

TECNOLOGIAS DO NOVO LINGOTAMENTO CONTÍNUO ARCELORMITTAL TUBARÃO ¹

*Altemar Dettogne do Nascimento*²

*Sandro de Souza*³

*Iuri Pinheiro de Sant'Anna*⁴

*Antonio Luiz Gomes Reis Junior*⁵

*Sergio de Souza Mendes*⁶

Resumo

ArcelorMittal Tubarão é uma Companhia localizada no Espírito Santo. Iniciou a sua produção em Novembro de 1983, e é caracterizada pela produção de placas, através do lingotamento contínuo e bobinas a quente. ArcelorMittal Tubarão tem promovido contínuos esforços para aumentar a produção de aço líquido visando atingir a produção estável de 7.5 milhões de toneladas/ano de placas e bobinas. Para atingir este objetivo, novos equipamentos foram instalados tais como o novo alto forno, BOF, RH, processo de dessulfuração (KR) e a nova máquina de lingotamento contínuo com capacidade nominal de 3.0 milhões de toneladas/ano que iniciou a sua produção em julho de 2007. Este trabalho descreve as performances das principais tecnologias implantadas, referente a novo lingotamento contínuo: sistema de inclinação da panela na torre, manipulador de válvula longa, robô de adição de pó fluxante, sistema hidráulico de troca de largura, oscilador do molde eletro-hidráulico, inserção automática da barra falsa com *double tracking*, *mould sticker detection*, *static soft reduction*, equipamento de retirada e posicionamento de segmento, modelo de resfriamento secundário com sistema de controle de largura de *spray*, modelo para cálculo de zona de mistura e equipamento para remoção de rebarbas das placas. Também será comentado o período de *ramp up* e os resultados de qualidade das placas e bobinas.

Palavras-chave: Molde; Segmento; Tempo de estripamento negativo; Segregação; Qualidade.

NEW SLAB CASTING TECHNOLOGIES AT ARCELORMITTAL TUBARÃO - BRAZIL

Abstract

ArcelorMittal Tubarão is a steel company, located in Espírito Santo State, southeast of Brazil. It started operating in November, 1983, and is characterized by the production of continuous casting steel slabs and hot coils. ArcelorMittal Tubarão is promoting continuous efforts to increase the production of liquid steel at its steelmaking plant and to reach a stable production of 7.5 million tons/year of slabs and coils. To achieve this objective, new equipments were installed such as a new blast furnace, BOF, RH, KR process and a new continuous casting machine with nominal capacity of 3.0 million tons/year that started up on July, 2007. This paper describes the performance of the main technologies implemented at the new caster, such as ladle tilting system, ladle shroud fitting mechanism, flux powder automatic system, hydraulic mould width exchange, electro hydraulic mould oscillator, full automatic dummy insertion with double tracking, mould sticker detection, static soft reduction, segment removal and replacement equipment, secondary cooling width control system, dynamic model for mixing zone calculation and deburrer. It also makes a description of the ramp up period and the slab and coils quality results.

Key words: Mould; Segment; Negative strip time; Segregation; Quality

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

² *Membro da ABM, Especialista em Lingotamento Contínuo, AMT.*

³ *Membro da ABM, Gerente de Área de Lingotamento Contínuo, AMT.*

⁴ *Membro da ABM, Gerente de Área de Oficina de Manutenção de Segmento, AMT.*

⁵ *Membro da ABM, Especialista em Controle de Processo de Lingotamento Contínuo, AMT.*

⁶ *Membro da ABM, Especialista em Automação, AMT.*

1 INTRODUÇÃO

A Arcelormittal Tubarão é caracterizada pela produção de placas de aço e bobinas a quente, que são destinadas a clientes nacionais e internacionais. Até meados de 1995, toda a produção da empresa foi realizada pela rota lingotamento convencional e laminador desbastador, com cerca de três milhões de toneladas anuais de placas despachadas. ⁽¹⁾

A primeira máquina de lingotamento contínuo, com capacidade nominal de 1,8 milhões de t/ano, entrou em operação, em Abril de 1995. A partir da substituição do lingotamento convencional pelo lingotamento contínuo, a ArcelorMittal Tubarão passou a fornecer para o mercado consumidor um produto com maior valor agregado. Além disso, este processo contínuo e de elevado nível de automação permitiu ganhos expressivos de produtividade e rendimento.

Em fevereiro de 1998, a Arcelormittal Tubarão iniciou a operação de sua máquina de contínuo número 2, tipo vertical curva, *twin-slabs*, dotada de várias tecnologias e conjuntamente com a implantação do desgaseificador a vácuo (RH), possibilitou o enobrecimento da linha de produtos.

Em 2002, iniciou-se o processamento de placas no laminador de tiras a quente, equipamento dotado das mais modernas tecnologias, visando atender os mais exigentes mercados. Através da aplicação de melhoria contínua no processo de produção e manutenção, como também, a implantação de novas tecnologias e equipamentos, tornou-se possível a AMT alcançar o volume de produção superior a capacidade nominal das máquinas de lingotamento contínuo. O recorde do CCM#1 foi 2.435.866 t/ano. Da mesma forma o recorde da CCM#2 alcançou 3.027.107 toneladas em 2003. ⁽²⁾

Em 2004, deu-se início a instalação de novos equipamentos desde área de gusa até a aciaria, que exigiu investimentos na ordem de US\$1,8 bilhões, sendo 12% deste valor, empregados somente em sistema e ações de controle ambiental. Dentro os novos equipamentos destacam-se o terceiro alto forno, o terceiro convertedor, o segundo RH e a terceira máquina de lingotamento contínuo. A Figura 1 demonstra o fluxograma atual de produção da AMT.

