

COMPARATIVO ENTRE DOIS DISTRIBUIDORES DE DESIGN E CAPACIDADES DISTINTAS⁽¹⁾

Marcos Augusto Zilles Mattiello⁽²⁾

Mateus Daroit⁽³⁾

Miguel Liska Bock⁽⁴⁾

Magda Galant François⁽⁵⁾

Antônio Cezar Faria Vilela⁽⁶⁾

No lingotamento contínuo de aços o emprego da caracterização de escoamento, por meio de modelos físicos, é uma importante ferramenta para otimização do fluxo e aumento do grau de limpeza. O objetivo principal deste trabalho é avaliar o efeito do design do distribuidor sobre parâmetros de escoamento (linhas de fluxo, tempos médio e mínimo de residência e volumes característicos). Neste estudo são comparados dois modelos com configuração pré-estabelecida.

A metodologia empregada para análise qualitativa das linhas de fluxo foi a injeção de um pulso de corante (KMnO_4) e seu registro em vídeo, permitindo a visualização e análise do escoamento em três vistas (frontal, lateral e superior) em função do tempo. Para a avaliação dos volumes característicos e tempos de residência (análise quantitativa) empregou-se a técnica de DTR (curvas de distribuição de tempos de residência). Foi injetado, sob a forma de um pulso, um traçador ácido (HCl) e construídas as curvas DTR. A análise destas permitiu a caracterização em termos de tempos e volumes característicos.

Os resultados mostraram que o modelo do distribuidor tipo Delta T apresenta melhores características de escoamento do que o distribuidor Delta para as condições testadas. Foi observada uma redução do tempo médio de residência (26%), do tempo mínimo (35%), da fração de volume pistonado (17%) e um aumento da fração de volume morto (18%).

Palavras-Chave: Modelamento Físico; Distribuidor de Lingotamento Contínuo; Tempo de Residência; Volumes Característicos; DTR.

(1) 5º 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) Engenheira Química, Dra., Pesquisadora LASID/ PPGEM/ UFRGS

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

Introdução

O processo de lingotamento contínuo vem sendo amplamente utilizado na fabricação de aços. Dentre as importantes etapas deste processo está a passagem do aço líquido pelo distribuidor, que é o centro das discussões neste trabalho.

Inicialmente, o distribuidor foi concebido como um reservatório para possibilitar as trocas de panela durante o seqüenciamento de corridas e a distribuição do aço líquido nos moldes. Atualmente, devido às crescentes exigências em termos de qualidade e produtividade, as características dos distribuidores vêm sendo alvo de muitos estudos no intuito de maximizar suas propriedades (MAZUMDAR, 1999, p. 524).

A passagem do aço pelo distribuidor representa a etapa mais importante do processo siderúrgico, via lingotamento contínuo, na qual pode-se obter uma remoção importante de inclusões (impurezas) antes da solidificação. Além da remoção de inclusões, existem outros fenômenos associados à utilização de distribuidores que podem vir a deteriorar a qualidade do aço proveniente do refino secundário se o fluxo não estiver devidamente controlado, tais como homogeneização térmica e química (SAHAI, 1986, p.241).

A caracterização do escoamento no distribuidor é importante para obter-se um maior grau de limpeza durante a produção de aços. Tal caracterização pode ser obtida por meio de modelos físicos, uma vez que as condições reais do processo tornam inviável o estudo do escoamento na planta.

O presente trabalho visa determinar quais são as condições de fluxo em dois distribuidores distintos e qual delas apresenta uma otimização quanto à remoção de inclusões. Para tanto, o trabalho apresenta uma comparação direta entre os resultados obtidos em termos de tempos médios de residência, tempos mínimos de residência e volumes característicos em dois modelos de distribuidor; o Delta e o Delta-T (WOLLMANN, 1999).

O foco deste trabalho é mantido sobre as alterações de escoamento relacionadas ao design (geometria) do distribuidor e sua capacidade.

