



ESTUDOS DO COMPORTAMENTO DO SISTEMA DE VÁLVULA GAVETA PARA MELHOR CONTROLE DE FLUXO DO METAL NO LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE AÇOS¹

*Junio Célio da Silva Lélis²
Felipe Gustavo de Faria Pinto²
Paulo Santos Assis³*

Resumo

O crescimento mundial da produção de aço nos últimos anos tem instigado o desenvolvimento de novas tecnologias e melhoramentos em métodos atuais, tendo em vista sempre o aumento da produtividade, enriquecimento na qualidade do aço e redução de custos. O principal motivo da grande produtividade na siderurgia é o uso do lingotamento contínuo. E um dos pontos importantes no lingotamento contínuo é o uso do sistema de válvula gaveta melhorando o desempenho de componentes refratários, praticidade e segurança operacional. Dessa forma, este trabalho teve o propósito de fazer o estudo do sistema de fluxo do metal, bem como o seu comportamento fluidodinâmico utilizando modelagem computacional, como auxílio do Método dos Elementos Finitos, com o intuito de prever eventuais problemas durante o processo, elevar a produção de aço no lingotamento contínuo, melhorar a qualidade do aço e até reduzir custo de processamento.

Palavras-chave: Lingotamento contínuo; Controle de fluxo; ANSYS; Válvula gaveta.

STUDIES OF SLIDE GATE SYSTEM ON CONTINUOUS CASTING IMPROVING THE STEEL FLOW CONTROL

Abstract

The global growth in steel production in recent years has encouraged the development of new technologies and improvements to current methods, always bearing in mind the increased productivity, enrich the quality of steel and cost reduction. The most important reason of productivity in the steel industry is the widespread use of continuous casting. One of the important points in the continuous casting is the use of the slide gate valve system, also improving the performance of refractory components, practical and operational safety. Thus this study intended to make the study of the flow of metal, and their behavior modeling using computational Fluid Dynamics, in aid of the Finite Element Method in order to avoid possible problems during the process, raise production of steel in continuous casting, to improve the quality of steel and to reduce processing cost.

Key words: Continuous casting, Slide Gate, ANSYS

¹ *Contribuição técnica ao 41º Seminário de Aciaria – Internacional, 23 a 26 de maio de 2010, Resende, RJ, Brasil.*

² *Membro da ABM; Graduando em Engenharia Metalúrgica da Escola de Minas da UFOP, Ouro Preto, MG*

³ *Membro da ABM; Prof. Titular, Dr. da Escola de Minas-UFOP, Prof. da REDEMAT, Brasil. Prof. Honorário da HUST, China. Pesquisador do CNPq.*



1 INTRODUÇÃO

Lingotamento contínuo é o processo de transformação do metal líquido, que pode ou não ser proveniente de processos anteriores de refino, em produto ou semi-produto sólido, podendo ter a forma de tarugos de seção redonda, quadrada, placas, blocos, perfis semi-acabados, entre outros. Esta transformação se dá pela modelagem ininterrupta do metal líquido, em moldes, impondo-se a este um resfriamento forçado intenso.⁽¹⁾ Este é o último estágio onde se mantém contato com o metal ainda líquido.

Foi Bessemer,⁽²⁾ por volta do ano de 1846, quem apresentou a primeira proposta do processo de lingotamento, que consistia no vazamento do aço entre dois cilindros refrigerados a água, para a fabricação de chapas, o que chamaram de lingotamento contínuo. Contudo, a introdução em escala industrial do processo de lingotamento contínuo de aço não foi possível porque o padrão de engenharia e qualidade dos materiais necessários nessa época não era suficiente.

A aplicação em escala industrial somente teve início, quase um século depois, quando em 1927, foram desenvolvidos vários estudos na Alemanha sobre o lingotamento contínuo de metais como ligas de cobre e alumínio.

Somente em 1950, conseguiu-se um avanço no desenvolvimento tecnológico do processo de lingotamento contínuo, com a construção da primeira máquina, com capacidade de cinco toneladas, com um veio.

No Brasil, o processo de lingotamento contínuo foi introduzido em 1960, com uma máquina de tarugos de dois veios e em 1968, com uma máquina de tarugos de três veios. A partir de 1972, o número de instalações de lingotamento contínuo de tarugos no Brasil cresceu de forma acentuada, e em 1976 foram instaladas as primeiras máquinas de lingotamento contínuo de placas.