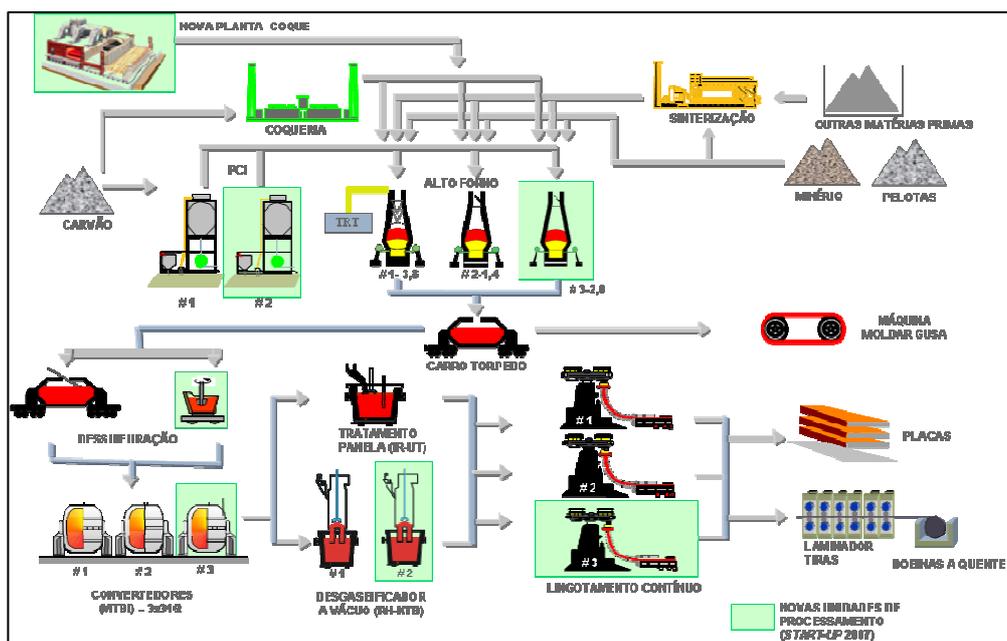


Figura 1. Fluxo de produção da ArcelorMittal Tubarão

Em 2007 ocorreu o *start-up* destes equipamentos que culminou no aumento de produção de aço líquido para ritmo de 7,5 milhões de toneladas ano (Figura 2).

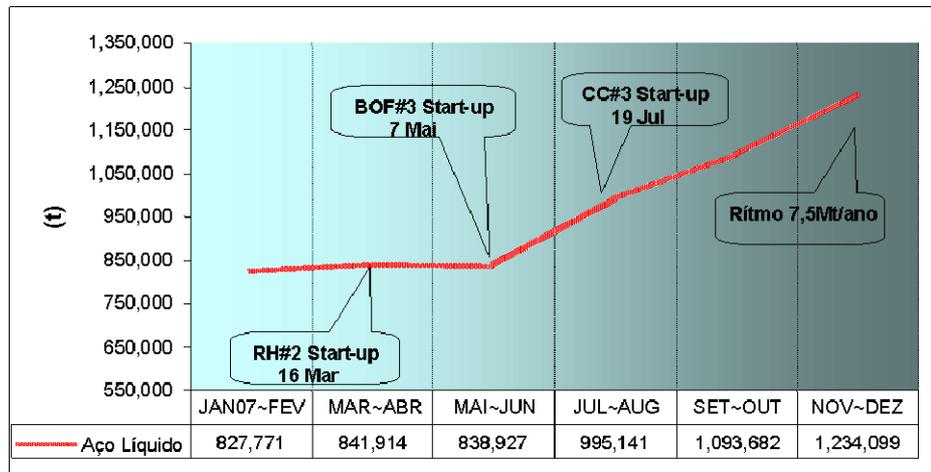


Figura 2. Evolução da produção da ArcelorMittal Tubarão

A Figura 3 mostra o mix planejado de nova máquina vertical de lingotamento contínuo. Os aços ultra baixo carbono representam 36% do mix previsto. Para este grupo as características de qualidade *cleanliness* requerem atenção especial, para tanto foi definido projeto especial de válvula submersa tipo *Mogul type*, visando reduzir velocidade de fluxo do aço no molde, como também, fluxante com alta viscosidade e purga de distribuidor durante o lingotamento. Para os aços micro ligados e médio carbono são necessários uma grau de elevado de sanidade interna, como também, isento de trinca superficial de quina. Para tanto foram implantadas tecnologias tais como: segmentos com *static soft reduction*, espaçamento otimizado entre rolos dos segmentos, controle da temperatura superficial da placa através de modelo térmico e controle da largura de spray do resfriamento secundário. O projeto do novo lingotamento combinado com as facilidades e premissas de qualidade permitiram atingir os níveis projetados de qualidade e ritmo de capacidade nominal de três milhões de tonelada/ano após três meses de operação.

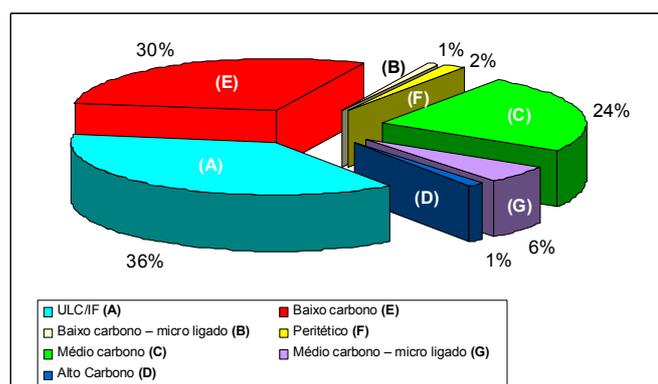


Figura 3. Mix de produção previsto para o lingotamento contínuo 3

2 CARACTERÍSTICAS DO LINGOTAMENTO CONTÍNUO 3

A Figura 4 mostra o desenho do corte longitudinal do contínuo 3, com os principais componentes incluindo o manipulador de segmento. Referente à

especificação básica é mostrada na Tabela 1. O contínuo 3 possui uma parte vertical de 2.66m objetivando melhor limpidez interna da placa. O raio principal é 10m e o comprimento metalúrgico é de 32.97m que permite lingotar com velocidade de até 2 m/min, dependendo da família de aço e densidade de resfriamento secundário. As principais características dos principais componentes são destacadas a seguir.

