

ESTUDO DA REGIÃO DE MISTURA DE AÇO NO LINGOTAMENTO CONTÍNUO¹

*Bartolomeu Rabello Dalbonne²
Marcelo de Aquino Martorano³*

Resumo

O lingotamento contínuo apresenta índices muito importantes em termos de produtividade e custo, os quais se tornam cada vez melhores quanto maiores forem os seqüenciais de lingotamento. Com a demanda cada vez mais exigente por qualidade, faixas de composição química cada vez mais diversificada, pedidos de menores tonelagens e prazos de entrega cada vez mais estreitos, os longos seqüenciais de lingotamento tornam bastante freqüentes as ocorrências de lingotamentos consecutivos de aços de qualidades diferentes, gerando as placas de mistura. Estas placas são desviadas dos clientes originais e vendidas a preços inferiores ao praticado para as placas normais ou são cortadas e utilizadas como carga sólida para uma nova corrida no conversor. Na Cosipa, a determinação da região de mistura nas máquinas de lingotamento contínuo mais antigas, é unicamente, empírica e o operador define a região a ser desclassificada por meio de tabelas padronizadas. Para adaptação destas tabelas à produção de aços API (American Petroleum Institute), amostras foram retiradas em placas de mistura geradas entre aços API e não-API. Esta alteração adequou as tabelas a estes tipos de mistura garantindo a qualidade do produto final.

Palavras-chave: Placa de mistura; Lingotamento contínuo; Distribuidor; Molde.

STUDY OF STEEL GRADE TRANSITION IN CONTINUOUS CASTING

Abstract

The continuous casting shows very important indexes in terms of productivity and cost, which become increasingly better the larger the sequence. With the demand for quality, different chemical compositions, requests for smaller tonnage and short timing of delivery, the long casting sequences make the occurrence of consecutive steel casting of varying qualities quite frequent. When a ladle containing steel with a different composition opens, slabs with mixed composition are created. These slabs are sold at prices below those used for normal slabs or are even used as load for a new heat in the converter. At Cosipa, the determination of the length of the intermixed slab for the oldest continuous casting machines is only empirical and the operator defines the region to be downgraded by means of standardized tables. To adjust these tables to the production of API steel (American Petroleum Institute), samples were taken on intermixed slabs generated between API and non-API steel. The change adapted the tables to these types of mixing, ensuring the quality of the final product.

Key words: Grade transition; Continuous casting; Tundish; Mold.

¹ *Contribuição técnica ao 40º Seminário de Aciaria – Internacional, 24 a 27 de maio de 2009, São Paulo, SP, Brasil.*

² *Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Superintendência de Aciaria da Cosipa; Cubatão-SP.*

³ *Professor do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.*

1 INTRODUÇÃO

Com o mercado globalizado, o aumento da produção mundial de aço vem sendo acompanhado por uma demanda cada vez mais exigente por qualidade que, entre outras, inclui diversas faixas de composição química e prazos de entrega cada vez mais estreitos. Para satisfazer esta demanda o processo mais largamente utilizado nas usinas siderúrgicas é o lingotamento contínuo, pois consegue aliar alta produtividade com custos reduzidos.

Para se manter competitiva no mercado, a Cosipa passou a produzir placas exclusivamente pelo processo de lingotamento contínuo a partir de 1999 e vem modernizando suas instalações e adquirindo novas tecnologias. Atualmente a Aciaria da Cosipa conta com:

- três conversores LD de 170 t (um com sopra-combinado e os outros dois em fase de aquisição desta tecnologia);
- cinco equipamentos de refino secundário (FoPa - Forno Panela, AHF- Aluminium Heating Facilities, RH-T/COB - Desgaseificador à Vácuo Tcnometal Combined Oxygen Blowing e duas EBAs - Estações de Borbulhamento de Argônio); e
- quatro máquinas de lingotamento contínuo de placas, (três de um veio (210 ou 260 x 1.020 mm a 1.900 mm) e uma de dois veios (210 ou 260 x 750 mm a 1.900 mm). A máquina de dois veios e uma das máquinas de um veio, são de última geração com vários recursos tecnológicos embarcados. As outras de um veio, são mais antigas, com planos de modernização.

A máquina de lingotamento contínuo precisa trabalhar com seqüenciais longos, envolvendo o mínimo possível de trocas de distribuidor, para conseguir aliar alta produtividade com custos reduzidos. Esta prática torna bastante freqüente lingotamentos consecutivos de aços de composição química diferentes, gerando placas com composições químicas intermediárias, indesejadas e chamadas de "placas de mistura", que são vendidas para aplicações sem exigência, a um preço inferior ao praticado para placas normais.

Na Cosipa a geração de placas de mistura está na ordem de 3,0% da produção, o que corresponde a algo em torno de 11000 ton/mês. Para minimizar os custos associados a estas placas, Huang e Thomas,⁽¹⁾ afirmam que o operador da máquina de lingotamento precisa conhecer exatamente onde está a região de mistura a fim de desclassificar somente a quantidade estritamente necessária.

Na Cosipa, a determinação da região de mistura nas máquinas de lingotamento contínuo mais antigas é unicamente empírica e o operador define a região a ser desclassificada por meio de tabelas padronizadas. Nas máquinas mais modernas, modelos matemáticos (Intermix calculator), fornecidos pelo fabricante do equipamento (Voest-Alpine), são utilizados visando a otimização on-line do corte das placas de mistura.

