

# OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ENCERRAMENTO DE SEQÜÊNCIA DA MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO – COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO – CST <sup>(1)</sup>

*Altemar Dettogne do Nascimento* <sup>(2)</sup>

*Dimas Bahiense Moreira* <sup>(3)</sup>

*Marcelo Ferraz Matos* <sup>(4)</sup>

*Sergio Rangel Gomes* <sup>(5)</sup>

## Resumo

O encerramento da seqüência de lingotamento contínuo requer prática de solidificação do topo da placa com ajuste de outras variáveis de processo tais como curva de velocidade de máquina e modelo de resfriamento secundário, de tal forma a evitar refluxo de aço, principalmente na região de desdobramento da placa e elevados vazios de solidificação (bolsa de contração). O refluxo de aço nos segmentos é uma anomalia que traz defeitos na superfície das placas, quando não detectado a tempo, podendo acarretar parada da máquina para troca de segmentos.

Após vários experimentos em práticas de capeamento de topo da última placa e em curvas de velocidade de máquina, obteve-se como resultado a eliminação de refluxo de aço dentro da máquina (estouro de topo), como também, diminuição dos desvios nos comprimentos dos vazios de solidificação da última placa da seqüência. Esta nova prática de encerramento de seqüência, adotada pela CST, propiciou a redução do tempo de exposição às altas temperaturas dos operadores de lingotamento contínuo.

**Palavras-chave:** Capeamento de topo, estouro de topo e bolsa de contração

- 
1. *Contribuição técnica para o XXXVI Seminário da ABM de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, Vitória, ES, 16 ~ 18 de Maio de 2005.*
  2. *Membro da ABM, Especialista em Lingotamento Contínuo, CST.*
  3. *Membro da ABM, Gerente da Divisão Técnica da Aciaria, CST.*
  4. *Membro da ABM, Gerente da Seção de Lingotamento Contínuo, CST.*
  5. *Membro da ABM, Gerente da Seção de Matérias Primas, CST.*

## 1 INTRODUÇÃO

A Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) iniciou sua operação em Novembro de 1983, e se caracteriza pela produção de placas de aço e bobinas a quente, que são destinadas a clientes nacionais e internacionais, sendo que 71 % da produção são voltadas para exportação. Até meados de 1995, toda a produção da empresa foi realizada pela rota lingotamento convencional e laminador desbastador, com cerca de 3 milhões de toneladas anuais de placas despachadas.<sup>(1)</sup>

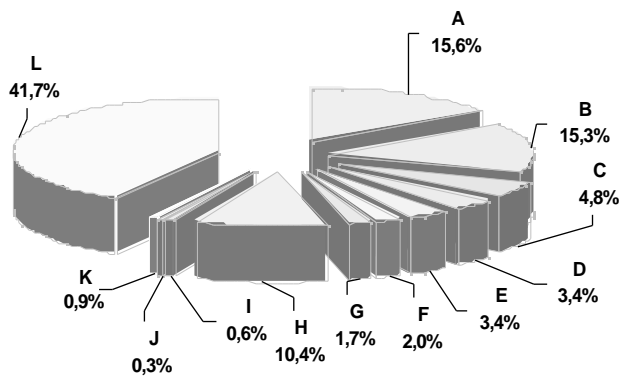
A primeira máquina de lingotamento contínuo, com capacidade nominal de 1,8 milhões de t / ano, entrou em operação, em abril de 1995. A partir da substituição do lingotamento convencional pelo lingotamento contínuo, a CST passou a fornecer para o mercado consumidor um produto com maior valor agregado.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

Em fevereiro de 1998 a CST iniciou a operação de sua máquina de contínuo número 2, tipo vertical curva, dotada de várias tecnologias e conjuntamente com a implantação do desgaseificador a vácuo (RH), possibilitou o enobrecimento da linha de produtos. Na Figura 1 é mostrado o mix de produção obtido em 2004. A implantação do lingotamento contínuo 2 acarretou alteração significativa no fluxo operacional da CST, principalmente a partir do encerramento das atividades da linha de lingotamento convencional e laminador tipo desbastador. Em Janeiro de 2005, foi contabilizada a marca histórica de 30 milhões de toneladas de placas de aço produzidas pelas máquinas de lingotamento contínuo 1 e 2.

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. Na Figura 2 é mostrado o fluxo atual de produção.

Atualmente a CST está em processo de aumento da capacidade de produção, que deverá atingir 7,5 milhões de toneladas de aço anuais, o que exigirá recursos da ordem de US\$ 1 bilhão, sendo 20% deste valor, empregados somente em sistema e ações de controle ambiental. Dentro os novos equipamentos a serem instalados destacam-se o terceiro alto forno, o terceiro convertedor, o segundo RH e a terceira máquina de lingotamento contínuo.