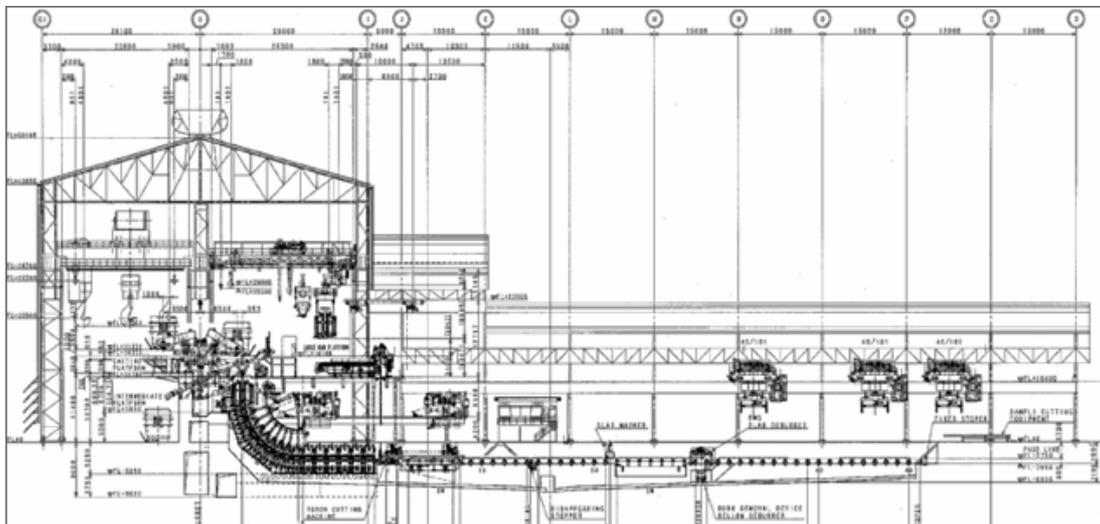


Figura 4. Corte longitudinal do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

Tabela 1. Principais características do lingotamento contínuo III da ArcelorMittal Tubarão

| DADOS TÉCNICOS | | CONTÍNUO 3 |
|-----------------------------------|-------|--|
| START UP | | 19 JULHO, 1997 |
| CAPACIDADE NOMINAL (ANUAL) | t | 3.000.000 |
| TIPO | | VERTICAL CURVA |
| FORNECEDOR | | SPCO (SteelPlantech CO) |
| NÚMERO VEIOS | | 2 |
| ESPESSURA | mm | 200,225,250 |
| LARGURA | mm | 1050 ~ 2325 |
| COMPRIMENTO | mm | 5000 ~ 12500 |
| RAIO PRINCIPAL | m | 10 |
| Nº RAIOS DOBRAMENTO | | 8 |
| Nº RAIOS DESDOBRAMENTO | | 8 |
| COMPRIMENTO METALÚRGICO | m | 32.97 |
| COMPRIMENTO PARTE RETA | m | 2.66 |
| Nº SEGMENTOS POR VEIO | | 15 (INCLUINDO SEGM. 0) |
| VELOC. MÁXIMA (E=200mm) | m/min | 2.0 |
| VELOC. MÁXIMA (E=225mm) | m/min | 1.8 |
| VELOC. MÁXIMA (E=250mm) | m/min | 1.5 |
| CAPACIDADE DO DISTRIBUIDOR | t | 60 |
| DETECTOR DE ESCÓRIA | | AMEPA |
| ADIÇÃO DE PÓ FLUXANTE | | AUTOMÁTICO |
| OSCILADOR DO MOLDE | | ELÉTRICO-HIDRÁULICO |
| PLACAS DO MOLDE | | CuCrZr (REVESTIMENTO CoNi) |
| TROCA DE LARGURA | | SIM |
| BARRA FALSA | | INSERÇÃO TOPO COM DOUBLE TRACKING |
| SOFT REDUCTION | | SIM |
| MODELO CÁLCULO MISTURA AÇO | | DINÂMICO |
| MODELO DE RESFRIAMENTO SECUNDÁRIO | | DINÂMICO (THERMAL TRACKING) - AIR MIST |
| REBARBADOR | | LÂMINA OSCILATÓRIA |

2.1 Torre de Painela

A torre giratória é do tipo *Butterfly* com capacidade de 450 toneladas. No final de cada lingotamento, da painela, o braço da torre pode ser inclinado em três graus através do cilindro hidráulico acoplado ao mecanismo de elevação da painela. A inclinação do braço da torre visa aumentar o rendimento de lingotamento através da redução do aço residual na painela.

Em cada braço foi instalado os componentes do detector de escória AMEPA integrado com o nível 2. O fechamento da válvula gaveta, quando da detecção de escória, é realizado de forma semi-automático ou automático, dependendo da aplicação do aço.

2.2 Carro Distribuidor e Manipulador de Válvula Longa

O distribuidor foi projetado para ser intercambiável com o lingotamento contínuo 2. Foi projetado para permitir a otimização do fluxo de aço associado à alta capacidade de 60 t. Possui controle automático de desgaste da válvula submersa, através da elevação do distribuidor durante o lingotamento. O carro distribuidor possui curso de içamento igual a 800 mm que facilita a inserção de placa de mistura no molde.

A troca de distribuidor (*tundish fly*) é realizada, de forma automática, visando reduzir tempo de veio parado e conseqüentemente menor contração da região da emenda (*pour interrupt*). A purga do distribuidor, com argônio, antes e durante o lingotamento é aplicada para determinadas famílias de aço.

Com relação ao mecanismo de manuseio de válvula longa é controlado remotamente com movimentos automáticos. Possui facilidade de limpeza automática da válvula longa com oxigênio.

2.3 Válvula Gaveta e Tampão

O controle do fluxo de aço no molde é realizado pela válvula gaveta que associado ao tampão permite um melhor controle do nível de aço no molde e redução da obstrução do veio na partida da máquina. Visando aumentar a seqüência de corridas no distribuidor é realizada a troca automática da válvula submersa. A Figura 5 mostra a fixação no distribuidor da válvula gaveta e tampão.