Hoje, o lingotamento contínuo representa mais de 95% da produção mundial de aços. Estima-se que no próximo milênio a participação do lingotamento convencional não ultrapasse os 3% da produção mundial (limitada a grandes lingotes para aplicações muito especiais, ou em nichos de mercado específicos).

Entretanto, o processo de lingotamento contínuo é significativamente afetado pela formação de determinadas inclusões presentes no aço. Problemas como a obstrução da válvula submersa (formação de *cloggings*) estão intimamente relacionadas com a presença de Al_2O_3 e CaS no aço a ser lingotado, que na forma de inclusões sólidas em temperatura de lingotamento podem se depositar nas paredes das válvulas, causando obstrução das mesmas. Como resultado disso, ocorrem problemas de lingotabilidade^(3,4) como descontrole do nível de fluxo de aço do molde e formação de macro inclusões indesejadas no aço lingotado.

Analisar o comportamento do aço visa aperfeiçoar ainda mais a concepção e melhoria do processo contínuo de lingotamento. Modelos físicos e matemáticos estão se tornando ferramentas cada vez mais poderosas para modelagem e simulação do fluxo do metal na máquina de lingotamento propiciando desenvolvimento da qualidade do aço.

Portanto, este trabalho tem por objetivo o estudo fluidodinâmico computacional do aço líquido dentro do tubo longo, que faz a transferência do aço líquido de dentro da panela para o distribuidor, em quatro tipos de aberturas da válvula gaveta no processo de lingotamento contínuo.



2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Análise Fluidodinâmica Computacional

Para este trabalho, foi utilizado o programa ANSYS CFX®11.0, que permitiu estudar modelos de fluidodinâmica computacional para aplicação no desempenho das válvulas de controle (válvula gaveta), utilizadas em indústrias.

De acordo com Hirsch,⁽⁵⁾ as equações governantes para a solução numérica de problemas envolvendo escoamento de fluidos baseiam-se nas soluções de equações de conservação da continuidade, do movimento e da conservação da energia, desenvolvidas por modelos diferenciais aplicados aos fenômenos de transporte.

Esses modelos de equacionamento são conhecidos como "Equações de Navier-Stokes", apresentados a seguir: partindo da aplicação da 2ª Lei de Newton a um elemento infinitesimal de volume de um fluido real, obtêm-se as forças de tensão normal, forças de tensão tangencial e as forças de campo. A somatória dessas forças nas direções x, y e z é dada pela Equação 1.

$$\Sigma \vec{F} = m \left(V_x \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} + V_y \frac{\partial \vec{V}}{\partial y} + V_z \frac{\partial \vec{V}}{\partial z} + \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} \right) \quad (1)$$

Utilizando os operadores do cálculo vetorial, e possível decompor a Equação vetorial 1 em três equações na forma diferencial, uma para cada direção coordenada, conforme as equações 2,3 e 4.

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho B_x = \rho \left(V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_x}{\partial t} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho B_y = \rho \left(V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial V_y}{\partial t} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \rho B_z = \rho \left(V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial t} \right) \quad (4)$$

Após manipulação algébrica e aplicação de alguns princípios e suposições, obtém-se a forma final da equação de Navier-Stokes, conforme equação 5:

$$\rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \rho (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = \rho \vec{B} \cdot \vec{e}_B - \nabla p + \frac{\mu}{3} \nabla (\nabla \cdot \vec{V}) + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (5)$$

Onde B é a componente do campo considerado em determinada direção de um plano de coordenadas em três dimensões e ρ a massa específica do fluido em estudo.

Os resultados discutidos a seguir foram obtidos em simulação realizada utilizando o software ANSYS CFX®11.0, empregando-se a metodologia de elementos finitos, utilizando malhas estruturadas, com flexibilidade de adaptação a geometrias complexas.



Foi obtida uma boa comparação entre os resultados experimentais e numéricos, com trabalhos como o de Arantes⁽⁶⁾ que analisou o escoamento em vertedouros de degraus a partir da ferramenta de computação numérica.

Desta forma, as análises serviram tanto para validar a utilização das ferramentas de fluidodinâmica computacional como para caracterizar os escoamentos para uma possível proposta de melhora no desempenho dessa estrutura hidráulica de controle de fluxo.

