

UTILIZAÇÃO DE MODIFICADORES DE FLUXO NO DISTRIBUIDOR DA MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DA AÇOS VILLARES – USINA MOGI DAS CRUZES ¹

Marcelo Carboneri Carboni ²

Wender Andrade Alves ³

Marcos Antônio de Miranda ⁴

Wilson Francisco da Silva Barbosa ⁵

Alexandre Silveira de Azevedo ⁶

Carlos Roberto dos Santos ⁷

José Roberto Bolota ⁸

Resumo

Este trabalho tem por objetivo a avaliação da influência e os benefícios obtidos com a utilização de mobiliário de distribuidor na Aços Villares – Usina de Mogi das Cruzes. Os benefícios esperados são remoção de inclusões e aumento do rendimento da máquina de lingotamento contínuo. A metodologia empregada neste trabalho consistiu no modelamento matemático preliminar para projeto do mobiliário, utilização sistemática do conjunto Ripple Pad e Diques e finalmente análise dos resultados em produto (avaliação da remoção de inclusões) e em processo (ganhos de rendimento). Além disso, ganhos marginais desta utilização foram avaliados, como ganho em vida de refratários permanentes do distribuidor e aumento da segurança operacional. Considerando-se o nível de inclusões obtido com a utilização sistemática do sistema Ripple Pad com diques, obteve-se uma redução de cerca de 30% na rejeição de peças finais em casos de aplicações críticas. Obteve-se também uma redução consistente de descartes da ordem de 10% em relação ao material descartado em seqüências misto, proporcionando ganhos de rendimento com a implementação do sistema. Além disso, obteve-se outros ganhos em consumo de refratários e segurança operacional.

Palavras-chave: Modificador de fluxo; Impact pad; Distribuidor; Remoção de inclusões

UTILIZATION OF FLUX MODIFIER IN THE TUNDISH OF THE CONTINUOUS CASTING MACHINE FROM AÇOS VILLARES – MOGI DAS CRUZES PLANT

Abstracts

This work aims to evaluate the influence and benefits obtained with the utilization of tundish furniture at Aços Villares – Mogi das Cruzes Plant. The expected benefits are inclusion removal and yield improvement in the continuous casting machine. The methodology employed in this work consisted in preliminary mathematical modeling of the system for the furniture project, the systematic Ripple Pad and dams utilization and finally the analysis of results in product (inclusions removal evaluation) and in process (for yield improvements). Besides, marginal gains were evaluated, such as tundish permanent refractories life and operational safety increasing. Considering the level of inclusions obtained with the systematic utilization of the system Ripple Pad and dams, a reduction around 30% in rejection of final products was obtained for critical applications. Consistent reduction around 10% in the discharge for sequential casting of different steel grades was also obtained, providing yield improvement. Other benefits such as refractories consumption and operational safety were also obtained.

Key words: Flux modifier; Impact pad; Tundish; Inclusion removal

¹ Trabalho apresentado no XXXVII Seminário de Aciaria - Internacional, 21 a 24 de maio de 2006, Porto Alegre, RS

² Engenheiro Metalurgista – Supervisor Técnico de Processos de Aciaria – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes

³ Engenheiro de Materiais – Especialista de Produto – Vesuvius Brasil

⁴ Técnico em Refratários - Supervisor Operacional de Refratários – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes

⁵ Técnico em Metalurgia – Gerente de Contas - Vesuvius Brasil

⁶ Técnico em Metalurgia – Supervisor Operacional de Lingotamento Contínuo – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes

⁷ Tecnólogo em Garantia da Qualidade – Técnico em Controle de Qualidade – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes

⁸ Engenheiro Metalurgista – Gerente de Aciaria– Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes

1 INTRODUÇÃO

O distribuidor pode ser entendido como um reator desenvolvido para conectar as painelas com aço líquido aos moldes da máquina de lingotamento contínuo, cuja função primordial é atuar como um reservatório que garanta o fornecimento de aço líquido ininterruptamente à máquina de lingotamento contínuo, mesmo durante a troca de painelas em um sequenciamento de corridas⁽¹⁾. Ele é o último vaso antes do aço líquido atingir o molde, no qual a quantidade de componentes não metálicos (inclusões) presentes no aço pode ser substancialmente alterada de forma positiva ou negativa.