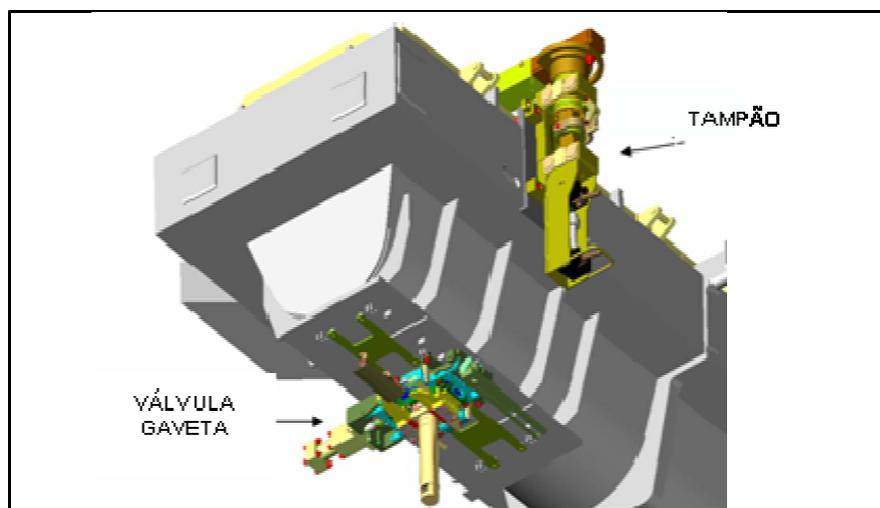


Figura 5. Conjunto válvula gaveta, tampão e distribuidor do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

2.4 Molde e Componentes

O molde tem comprimento de 904mm, visando garantir lingotabilidade em altas velocidades. Adota acionamento hidráulico das faces estreitas do molde com máxima perda de *taper* $\pm 0.4\text{mm/lado}$. O molde foi projetado para apresentar máxima temperatura na superfície do revestimento igual a 350°C . O material do revestimento é CoNi (100% das faces estreitas e largas). O *Software* de detecção de agarramento (*sticker*) da pele no molde aplica rede neural e considera como parâmetro a composição química do aço. O molde possui três linhas de termopares e durante o lingotamento é possível visualizar o mapa termográfico (Figura 6).

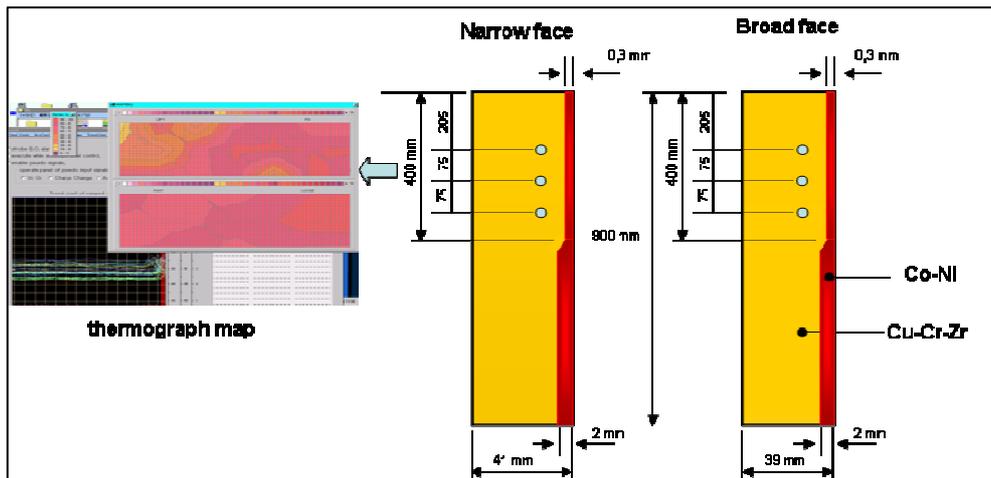


Figura 6. Dimensões, material de revestimento das faces do molde e mapa termográfico do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

2.5 Oscilador do Molde

O molde e mesa de oscilação são movidos através de atuador hidráulico. Consiste basicamente de um cilindro hidráulico e motor tipo servo (Figura 7).

As vantagens do mecanismo de oscilação é que a expectativa de troca do cilindro é a cada dois anos e o mesmo fica fora do raio da máquina de forma isolada a possíveis riscos de contato com aço em casos de rompimento de pele.

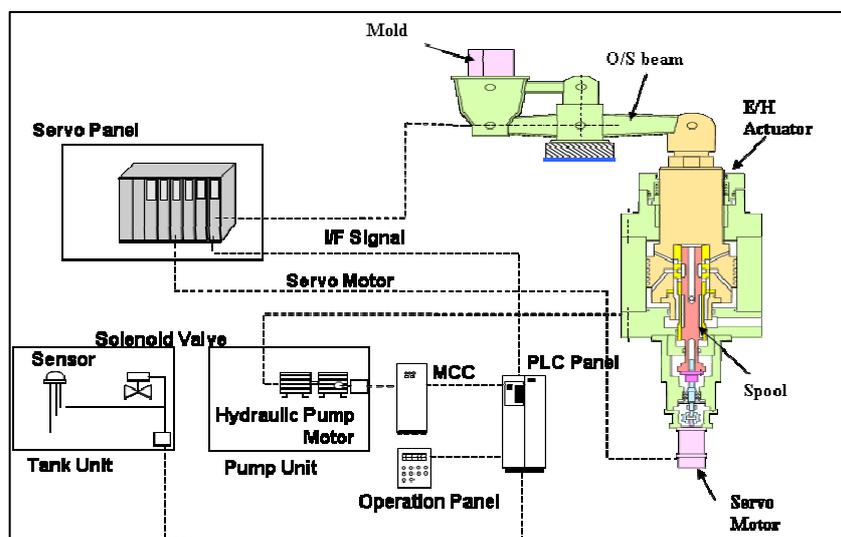


Figura 7. Mecanismo de oscilação do molde do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

Por ser hidráulico permite o ajuste automático da amplitude de oscilação, como também assimetria de curva, visando redução do tempo de estripamento negativo e a efetiva lubrificação do sistema molde-placa.

De acordo com vários autores⁽⁴⁻⁶⁾ quanto menor o tempo de estripamento negativo do oscilador menor é a profundidade da marca de oscilação, conseqüentemente menor a ocorrência de micro segregação e trinca transversais na base da marca de oscilação. Todavia, maior freqüência e menor amplitude do oscilador, que resulta em baixo tempo de estripamento negativo, acarretam maior ocorrência de rompimento de pele, devido à irregularidade do filme líquido de fluxante na interface placa e molde.