Este trabalho tem como objetivo medir o comprimento da placa de mistura que é gerada durante o lingotamento seqüencial de um aço não-API (Corrida anterior) para um aço API (American Petroleum Institute) (Corrida posterior) da Companhia Siderúrgica Paulista (Cosipa). Serão apresentados apenas resultados preliminares, visto que este projeto ainda se encontra em andamento.

1.1 Revisão de Literatura

Burns e Schade,⁽²⁾ desenvolveram estudos na “Armco Steel Company em Ashland” abordando a mistura no distribuidor e no veio, por meio de três métodos: modelo matemático, modelo físico e experimentos na fábrica.

No modelo físico, usando água natural e água com sal, foram feitas várias simulações com três diferentes níveis de água no distribuidor no momento da abertura da panela, a saber, 508 mm, 762 mm e 1.016 mm medidas estas que correspondem ao peso real de aço no distribuidor da Armco de 12,8 t, 20,5 t e 29,0 t respectivamente. Os resultados encontrados mostraram que, quanto maior o nível de aço no distribuidor, maior será o tempo para eliminação da mistura e conseqüentemente maior a região de mistura.

Para o modelo matemático, após observarem a forma da curva “variação da composição química versus tempo relativo”, obtida no modelo físico, os autores escolheram um modelo de variação exponencial para ajustar os dados coletados. O modelo foi, então, utilizado e observou-se que reduzir o nível do distribuidor no momento da abertura da panela, lingotar faixas de composição química mais largas antes de mais estreitas e produtos com larguras menores, resultam em menores comprimentos de mistura, como mostra a Figura 1.

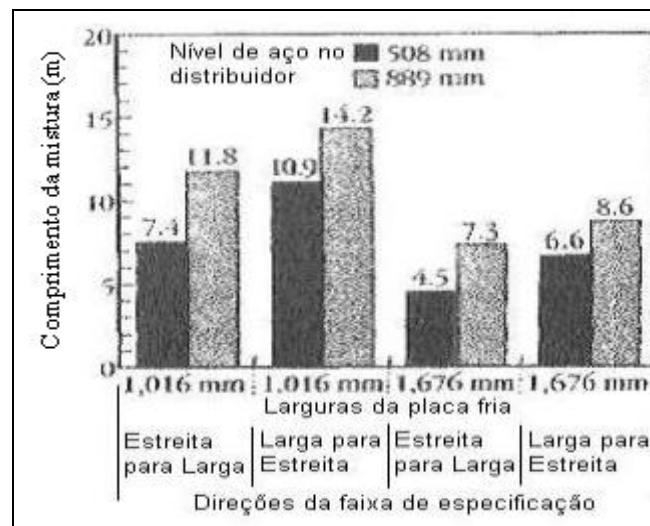


Figura 1 – Comparação do comprimento da região de mistura para diferentes direções de faixa de especificação, diferentes níveis de aço no distribuidor e diferentes larguras da placa fria.⁽²⁾

Para validar tanto o modelo matemático quanto o físico, os autores relatam que foram retiradas amostras no molde a cada 30 segundos durante os três primeiros minutos de uma transição de aços diferentes. Adicionalmente, após resfriamento das placas de mistura, foram tiradas amostras da borda da placa separadas aproximadamente de 1,2 m umas das outras. A análise mostrou coerência entre o modelo matemático e o real, e possibilitou a implantação on-line do modelo matemático. Assim, segundo os autores, o modelo passou a executar a rotina de otimização de placa com objetivo de determinar a quantidade e o comprimento mínimos de placas de mistura, o que trouxe uma redução de material degradado por mistura da ordem de 25%.

É importante mencionar que o estudo não relata a coleta de amostras no centro da placa, não deixando claro a verificação da mistura ocorrida no veio.

Mostert, Gendt, e Van der Bogert,⁽³⁾ descreveram um modelo desenvolvido na usina de Hoogovens. Foram utilizados cinco princípios, básicos para qualquer máquina de lingotamento, a saber:

- a difusão molecular não é importante se comparada com o transporte devido à turbulência envolvida no processo;
- a composição do aço de entrada na máquina muda abruptamente na abertura da nova panela de aço de qualidade diferente;
- os primeiros traços do aço da nova panela surgem um certo tempo após a abertura da mesma;
- no distribuidor o aço mistura-se relativamente bem; e
- no veio também ocorre alguma mistura.

Além destes princípios, duas simplificações foram assumidas:

- reações químicas (panela, distribuidor e molde) não são consideradas; e
- a geometria da máquina não muda durante o lingotamento e chapas separadoras de qualidade no molde não são utilizadas/modeladas.

Segundo os autores, a validação do modelo foi conduzida em dois passos,

utilizando o conceito de concentração adimensional, $C = \frac{F_t - F_{ant}}{F_{pos} - F_{ant}}$ onde F_t é a fração

de um dado elemento no aço; F_{ant} e F_{pos} são as frações desse elemento nas corridas anterior e posterior respectivamente, no qual, todas as concentrações adimensionais crescem de 0 (abertura da panela) até 100%. Primeiro a composição do aço no molde foi estudada a partir de amostras normais da produção ajustando o modelo. Em seguida o modelo foi implementado no computador de processo para acompanhamento on-line.

