

# DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO PROJETO DE DISTRIBUIDOR <sup>1</sup>

Afrânio Márcio Costa <sup>2</sup>  
Carlos Antônio Silva <sup>3</sup>  
Henrique Silva Furtado <sup>4</sup>  
Marcelo Macedo Fialho <sup>4</sup>  
Rodrigo Nazareth Borges <sup>5</sup>  
Zelber Dettogne do Nascimento <sup>6</sup>

## Resumo

No processo de lingotamento contínuo existe uma demanda cada vez maior no sentido de redução de custo e de melhoria da qualidade. A redução de custo envolve a redução de sobras e de descartes, os quais, por outro lado, são efetuados para garantir um nível de qualidade adequada. Assim o grande desafio é compatibilizar estas duas variáveis, que a primeira vista parecem ser excludentes. O presente trabalho foi realizado para avaliar uma nova proposta de geometria de distribuidor, que tem como objetivo reduzir a sobra de aço e ao mesmo tempo melhorar a qualidade dos produtos. Os resultados de simulações numéricas e físicas (modelo em água) mostraram que esta nova configuração apresenta um padrão de escoamento mais favorável à remoção de inclusões do que aquela atualmente em uso. Os resultados dos testes industriais mostraram um ganho médio de 1,7 t de aço por distribuidor, que representa aproximadamente US\$100.000 por ano, considerando somente gastos com recuperação de sucata. Além disto, estes testes mostraram ganhos de qualidade tanto no laminado a quente, quanto no laminado a frio e galvanizados, com a redução significativa dos índices de esfoliação química.

**Palavras-chave:** Lingotamento contínuo; Projeto; Distribuidor; Simulação.

## DEVELOPMENT OF A NEW TUNDISH INNER DESIGN

### Abstract

Upon continuous casting process there is an increase market demand that is the drive force to reduce costs and increase quality. Cost reduction involves steel losses reduction (i.e., excess and discards) which are previously defined in order to attend a best level of quality. Therefore, this demand from the market is a big challenge, because cost reduction and quality improvement seem to be excluding at first sight. An analysis was performed in order to evaluate the efficiency of new inner tundish design (YES) compared to the current one. It is focused on reduction of liquid steel remaining in the tundish after its change and on the improvement of slab quality. Results of water simulation and numerical simulation have shown that the new configuration have a flow pattern more suitable for inclusion removal then the current one. Industrial trials revealed an average reduction of the tundish skull of around 1.7 t, which provide an estimated annual benefit of US\$100.000. Furthermore, inspections on hot, cold and galvanized coils produced from slabs caster using YES system have shown a reduction of sliver index.

**Key words:** Continuous casting; Tundish; Simulation; Industrial trail.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Especialista de Controle Integrado de Produtos da CST Arcelor Brasil, Vitória, ES, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Professor Associado, Depto. Metalurgia, Escola de Minas da UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Especialista de Lingotamento Contínuo da CST Arcelor Brasil, Vitória, ES, Brasil.*

<sup>5</sup> *Engenheiro Mecânico, Gerente do Departamento de Simulação Numérica e Mecanismos da Magnesita S.A., Contagem, MG, Brasil.*

<sup>6</sup> *Engenheiro de Materiais, Coordenador Técnico de Projetos da Magnesita S.A., Vitória, ES, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

O lingotamento contínuo é um processo eficiente para a produção de placas com elevada produtividade, alto rendimento e com excelente qualidade. Não obstante, este processo tem sido cada vez mais impulsionado pelas forças de mercado na direção de expandirem os seus limites teóricos de eficiência, de forma a obter produtos com crescentes níveis de qualidade e de baixo custo.