Em função destas considerações adotou-se modelo de oscilação baseado na *Fourier serie* $f_{ref}(t)$, conforme equação (1), onde possibilita lingotar com menores valores de tempo de estripamento negativo e coeficiente de fricção placa-molde

$$f_{ref}(t) = \sum_{k=1}^n a_k \cdot \sin(k \cdot \omega \cdot t) \dots\dots\dots(1)$$

Onde:

a_k : coeficiente do curso do período de oscilação

A Figura 8 mostra o tempo de estripamento negativo em função do percentual de assimetria (α)

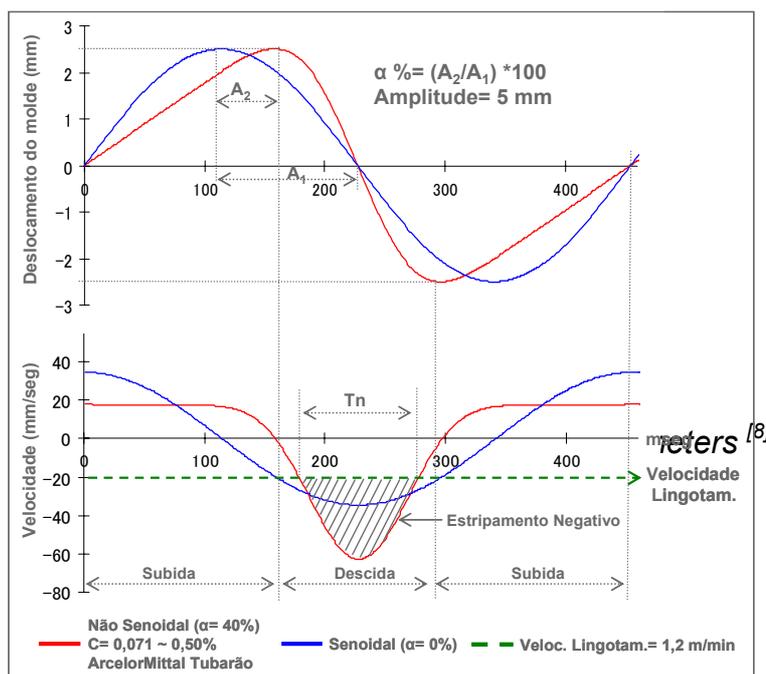


Figura 8. Tempo de estripamento negativo versus percentual de assimetria (α) do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão.⁽⁷⁾

2.6 Carro de Barra Falsa

A inserção da barra falsa é realizada pelo molde e foi projetada para reduzir o tempo de preparação e aumentar a produtividade da máquina. O tempo previsto entre extração da placa até abertura da panela é igual a quinze minutos. Para atingir este tempo, a inserção da barra falsa é realizada automaticamente, com *double tracking*, até a posição de selagem no molde.

A cabeça de barra falsa foi projetada de tal forma a realizar a desconexão automática da placa na saída do segmento 14 através do sistema içamento da barra falsa. No projeto da barra falsa foi considerado a instalação do equipamento (*roll gap checker*) para medições do alinhamento e distância entre rolos dos segmentos.

2.7 Equipamento de Adição Automática de Fluxante

O equipamento de adição automática de fluxante foi projetado para manter a estabilidade na qualidade do produto através de uma distribuição uniforme do fluxante no molde, reduzir a carga de trabalho do homem, menor exposição das pessoas em regiões críticas quanto à temperatura, poeira e projeção de aço.

O equipamento de adição de fluxante possui quatro silos por veio. A seleção do silo é realizada remotamente de acordo com a instrução do nível 2. O nível 1 informa para o nível 2 o consumo específico de fluxante para cada seção de placa de 200 mm.

O fluxante é adicionado no molde através de um manipulador acoplado a um motor servo com movimento em três eixos. O movimento do manipulador é ajustado automaticamente em função do perímetro do molde (largura e espessura), posição da válvula submersa e sensor do nível do molde (Figura 9).

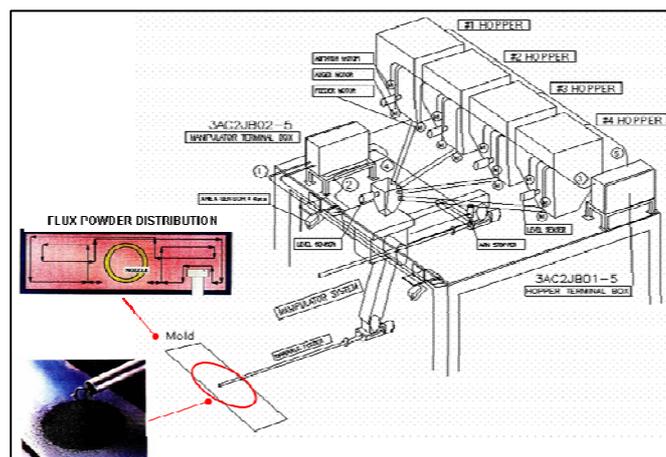


Figura 9. Equipamento de adição automática de fluxante do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

2.8 Câmara de Exaustão

A câmara de exaustão é do tipo túnel (Figura 10). Foi projetada para permitir troca de segmentos sob a plataforma de lingotamento e também para facilitar a inspeção e manutenção, durante o lingotamento, de instrumentos e equipamentos hidráulicos.

O comprimento da câmara de exaustão corresponde aos segmentos 1 a 14. A largura da câmara é aproximadamente 7 m, espaço suficiente para acesso aos segmentos.

A câmara de exaustão é fabricada em aço resistente à corrosão e as altas temperaturas. Para cada veio existem dois exaustores que foram projetados para volume de vapor correspondente a densidade de spray igual a 1,7 l/kg e velocidade de 2 m/min.



Figura 10. Câmara de exaustão do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

2.9 Segmentos

Cada um dos veios da máquina consiste nas seguintes zonas principais: Vertical, dobramento, curva, desdobração e horizontal (Figura 11).

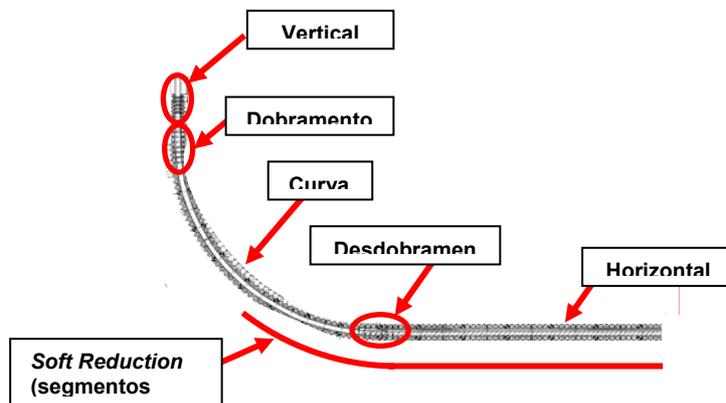


Figura 11. Câmara de exaustão do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

A zona vertical compreende, além do molde, uma parte do segmento zero, totalizando 2.66m. O segmento zero possui um comprimento total de 3780mm e sua troca é feita por uma das pontes de manuseio de distribuidor e pode ser trocado juntamente com o molde. Possui 11 filas de rolos, sendo os 04 primeiros de diâmetro 170 e os demais 230 mm.