Materiais e Métodos

Todos os ensaios, tanto os de corante como os de distribuição dos tempos de residência (DTR), foram realizados com modelos físicos de acrílico dos distribuidores em escala 1:1 (escala plena).

Os modelos foram construídos fazendo-se uso dos números de Reynolds e Froude (HEASLIP, 1983), considerando as similaridades geométricas do reservatório e dinâmicas do fluido.

A água foi o fluido utilizado nas simulações, pois suas propriedades à temperatura ambiente, tais como viscosidade e massa específica, permitem simular o aço líquido em torno de 1600° C.

Na realização dos ensaios, buscou-se reproduzir rigorosamente as condições do processo industrial no que se refere aos níveis de fluido no interior do distribuidor e às velocidades de lingotamento. Para isso, fez-se uso de bombas

hidráulicas e medidores de vazão de entrada e saída que permitiram que o regime empregado industrialmente fosse alcançado.

A injeção dos traçadores foi feita através de uma válvula solenóide e um sistema pneumático acoplados na válvula de entrada do distribuidor.

Nos veios de saída foram instalados condutivímetros interligados a um software para obtenção das curvas de condutividade em função do tempo.

Neste trabalho foram estudados dois designs de distribuidores chamados Delta-T (Figura 01) e Delta (Figura 02) com capacidades de 12 e 16 toneladas, respectivamente.

Ambos os distribuidores foram analisados com uma configuração pré-estabelecida de barreiras modificadoras de fluxo, também representadas nas figuras 01 e 02.

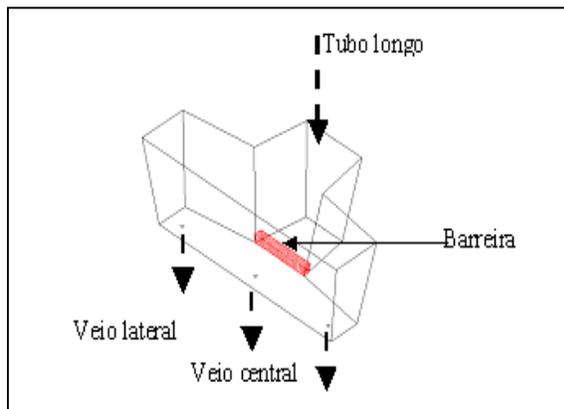


Figura 01- Modelo Delta-T.

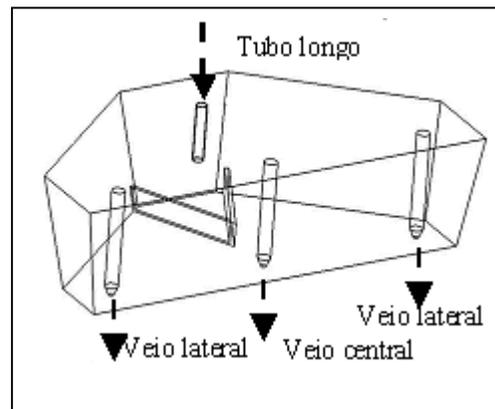


Figura 02 – Modelo Delta.

Ensaio de corante:

Nos ensaios de corante, para visualização do escoamento e análise qualitativa das linhas de fluxos nos distribuidores, foi utilizado permanganato de potássio ($KMnO_4$) diluído em água a uma concentração de 1g/L (KORIA, 1993). O corante foi injetado pelo sistema pneumático, após atingido o regime permanente, num pulso de 4 segundos (700mL a 1 L) e gravado em câmera digital em três vistas (frontal, lateral e superior).

Os vídeos foram editados utilizando-se uma placa de captura de vídeos para o computador e um software de edição. Esta técnica permitiu a captura de quadros em tempos determinados para efeito de comparação, além da execução simultânea dos vídeos nos dois modelos, em diferentes vistas.

Ensaio DTR:

Nos ensaios de distribuição de tempos de residência o traçador utilizado foi ácido clorídrico (HCl) (WOLLMANN, 1999) numa concentração de 3,6%. As condições de injeção do traçador foram idênticas às citadas no caso do corante, com um pulso de 4 segundos (700mL a 1 L).