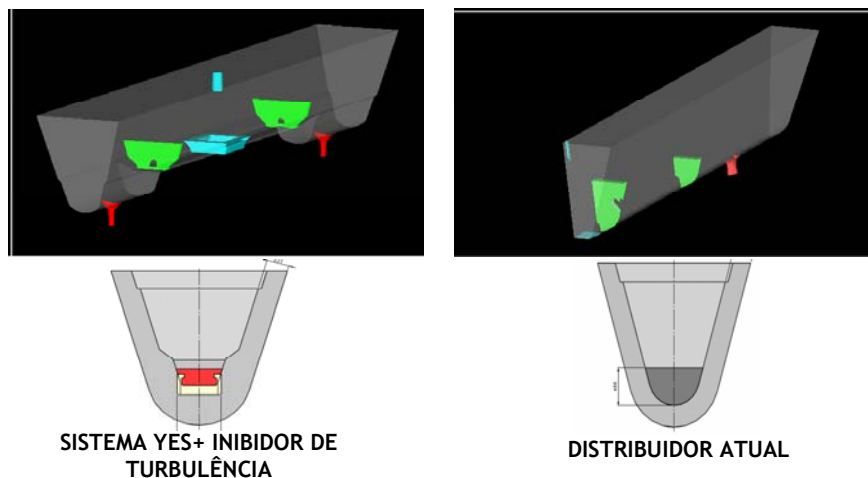
O presente trabalho tem foco no rendimento de lingotamento e na qualidade do produto laminado a partir das placas. No primeiro caso, o rendimento de lingotamento é inversamente proporcional às sobras de aço na panela e no distribuidor, aos descartes inerentes aos processos de troca de distribuidor e à eventuais problemas operacionais. Por outro lado, a qualidade, cujo principal problema é a esfoliação devido ao aprisionamento de alumina, é função direta dos pesos das sobras e descartes. Portanto, o grande desafio é desenvolver sistemas capazes de maximizar o rendimento e a qualidade ao mesmo tempo.

Outro objetivo deste trabalho é avaliar uma proposta de projeto interno de distribuidor, com foco na redução da sobra de aço no distribuidor e na melhoria da qualidade do produto laminado.

## 2 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

Os desenvolvimentos foram realizados através de simulações computacionais e físicas (modelo em água), com complementação de testes industriais, para validação e apuração dos benefícios.

As diferenças entre a nova proposta de geometria interna do distribuidor (*Yield enhancement system-YES*) e aquela atualmente em uso podem ser observadas na Figura 1. O sistema YES é composto de um inibidor de turbulência central, duas barreiras furadas laterais e dois poços nas regiões de saída do distribuidor, enquanto que o distribuidor atual é formado apenas por duas barreiras laterais.

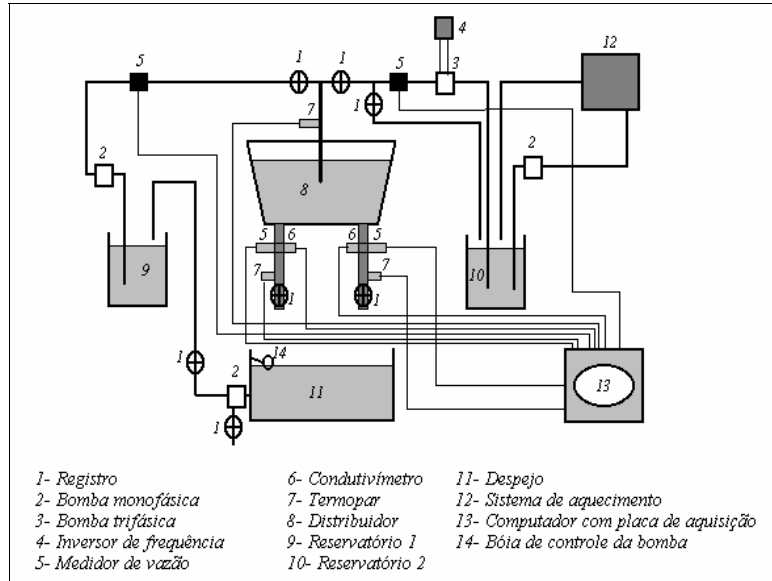


Fonte: CST Arcelor Brasil

**Figura 1.** Geometrias internas dos distribuidores analisados.

## 2.1 Simulação Física em Água

Ambas geometrias apresentadas na Figura 1 foram implementadas em um modelo em acrílico na escala 1:3, no laboratório de simulação experimental da Escola de Minas e Metalurgia da Universidade Federal de Ouro Preto, cuja montagem esquemática é mostrada na Figura 2.

