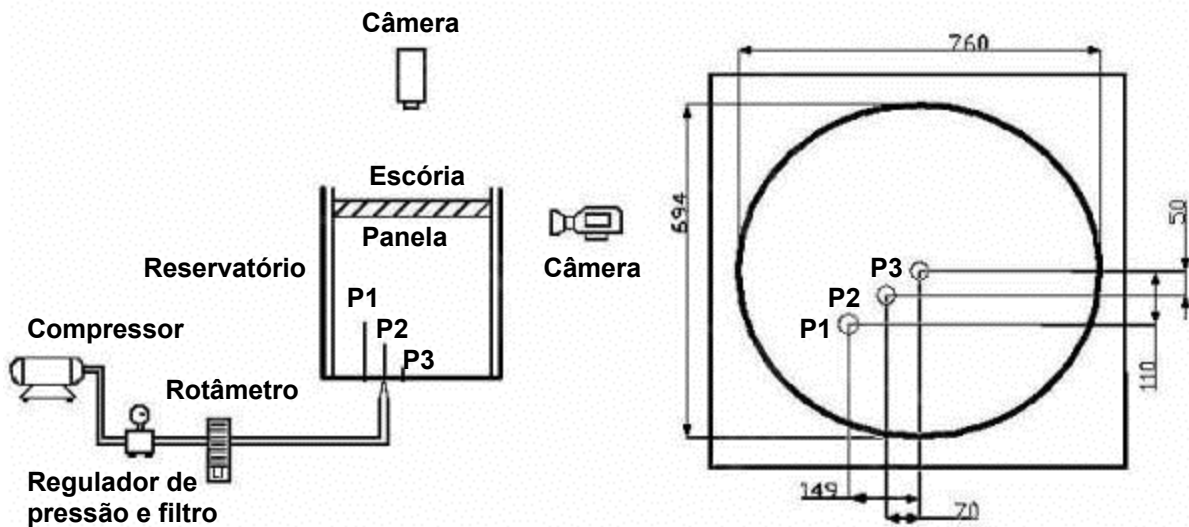


**Figura 1 – Representação esquemática de uma panela siderúrgica agitada com gás na presença de uma camada de escória. Fenômenos observados: a) emulsificação da escória no aço; b) área descoberta na superfície metal-escória (“olho da pluma”).**

Modelos físicos vêm sendo utilizados como ferramentas para a visualização e quantificação dos fenômenos físico-químicos e a influência de variáveis operacionais que ocorrem durante o tratamento de agitação do aço líquido (Mazumdar D., 1995, p. 10). Assim, por meio de um modelo físico de panela siderúrgica, visando à otimização dos processos e a qualidade do produto final, foram realizados estudos sobre o comportamento da emulsificação de escória e o tamanho do olho da pluma em função de diferentes espessuras da camada de escória e da vazão de gás injetada, com o objetivo de desenvolver uma técnica que permita visualizar os fenômenos citados e quantificar o tamanho do olho da pluma.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo físico da panela foi construído em acrílico na escala 1:3 correspondente a uma panela industrial elíptica de 65t. Utiliza água a temperatura ambiente para simular o aço e querosene pigmentado como simulador da escória (Freitas S. L., 2000, p. 10, Ogawa k., 1989, p. 152). O banho é agitado através da injeção de ar comprimido pelo fundo da panela em diferentes posições (P1, P2 e P3). A posição de injeção de gás 3 (P3) está localizada no centro da panela. As demais posições de injeção de gás (P1 e P2), estão localizadas a uma certa distância da posição P3, como mostra a Figura 2.



Vista frontal do modelo físico da panela

Vista superior da panela utilizada

P1	Posição de injeção de gás 1
P2	Posição de injeção de gás 2
P3	Posição de injeção de gás 3

Figura 2 – Representação esquemática da configuração experimental utilizada para os estudos do comportamento da emulsificação de escória e tamanho do olho da pluma.

### Olho da Pluma

Para o estudo do tamanho do comportamento do olho da pluma foram filmados ensaios (vista superior) da superfície do banho com duração de um minuto e vinte segundos, utilizando a posição de injeção de gás 3 (P3) para diferentes vazões de gás (7, 12, 17, 25, 36 NI/min) e espessuras de camada de escória (30 e 40 mm). Um estudo qualitativo foi realizado através destas imagens obtidas.