Para cada distribuidor, as análises de distribuição dos tempos de residência foram feitas a partir de cinco ensaios e das curvas obtidas nos mesmos.

As medidas de condutividade foram obtidas em dois dos três veios dos distribuidores (um central e um lateral), pois considerando-se o princípio de simetria entre os veios laterais, não se fez necessário o uso de um condutímetro em cada veio.

Os valores de condutividade foram obtidos com intervalo de um segundo, enquanto o tempo total de cada ensaio foi de uma hora (este tempo mostrou-se suficiente para os valores de condutividade voltarem aos anteriores à injeção com uma boa margem de segurança).

Todos os dados dos ensaios foram armazenados num computador e as análises, bem como os cálculos posteriores, foram efetuados em uma planilha eletrônica empregando-se a metodologia e os equacionamentos apresentados por SAHAI(1996) e MAZUMDAR (1999).

Os resultados obtidos foram os tempos médios e mínimos de residência de cada distribuidor e os volumes característicos (volume morto, volume pistonado, volume de mistura e volume de curto circuito).

A normalização dos resultados de tempos, assim como a utilização de frações percentuais dos volumes, permitiu a comparação direta entre os valores obtidos para os dois distribuidores de capacidades distintas.

Resultados e Discussão

Ensaio de corante

Os resultados dos ensaios de corante apresentados nas figuras 03, 04 e 05 são referentes aos tempos de 8, 24 e 40 segundos após a injeção do traçador, respectivamente, na vista lateral no distribuidor Delta- T. As figuras 06, 07 e 08 apresentam a vista lateral do distribuidor Delta nestes mesmos tempos para efeito de comparação.

A análise visual nos permite, qualitativamente, analisar o escoamento em termos de dispersão, frentes de deslocamento e direções do fluxo.

Numa primeira análise qualitativa do escoamento, através dos ensaios de corante, foi possível visualizar em ambos distribuidores um fluxo ascendente devido à utilização das barreiras. Não se visualizou nenhum fluxo na direção dos veios, o que representa um indicativo da ausência de volume de curto circuito nos dois casos, o qual se confirmou nas análises DTR.

No Delta-T o escoamento apresentou-se mais concentrado na região posterior do distribuidor com uma frente de fluxo deslocando-se em direção ao veio central pela superfície.

Aparentemente, o corante no Delta-T levou mais tempo para atingir os veios. No tempo de 40 segundos, observou-se que a região dos veios encontrava-se praticamente inalterada, enquanto o Delta já estava quase totalmente tomado pelo corante.

Delta-T (vista lateral)



Figura 03- Ensaio de Corante:8 segundos.

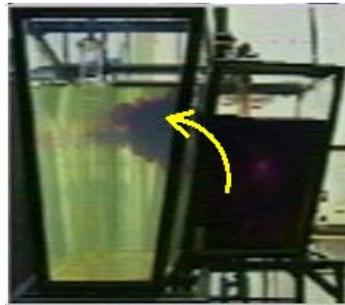


Figura 04 – Ensaio de Corante:24 segundos.



Figura 05 – Ensaio de Corante:40 segundos.

Delta (vista lateral)

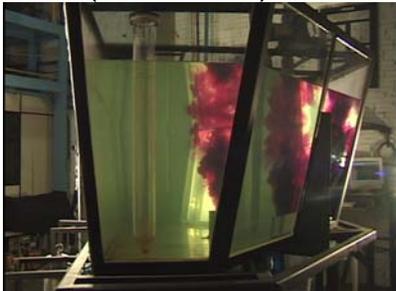


Figura 06- Ensaio de Corante:8 segundos.

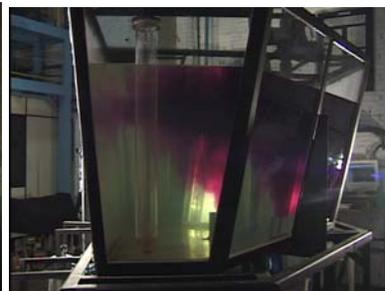


Figura 07- Ensaio de Corante:24 segundos.