3 RESULTADOS

Através do programa ANSYS CFX®11.0, foram determinadas as velocidades de escoamento em um corte logo abaixo da válvula gaveta para as três aberturas diferentes (25%, 50% e 75%). O gráfico da figura 1 mostra a velocidade de escoamento do aço líquido, tomando como referência velocidades positivas para cima, de tais aberturas citadas:

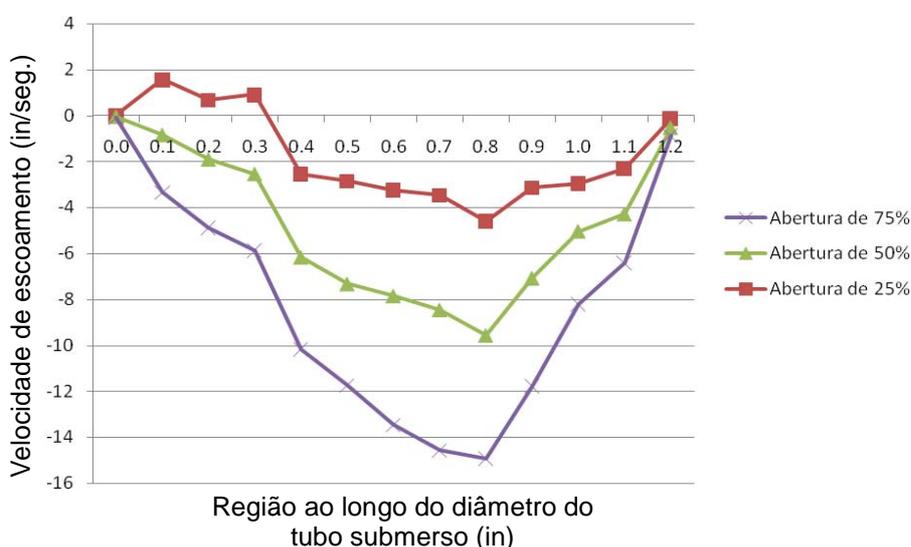


Figura 1: Gráfico que mostra como a velocidade de escoamento varia de acordo com um a região do tubo submerso, considerando um corte transversal.

- **Abertura de 25% da válvula gaveta**

Na Figura 2, observam-se os vórtices formados em algumas regiões do tubo com 25% de abertura de válvula gaveta (regiões em azul). As cores vermelhas descrevem velocidades maiores de escoamento, que decrescem com as cores laranja, amarela, verde, azul escuro e azul claro, nesta ordem. Nas regiões descritas em azul, ocorre uma permanência do metal por um maior intervalo de tempo em contato com o tubo longo, resultando em redução de temperatura, fazendo com que estas regiões sejam preferenciais na formação de *cloggings*. A formação destes *cloggings* pode deteriorar a qualidade do produto lingotado posteriormente e em casos mais extremos pode resultar no entupimento da válvula e perdas de produção.

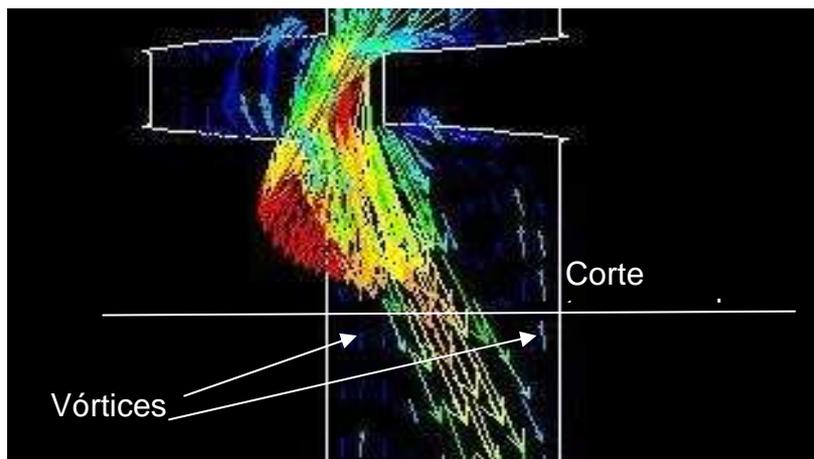


Figura 2: Turbulência ou vórtice gerado no corte transversal efetuado em um tubo longo com 25% de abertura de válvula gaveta.

- **Abertura de 50% da válvula gaveta**

O aspecto do fluxo do metal pelo tubo longo com 50% de abertura de válvula gaveta pode ser observado na Figura 3. O perfil de escoamento é mais harmonioso e previsível do que o obtido com a abertura de 25% da válvula gaveta.