Conforme relatado, os dados requeridos para o cálculo on-line em máquinas de lingotamento de placas de dois veios, são oito: momento da abertura da panela nova, volume do distribuidor e, para cada um dos dois veios, a largura, a espessura e a velocidade de lingotamento. A vazão de aço de saída da máquina é calculada a partir das dimensões e velocidades de lingotamento dos veios.

Como resultado, o uso off-line do modelo pelo departamento de planejamento trouxe redução na geração de mistura e no consumo de distribuidor pelo agrupamento de aços compatíveis e o uso on-line do modelo pelo operador do lingotamento trouxe redução do comprimento desclassificado por mistura.

É importante mencionar que o estudo não deixa claro como foram coletadas as amostras para a verificação da mistura na região central e de borda das placas.

Damle e Sahai,⁽⁴⁾ desenvolveram um modelamento matemático para cálculo da mistura de aço no distribuidor, durante mudança de qualidade no processo de lingotamento contínuo de placas de aço. Foram considerados os fenômenos de transferência de calor e os efeitos transientes do escoamento turbulento. Foram utilizadas equações de conservação de massa, conservação do movimento para escoamento turbulento e conservação de energia térmica. Além de esclarecer a importância do efeito térmico, os autores relatam que o modelo matemático foi usado para estudar o efeito de vários parâmetros de lingotamento, tais como: nível de aço no distribuidor no momento da abertura da panela, a taxa de enchimento do distribuidor com o novo aço, a presença de barragens e diques e o efeito da faixa de composição química especificada dos aços (de estreita para larga ou larga para estreita).

Os autores observaram que reduzir o máximo possível o nível de aço no distribuidor antes da abertura da nova panela com grau de aço diferente, usar

barragens, diques ou controladores de fluxo e reduzir o tempo de residência do aço no distribuidor ajudam a reduzir a mistura.

Para avaliar a importância do efeito térmico foram estudadas duas condições não-isotérmicas e uma isotérmica. A Figura 2 mostra os perfis da composição de saída do modelo de Damle e Sahai⁽⁴⁾ versus tempo, demonstrando que a influência das condições térmicas na extensão da mistura formada no distribuidor é insignificante.

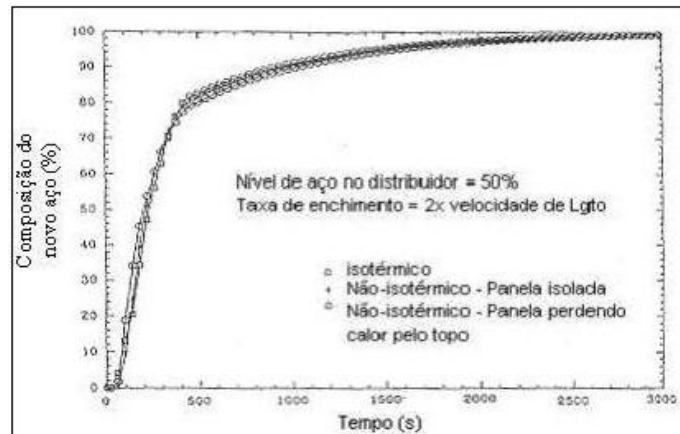


Figura 2 - Concentração de saída em distribuidor sem mecanismos de controle de fluxo, em estado estacionário com uma vazão de 2,84t/min.⁽⁴⁾

Para verificar o efeito do nível de aço no distribuidor, a Figura 3 mostra os perfis de concentração de saída do modelo em função do tempo, para diferentes volumes de aço no distribuidor na abertura da nova panela. A curva para o caso em que o distribuidor estava com 25% do volume normal de operação foi a mais íngreme, e a razão é que, para um dado escoamento, o tempo de residência do fluido será tanto menor quanto menor for o volume. Conseqüentemente, o tempo de transição e a extensão da mistura também serão menores.

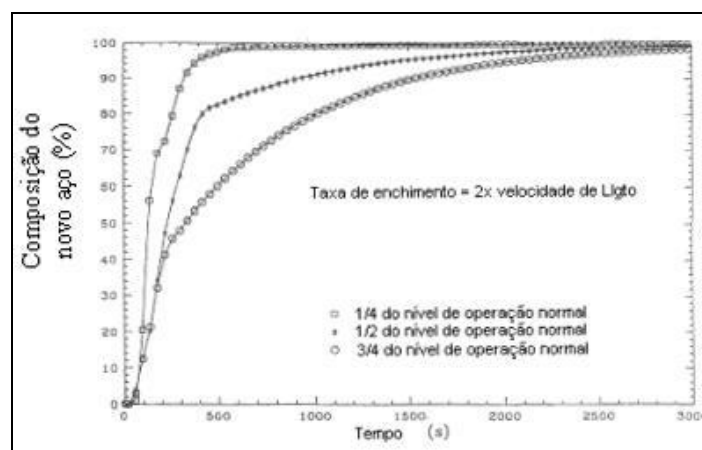


Figura 3 – Concentração de saída para o distribuidor (sem mecanismo de controle e condições isotérmicas) com três níveis de aço no distribuidor. Estado estacionário a 2,8 t/min. Nível de operação normal a 1,2 m.⁽⁴⁾

Com relação ao efeito da taxa de reenchimento do distribuidor após a abertura da nova panela, os autores não encontraram correlação simples com a quantidade de mistura. A Figura 4 mostra os perfis de concentração de saída do modelo

desenvolvido por Damle e Sahai,⁽⁴⁾ para quatro diferentes estratégias de reenchimento do distribuidor.