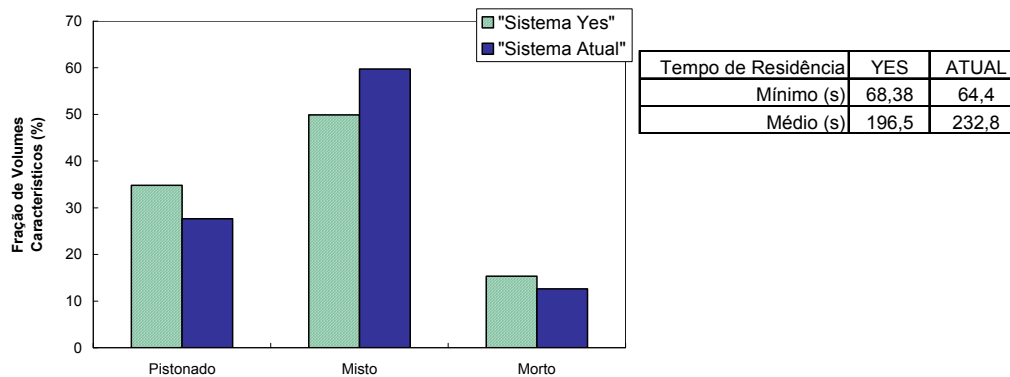


Fonte: UFOP

Figura 2. Montagem esquemática do simulador a frio do distribuidor.

Os ensaios foram realizados para avaliar os padrões de escoamento das duas configurações, através de técnicas de visualização e de injeção de traçador.

Na Figura 3 são apresentados os resultados dos tempos de residência e dos volumes característicos obtidos nos testes com traçador. Como pode ser observado, o sistema YES apresenta um fluxo pistonado maior que, segundo a literatura, é mais apropriado para a remoção das inclusões.<sup>(1-4)</sup> Além disto, este sistema parece aproveitar melhor o distribuidor, uma vez que a fração de volume morto é menor. No caso da ocorrência de misturas de aços diferentes no distribuidor, a configuração YES, segundo os resultados, deverá produzir uma zona heterogênea de composição química menor.



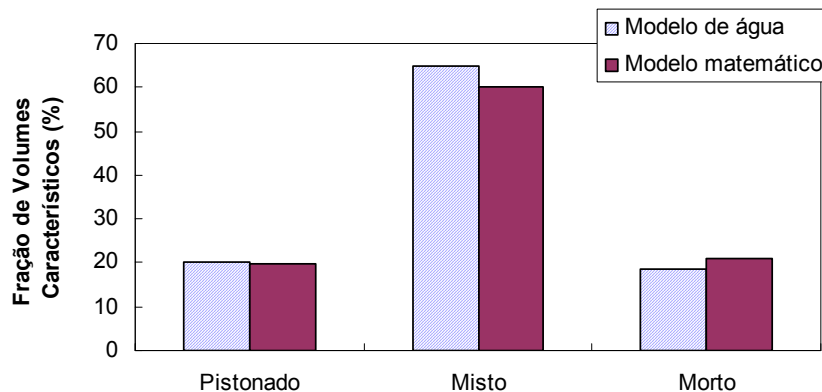
Fonte: CST Arcelor Brasil

Figura 3. Resultados das simulações no físico.

Segundo os resultados dos volumes característicos, o sistema *YES* parece ser mais eficiente do que o sistema atualmente em uso em relação à remoção de inclusões; entretanto, o seu menor tempo médio de residência, decorrente da redução do seu volume útil, coloca dúvidas sobre esta hipótese. Por este motivo, e pelo fato destas simulações não levarem em conta os aspectos térmicos, foram desenvolvidos modelos matemáticos para análises mais aprofundadas.

## 2.2 Simulação Numérica Computacional

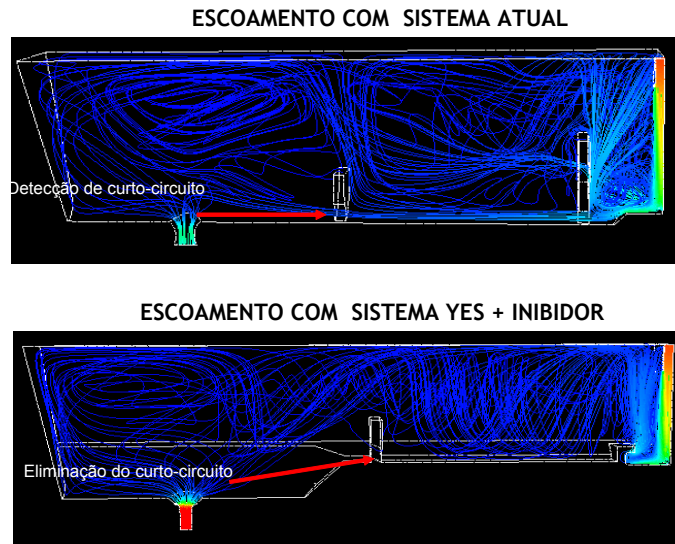
Nesta etapa dos trabalhos, foram desenvolvidos modelos numéricos tridimensionais em regime permanente e turbulento do escoamento do aço no distribuidor, utilizando o software comercial CFX. Estes solucionam as equações de Navie-Stokes e da energia, obtendo os campos de velocidade e de temperatura do aço líquido. Através dos mesmos foi possível simular também os testes com traçadores realizados no modelo físico, com o objetivo de validar a abordagem numérica. De fato, conforme mostra a figura 4, os resultados de ambas as modelagens se aproximam, sugerindo a existência de consistência física dos cálculos.