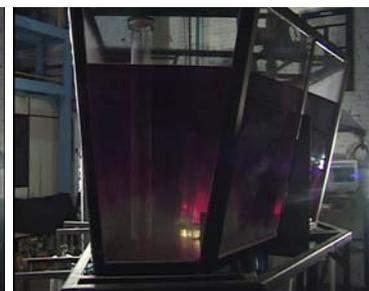


Figura 08- Ensaio de Corante:40 segundos.

As figuras 09, 10 e 11 referem-se à vista frontal no distribuidor Delta-T para 8, 24 e 56 segundos transcorridos da injeção, respectivamente. Em paralelo, a vista frontal do Delta é mostrada nas figuras 12, 13, e 14 nos mesmos tempos de ensaio.

Delta-T (vista frontal)



Figura 09- Ensaio de Corante:8 segundos.



Figura 10- Ensaio de Corante:24 segundos.

Delta (vista frontal)



Figura 12- Ensaio de Corante:8 segundos.



Figura 13- Ensaio de Corante:24 segundos.

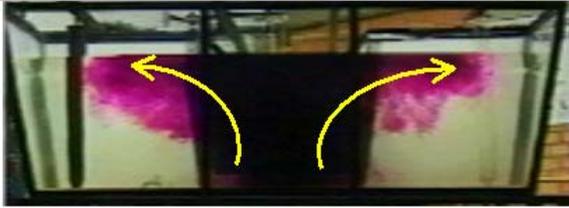


Figura 11- Ensaio de Corante:40 segundos.



Figura 14- Ensaio de Corante:40 segundos.

Em ambos os distribuidores visualizou-se um fluxo ascendente que logo se deslocou para as laterais, porém no Delta-T a dispersão foi mais lenta. As regiões laterais inferiores do distribuidor apresentaram-se menos atingidos pelo corante.

As figuras 15, 16 e 17 mostram a vista superior do distribuidor Delta-T transcorridos 8, 16 e 48 segundos de ensaio, respectivamente. Logo abaixo, estão as figuras 18, 19 e 20 que mostram o Delta nesta mesma vista e mesmos tempos.

Delta-T (vista superior)



Figura 15- Ensaio de Corante:8 segundos.



Figura 16- Ensaio de Corante:24 segundos.



Figura 17- Ensaio de Corante:40 segundos.

Delta (vista superior)



Figura 18- Ensaio de Corante:8 segundos.



Figura 19- Ensaio de Corante:24 segundos.



Figura 20- Ensaio de Corante:40 segundos.

Notou-se, no Delta, um fluxo na parte posterior do distribuidor direcionado para as laterais, além de uma frente de deslocamento na região central do distribuidor.

Em ambos os casos, o fluxo foi bastante contido pela barreira.

Num aspecto geral, pelo fato do distribuidor Delta possuir um escoamento mais disperso que o Delta-T, é de se esperar que este possua valores maiores para o tempo médio de residência e tempo mínimo. No entanto, este resultado só pode ser precisamente determinado nos ensaios DTR e será discutido posteriormente.

As regiões laterais, que nos dois casos foram menos atingidas pelo corante, possivelmente sejam focos de volume morto nos distribuidores.

Ensaio DTR

Na caracterização do escoamento de distribuidores, certos aspectos têm se mostrado mais relevantes em termos de eficiência na remoção das inclusões e homogeneização térmica e química.

Os tempos de residência (médio e mínimo) devem ser os maximizados, pois isto contribui para a remoção de inclusões fornecendo mais tempo para que elas flodem (SINGH, 1993, p.1228).

Os resultados obtidos com as curvas DTR nos permitem a comparação direta entre os valores dos tempos médios normalizados de cada distribuidor (figura 21).