- O desdobramento da placa é feito ainda no segmento zero, através de 08 pontos, o que garante uma deformação contínua e uniforme.
- A zona curva compreende os segmentos de 1 a 7, sendo seu raio igual a 10 m.
- O segmento 08 é o responsável pelo desdobramento da placa, que é feito através de 08 pontos.
- A zona horizontal é então composta pelos segmentos 9 a 14 (Figura 12).



Figura 12. Segmento do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

Os rolos dos segmentos 1 a 14 são divididos em três partes exceto os rolos acionados.

Os rolos não acionados têm cada parte, total de três, montado entre dois mancais. A ligação entre estas partes, para possibilitar um bom resfriamento dos seus componentes, é feito através de luvas que permitem a circulação da água de um rolo para o outro (entrando em um lado do conjunto e saindo do outro). Esses três rolos independentes são montados e alinhados sobre uma *common base*, que também possui importante função no resfriamento, pois a água circula nela para chegar até os mancais e resfriá-los. Cada uma dessas *common base* é então montada na estrutura do segmento. Os rolos livres de todos esses segmentos, 1 a 14, possuem diâmetro de 230 mm e são intercambiáveis entre si. Todos os rolos motrizes, 2 em cada segmento, também são idênticos e intercambiáveis entre si.

Todos os segmentos, com exceção do zero, possuem quatro cilindros hidráulicos que são responsáveis pela correta abertura (*gap*) do segmento. Esses cilindros possuem sensores internos que informam ao sistema sua posição exata. Este por sua vez, compara esse valor com aquele definido no computador lógico programável (PLC) e, caso haja diferença, o PLC irá comandar válvulas do sistema hidráulico para que o segmento retorne para a posição definida dentro das tolerâncias admissíveis.

Os segmentos 5 a 14 possuem a função *static soft reduction* que será descrita no item 2.10.

2.10 Static Soft Reduction

Para terminadas aplicações do aço, tipo chapas grossas e tubos, o baixo nível de segregação é muito importante. A segregação central poderá ser originada através de dois fatores. O primeiro é devido o abaulamento da placa entre rolos dos segmentos. O outro é em função da contração de solidificação.

A segregação central, devido ao abaulamento da placa, pode ser reduzida adotando a técnica de *soft reduction*. Esta técnica consiste em aplicar uma redução na espessura da placa correspondente a fração de solidificação F_{s1} a F_{s2} (Figura 13).

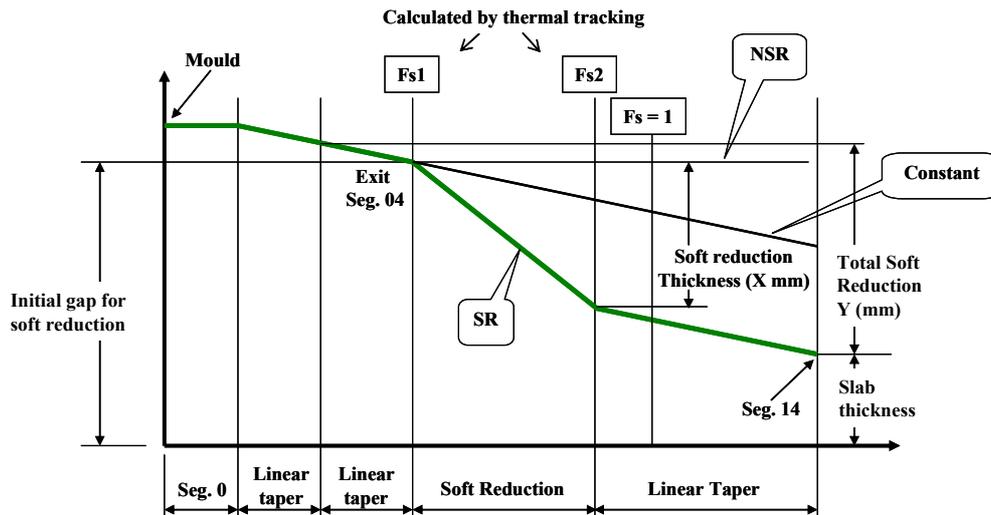


Figura 13. Static soft reduction do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

2.11 Manipulador de Troca de Segmentos

A troca dos segmentos 1 a 14 é realizada através de um equipamento denominado manipulador (Figura 14). Este dispositivo é instalado sob a plataforma de lingotamento, visando reduzir o ciclo de troca de segmento e aumentar a disponibilidade da ponte de manuseio de distribuidor. A capacidade de içamento é igual a 65 toneladas.



Figura 14. Manipulador de troca de segmento do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

2.12 Resfriamento Secundário

O resfriamento secundário foi projetado visando evitar defeitos superficiais na placa tipo trinca superficial de quina, causada por super-resfriamento nas quinas da placa. Para tanto os segmentos foram equipados com *air mist spray* a partir do segmento zero intermediário com controle de largura de *spray* do segmento 5 até o segmento 14. Dependendo da largura da placa, as válvulas de *spray* são fechadas, automaticamente, conforme Figura 15.

Utilizando *thermal tracking model* a vazão de água de *spray* é otimizada visando sair da *brittle zone* nos pontos de dobramento e desdobramento.

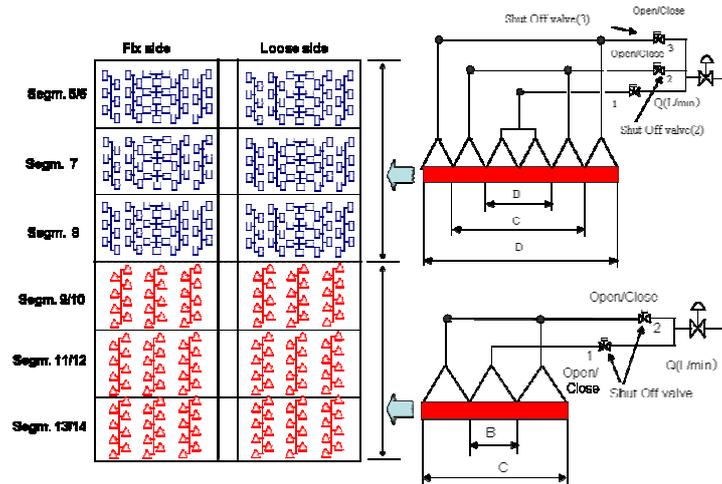


Figura 15. Controle de largura de *spray* dos segmentos 5 a 14 do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

3 AUTOMAÇÃO E CONTROLE

O diagrama do sistema de automação, da nova máquina de lingotamento contínuo da ArcelorMittal Tubarão, é mostrado na Figura 16.

