

UTILIZAÇÃO DE MODIFICADORES DE FLUXO NO DISTRIBUIDOR DA MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DA AÇOS VILLARES – PINDAMONHANGABA¹

Alexandre Gustavo Mansur²

Wender Andrade Alves³

Ricardo Robson da Silva Oliveira⁴

João Moreira da Motta⁵

Resumo

A melhoria da qualidade do aço e o aumento do rendimento metálico são uma busca incessante dentro de uma Aciaria. Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência e os benefícios obtidos com a utilização de modificador de fluxo de aço no distribuidor da máquina de lingotamento contínuo da Aços Villares – Usina Pindamonhangaba. A solução de fluxo foi previamente desenvolvida com a utilização de modernas tecnologias de modelamento computacional. Com o uso sistemático do conceito *Oval Ripple Pad* em diversas corridas, amostras de barras foram coletadas para avaliação de resultados em produto (quantidade de inclusões) e de processos (ganhos de rendimento). Foi comparada a quantidade de inclusões presentes em amostras de corridas sem e com utilização de modificador de fluxo, bem como a redução de descartes em seqüenciais de aços de qualidade distintas.

Palavras-chave: Lingotamento contínuo; Modificador de fluxo; Distribuidor; Inclusões.

UTILIZATION OF FLUX MODIFIER IN THE TUNDISH OF THE CONTINUOUS CASTER FROM AÇOS VILLARES – PINDAMONHANGABA PLANT

Abstract

An improvement of steel quality and increase of metallic yield are a big challenge at steel plants. This work aims to evaluate the influence and benefits obtained with the utilization of steel flux modifier (Impact Pad) in the tundish at Aços Villares – Pindamonhangaba Plant. The steel flux profile was previously developed with the utilization of modern technologies of computer modeling. The Oval Ripple Pad concept was employed in several heats and samples of rods were analyzed to evaluate the results in the product (inclusions removal evaluation) and in process (yield improvements). This result was compared with results of heats without the utilization of ripple pad, considering the level of inclusions and the discharge for tundish steel grade mixing.

Key words: Continuous casting; Flux modifier; Tundish; Inclusions.

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

² *Supervisor Técnico de Lingotamento Contínuo – Aços Villares S.A. - Pindamonhangaba*

³ *Especialista de Produto – Vesuvius Brasil*

⁴ *Técnico de Processos – Aços Villares S.A. - Pindamonhangaba*

⁵ *Técnico Metalúrgico – Aços Villares S.A. - Pindamonhangaba*

1 INTRODUÇÃO

A demanda por aços com características especiais vem aumentando significativamente no Brasil. Conciliado com tal demanda, os requisitos de qualidade e custo tornam-se a cada dia mais exigentes. Desta forma, a produção de aços especiais requer um distinto entendimento do balanço custo/qualidade, onde o valor unitário deste tipo de aço exerce papel preponderante.

Neste ínterim, o distribuidor atua com um papel de destaque, representando talvez a última oportunidade de adequação de limpidez e qualidade do aço. Apesar de o distribuidor inicialmente ter sido concebido como um reservatório para conectar painéis com aço líquido aos moldes da máquina de lingotamento contínuo, garantindo fornecimento de aço líquido ininterrupto à máquina de lingotamento contínuo, mesmo durante a troca de painéis em um sequenciamento de corridas,⁽¹⁾ em uma visão moderna de engenharia de fluxo ele adquire novas atribuições.

O escopo de sua atuação vem adquirindo uma nova dimensão:^(2,3) o aumento do tempo mínimo de residência do aço (MRT) e conseqüente eliminação de linhas de curto circuito no distribuidor com objetivo de maximizar a flotação de impurezas do banho metálico; a redução da turbulência gerada pelo fluido entrante e a conseqüente redução da emulsificação de escória no banho metálico; a alteração do padrão de fluxo para obtenção de uma maior homogeneidade termoquímica entre os veios; o desenvolvimento de uma maior parcela de fluxo pistonado para que uma transição mais eficiente de graus de aço seja obtida e a redução de regiões de baixa velocidade de troca de massa (zonas mortas) têm orientado essa nova visão.⁽⁴⁾