Fonte: CST Arcelor Brasil

**Figura 4.** Resultado comparativo dos volumes característicos.

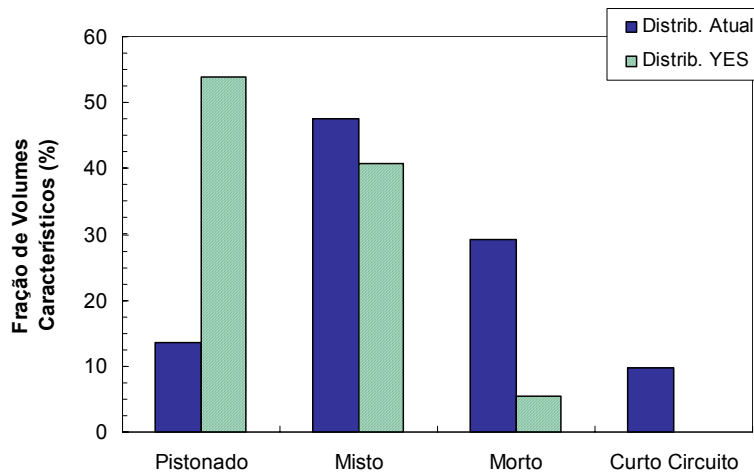
Com o modelo validado, foram realizados processamentos que mostram as trajetórias das partículas no interior do aço líquido (Figura 5), resultante do campo de velocidade. Como pode ser observado nesta figura, o modelo atualmente em uso permite uma passagem direta de partículas da entrada até a saída junto ao fundo do distribuidor. Este “curto circuito” é provocado pela existência de um furo de drenagem na barragem, que tem como função reduzir a sobra de aço no interior do distribuidor. No entanto, este fenômeno é prejudicial à qualidade das placas, pois qualquer inclusão capturada por este escoamento tem uma probabilidade muito grande de ser arrastada para o interior do molde e se incorporar-se à placa. Por outro lado, observa-se também nesta figura que o sistema *YES* não apresenta o “curto circuito”. Isto se deve ao direcionamento ascendente do fluxo, propiciado pelo ângulo do furo de saída de seu dique, associado à presença do poço na saída do distribuidor.



Fonte: CST Arcelor Brasil

**Figura 5.** Resultado do modelo numérico do escoamento de partículas.

Os resultados dos volumes característicos obtidos com o modelo numérico utilizando o aço líquido como sendo o fluido são apresentados na Figura 6. Como pode ser observado, o modelo numérico apresenta resultados cujas tendências são semelhantes às aquelas obtidas no modelo físico; entretanto, ele estima um valor de fluxo pistonado bem superior. Isto pode ser devido ao efeito do campo de temperatura, que está acoplado ao campo de velocidade do aço líquido.