Todavia, como consequência direta da necessidade de aumento da qualidade e redução de custos na produção de aços, o escopo de atuação dos distribuidores vem adquirindo uma nova dimensão:^(2,3) o aumento do tempo mínimo de residência do aço (MRT) e consequente eliminação de linhas de curto circuito no distribuidor com objetivo de maximizar a flotação de impurezas no banho metálico; a redução da turbulência gerada pelo fluido entrante e a consequente redução da emulsificação de escória no banho metálico; a alteração do padrão de fluxo para obtenção de uma maior homogeneidade termoquímica entre os veios seja alcançada; o desenvolvimento de uma maior parcela de fluxo pistonado para uma transição mais eficiente de graus de aço seja obtido e a redução de regiões de baixa velocidade de troca de massa (zonas mortas) têm orientado essa nova visão.

Vários pesquisadores⁽⁴⁾ têm estudado o comportamento fluido-dinâmico do aço no distribuidor de forma a minimizar o potencial de contaminação do aço por não-metálicos e aumentar a probabilidade de separação de impurezas. Uma gama considerável de aparatos refratários foi desenvolvida e testada com este propósito. Dentre estes, surgiram os genericamente denominados “Impact Pads” ou inibidores de Turbulência.

Um Impact Pad, desde sua concepção, deve considerar a captura, desaceleração e reorganização do jato de aço proveniente do tubo longo como premissa básica a um funcionamento adequado. Dada extrema energia deste jato de aço, um material refratário desenvolvido para tais condições de exigência é requerido para a garantia de uma performance adequada⁽⁵⁾. Além disso, a aplicação de tais inibidores de turbulência não pode ser considerada isoladamente ou com o fim em si mesma. 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) 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:

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

Dessa forma, o distribuidor da Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes 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 aumentasse a homogeneidade termoquímica dos veios e reduzisse consideravelmente o nível geral de inclusões no aço lingotado.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um projeto de mobiliário de tundish para o tundish da máquina de lingotamento contínuo da Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes e a avaliação dos resultados benéficos de sua utilização na operação e produção de aços especiais para construção mecânica.

Avaliou-se os resultados sob dois aspectos:

- Limpeza inclusionária interna; utilizando-se métodos de medição de micro inclusões.
- Ganho de rendimento em sequenciamento de aços de qualidade distinta em um mesmo distribuidor; medido pelo descarte realizado no lingotamento contínuo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para a implantação do projeto de modificadores de fluxo na máquina de lingotamento contínuo teve duas etapas principais:

- Projeto do mobiliário do distribuidor
- Implantação do mobiliário e validação dos resultados experimentais.

3.1 Projeto dos Modificadores de Fluxo

A máquina de lingotamento contínuo de Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes é um tundish tipo “T” de 4 veios com capacidade de 12t sem nenhum tipo de mobiliário. Esta máquina produz tarugos quadrados em bitolas de 155 e 185 mm, em um throughput de aproximadamente 1,10 t/min, que resulta em tempo de residência teórico médio de quase 11 minutos.

O projeto do mobiliário desenvolvido para este tundish, compreendeu o desenvolvimento de um conjunto composto por Impact Pad e diques 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. 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 (minumum residence time) e aumento na porcentagem de fluxo pistonado dentro do distribuidor. As Figuras 1 e 2 apresentam o projeto final contemplando a montagem do Ripple Pad com dois diques e o detalhamento do Ripple Pad.