Como resultado direto desta necessidade do setor siderúrgico, muito tem se investido no desenvolvimento de tecnologias que possam propiciar tais benefícios durante o lingotamento. Os esforços de diversos pesquisadores originaram os modificadores de fluxo, genericamente chamados *impact pads*. Estes dispositivos, desde de sua concepção, devem considerar a captura, desaceleração e reorganização do fluxo de aço proveniente do tubo longo como premissa básica a um funcionamento adequado. Devida a extrema energia deste jato de aço, um material refratário desenvolvido para tais condições de exigência é requerido para garantia de uma performance adequada.⁽⁵⁾ Além disso, cada aplicação ou cada novo projeto deve ser encarado como um novo ambiente, influenciado por novos fatores e tipicamente com objetivos de aplicação distintos.

Através da utilização de ferramentas de modelamento computacional (*Fluent SST-ADV*) e modelamento físico (Modelo de Água), a Advent Process Engineering desenvolveu ao longo dos últimos anos algumas famílias básicas de *Impact Pads*, que possuem algumas características comuns:

- Paredes laterais especialmente desenhadas para capturar o jato entrante e sua respectiva turbulência;
- Controle da difusão e das linhas de fluxo do fluido de saída;
- Promoção de um modelo de fluxo mais laminar e pistonado ao longo do distribuidor.

Dessa forma, o distribuidor da Aços Villares – Usina Pindamonhangaba foi modelado com técnicas de CFD onde se buscou a compreensão do comportamento do fluxo e, principalmente, o desenvolvimento de uma solução de fluxo que

umentasse a homogeneidade termoquímica dos veios e reduzisse consideravelmente o nível geral de inclusões no aço lingotado e o fluxo tipo pistonado com vistas a facilitar misturas de grau em um sequencial.

Sequencial Misto

No processo de produção de aço a rota lingotamento contínuo é a que apresenta os melhores índices de produtividade, devido a possibilidade de lingotar uma série de corridas na mesma sequência, diminuindo assim o descarte e diluindo o custo do material refratário do distribuidor. A aciaria da Aços Villares de Pindamonhangaba produz uma gama variada de aços, portanto a necessidade de realizar o sequencial misto, que é a mistura de dois aços de diferentes composições químicas no mesmo distribuidor. Este procedimento resulta numa perda considerável de material, por gerar um tarugo de mistura que deve ser descartado. Assim, para obtenção de um melhor rendimento, este tarugo de mistura deve ser o menor possível e isso depende diretamente de como está o fluxo de aço dentro do distribuidor.

O tamanho do tarugo de transição depende de algumas variáveis como heterogeneidade química entre os dois tipos de aços misturados e volume de aço residual no distribuidor no momento da transição. Ele é calculado no momento da corrida a partir de um algoritmo que leva em conta estas variáveis (6).

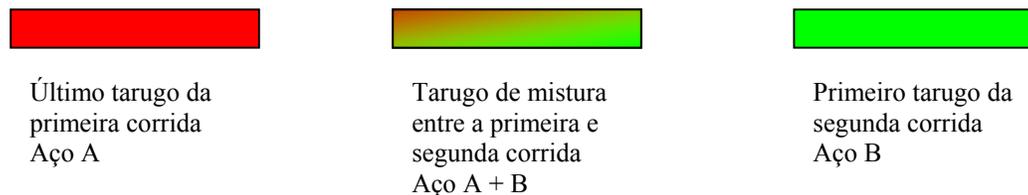


Figura 1 – Esquema do sequencial misto

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo testar a eficiência de um modificador de fluxo de distribuidor (*Impact Pad*) desenvolvido especialmente para a máquina de lingotamento contínuo da Aços Villares – Planta Pindamonhangaba.

Avaliaram-se os resultados em função de dois aspectos:

- Qualidade interna (medição de microinclusões)
- Rendimento em sequências de corridas de aços de qualidades distintas (medição do descarte)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Projeto do Modificador de Fluxo

A máquina de lingotamento contínuo da Aços Villares – Usina Pindamonhangaba possui um distribuidor tipo “Delta T” de 6 veios com capacidade

de 15t sem nenhum tipo de mobiliário. Esta máquina produz tarugos quadrados em bitola de 155 mm, em um *throughput* de aproximadamente 1,70 t/min. O projeto do mobiliário desenvolvido para este distribuidor compreendeu o desenvolvimento e avaliação de *Impact Pad* mais adequado para homogeneização do fluxo de aço e redução de turbulência dentro do distribuidor.