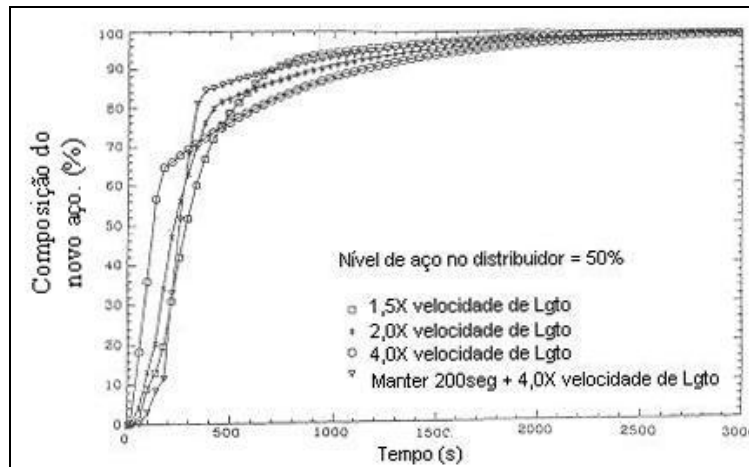


Figura 4 – Concentração de saída para o distribuidor (sem mecanismo de controle e condições isotérmicas) com quatro diferentes estratégias de reenchimento do distribuidor. Estado estacionário a 2,8 t/min.⁽⁴⁾

Em cada caso, o nível de aço no distribuidor no momento da abertura da nova panela foi de 50% do volume normal de operação. Observando a curva da quarta estratégia (manter 200 s + 4,0x velocidade de lingotamento) é possível ver que é a melhor considerando o critério de aceitação entre 20% e 80% e que a curva da primeira estratégia (1,5x velocidade de lingotamento) é a melhor para o critério entre 10% e 90%.

No que tange ao efeito da faixa de especificação dos aços envolvidos na mistura, os pesquisadores estudaram os seguintes casos:

- 1º) Corrida anterior $0,03 < \%C < 0,05$ e corrida posterior $0,13 < \%C < 0,17$.
- 2º) Corrida anterior $0,13 < \%C < 0,17$ e corrida posterior $0,03 < \%C < 0,05$.

Como mostrado nas Figuras 5a e 5b, os autores observaram que no primeiro caso o tempo de transição foi o equivalente à metade do segundo caso, mostrando que há vantagens em programar as mudanças de qualidade de forma que os aços de menores faixas especificadas sejam as corridas anteriores.

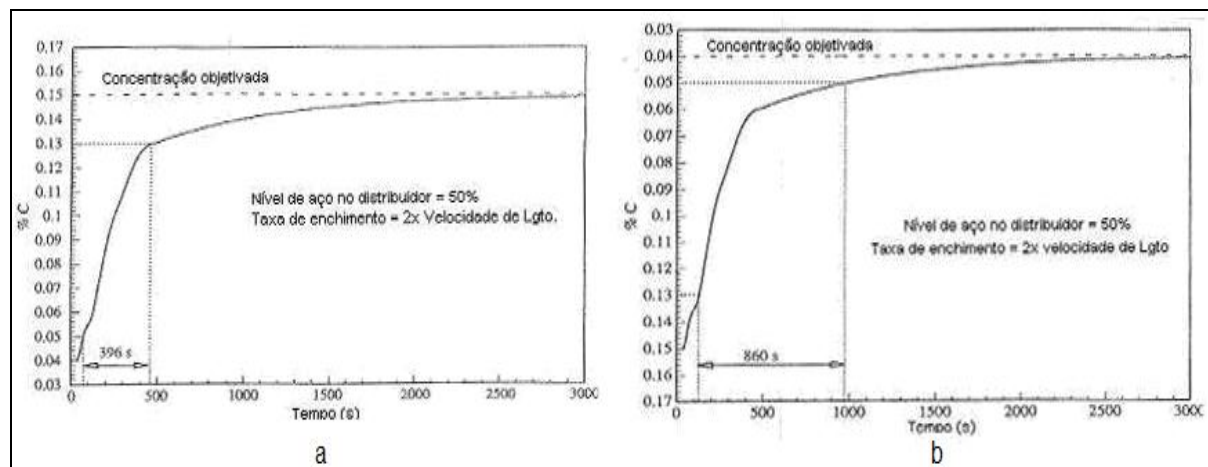


Figura 5 – Concentração de saída mostrando o tempo de transição (a) especificação mais estreita para mais larga e (b) especificação mais larga para mais estreita.⁽⁴⁾

Huang e Thomas,⁽¹⁾ para definir a distribuição da composição química da placa de mistura, desenvolveram um modelo computacional, inteiramente transiente, subdividido em três submodelos: Submodelo de mistura no distribuidor, Submodelo de mistura no núcleo líquido do veio e Submodelo de mistura na solidificação.

O primeiro submodelo calcula a mistura no distribuidor, a qual determina a composição do aço que entra no molde e controla a composição de superfície do produto final. A Figura 6 mostra como o distribuidor foi subdividido pelos autores para o desenvolvimento do submodelo.