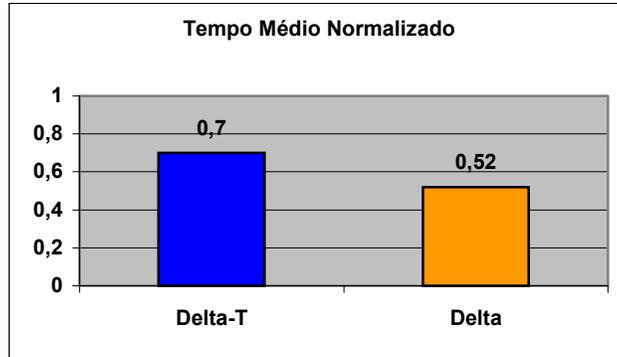


Figura 21 – Tempo Médio Normalizado no Delta-T e Delta.

Os tempos mínimos em segundos de cada distribuidor estão apresentados na figura 22.

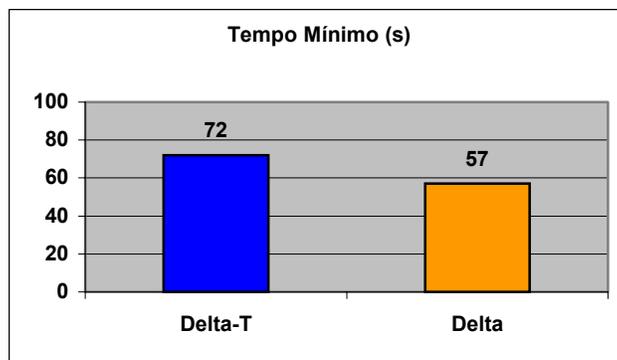


Figura 22 – Tempo Mínimo em Segundos no Delta-T e Delta.

No caso do Delta-T percebeu-se uma significativa diferença tanto no tempo mínimo de residência, assim como no tempo médio de residência. Este modelo de distribuidor apresentou valores superiores aos do modelo Delta na ordem de 35% no que se refere ao tempo médio de residência normalizado e, nos resultados de tempo mínimo de residência, na ordem de 26%.

Os resultados de volumes característicos obtidos para as duas configurações estão apresentados na figura 23 em valores percentuais do volume total de cada distribuidor.

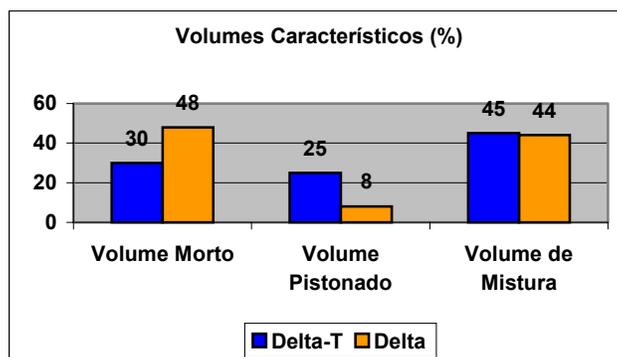


Figura 23 – Valores Percentuais dos Volumes Característicos no Delta-T e Delta.

O volume morto deve ser minimizado, pois este volume característico representa uma região de fluxo estagnada no interior do distribuidor que dificulta a homogeneização térmica e química, além de diminuir a capacidade nominal do reator (SAHAI, 1986, p.241).

O volume pistonado, que representa um fluxo bem direcionado, deve possuir uma orientação ascendente, pois assim facilita o arraste das inclusões para a camada de escória removendo-as do banho metálico (MORALES, 1998).

O volume de curto-circuito deve ser o menor possível, pois este representa uma tendência de fluxo direcionada diretamente aos veios que pode vir a causar um grande arraste de inclusões para o molde, além de ocasionar um decréscimo no tempo mínimo (WOLLMANN, 1999).

Nos resultados obtidos em termos de volumes característicos, foram observados valores muito similares para os dois modelos no que se refere aos volumes de mistura e volume de curto circuito.

A análise qualitativa dos ensaios de corante já evidenciava o fluxo ascendente, ocasionado pela presença das barreiras, que impedia o direcionamento do escoamento diretamente na direção dos veios. Esta hipótese se confirmou na análise DTR, e em ambos distribuidores o volume de curto circuito foi inexistente.