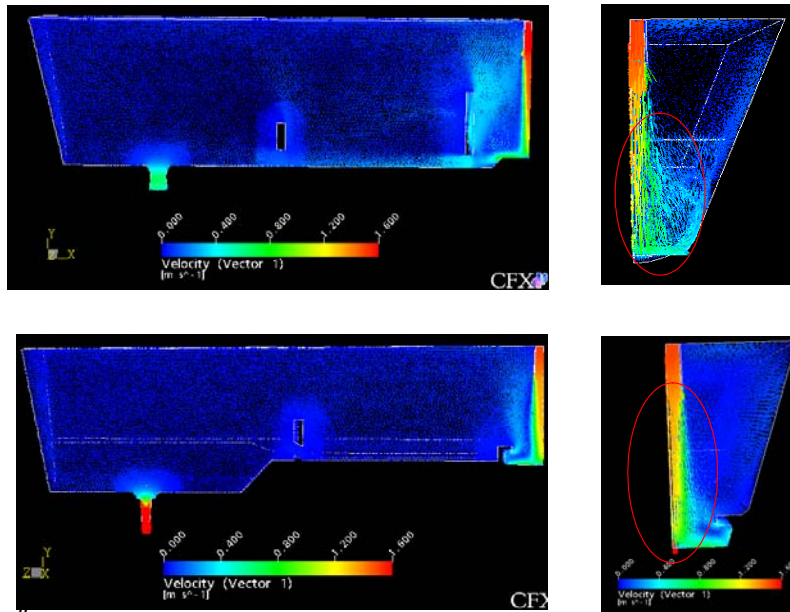


Fonte: CST Arcelor Brasil

**Figura 6.** Volumes característicos obtidos dos modelos numéricos aplicados a aço.

Na Figura 7 pode-se observar que fluxo de aço na entrada do distribuidor atual apresenta um maior espalhamento, fenômeno este que pode estar associado à maior turbulência observada nos testes com o modelo físico. Esta maior turbulência pode favorecer o arraste de escória de distribuidor para o interior do aço líquido e assim aumentar a probabilidade de ser arrastada para o molde. Por outro lado, o sistema YES, por apresentar um inibidor de turbulência nesta região, reduz a velocidade do

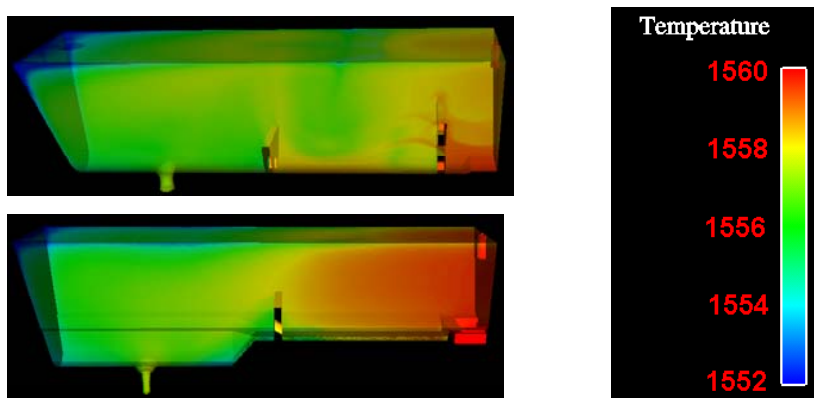
escoamento e provoca um menor espalhamento do fluxo. Portanto, sob o aspecto de remoção de inclusões, o sistema YES parece ser mais adequado.



Fonte: CST Arcelor Brasil

**Figura 7.** Resultado do modelo numérico do campo de velocidade do fluxo de aço.

A distribuição térmica do aço líquido com a adoção do sistema YES foi analisada pela observação do campo de temperatura calculado (Figura 8). Como pode ser observado, neste sistema as temperaturas permanecem superiores ao do distribuidor atual, principalmente na região compreendida entre a entrada do aço e o primeiro dique. Observa-se também um ligeiro aumento de temperatura estimada na região próxima ao furo de saída do distribuidor YES. Estas maiores temperaturas são explicadas pelo aumento da resistência térmica do fundo do distribuidor, cuja elevação demanda um maior volume de refratário, assim como, pela menor turbulência do aço na região de entrada, reduzindo a difusão de calor. Desta forma, no aspecto térmico estima-se que o sistema YES apresente um resultado superior ao atual.



Fonte: CST Arcelor Brasil

**Figura 8.** Resultado do modelo numérico do campo de temperatura do aço.

## 2.3 Testes Industriais

Para a realização dos testes industriais foi montado um distribuidor com a configuração YES. Numa primeira etapa foi avaliado o desempenho deste distribuidor quanto à estabilidade do conjunto refratário e a retirada de cascão de aço. Os resultados não mostraram qualquer desgaste anormal do refratário, evidenciaram a estabilidade do inibidor de turbulência e do dique furado e demonstraram facilidade na remoção do cascão conforme observado na Figura 9.