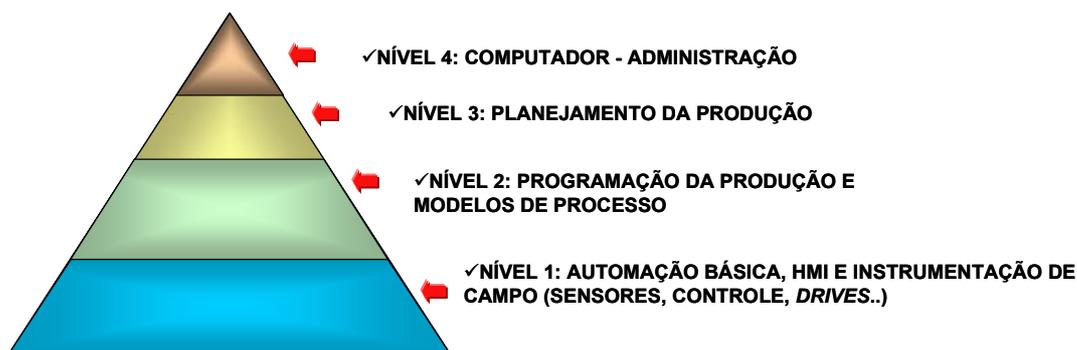


Figura 16. Conceito de automação do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

O nível 4 é responsável pelo recebimento dos pedidos do cliente da AMT. Estes pedidos são então encaminhados para o nível 3, que é responsável pelo sistema de planejamento e controle da produção. Os computadores do nível 2, que são responsáveis pelo Sistema de Otimização dos Processos, possuem as seguintes funções:

- Sequenciamento do plano diário de produção;
- Interface de informação de processo com o nível 3;
- Avaliação da qualidade das placas produzidas;
- Modelos de processo de produção: *tracking* da seção da placa a cada 200 mm, *thermal tracking system*, sistema de informação de qualidade (QIS), otimização da velocidade de lingotamento, modelo dinâmico para cálculo da zona de mistura, otimização do comprimento da placa e *roll gap check data*.⁽³⁾

3.1 Thermal Tracking System ⁽³⁾

O *thermal tracking system* consiste no modelo integrado de solidificação e cálculo dos valores previstos de água de *spray* para as onze zonas do resfriamento secundário. Este sistema possui também simulador *offline* em duas dimensões.

Baseado no perfil de temperatura da placa, o *thermal tracking* calcula a evolução do crescimento da espessura solidificada, fração de solidificação e ponto final de solidificação. Todos os valores resultantes deste modelo são enviados para o nível 1.

O nível 1 é composto da automação básica e sistemas de controle. A automação básica age no controle dos *drives* dos motores do veio, máquina de marcação, máquina de corte, manipulador de segmentos e *drives* diversos e equipamentos auxiliares.

No lingotamento contínuo 3 foi implantada uma cabine de operação remota do veio. Através dela o operador pode operar o veio remotamente, reduzindo a sua exposição em regiões críticas quanto à temperatura, poeira e projeção de aço. A cabine fica localizada aproximadamente a 10 m dos veios e possui em seu interior todas as funções existentes no SOP (painel de operação do veio). O layout interno desta cabine é mostrado na Figura 17.

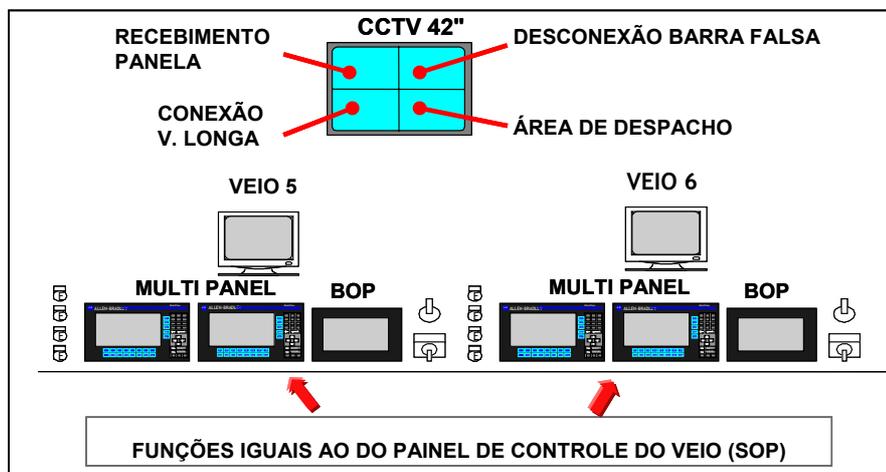


Figura 17. Controle remoto dos veios do CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

Nesta máquina foi instalada uma série de sistemas de controle visando proporcionar um completo automatismo com alta produtividade.

A rede de comunicação principal da máquina é formada por uma rede em anel Industrial *Ethernet* com velocidade de 100 Mbit/s, interligando todos os *PLCs* do processo, *HMI* e o nível 2. Esta rede possui redundância proporcionando uma maior segurança ao processo. A comunicação dos *PLCs* com suas respectivas remotas é realizada através de uma rede *Profibus DP*, com velocidade de 1.5Mbits/s. Os instrumentos de campo são conectados através da rede *Profibus PA*.

4 RESULTADOS DE QUALIDADE

4.1 Superficial

Visando reduzir a ocorrência de *slivers* e *blisters* está sendo utilizada a válvula submersa tipo *Mogul* que permite criar distribuição uniforme de fluxo na saída do furo e conseqüentemente suprimir o regime turbulento na região do *meniscus*, figura 18. Fluxantes com alta tensão superficial e viscosidade estão também sendo aplicados. Ótimos resultados estão sendo obtidos em aços para aplicação em indústria automobilística. Visando prevenir a ocorrência de trinca superficial de quina, está sendo aplicado modelo de resfriamento secundário com controle de

largura de *spray*. Os resultados de inspeção superficial de placas com diferentes aplicações têm demonstrado baixo índice de placas com defeitos.