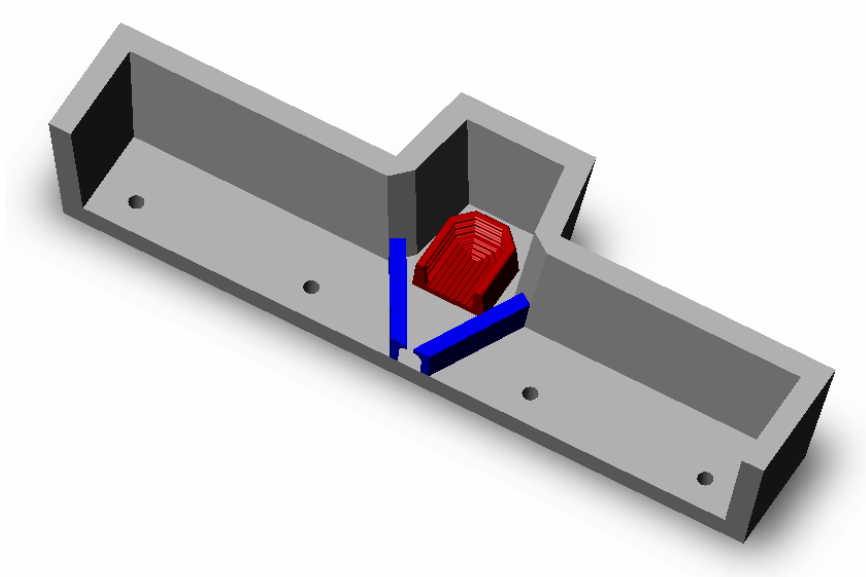


Figura 1. Projeto final do mobiliário de tundish, incluindo Ripple Pad e diques.

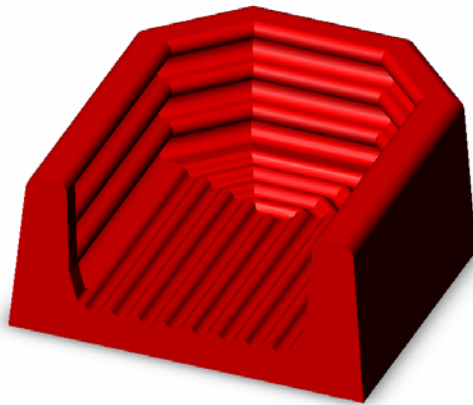


Figura 2. Detalhe do projeto do Ripple Pad.

A implantação deste sistema, bem como o projeto e fabricação dos refratários foi feito pela Vesuvius Brasil. A Figura 3 mostra uma foto da montagem refratária real em um tundish.



Figura 3. Montagem refratária do conjunto Ripple Pad e diques no tundish

3.2 Testes e Validações Industriais

Visando analisar o desempenho do projeto do Impact Pad para o distribuidor da Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes sob dois aspectos, foi necessário realizar dois procedimentos experimentais distintos sendo o primeiro focado em resultados de limpeza inclusionária e o restante em ganhos de rendimento em sequenciamento de aços de qualidades distintas.

3.2.1 Análise de inclusões

Para a análise da influência dos modificadores de fluxo na limpeza inclusionária do aço, utilizou-se comparação de corridas produzidas com e sem o mobiliário de tundish para a modificação de fluxo. Optou-se por realizar estes testes em uma liga específica de alta sollicitação, e apresentava rejeições em produto acabado por inclusões de 30 a 150 μm .

O nível de microinclusões do material foi medido de acordo com a norma DIN 50602, método K de somatória de inclusões⁽⁶⁾, onde o parâmetro utilizado foi K1 para óxidos.

Desprezou-se K0, pois esta faixa de tamanho médio de inclusões não seria a faixa de tamanhos de inclusão removíveis por esta montagem refratária de modificadores de fluxo, pelo próprio modelo em CFD. De acordo com o modelo, a grande influência seria detectada a partir de tamanhos correspondentes a K1.

Também não foi avaliado K para sulfetos, uma vez que o aço em análise tinha faixa controlada de enxofre e assim a presença de quantidades controladas de sulfeto era desejada.

De acordo com a norma DIN 50602 foram retiradas amostras do início, meio e final de lingotamento.

3.2.2 Análise de sequenciais de aços de qualidades distintas

Sequenciamento de aços de qualidades distintas em um mesmo distribuidor é uma prática amplamente adotada na siderurgia, principalmente em siderúrgicas que produzem aços especiais. Para o aproveitamento do mesmo distribuidor, faz-se uma transição de tipo de aço, descartando-se a região de mistura, que apresenta heterogeneidade química. Este descarte é feito através de cálculo e confirmado por análise química das extremidades dos tarugos descartados.