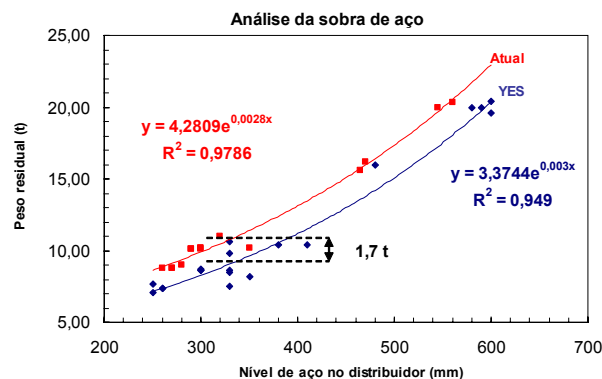


Fonte: CST Arcelor Brasil

**Figura 9.** Resultado da retirada de cascão de aço.

Numa segunda etapa foram realizados testes para avaliar a diferença de queda de temperatura do aço entre o refino e o contínuo para os dois sistemas. Num universo de 89 distribuidores, a queda de temperatura média por corrida no sistema YES ficou aproximadamente 1°C inferior ao do sistema atual (confiabilidade de 95%). Esta diferença é muito pequena, porém é consistente com os resultados do modelo numérico.

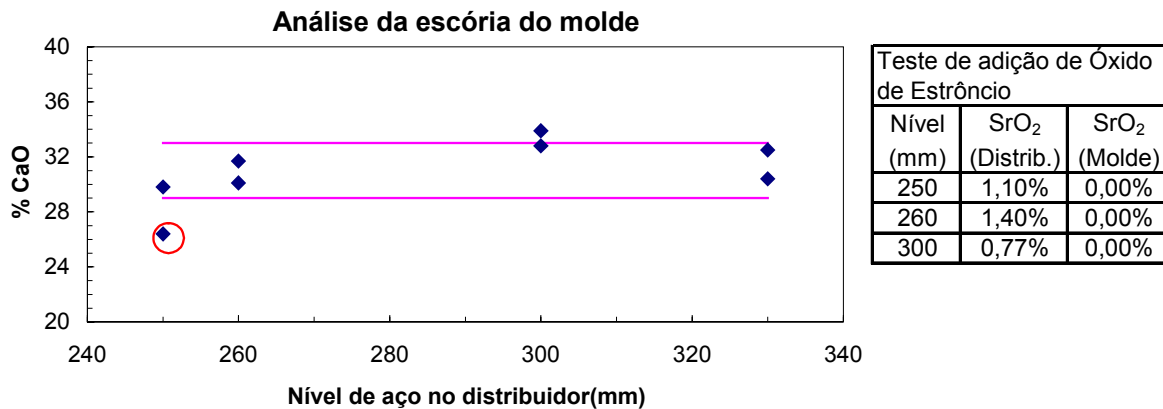
Na seqüência dos testes industriais a atenção foi focada no peso de cascão residual no final de lingotamento no distribuidor. Na Figura 10, pode-se observar a redução do peso de aço residual em função da altura no sistema YES e no distribuidor de rotina. Considerando uma redução de sobra média de 1,7t., o benefício anual com a redução do custo de re-processamento de sucata é estimada em torno de US\$ 100.000.



Fonte: CST Arcelor Brasil.

**Figura 10.** Resultado do peso de cascão residual no distribuidor.

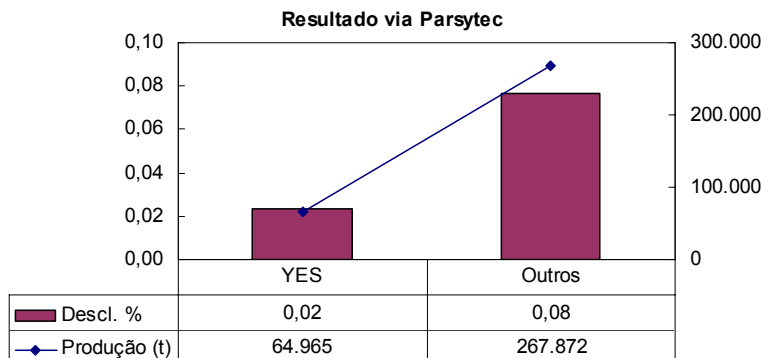
Uma variável importante a se analisar na etapa de esgotamento do aço do distribuidor é a passagem de escória para o molde, que pode inviabilizar a operação de troca de distribuidor. De fato, o excesso de escória do molde pode prejudicar a emenda da placa e provocar um rompimento de pele (*break-out*). Uma análise da Figura 11 revela uma variação significativa do teor de óxido de cálcio em um dos testes, onde o nível da coluna de aço no distribuidor próximo à válvula submersa foi reduzido a valores em torno de 250mm, sugerindo uma possível passagem de escória de distribuidor para o molde; entretanto, em outros dois testes, onde foram realizadas adições de óxido de estrôncio como traçador, não foi constatada a presença deste óxido na escória do molde (Figura 11). Com base nos resultados, definiu-se o nível mínimo de segurança como sendo igual a 260mm.