O conceito do projeto foi desenvolvido pela Advent Process Engineering através de modelamento matemático com técnicas de CFD, utilizando o *software* Fluent SST-ADV. Este projeto tinha como objetivos fundamentais a eliminação de curto circuitos, direcionamento do fluxo de aço para a região de escória sintética de cobertura do distribuidor, melhoria na homogeneidade termoquímica entre os veios, aumento do MRT (*minimum residence time*) e aumento na porcentagem de fluxo pistonado dentro do distribuidor.

A Figura 2 apresenta o projeto completo de montagem da solução de fluxo mais adequada aos objetivos definidos através de simulação CFD utilizando Fluent SST-ADV. Apresenta ainda os detalhes do “*impact pad*” tipo “*Ripple Pad*”. Uma vez definido o melhor projeto/conceito de fluxo para o distribuidor da Aços Villares – Usina Pindamonhangaba, procedeu-se a coleta de dados industriais de variação de rendimento metálico e de qualidade.

3.2 Modelamento CFD

Para condição de utilização do distribuidor da Aços Villares – Usina Pindamonhangaba, verifica-se uma notória diferença em turbulência gerada pelo fluxo do aço e perfil de fluxo entre a antiga condição e a nova condição utilizando “*Ripple Pad*”, conforme pode ser verificado na Figura 3, onde as cores vermelhas indicam altas velocidades e as azuis baixa, demonstrando que o comportamento do *Ripple Pad* é eficiente.

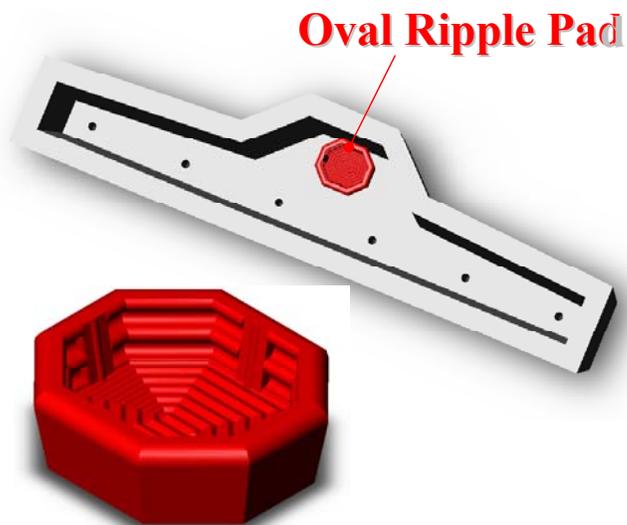


Figura 2 - Configuração do Distribuidor da Aços Villares – Usina Pindamonhangaba com Projeto Recomendado de *Ripple Pad*

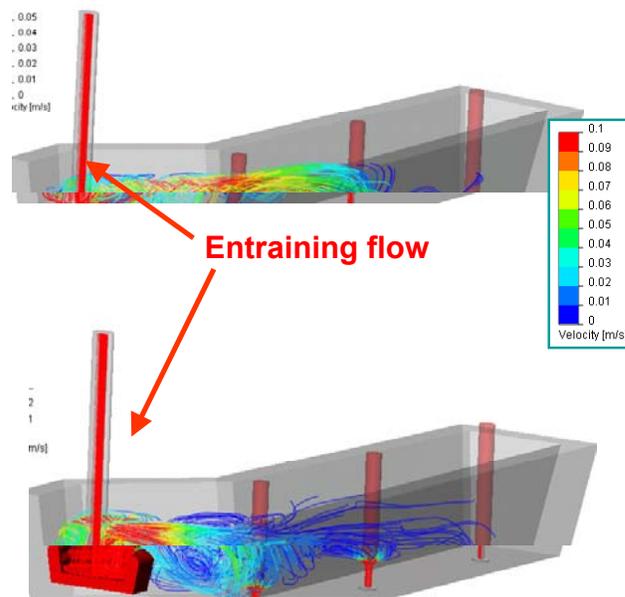


Figura 3 - Comparação de Velocidade de Fluxo com e sem o Ripple Pad

3.3 Testes Industriais

a) Qualidade interna

Para avaliação da eficácia do modificador de fluxo em termos de limpeza inclusionária interna foram analisadas várias corridas, de diferentes qualidades de aço, comparando-se o número médio de inclusões nos aços similares de corridas lingotadas com a utilização do modificador de fluxo com as corridas que não o utilizaram.