A sistemática implantada para cálculo e descarte destes materiais de transição está descrita detalhadamente em outro trabalho⁽⁷⁾. A prática operacional é chamada de *Método da Dupla Diluição* e as principais variáveis que influem no tamanho do descarte são:⁽⁷⁾

- Diferença de composição química entre os aços envolvidos
- Volume de aço residual no momento da transição
- Velocidade e temperatura de lingotamento
- Volume morto no tundish
- Volume de fluxo pistonado

Os modificadores de fluxo atuam fundamentalmente diminuindo o volume morto e aumentando a porcentagem de fluxo pistonado dentro do tundish. Desta forma, pode-se diminuir o descarte por heterogeneidade química em sequenciais de aços de qualidades distintas, sem alterar-se as práticas operacionais, mas sim por alteração do modelo de fluxo de aço do tundish.

4 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de Inclusões

A primeira análise realizada para a avaliação do efeito dos modificadores de fluxo na remoção de inclusões durante o lingotamento contínuo foi feita por método comparativo do desempenho de corridas de um tipo de aço de alta solicitação. Considerou-se o histórico de rejeição por micro-inclusões em corridas produzidas sem modificadores de fluxos durante alguns meses e comparou-se com o resultado de dois meses de produção deste aço com o conjunto Ripple Pad e diques. Os resultados obtidos são apresentados na figura 4.

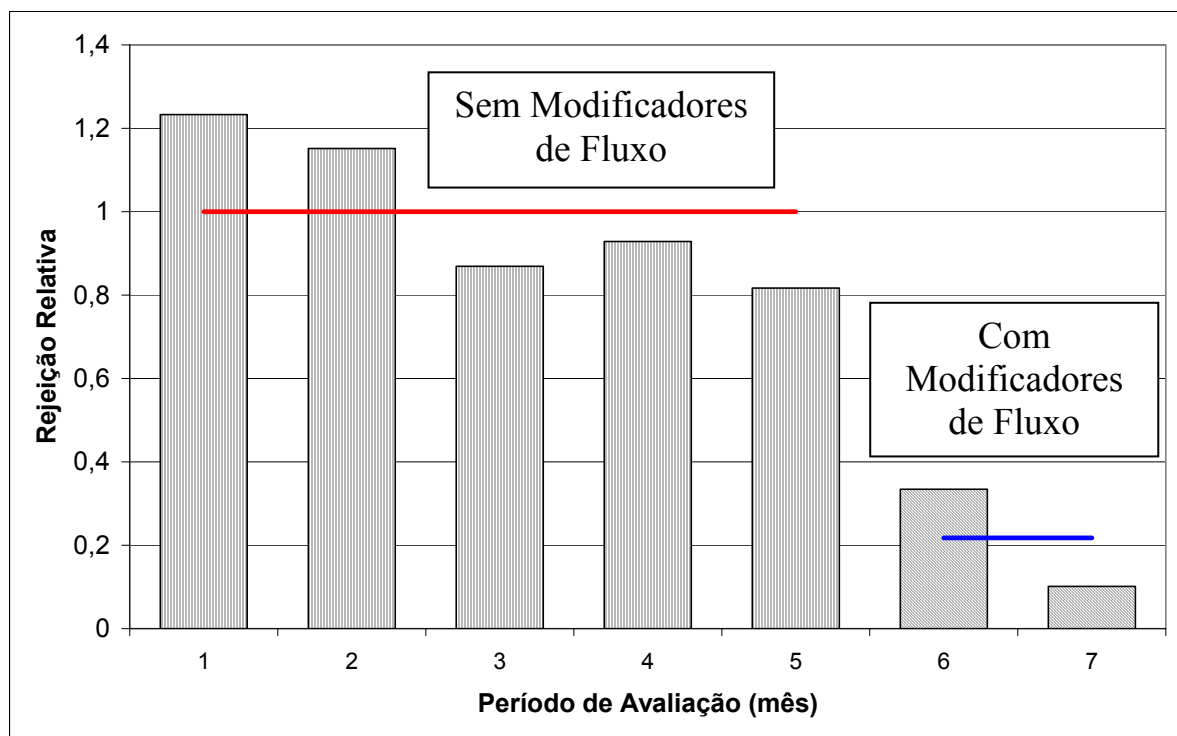


Figura 4. Rejeições em produto final por micro-inclusões para os casos sem modificadores de fluxo e com modificadores de fluxo.