A CST tem trabalhado incessantemente para obter melhores índices de produtividade e qualidade, e com esse objetivo muitos projetos de melhoria têm sido implementados na área de Aciaria. Este trabalho apresenta os resultados de melhoria da qualidade da última placa de seqüência, como também diminuição dos índices de refluxo de aço dentro da máquina, após a implementação do novo processo de capeamento do topo da última placa de seqüência.



|                   |   |
|-------------------|---|
| CHAPAS GROSSAS    | A |
| UBC - IF          | B |
| HSLA (TQ/TF)      | C |
| API               | D |
| TIN PLATE         | E |
| FINS ELÉTRICOS    | F |
| TUBOS (USO GERAL) | G |
| BC (P. EXPOSTA)   | H |
| EBC               | I |
| ESMALTAÇÃO        | J |
| RODAS             | K |
| OUTROS            | L |

Figura 1. Distribuição do mix de produtos em 2004 (placas / B.Q)

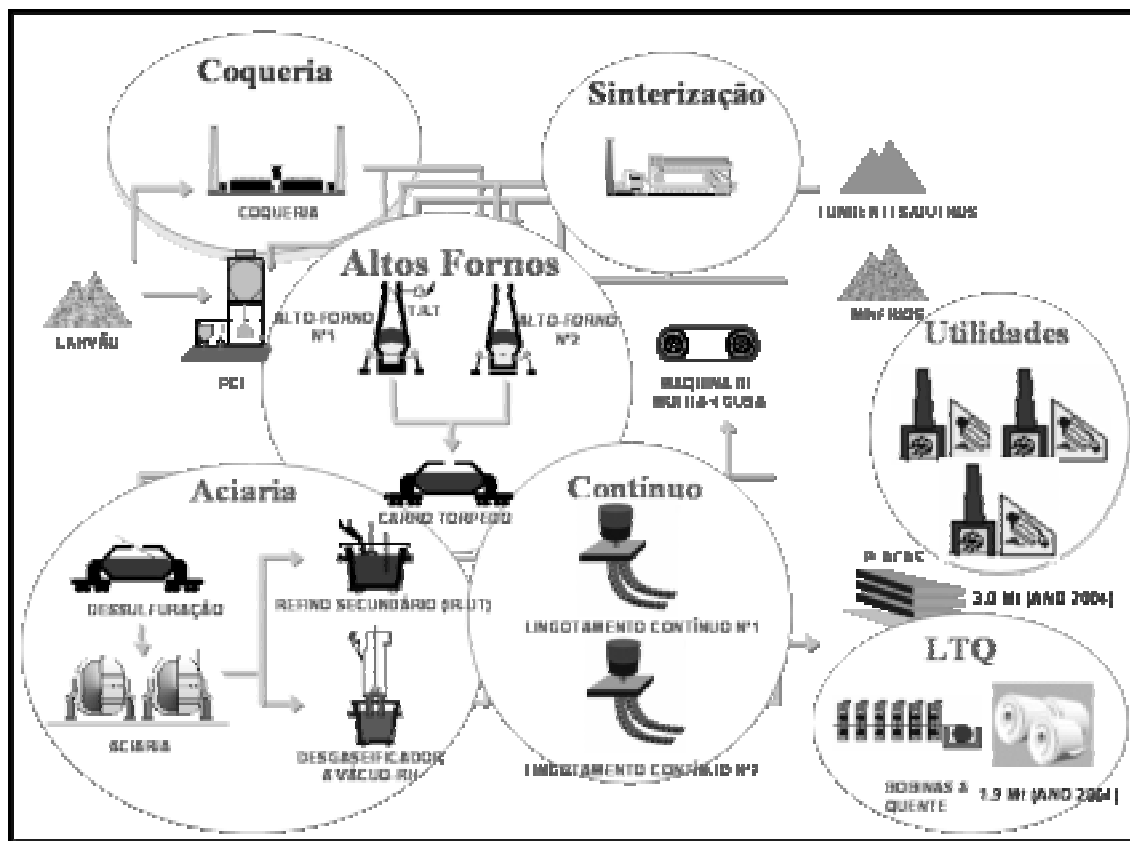


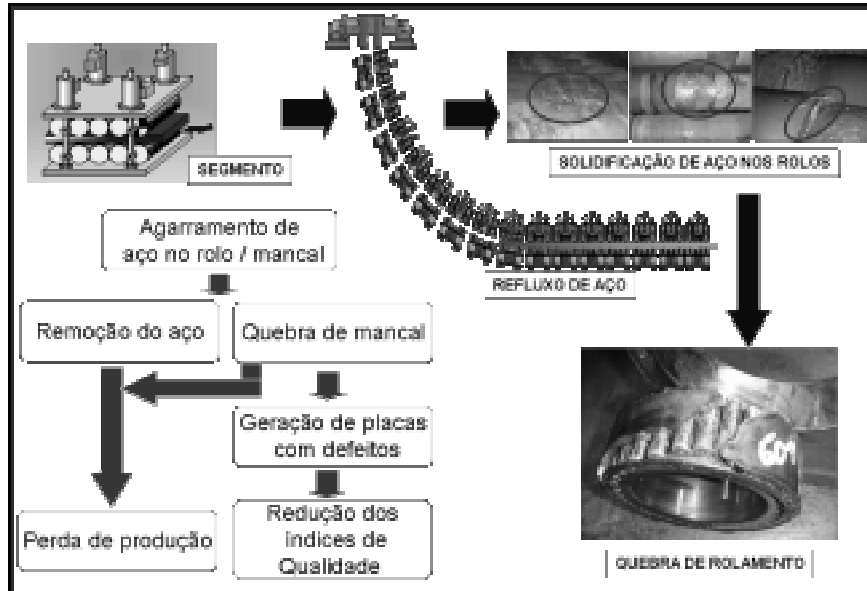
Figura 2. Fluxo atual de produção da CST

## 2 ASPECTOS METALÚRGICOS DO ENCERRAMENTO DE SEQÜÊNCIA DA MÁQUINA

Uma das etapas críticas do processo de lingotamento contínuo de placas é o capeamento de topo. Esta é uma prática utilizada para solidificação do topo da

última placa, que visa eliminar o refluxo de aço dentro da máquina, principalmente no ponto de desdobramento da placa.

O refluxo de aço sobre os segmentos acarreta quebra de mancais dos segmentos, defeitos superficiais na placa, gerando parada da máquina para troca de segmentos, conforme demonstrado na Figura 3.



**Figura 3.** Conseqüências do refluxo de aço sobre os mancais e rolos dos segmentos

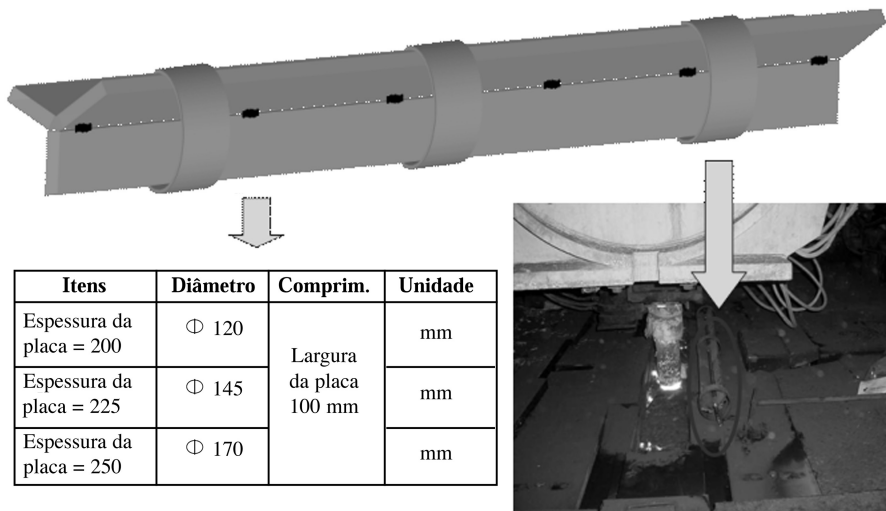