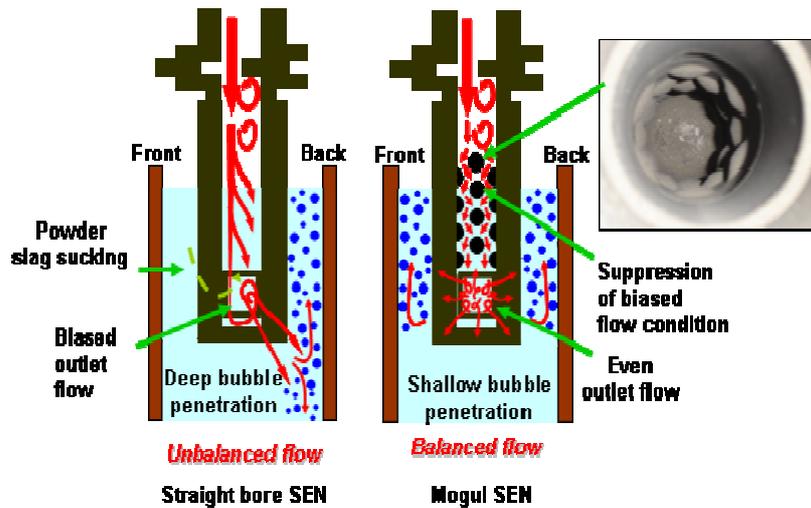


Figura 18. Desenho esquemático do padrão de fluxo do aço no molde: válvula submersa *straight* e Mogul
Fonte: Documento interno da *Shinagawa refractories*

4.2 Trincas Internas e Segregação

O Projeto da máquina 3 foi definido com otimizações do espaçamento entre rolos, diâmetro de rolos e deflexão dos segmentos, visando reduzir a ocorrência de abaulamento da placa.

Objetivando reduzir o índice de segregação, o *static soft reduction* está disponível para ser aplicado em determinadas qualidades de aço.

Na aplicação do *Soft Reduction* o *taper* dos segmentos é definido de acordo com a espessura da placa, velocidade de lingotamento e densidade de *spray*. Em cada seqüência de corridas, no distribuidor, amostras são retiradas das placas para análise *macro etches*. A figura 19 mostra os resultados obtidos de segregação, em aço com 0,17% carbono, que mostrou bons resultados quando da aplicação do *soft reduction*.

Sem *soft reduction*
Taper térmico= 0,13mm/m
C/C₀= 1,17

Com *soft reduction*
Taper térmico= 0,13mm/m e SR= 0,92 mm/m
C/C₀= 1,10

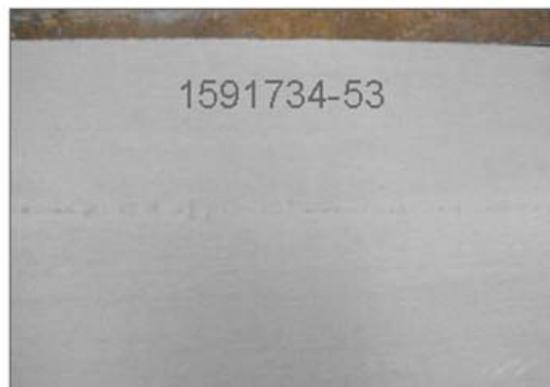
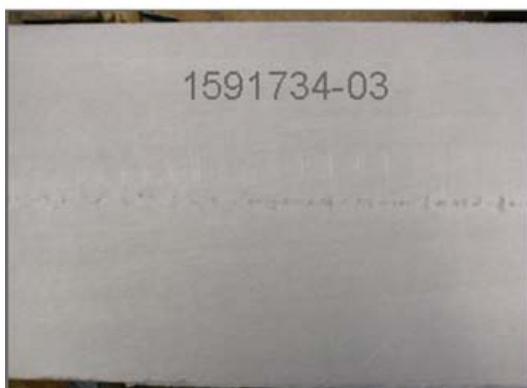


Figura 19. Amostras *Macro etches*, médio carbono com 0.17%C com e sem aplicação de *soft reduction* - CC#3 – ArcelorMittal Tubarão

5 CONCLUSÃO

Foi de fundamental importância o acompanhamento realizado junto com o fornecedor (SteelPlantech CO, Siemens e Dedini) desde o início do projeto até o período de comissionamento. Isto proporcionou uma grande aquisição de conhecimento dos equipamentos e processo, possibilitando que atingíssemos o ritmo de capacidade nominal no período de três meses.

O novo lingotamento contínuo possui modernas tecnologias que viabiliza a produção de aços de alto valor agregado. O alto índice de automação e controle permite uma operação segura, com baixa variabilidade, e que todas as informações do processo possam ser analisadas, para estudos, visando melhoria contínua. Os equipamentos instalados atendem os requisitos de segurança e meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- 1 MATOS, M.F.; CARDOSO, G.I.S.L.; PERIM, C.A.; SILVA, A.G. Technological Advancements in the continuous casting at Companhia Siderúrgica de Tubarão. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 53., 1998, Belo Horizonte, MG. *Anais...* São Paulo: ABM, 1998.
- 2 PERIM, C.A., et al. Productivity increase in the continuous casting machines at Companhia Siderúrgica de Tubarão. In: EUROPEAN CONTINUOUS CASTING CONFERENCE, 5., 2005, Nice, France. [S.n.t.]. v. 1, p. 232-8.
- 3 ArcelorMittal Tubarão CCM#3. In: Functional description and external specification.
- 4 MIZUKAMI, H., et al. Optimum mould oscillation mode in the high casting speed. In: ISIJ MEETING, 109., 1985, Japan. [S.n.t.]. v. 25.
- 5 THOMAS, B.G. Continuous casting mold and steel quality. In: STEELMAKING SEMINAR, 37., 2006, Porto Alegre. São Paulo; ABM, 2006. [Curso].
- 6 BRIMACOMBE, J.K., et al. Brimacombe continuous casting course. Vancouver, Canadá, 2003. v. 2- J2
- 7 NASCIMENTO, A.D. In: *Influência das variáveis físicas do oscilador do molde nas características das marcas de oscilação da placa de lingotamento contínuo*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.