Posteriormente, para a análise quantitativa desses ensaios filmados, foram capturados um total de 20 quadros. Estes foram processados através de um *software* comercial (*Image Tools*), com intervalos de 4 segundos, para determinar a área do olho da pluma. A Figura 3 mostra um exemplo destas imagens. Assim foi obtido o diâmetro do olho da pluma para cada quadro. O valor médio dos diâmetros medidos pelo *software* foi tabulado em função da vazão de gás (para as duas espessuras de camada de escória estudadas, 30 e 40mm).



Figura 3 – Exemplo de imagem da área delimitada pelo *software Image Tools* para a determinação do tamanho do olho da pluma.

### **Emulsificação de escória**

Para o estudo da emulsificação de escória foram realizados ensaios com querosene simulando a escória para vazões de gás de 12, 17, 22, 39NL/min nas três posições de injeção de gás (P1, P2 e P3). A espessura da camada de escória foi constante (16mm). A interface querosene/água foi filmada (vista frontal) para todos os ensaios. Desta filmagem, foi realizada uma análise qualitativa do comportamento da emulsificação.

No estudo da influência da espessura de escória sobre a vazão de gás para o início da emulsificação (vazão de gás crítica), foram filmados ensaios da interface água/querosene (vista superior) com 20 segundos de duração, na posição de injeção de gás 2 (P2), para espessuras de camada de escória de 16 e 30mm e vazões de 7, 12, 14NL/min. Para a análise qualitativa, foram selecionados os quadros das imagens correspondentes a 3 e 20 segundos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Olho da Pluma**

A Figura 4 apresenta a seqüência de imagens da abertura do olho da pluma obtidas no modelo físico em função das diferentes vazões de gás e espessuras da camada de escória para a posição de injeção de gás 3 (P3):

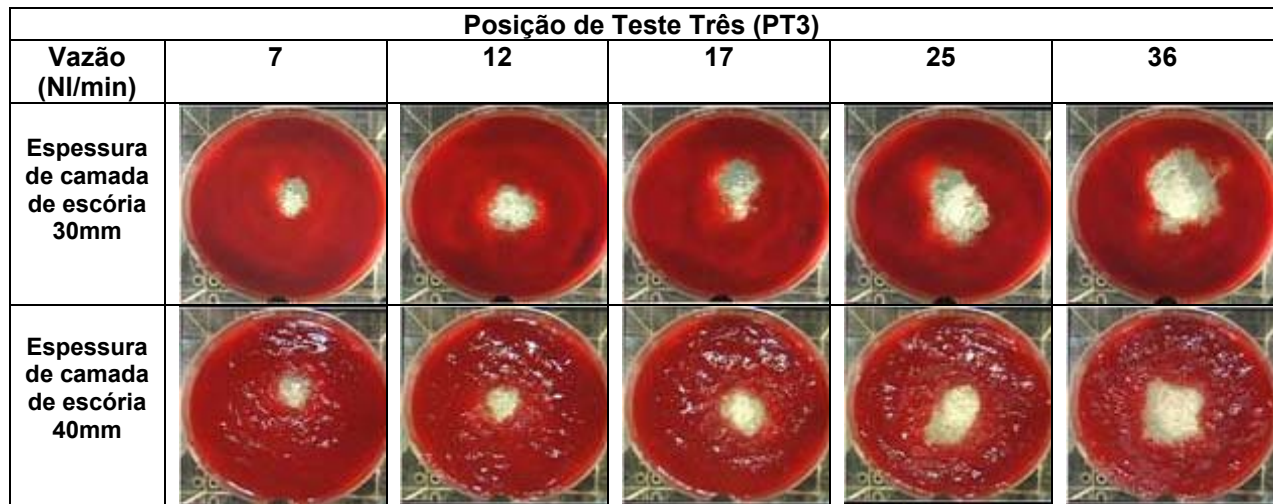


Figura 4 – Seqüência de imagens da abertura do olho da pluma para diferentes vazões de gás e espessuras de camada de escória.

Como se pode observar, a abertura do tamanho do olho da pluma cresce com o aumento da vazão de gás e diminui com o aumento da camada de escória. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Han Whan Jeong, 2001, p.1170 e Yonezawa K., 1999, p. 414.