A fração de volume de mistura é praticamente idêntica nos dois modelos, com uma diferença não considerável de 1% da fração volumétrica.

Os resultados mais representativos nos volumes característicos, para efeito de comparação entre os dois distribuidores encontrados neste trabalho, referem-se aos volumes morto e pistonado.

O modelo Delta possui um volume morto maior que o Delta-T, na ordem de 18% da fração volumétrica.

O volume pistonado encontrado no Delta foi menor, cerca de 17% em fração de volume. Como se pode observar pela proximidade dos valores, esta redução está diretamente associada com o acréscimo observado no volume morto deste distribuidor. Ou seja, o decréscimo na fração de volume pistonado se reflete, quase que integralmente, em acréscimo na fração de volume morto nos modelos estudados.

Conclusão

Os resultados mostraram que o modelo do distribuidor tipo Delta T apresenta melhores características de escoamento do que o distribuidor Delta para as condições testadas. Foi observada uma redução do tempo médio de residência (26%), do tempo mínimo (35%), da fração de volume pistonado (17%) e um aumento da fração de volume morto (18%).

Os resultados de volume de curto circuito foram satisfatórios em ambas configurações de distribuidor, uma vez que é inexistente nos dois casos.

Os modelos não apresentaram diferenças significativas no volume de mistura entre os escoamentos caracterizados neste trabalho.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Siderurgia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul por oportunizar-me a realização deste trabalho e pelo aprendizado.

A Gerdau Aços Finos Piratini pelo contínuo apoio ao LASID no desenvolvimento de conhecimento tecnológico em siderurgia.

Referências bibliográficas

1. MAZUMDAR, D.; GUTHRIE, R. I. L. The physical and mathematical modelling of continuous casting tundish systems. *ISIJ International*, v. 39, n. 6, p. 524-547. 1999.
2. SINGH, S.; KORJA, S. C. Model study of the dynamics of flow of steel melt in the tundish. *ISIJ International*, v. 33, n. 12, p. 1228-1237. 1993.
3. SAHAI, Y.; AHUJA, R. Fluid flow and mixing of melt in steelmaking tundishes. *Ironmaking and Steelmaking*, v. 13, n. 5, p. 241-247. 1986.
4. SAHAI, Y.; EMI, T. Melt flow characterization in continuous casting tundishes. *ISIJ International*, v. 36, n. 6, p. 667-672. 1996.
5. HEASLIP, L. J.; MCLEAN; SOMMERVILLE, I. D. Continuous casting, chemical and physical interactions during transfer operations. *ISS*, v. 1, p. 67-84. 1983.
6. WOLLMANN, A. M. Estudos de fluxo em um distribuidor de lingotamento contínuo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1999.
7. MORALES, R. D.; PALAFOX-RAMOS, J.; LÓPEZ-RAMÍREZ, S.; DOMÍNGUEZ-CRESPO, M. A.; RINCON, C.; SALAZAR, D.; DAINTON, A. Influence of a Turbulence Inhibitor on Steel Cleanliness Processed in a Bloom Caster. 1998.

Abstract

The flowing characterization, by physical modelling, is an important tool in the flow optimization and to increase the cleanliness of steels produced by continuous casting. The main objective of this work is to evaluate the design effect of the tundish under flowing parameters (stream lines, minimum and average residence times and characteristic volumes). In this study two models with pre-established configurations are compared.

The methodology used in the qualitative analysis of the stream lines was the injection of a colorful tracer (KMnO_4) recorded in video. The quantitative evaluation of minimum and average times and characteristic volumes was made by RTD (residence time distribution curves) technique.

The results showed that the design alteration with the capacity does not improve the flowing characteristics of the tundish. A reduction of the average residence time (26%), of the minimum time (35%), of plug flow fraction (17%) and an increase of the dead volume fraction (18%) were observed.

Key words: Physical Modeling; Continuous Casting Tundish; Residence Time; Characteristic Volumes; RTD.