A prática de encerramento de seqüência, que a CST adotava, chamava-se método natural de solidificação do topo da última placa da seqüência. Consistia de uma taxa de desaceleração da máquina em função do peso de aço no distribuidor, até atingir uma velocidade de segurança para capeamento da placa. Utilizava-se um vergalhão de 3/8 de polegada para movimentar o aço líquido do topo da placa, visando acelerar a solidificação (Figura 4). Após o topo da última placa do veio ter atingido a base do molde, a velocidade de lingotamento era aumentada para valores máximos de acordo com a família de aço com aceleração de  $0,4 \text{ m/min}^2$ . Deixava a desejar principalmente nos aspectos de ocorrências de refluxo de aço dentro da máquina e maior exposição dos operadores as altas temperaturas. Outro ponto importante a ser citado é que esta prática de encerramento de seqüência demandava tempo elevado do veio em baixa velocidade, para determinadas dimensões da placa, o que aumentava o esforço radial sobre os mancais de segmentos.



**Figura 4.** Capeamento do topo da placa (método natural)

### 3 EXPERIMENTOS

Baseado em experiência japonesa,<sup>(2)</sup> foram realizados vários experimentos com dispositivos metálicos visando acelerar a solidificação do topo da última placa da seqüência em substituição ao método natural de capeamento, conforme explanado no item 2. Desta forma calculou-se a massa metálica a qual seria necessária para trocar calor com o aço líquido do topo da placa. Os resultados dimensionais destes dispositivos foram definidos em função da espessura e largura da placa (Figura 5).