Resultados quantitativos do processamento destas imagens são apresentados na Figura 5, que reproduz a mesma tendência de comportamento observada na Figura 4. Também pode-se observar que o diâmetro do tamanho do olho da pluma está relacionada linearmente com a vazão de gás

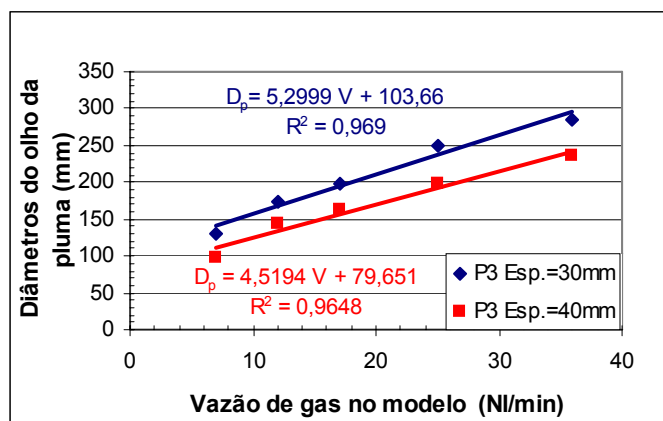


Figura 5 - Abertura do olho da pluma em função da vazão de gás e diferentes espessuras de escória. Posição de injeção de gás 3 (P3).

### Emulsificação de escória:

A Figura 6 mostra os resultados experimentais da emulsificação de escória para uma espessura de camada de escória constante de 16mm em função das diferentes vazões e posições de injeção de gás.













	Posição de Injeção de Gás:		
	P1	P2	P3
Vazão de gás 12NI/min			
Vazão de gás 17NI/min			
Vazão de gás 22NI/min			
Vazão de gás 39 NI/min			

Figura 6 - Emulsificação de escória em função das diferentes vazões e posições de injeção de gás. Espessura da camada de escória: 16mm.

Pode-se observar, a emulsificação é maior à medida que se aumenta vazão de gás e também com o deslocamento da posição de injeção de gás para o centro da panela. Os resultados encontrados por Mietz J., 1991, p. 6 e Wei T., 1992, p. 65 também mostram essa mesma tendência.

Na Figura 7, mostram-se os resultados experimentais da influência da espessura da camada de escória sobre o início da emulsificação (vazão de gás crítica) para a posição de injeção de gás 2 (P2). Pode-se observar que para a vazão de gás de 7NI/min, a camada de escória de 16mm não inicia emulsificação, apenas sofre uma pequena deformação na interface querosene/água, diferente da camada de 30 mm

onde a emulsificação já é observada. Com o aumento da vazão de gás a camada de escória de 16mm também inicia a emulsificação, porém criando gotas de escória menores e em menor quantidade do que a camada mais espessa. Manabu Iguchi, 1994, p. 166 também observa esse tipo de comportamento.