Observando-se os bons resultados, procedeu-se a análise sistemática de inclusões de acordo com o método K da norma DIN 50602 em amostras de início, meio e fim de lingotamento. Desta forma pode-se obter resultados mais significativos dos efeitos da utilização dos modificadores de fluxo em termos de remoção de inclusões. Os resultados são apresentados na Figura 5.

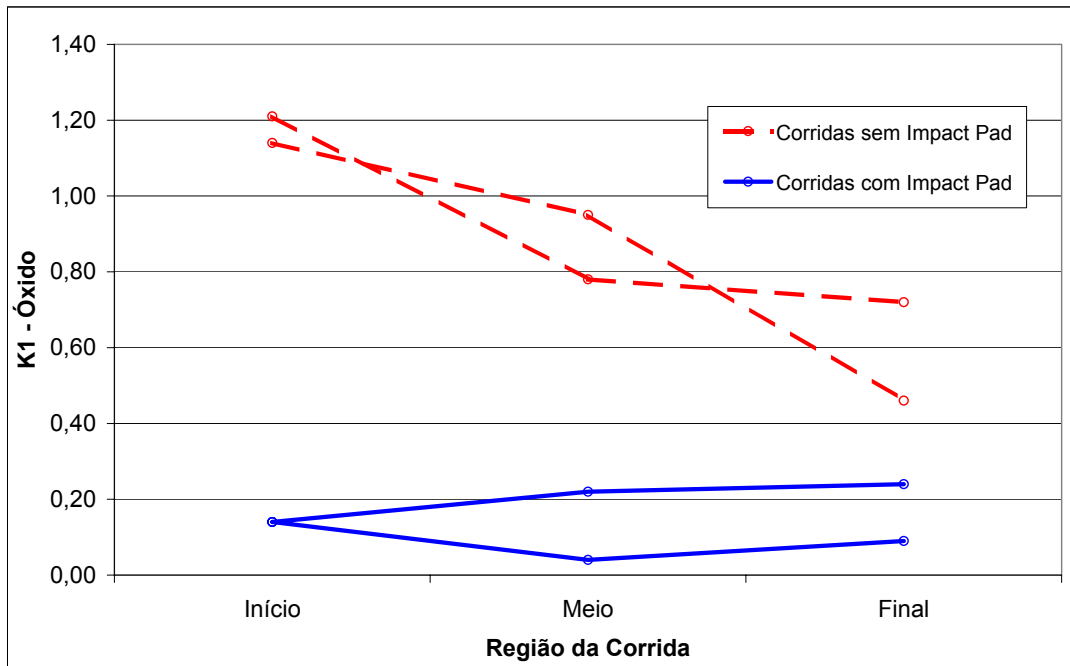


Figura 5. Resultados de medição de K1 para óxidos para corridas sem e com modificadores de fluxo. Pode-se observar que não apenas o nível médio de K1 foi reduzido, como também a diferença entre o início e o regime estável foi praticamente eliminada.

4.2 Descartes em Sequenciais de Aços de Qualidades Distintas

Para avaliar possíveis reduções do descarte em sequenciais de aços de qualidades distintas em um mesmo distribuidor, manteve-se o mesmo algoritmo de cálculo de descarte já padronizado para as condições de fluxo do distribuidor sem modificadores. Após a realização dos descartes foram avaliadas diferentes metragens de corte no material já sucata de acordo com a Figura 6. Desta maneira pode-se padronizar a nova metragem de descarte, já com o fluxo modificado.