O nível de microinclusões do material foi medido na barra laminada, de acordo com a norma DIN 50602, método K de somatória de inclusões (7), onde o parâmetro utilizado foi K1 para óxidos. Desprezou-se K0, pois o modificador de fluxo em questão não é eficiente na remoção de inclusões nesta faixa, segundo o modelo CFD. Também não foi avaliado K para sulfetos, já que alguns dos aços analisados possuem faixa controlada de enxofre e assim a presença de certas quantidades de sulfeto era desejada.

b) Rendimento

Fez-se a avaliação do aumento do rendimento em seqüenciais mistos a partir do lingotamento de algumas seqüências de aços de qualidade distintas, utilizando-se o modificador de fluxo no distribuidor e comparou-se o perfil de mistura com o de corridas lingotadas sem o modificador. Variáveis como tipo de aço, volume residual de aço no distribuidor no momento da transição, velocidade de lingotamento e fluxo de aço panela/distribuidor foram mantidas fixas em todas as experiências.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise de Inclusões

A análise de eficácia do modificador de fluxo em remover inclusões foi feita por método comparativo de corridas de aços similares, analisando-se o tamanho médio das microinclusões de uma barra laminada (posição meio da corrida). A comparação foi feita entre aços de mesma qualidade. Os resultados foram classificados pelo tamanho médio de K1 por família de aço e são mostrados na Figura 4, onde se observa redução no nível de K1 em todas as famílias analisadas.

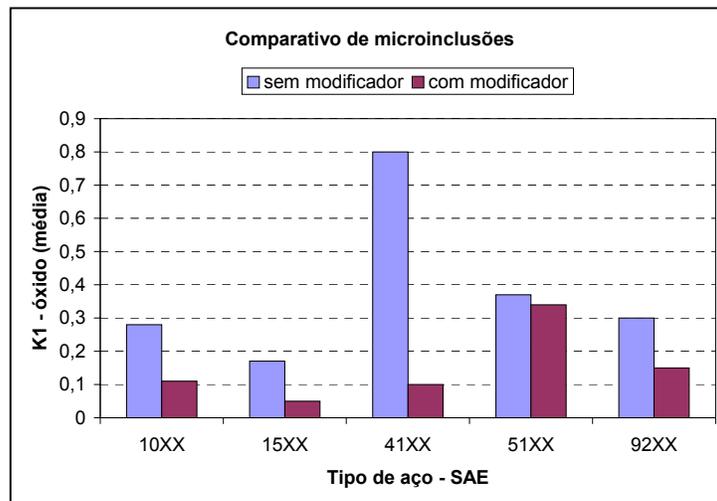


Figura 4 – Resultados de medição de K1 para óxidos para corridas com e sem modificador de fluxo

4.2 Análise do Tarugo de Mistura do Seqüencial Misto

Para avaliar a eficácia do sistema no aumento do rendimento em seqüenciais mistos manteve-se o mesmo algoritmo de cálculo de descarte já utilizado normalmente sem o modificador de fluxo. Compararam-se seqüenciais dos mesmos aços utilizando ou não o modificador, a partir da análise química de amostras (A, B, C, D etc) de diferentes metragens do tarugo de mistura, como mostra a Figura 5.