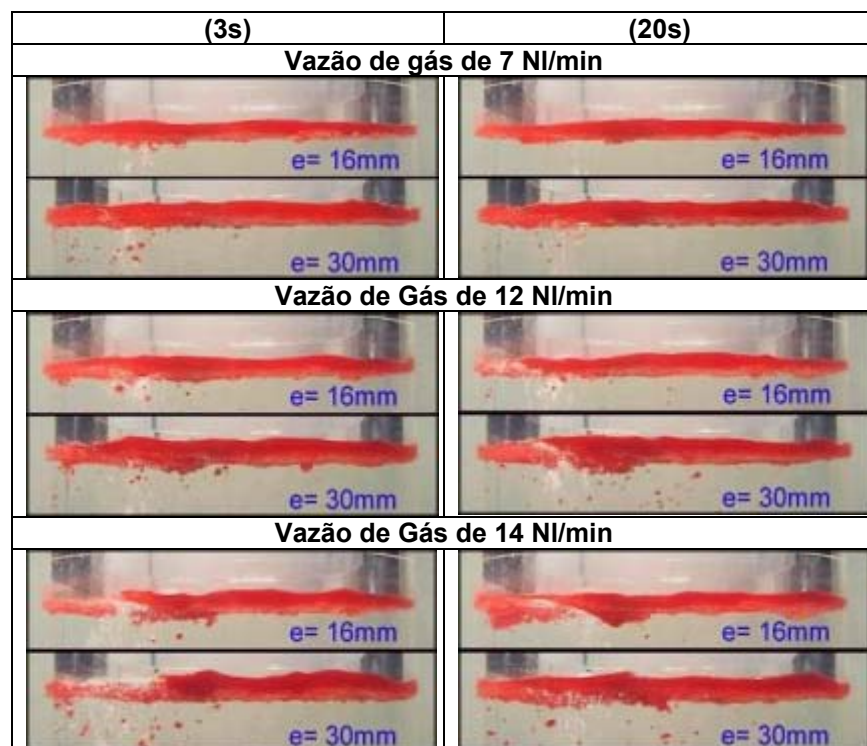


Figura 7 – Visualização das vazões críticas para o início da emulsificação para diferentes espessuras de escória. Posição de injeção de gás 2 (P2).

## **CONCLUSÕES**

1. A técnica experimental empregada mostra-se sensível para a visualização e quantificação do comportamento da escória numa panela agitada com gás.
2. O diâmetro do olho da pluma aumenta à medida que a vazão de gás injetada é maior e diminui com o aumento da espessura de camada de escória, o que reduzirá a reoxidação do aço.
3. O efeito conjunto do aumento da vazão de gás e deslocamento da posição do injetor de gás para o centro da panela provoca maior emulsificação de escória o que intensifica a cinética das reações metal/escória.
4. A vazão de gás necessária para o início da emulsificação (vazão de gás crítica) diminui com o aumento da camada de escória.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Mazumdar D. and Guthrie R.I.L., "The Physical and Mathematical Modeling of Gas Stirred Ladle Systems", ISIJ International, Vol. 35 (1995), N° 1, pp.: 1-20.
2. Freitas S. L., "Estudo do Escoamento e do Arraste de Escória no Molde de Lingotamento Contínuo", Dissertação de Mestrado UFRGS/PPGEM, 2000, pp.:1-57
3. Ogawa K. and Onque T., "Mixing and mass Transfer in Ladle refining Process", ISIJ International, Vol. 29 (1989), N° 2, pp.: 148-153.
4. Han Whan Jeong e colaboradores, "Transient Fluid Flow Phenomena in a gas Stirred Liquid Bath with top oil layer – Approach by Numerical Simulation and water model experiments", ISIJ International, Vol. 41 (2001), N° 10, pp.: 1165-1173.
5. Yonezawa K. and Schwerdtfeger, "Spout Eyes Formed by an Emerging Gas Plume at the Surface of a Slag-Covered Metal Melt", Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 30B, June (1999), pp.: 411-418.
6. Mietz J., Schneider S., Oeters F., "Model experiments on mass transfer in ladle metallurgy", Steel research 62 (1991) N°1, pp.: 1-9.
7. Wei T., Oeters F., "A model test for emulsion in gas-stirred ladles", Steel research 63 (1992) N°2, pp.: 60-68.
8. Manabu Iguchi, Yutaka Sumida, Ryusuke Okada, Zen-ichiro Morita, "Evaluation of critical gas flow rate for the entrapment of slag using a water model", ISIJ International, Vol 34 (1994), N° 2, pp.: 164-170.

## **PHISYCAL MODELING ON COMPORTAMENT SLAG PHASE IN THE BATH SURFACE IN GAS STIRRED LADLE.**

The presence of a slag layer is important in steelmaking. During gas stirring metal melt it is observed on the surface of bath a region that is not covered by slag, know as "plume eye" and simultaneous an emulsification phenomena, both considered inclusion generators. The aim of work is to develop a technique for visualization these phenomena and quantification of the size plume eye using a phisycal model. Water simulates liquid steel and kerosene is used as model slag. A high- speed camera video and software comercial was also used. Between operating variables is gas flow rate, gas position injection and diferent thickness of slag layer. The experimental results show that size plume eye increase with gas flow rate and decrease with increment of the slag layer. It is also observed that the slag emulsification increase with the gas flow rate and the slag layer, and injection position move to a center of the vessel. Similar results have been observed by other researchers.

Key-Words: Physical Model, Plume Eye, Slag Emulsification, Slag Layer.