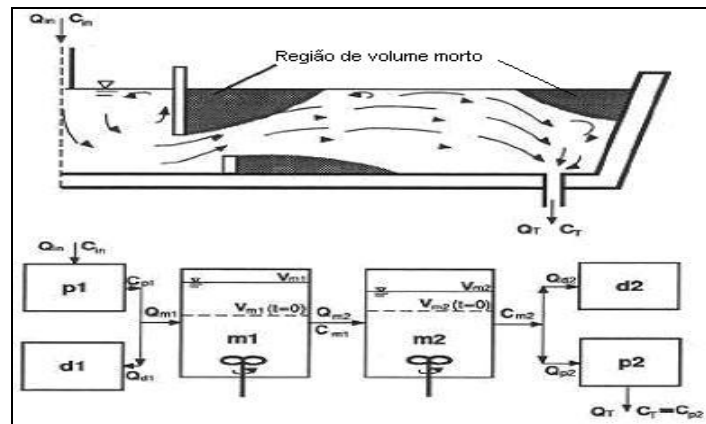


Figura 6 – Esquema de um distribuidor de lingotamento contínuo e suas seis frações de volume.⁽¹⁾

Para o segundo submodelo, mistura no veio, e para o terceiro submodelo, mistura na solidificação, os autores dividiram o veio em três zonas, S1, S2 e S3, como representadas na Figura 7. Duas zonas bem misturadas na região superior do molde, S1 e S2, e uma zona de difusão na porção inferior do núcleo líquido até o comprimento metalúrgico (ponto final de solidificação), S3.

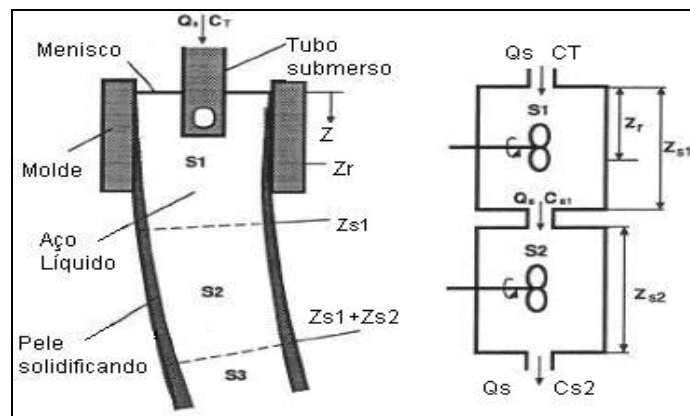


Figura 7 – Representação esquemática das três zonas do Submodelo de mistura no veio.⁽¹⁾

Conforme Huang e Thomas,⁽¹⁾ o fluxo turbulento na entrada do molde pode penetrar profundamente no núcleo líquido, levando aço misturado em posições bem distantes abaixo do menisco no momento da abertura da nova panela e a difusão no aço sólido é insignificante se comparada ao fluxo turbulento, assim, o perfil inicial da pele solidificada permanece completamente com o aço anterior, como mostra a figura 8, variação típica da composição química durante a transição.

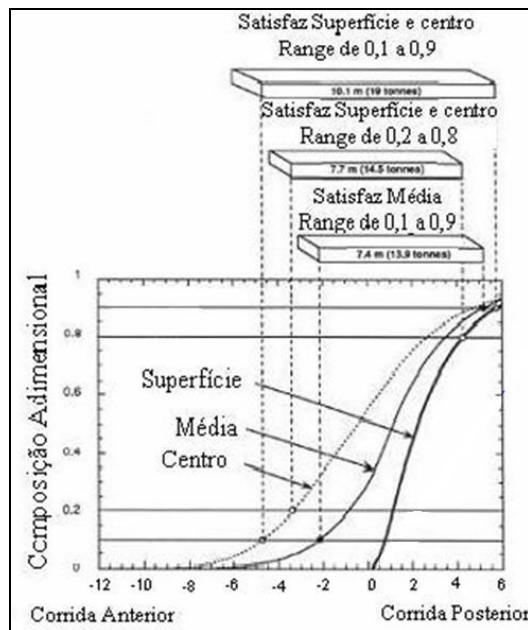


Figura 8 – Variação típica da composição química durante a transição, resultado de saída do modelo.⁽¹⁾

Thomas,⁽⁵⁾ aplicou o modelo matemático desenvolvido por ele e Huang,^(1,6) para investigar o efeito de variáveis de processo na extensão da mistura onde a mesma ocorre tanto no distribuidor quanto no núcleo líquido do veio. Com o uso de diferentes estratégias para minimizar a geração da mistura e com validações mediante coletas de amostras na saída do distribuidor e nas placas (superfície e centro), o autor relaciona as seguintes conclusões para redução das misturas com transições que envolvam qualidades incompatíveis (Elementos químicos com faixas que não se sobrepõem – Figura 9a):⁽⁷⁾

- aços com especificações de faixas estreitas, devem ser lingotados antes de aços com faixas mais largas quando a mistura no distribuidor for dominante (casos de distribuidores grandes, baixas velocidades de lingotamento, e placas com pequenas espessuras e larguras);
- aços com especificações de faixas mais largas, devem ser lingotados antes de aços com faixas estreitas quando a mistura no veio for dominante (casos de distribuidores pequenos, troca de distribuidor, altas velocidades de lingotamento, e placas com maiores espessuras e larguras);
- baixar o peso de aço no distribuidor no momento da abertura da panela, mantê-lo baixo, e fazer o reenchimento vagarosamente, principalmente para distribuidores maiores e corridas posteriores com faixas mais estreitas onde a mistura no distribuidor for dominante;
- o controle de fluxo do distribuidor deve ser otimizado para minimizar o volume de mistura, principalmente para corridas posteriores com faixas de C.Q. mais estreitas em distribuidores maiores;
- baixar vagarosamente a velocidade média de lingotamento durante a transição;
- utilizar espessuras menores de placas (reduz tonelagem e comprimento); e
- utilizar larguras menores de placas (reduz tonelagem).