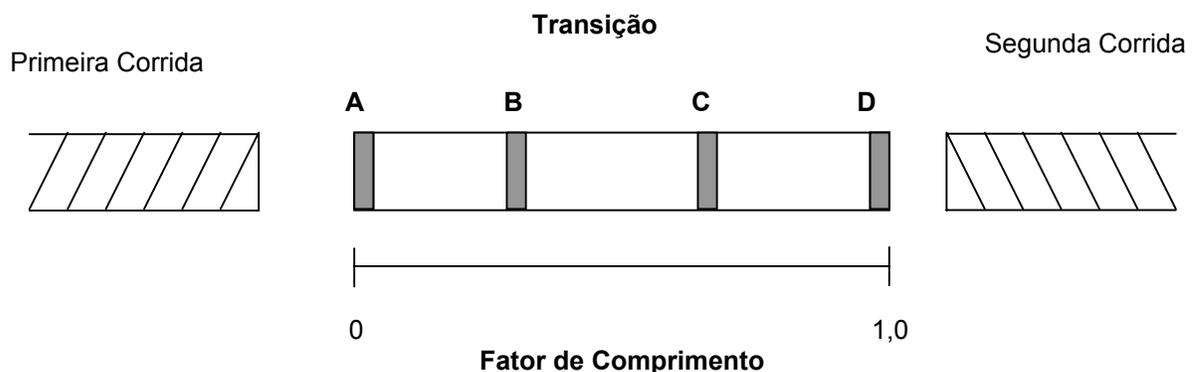


Figura 5 – Esquema de amostragem de análise química do tarugo de mistura

A análise dos resultados seguiu a seguinte metodologia:

- Estudou-se cada elemento químico em separado, pois o perfil de mistura varia dependendo do elemento em questão
- O estudo foi feito a partir da diluição do elemento de uma corrida para outra, ou seja, o teor do elemento no aço da primeira corrida é maior do que na segunda corrida. A amplitude de faixa de composição química entre as duas corridas foi a mesma em todos os experimentos
- Os valores de comprimento do tarugo de mistura foram padronizados de 0 a 1,0, sendo o comprimento de 1,0 igual a 100% do descarte indicado pelo algoritmo de cálculo de tarugo de transição utilizado na planta (6).

Os resultados são mostrados nos gráficos da Figura 6, onde avalia-se o perfil de diluição do elemento químico (porcentagem de aproximação do teor do elemento na amostra com teor do elemento na segunda corrida) em função do fator de comprimento do tarugo de transição, nas duas condições estudadas: com e utilização de modificador de fluxo (“pad”). Valores de aproximação na ordem de 90% já são considerados aceitáveis pois correspondem à incerteza do equipamento de análise química do laboratório.