Fonte: CST Arcelor Brasil.

**Figura 11.** Resultado da análise da escória do molde.

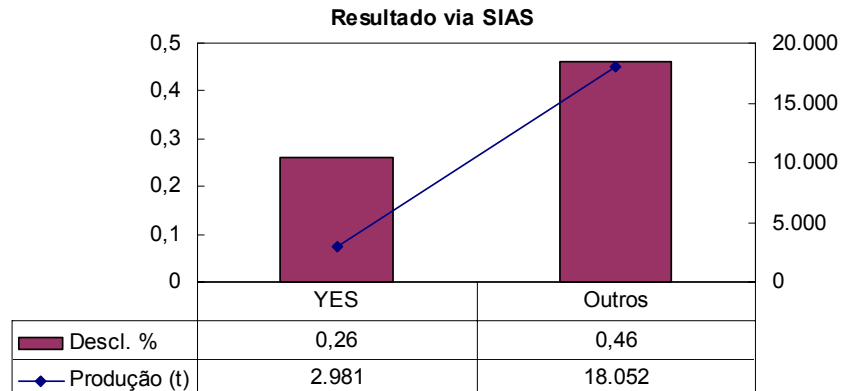
Os resultados de qualidade fornecidos pelos dois sistemas de distribuidores foram comparados através dos índices de esfoliação química em laminados a quente, detectados no sistema de inspeção automática do LTQ (Parsytec), e em laminados a frio e galvanizados por imersão a quente, detectados no sistema de inspeção automática de Vega do Sul (SIAS). Estes resultados consideraram somente placas que não continham eventos de qualidade críticos de acordo com os critérios internos. Como pode ser observado nas figuras 12 e 13, o material laminado produzido a partir de placas lingotadas com o sistema YES, apresentaram índices de esfoliação significativamente inferiores ao sistema em uso atualmente.



Fonte: CST Arcelor Brasil.

**Figura 12.** Índice de esfoliação química em laminados a quente.





Fonte: CST Arcelor Brasil.

**Figura 13.** Índice de esfoliação química em laminados a frio e galvanizados.

### 3 CONCLUSÕES

Os resultados das simulações experimentais com modelos físicos e modelos numéricos mostraram que o sistema *YES* apresenta um padrão de escoamento no distribuidor mais eficiente para a remoção de inclusões do aço líquido.

Os resultados industriais mostraram um ganho médio de 1,7 t de aço por distribuidor, com o uso do sistema *YES*, o que proporcionaria um ganho econômico em torno de US\$100.000 por ano.

Estes resultados também evidenciaram a maior eficiência do sistema *YES* quanto à qualidade das placas, comprovadas pelos menores índices de esfoliação química nos laminados a quente, a frio e galvanizados, resultados estes que estão consistentes com as previsões das etapas de simulação.

### REFERÊNCIAS

- 1 SILVA, C. A. et al (2000): Caracterização do Escoamento de Aço no Distribuidor de Lingotamento Contínuo da Máquina II da Cia. Siderúrgica de Tubarão – CST, Operando em Regime Twin, XXXI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, ABM, São Paulo.
- 2 SILVA, C. A., CARDOSO, G. I. S. L. PERIN, C. A. ., VEIGA, A. F., FREITAS, M. M. Caracterização do Fluxo de Aço nos Distribuidores do Lingotamento Contínuo da Companhia Siderúrgica de Tubarão, 2º Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais da ABM, São Paulo, SP, 12-17 de Outubro de 1997.
- 3 SILVA, C. A., et al. (2001): Caracterização do Escoamento do Aço Líquido no Distribuidor da Máquina de Lingotamento Contínuo operando em Regime Transiente – Modelagem Física, 56º Congresso Internacional da ABM, Belo Horizonte, MG, 16-20 de julho de 2001.
- 4 SILVA, C. A., et al. (2002): Ladle Change Over and its Effects Upon Tundish Operation, International Conference on Advances in Materials and Materials Processing (ICAMMP – 2002), Indian Institute of Technology – Kharagpur – India, February 1, 2002 to February 2, 2002.