(Para uma mesma seção transversal de placa, espessuras menores e larguras maiores produzem comprimentos de mistura menores).

Por fim, o autor menciona que a melhor estratégia é otimizar a programação para produzir aços compatíveis, ou seja, aços com faixas de composição química que apesar de diferentes, possuem sobreposições entre si (Figura 9b).⁽⁷⁾

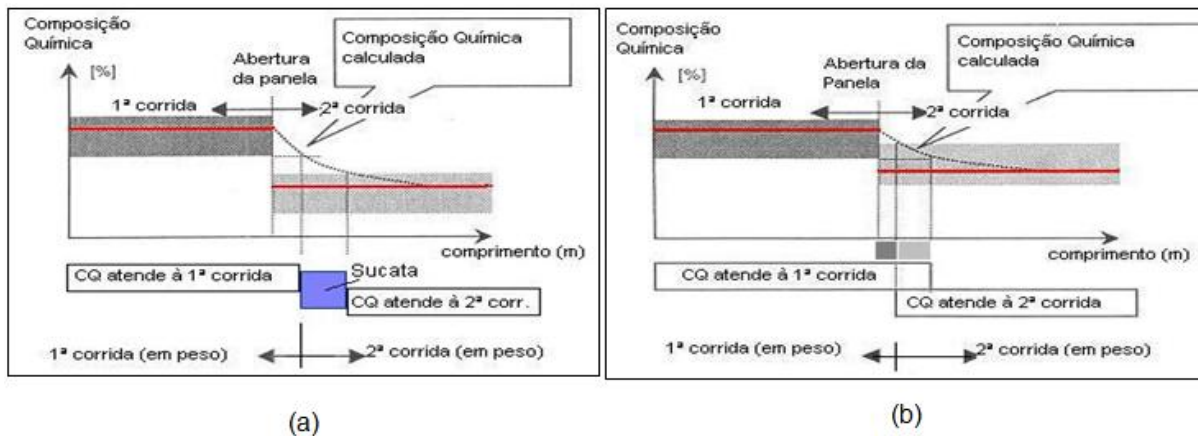


Figura 9 – Visão geral do tipo de mistura: (a) incompatível; (b) compatível.⁽⁷⁾

Portanto, a melhor filosofia para minimizar a desclassificação do aço, vai depender da região dominante da mistura (distribuidor ou veio) e da amplitude da mistura (faixas de composição química da corrida anterior e posterior)

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma metodologia foi adotada para investigar o efeito da mudança de composição durante o lingotamento contínuo seqüencial de dois tipos de aços diferentes na máquina 2 de lingotamento contínuo de placas da Companhia Siderúrgica Paulista (Cosipa). O distribuidor da máquina 2 possui capacidade de 17t e, no teste, a secção transversal adotada foi de 260 mm x 1.900 mm.

Um estudo preliminar foi realizado durante a mudança de lingotamento de um aço não-API (Corrida anterior) para um aço API (American Petroleum Institute) (Corrida posterior) com as especificações de Mn e V apresentadas na Tabela 1. A mudança do tipo de aço lingotado é realizada simplesmente abrindo a válvula gaveta da panela do novo aço (Corrida posterior) sobre o distribuidor, que não foi trocado. No momento da abertura, o distribuidor continha 5 t de aço remanescente da corrida anterior.

Tabela 1: Especificação (teores mínimos e máximos) de Mn e V para os aços em teste

Corrida anterior - Aço não API			Corrida Posterior - Aço API		
	Mín	Máx		Mín	Máx
Mn (%)	1,0	1,20	Mn (%)	1,45	1,60
V (%)	0,000	0,005	V (%)	0,065	0,080

As amostras foram retiradas das placas lingotadas, ao redor da posição onde se localizava o menisco no momento da abertura da válvula da panela posterior. As amostras foram extraídas a $\frac{1}{4}$ da espessura da placa a partir de tarugos retirados da placa espaçados entre 0,5 m a 1,0 m ao longo da linha central e da borda lateral, como ilustra a Figura 10. Estas amostras foram analisadas quanto ao teor de Mn e V em um espectrômetro de emissão ótica.

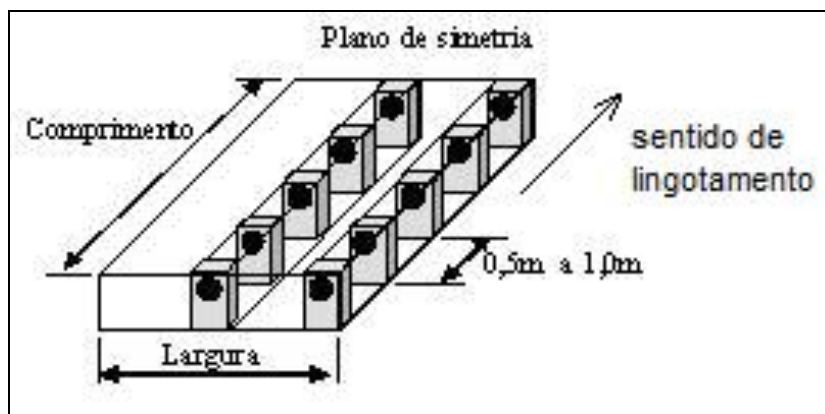


Figura 10 – Desenho esquemático mostrando a posição para retirada de amostras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados apenas resultados preliminares obtidos através da metodologia descrita no item anterior. Este projeto de pesquisa ainda se encontra em andamento. As Figuras 11 e 12 apresentam respectivamente as concentrações adimensionais de Mn e V em função da distância ao menisco. Estas concentrações adimensionais, C, foram calculadas como:

$$C = \frac{F_t - F_{ant}}{F_{pos} - F_{ant}} \quad [1]$$

Onde F_t é a fração de um dado elemento no aço; F_{ant} e F_{pos} são as frações desse elemento nas corridas anterior e posterior respectivamente.

A concentração $C = 0$ corresponde ao limite superior do elemento na corrida anterior e $C = 1$, ao limite inferior do elemento na corrida posterior. Conseqüentemente, os valores de concentração na faixa $0 \leq C \leq 1$ não atendem a nenhuma das duas especificações, representando a chamada placa de mistura. A forma sigmoideal das curvas apresentadas mostra a transição gradual entre a composição do aço anterior para o aço posterior. Esta forma de curva é análoga à observada em outros trabalhos da literatura.^(3,6,8)

O procedimento adotado para o cálculo da região de mistura pelo operador, em máquinas desprovidas de automação e conseqüentemente de modelamentos matemáticos, para a desclassificação do aço impedindo que esta placa acabe sendo erroneamente enviada para um ou outro lote de aço produzido, envolve a posição do menisco no momento da abertura da válvula da panela com o novo aço. Identificada a posição do menisco, o operador deve descartar um comprimento da placa, anterior e posterior a esta posição. Estes comprimentos são fornecidos a partir de uma tabela que considera: (a) os dois tipos de aço na seqüência; (b) os teores de C, Mn e dos outros elementos de liga destes aços; (c) se houve ou não a troca de distribuidor; e (d) o peso de aço no distribuidor no momento da abertura da válvula da panela contendo o novo aço a ser lingotado. No ensaio utilizado no presente trabalho, o comprimento da tabela original era de 4,7 m e está sobreposto sobre as curvas de composição das Figuras 11 e 12 (Previsão de Mistura – Tabela Antiga). Nota-se que esta previsão foi correta para o caso do Mn, mas não foi adequada para o caso do V, ou seja, um trecho da placa do aço anterior e um trecho do posterior apresentam concentração de V fora da sua especificação. A placa de mistura tem na verdade um comprimento de 6,5 m, sendo 2,1 m antes do menisco e 4,4 m posterior ao menisco. Desta forma, uma nova tabela de comprimentos foi criada para

desclassificação do aço na região de mistura. Esta nova tabela resultou em um comprimento total de 7,1 m, para este caso, sendo 2,7 m antes do menisco e 4,4 m posterior ao mesmo. A placa de mistura, de comprimento 6,5 m, está dentro deste comprimento, como mostram as Figuras 11 e 12 (Previsão de Mistura – Tabela Nova), e foi desclassificada pelo operador, impedindo que trechos das placas fora das especificações fossem enviados aos clientes.

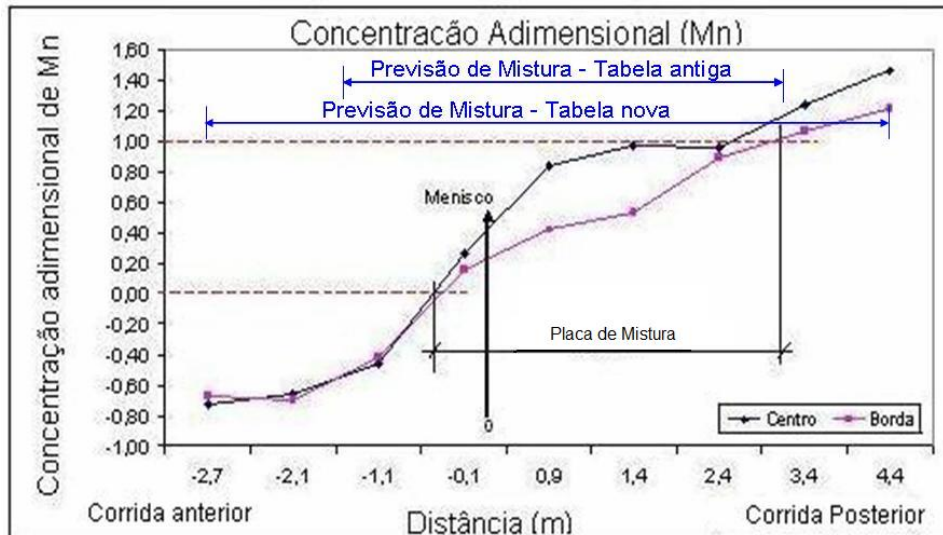


Figura 11 – Concentração adimensional de Mn ao longo do centro e borda das placas em função da distância, sendo que a posição 0 indica o menisco no momento da abertura da panela e os valores negativos indicam posições abaixo do menisco.