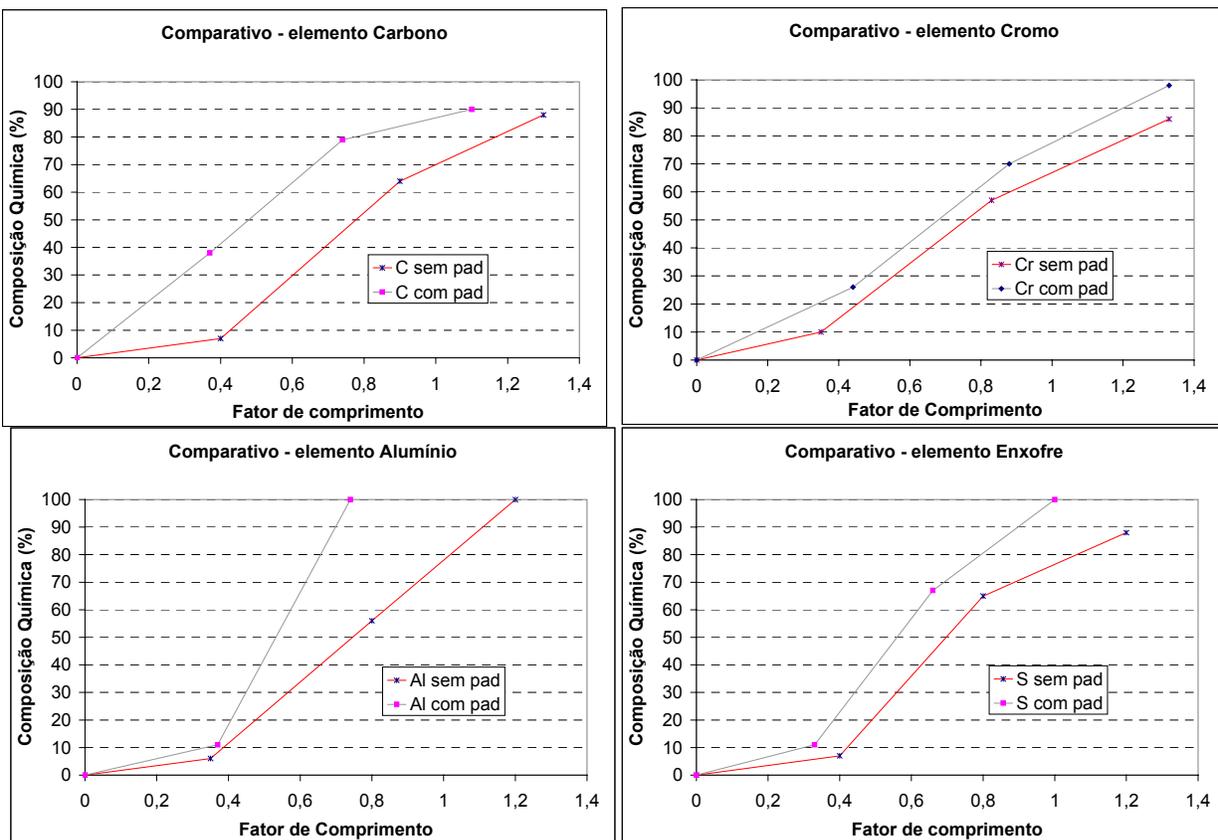


Figura 6 – Perfil de diluição dos elementos no tarugo de transição do sequencial misto

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos testes industriais com o *impact pad* mostram que:

- Obteve-se uma redução no valor de K1 para óxidos em todas as famílias de aço analisadas, sendo a maior redução na família SAE 41XX (87 %) e a menor redução na família SAE 51XX (8%). A redução levando-se em conta todas as famílias foi de 55%, em média.
- Houve uma redução da ordem de 20% na amplitude de mistura em seqüenciais de corridas de aços de graus diferentes, comparando-se com seqüenciais em que não foi utilizado o *impact pad*, possibilitando a diminuição do descarte nos seqüenciais mistos.

Assim, pode-se concluir que o objetivo do modelo teórico, que previa uma diminuição da turbulência no distribuidor e uma melhor homogeneização no fluxo de aço foi atendido, levando-se em conta os resultados experimentais como a redução do nível de microinclusões e no descarte em seqüenciais mistos.

REFERÊNCIAS

- 1 CRAMB, A. W. **Directions in the Production of Clean Steels**, Trans AFS, (1994), p 3 - 9.
- 2 McPHERSON, N. A. & McLEAN, A. (Eds.) **Non-Metallic Inclusions in continuously Cast Steel**, Continuous Casting, vol. 7. The Iron and Steel Society, 1995
- 3 HEASLIP, L.J, DORRICOT, J.D., RICHAUD, J., ROGLER, J.P. **Minimization of Hybrid Steel Production during Grade Inter-Mixing by Improved Tundish Design and On-line Optimization, Prediction & Tracking**. McMaster Symp. 2005
- 4 ODENTHAL, H-J., PFEIFER, H., KLAAS M. **Physical and mathematical modeling of tundish flows using Digital Particle Image Velocimetry (DPIV) and CFD-methods**. Steel Research 71, No. 6+7,2000, p. 210-219.
- 5 SARPOOLAKY, H., ZHANG, S., ARGENT, B.B., LEE, W.E., **Influence of GrainPhase on Slag Corrosion of Low-Cement Castable Refractories**, J. Am. Ceram. Soc. 84(2) 426-434 2001.
- 6 CARBONI, M. C.; LIMA, A. S.; AZEVEDO, A. S.; ; BOLOTA, J. R.. **Sequenciamento de Aços de Qualidades Distintas em um Mesmo Distribuidor no Lingotamento Contínuo**. In: XXXVI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, Vitória, 2005. Anais. São Paulo: ABM, 2005
- 7 **MICROSCOPIC EXAMINATION OF SPECIAL STEELS USING STANDARD DIAGRAMS TO ASSESS THE CONTENT OF NON-METALLIC INCLUSIONS - DIN 50602 Sep. 1985**, Verein Deutsche Eisenhüttenleute, 1985
- 8 CARBONI, M. C.; ALVES, W. A.; MIRANDA, M. A.; BARBOSA W. F. S.; AZEVEDO, A. S.; SANTOS, C. A.; BOLOTA, J. R. **Utilização de Modificadores de Fluxo no Distribuidor da Máquina de Lingotamento Contínuo da Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes**. In: XXXVII Seminário de Aciaria – Internacional, Porto Alegre, 2006. Anais. São Paulo: ABM, 2006