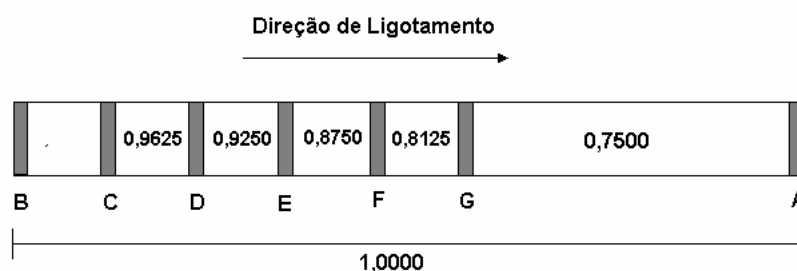


Figura 6. Esquema de amostragem para análise química do material de transição.

Dentro do algoritmo de cálculo dois fatores fundamentais de análise são a diferença de composição química em um dado elemento entre a primeira e a segunda corrida e o comprimento de tarugo descartado na transição. Com o objetivo de se avaliar o conjunto de resultados como um todo, foi feita uma padronização nestes valores da seguinte maneira:

- valores de comprimento de tarugo de descarte foram padronizados de 0 a 1,0, sendo o comprimento 1,0 igual a 100% do descarte indicado pelo algoritmo de cálculo em utilização atualmente.

- Os valores de composição química foram normalizados de 0 a 1,0, sendo 0 o valor de um determinado elemento para a primeira corrida e 1,0 o valor do mesmo elemento na segunda corrida para casos de concentração, e o inverso para casos de diluição.

Desta maneira optou-se por representar os resultados de concentração em uma curva e os de diluição em outra, para facilitar a visualização dos dados. Além disso, utilizou-se um fator de severidade de mistura dependendo da amplitude de faixa de composição química. Este fator é utilizado no algoritmo, aumentando proporcionalmente o comprimento do descarte. Nas curvas cada fator está representado em um padrão. As Figuras 7 e 8 apresentam os resultados obtidos.

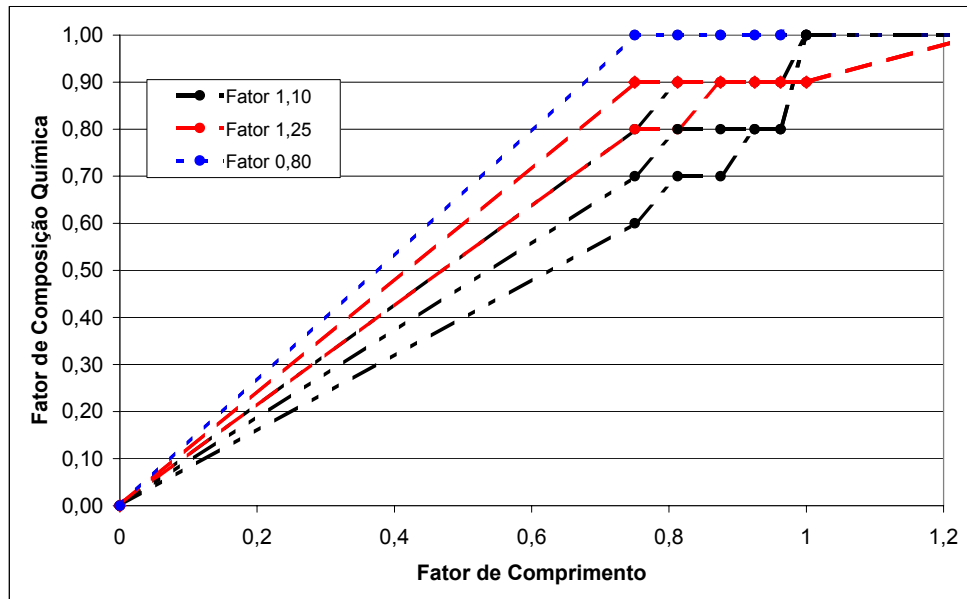


Figura 7. Resultados de análise química em função do descarte para casos de concentração.