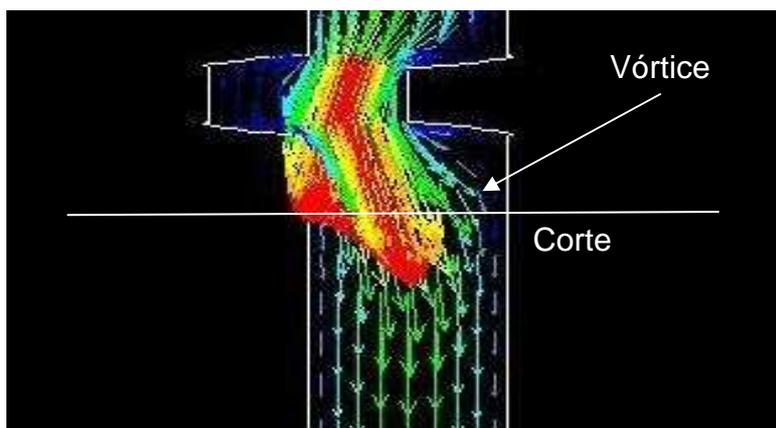


Figura 3: Turbulência ou vórtice gerado no corte transversal efetuado em um tubo longo com 50% de abertura da válvula gaveta.

Vale ressaltar que a perda de temperatura, apesar de não ser tão intensa quanto na abertura de 25% da válvula gaveta, também pode resultar na formação de *cloggings* que mais tarde podem resultar no entupimento do tubo longo.

- **Abertura de 75% da válvula gaveta**

A Figura 4 mostra o fluxo do aço com 75% de abertura de válvula gaveta. A velocidade de escoamento do aço pelo tubo é bem superior aos dois anteriores. O perfil de escoamento é ainda mais harmonioso e previsível. O refluxo formado é mínimo, mas existente.

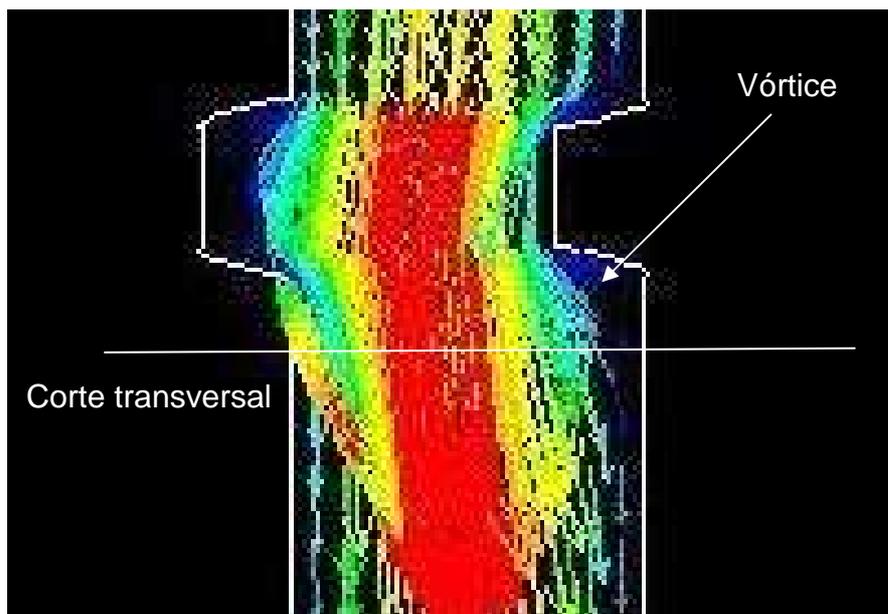


Figura 4: Turbulência ou vórtice gerado no corte transversal efetuado em um tubo longo com 75% de abertura de válvula gaveta.

4 DISCUSSÃO

Como observado na Figura 1, a velocidade de escoamento do aço é menor para abertura de 25%, porém, com este tipo de abertura, uma maior turbulência é gerada em determinadas zonas de circulação após a passagem do aço pela válvula gaveta, como pode ser observado na Figura 2. Este fluxo turbulento causará desoxidação e conseqüentemente deposição de partículas na parede do tubo causando *clogging* diminuindo a produtividade como também a qualidade do aço.