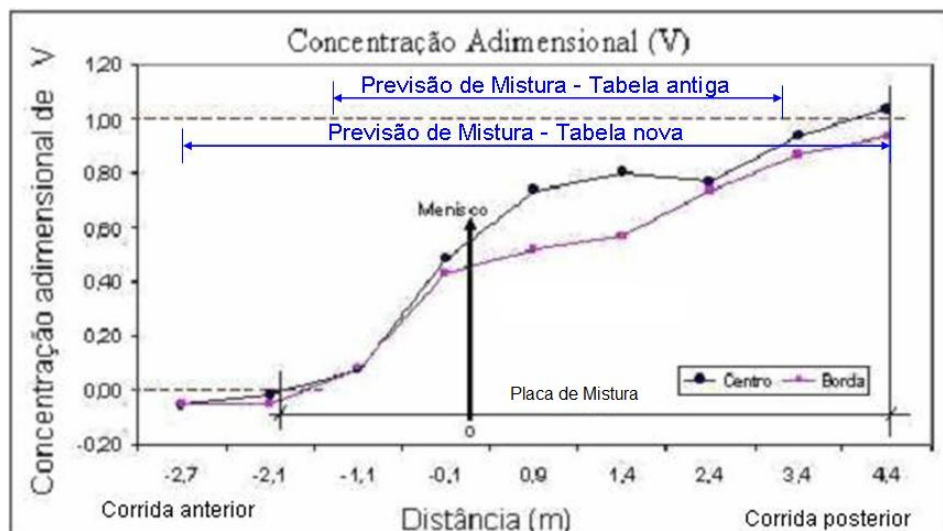


Figura 12 – Concentração adimensional de V ao longo do centro e borda das placas em função da distância, sendo que a posição 0 indica o menisco no momento da abertura da panela e os valores negativos indicam posições abaixo do menisco.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou resultados preliminares de um estudo da placa de mistura formada no lingotamento seqüencial de aços não-API (Corrida anterior) para aço API na máquina de um veio da Companhia Siderúrgica Paulista (Cosipa). Amostras foram retiradas ao longo das placas, na região ao redor da posição onde se localizava o menisco no momento da abertura da panela de aço contendo o novo

aço líquido. Estas amostras foram analisadas quanto aos teores de Mn e V (elementos de maior variação). As curvas de concentração destes elementos em função da distância mostraram uma transição gradual da composição de um para o outro tipo de aço lingotado. O formato sigmoidal das curvas foi análogo aos observados em outros trabalhos da literatura.^(3,6,8) Notou-se que a placa de mistura que deveria ser descartada apresentou comprimento de 6,5 m quando o teor de V foi analisado, mas foi menor para o teor de Mn. Este comprimento é maior do que aquele definido para descarte através da tabela interna de procedimentos da aciaria da Cosipa. Desta forma, para se adequar à previsão de produção destes tipos de aços nas máquinas de um veio da Cosipa, a tabela interna foi modificada definindo um acréscimo de comprimento de desclassificação à tabela original, sempre que aços API forem lingotados em seqüência com aços não-API, ou vice versa, gerando composição de transição incompatível. Esta alteração passou a abranger adequadamente a placa de mistura também para estes tipos de aços, permitindo sua produção nestas máquinas e impedindo que placas sejam aprovadas com composição química fora da especificação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Superintendência de Aciaria, à Gerência de Suporte Técnico da Aciaria, à Gerência de Condicionamento de Placas da Aciaria, à Gerência de Laboratório da Cosipa e ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

REFERÊNCIAS

- 1 HUANG, X.; THOMAS, B.G. Intermixing model of continuous casting during a grade transition. *Metallurgical Transactions*, v. 27B, n. 4, p. 617-32, 1996.
- 2 BURNS, M.T.; SCHADE, J.; BROWN, W.A.; MINOR, K.R. Transition model for Armco Steel's Ashland slab caster. In: PROCESS TECHNOLOGY CONFERENCE, 10., 1992 Ontario, Canada. Warrendale, PA: The Iron and Steel Society, 1992. v. 10, p.177-86.
- 3 MOSTERT, R.; GENDT, G.G.M.; VAN DER BOGERT, R.J. The intermix models of the slab and billets casters of Hoogovens Steel in the Netherlands. In: STEELMAKING CONFERENCE, 81., 1988. *Proceedings...* Warrendale, PA: Iron & Steel Society, 1998, p. 43-52.
- 4 DAMLE, C.; SAHAI, Y. Modeling of grade change operations during continuous casting of steel - mixing in the Tundish. *ISS Transactions*, v. 22, n. 6, p. 49-59, 1995.
- 5 THOMAS, B.G. Modeling study of intermixing in tundish and strand during a continuous-casting grade transition. *ISS Transactions*, v. 24, n. 12, p.83-96, 1997.
- 6 HUANG, X.; THOMAS, B.G. Modeling of steel grade transition in continuous slab casting processes. *Metallurgical Transactions*, v. 24B, p. 379-93, 1993.
- 7 FACO, R.J. Lingotamento contínuo do aço. In: MOURÃO, M.B. (coord.) *Introdução à siderurgia*. São Paulo: ABM, 2007. p. 217-55.
- 8 KEMENY, F.; HARRIS, D.J.; MCLEAN, A.; MEADOWCROFT, T.R.; YOUNG, J.D. Fluid flow studies in the tundish of a slab caster. In: PROCESS TECHNOLOGY CONFERENCE, 2., 1981, Chicago, IL. [S.n.t.]. v. 2, p. 232-45.