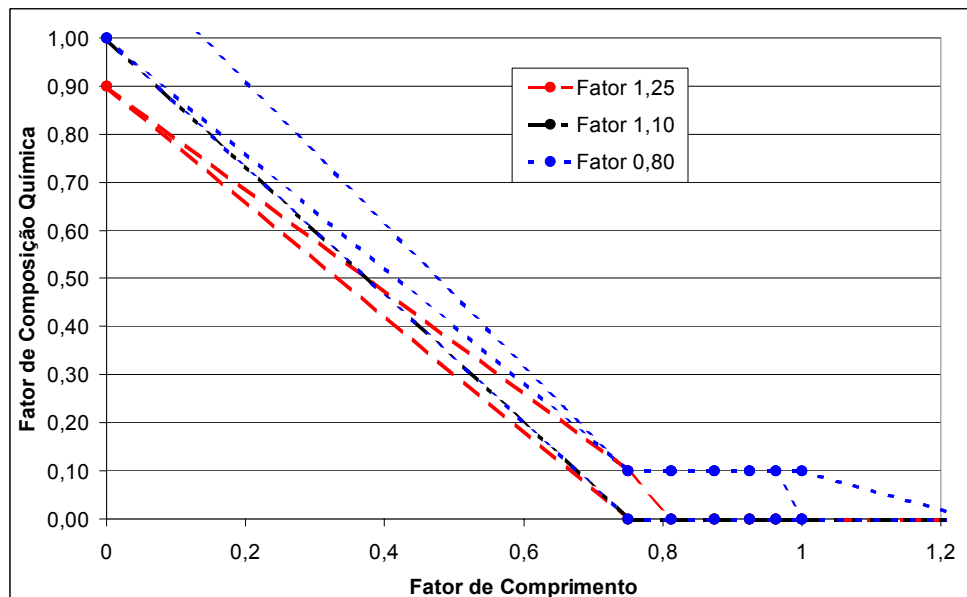


Figura 8. Resultados de análise química em função do descarte para casos de diluição.

Valores correspondentes a 0,8 (concentração) ou 0,2 (diluição) da faixa de composição química já são aceitáveis pois correspondem a variações da ordem de grandeza do erro da análise química em laboratório.

5 CONCLUSÕES

Avaliando-se os resultados obtidos a partir da validação industrial feita na usina, foi possível atingir os resultados esperados. Como benefícios da utilização dos modificadores de fluxo é possível destacar:

- O nível de rejeição em produto final por motivo de micro-inclusão para aço de elevada severidade de aplicação foi reduzido de maneira consistente em cerca de 75%.
- Obteve-se uma redução da ordem de 40% no valor médio de K1 para óxidos com a utilização de modificadores de fluxo.
- A homogeneidade de limpeza ao longo do lingotamento foi maior com a utilização dos modificadores de fluxos, por reduzir a turbulência dentro do tundish na abertura de panela e início de lingotamento. Desta maneira o impacto negativo de uma troca de panela para a limpeza do aço é minimizado.
- Demonstrou-se possível uma redução de cerca de 15% em casos de concentração e 20% em casos de diluição para o peso descartado em uma troca de qualidade de aço sem troca de distribuidor (é necessário considerar que o algoritmo original de cálculo já considerava um descarte maior em casos de diluição).

Desta maneira pode-se concluir que o projeto de implantação de modificadores de fluxo no tundish da máquina de lingotamento contínuo de Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes atingiu seus objetivos iniciais.

REFERÊNCIAS

- 1 McPHERSON, N. A. & McLEAN, A. (Eds.) **Non-Metallic Inclusions in continuously Cast Steel**, *Continuos Casting*, vol. 7. The Iron and Steel Society, 1995
- 2 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
- 3 CRAMB, A. W. **Directions in the Production of Clean Steels**, *Trans AFS*, (1994), p 3 - 9.
- 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 Grain Phase on Slag Corrosion of Low-Cement Castable Refractories**, *J. Am. Ceram. Soc.*, 84(2) 426-434, 2001.
- 6 MICROSCOPIC EXAMINATION OF SPECIAL STEELS USING STANDARD DIAGRAMS TO ASSESS THE CONTENT OF NON-METALLIC INCLUSIONS - DIN 50602 Sep. 1985, *Verein Deutsche Eisenhüttenleute*, 1985
- 7 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