A Figura 3 evidencia que uma região de refluxo também é formada com 50% de abertura, mas de dimensões inferiores em relação à obtida com a abertura de 25% da válvula gaveta, pois houve um aumento na velocidade de escoamento do aço, evidenciado pela redução das regiões em azul claro e azul escuro, de menor velocidade de escoamento. Apesar de não ter turbulência tão intensa, essa posição inicial de válvula gaveta ainda é suficiente para formação de quantidade crítica de *clogging*.

A perda de temperatura nesta região não é significativa para 75% de abertura de válvula gaveta, pois é observada uma velocidade de escoamento maior do aço, com poucas regiões de baixa temperatura (regiões estas criadas devido à baixa velocidade de escoamento) e poucas regiões de recirculação de aço. Além disso, o aço que recircula naquela região logo ao completar o seu ciclo, se mistura ao restante do aço que escoar normalmente através do tubo longo até chegar ao distribuidor. Portanto, como observado na Figura 4, a turbulência no fluxo do metal proporcionada pela posição da inicial da válvula é menor influenciando na redução da formação de vórtices, estes que facilitam reação de deposição de material desoxidado, que formam *cloggings*.

Assim, os resultados obtidos pelo modelamento confirmam os dados da literatura, os quais comprovam que a influência dos vórtices em aberturas de válvula gaveta superiores a 70% não afetam de forma negativa o fluxo de metal no lingotamento contínuo.⁽⁷⁾



5 CONCLUSÃO

Para aberturas de 25% e 50% foram observadas formação de regiões onde ocorre refluxo de aço líquido, formando vórtices. Regiões estas, preferenciais para formação de cloggings, devido à perda de temperatura ocasionada pela permanência de aço líquido por um período de tempo prolongado naquela região, sem escoar normalmente.

Nota-se também, que para aberturas inferiores, os vórtices são mais intensos, provocando uma instabilidade maior do aço dentro do tubo longo.

Para aberturas superiores, vórtices podem se formar, porém sua influência no processo não é tão relevante. Com a simulação fluidodinâmica computacional utilizada, pôde-se observar que o aço que recircula nesta região, logo tomou seu curso normal de escoamento, dando lugar à outra parcela de aço líquido que fará o mesmo ciclo do anterior. A perda de temperatura é existente na parcela recirculante. Entretanto, esta perda de temperatura pode ser considerada irrelevante devido à pequena quantidade de aço circulante.

Conforme os resultados obtidos no presente trabalho, relacionados aos diversos tipos de abertura da válvula gaveta que afetam no comportamento fluidodinâmico do aço dentro do tubo submerso, algumas sugestões são feitas para estudos fluidodinâmicos posteriores, tais como:

- analisar o comportamento fluidodinâmico do aço líquido do distribuidor para os moldes, e como acontece a formação de “cloggings” em cada veio; e
- aplicar fluidodinâmica computacional em outros equipamentos siderúrgicos onde ocorre movimentação de aço líquido, como Convertedor LD, Desgaseificador a Vácuo, Desgaseificador Cas-OB.

Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar os agradecimentos a UFOP-Escola de Minas, a Fundação Gorceix, a FAPEMIG, a todos os alunos que nos ajudaram na elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 SAHAI, Y & EMI, T - Criteria for Water Modeling of Melt Flow and Inclusion Removal in Continuous Casting Tundishes. ISIJ International, vol. 36, No. 9, 1996, p. 1166-1173.
- 2 HENRY BESSEMER, JACKSON; Steelmaking for Steelmakers, London; BUTTERWORTH e Co, (1969).
- 3 BOLENDER, T.; CAPPEL, J.; WUNNEMBERG, K.; PLUSCHKELL, W. Metallurgical process engineering for castability-improvement in steel with elevated sulfur contents.. Steel Research, v. 72, nº 11+12 p. 477- 483, 2001.
- 4 KOROUSIC, B.; TEHOVNIK, F.; ARH, B. Production of aluminum killed steels with high sulfur contents for automotive industry. Steel Research , v. 72, n. 2, p. 35 – 39, 2001.
- 5 HIRSCH, M.& SMALE, S.; Differential Equations Dynamical Systems and Linear Algebra. Academic Press, New York, 1974.
- 6 ARANTES, E. J. Caracterização do escoamento sobre vertedouros em degraus via CFD. 2007, 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- 7 K.G. Rackers and B.G. Thomas: "Clogging in Continuous Casting Nozzles", in 78th Steelmaking Conference, vol. 78, (Nashville, TN, April 2-5, 1995), ISS, Warrendale, PA, 1995, pp. 723-34.