**Figura 5.** Dispositivo de capeamento do topo da placa

Os experimentos de encerramento da seqüência consistiram nos seguintes procedimentos:

- redução da velocidade de lingotamento com taxa de  $0,4 \text{ m/min}^2$ ;
- redução da adição de pó fluxante, mantendo a espessura de escória líquida na faixa de 5 ~ 15 mm, desde que o “meniscus” não fique exposto, visando evitar reoxidação do aço;
- elevação do distribuidor e inserção do dispositivo de capeamento no molde (Figura 6) com as dimensões apropriadas; e
- aumento da velocidade de lingotamento com taxa de  $0,4 \text{ m/min}^2$  até atingir valores máximos conforme a família de aço. Quando o topo da placa atingir a região de desdobramento a velocidade é então reduzida para patamares de segurança, visando evitar refluxo de aço sobre os mancais e rolos em função dos esforços de tração e compressão da placa (Figura 7).



**Figura 6.** Inserção do dispositivo de capeamento

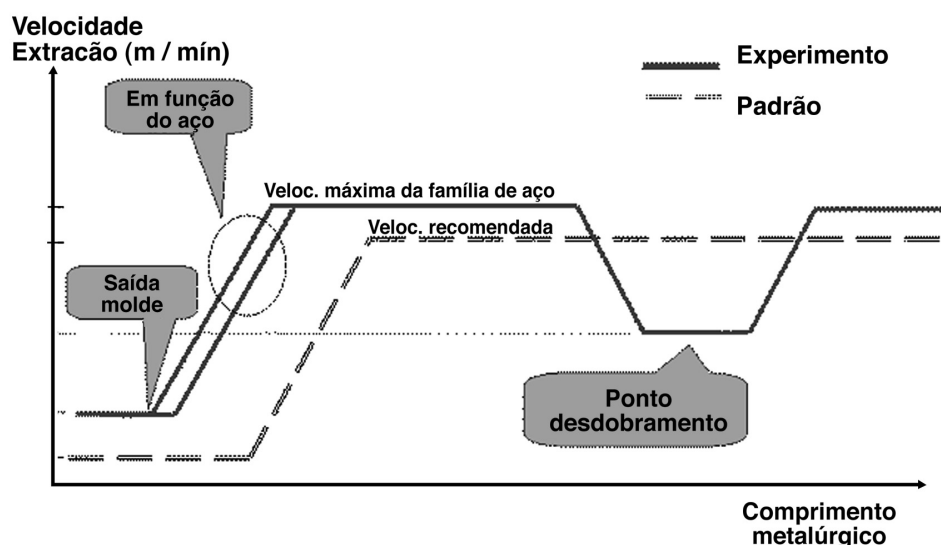


Figura 7. Curva de extração da placa após capeamento do topo

## 4 RESULTADOS

De maneira a analisar a eficácia destes novos procedimentos, foram avaliados os seguintes parâmetros:

### 4.1 Refluxo de Aço na Região de Desdobramento da Placa

A taxa de refluxo de aço com a utilização do dispositivo de capeamento foi reduzida para zero (Figura 8), demonstrado que os novos procedimentos de encerramento de seqüência foram eficazes para solidificação do topo da placa. Após implementação deste método, não foram detectadas anomalias para troca de segmentos em função de aderência de aço sobre os mancais.

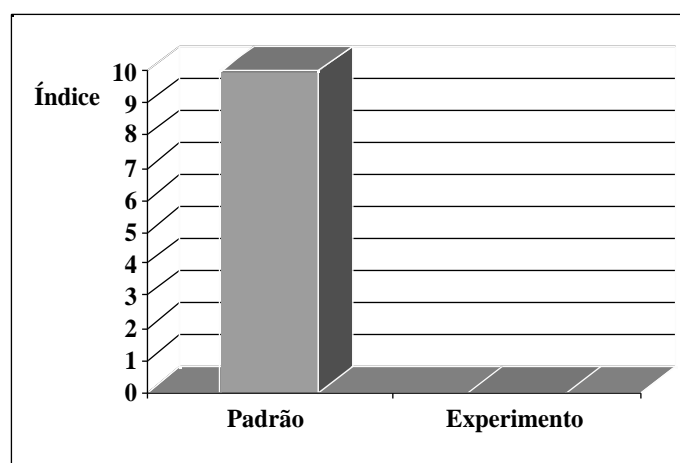


Figura 8. Índice de refluxo de aço na região de desdobramento

### 4.2 Comprimento dos Vazios de Solidificação (Bolsa de Contração)

Outra variável de processo analisada foi o vazio de solidificação no topo da placa de fim de seqüência. O comprimento da bolsa de contração deverá ser

correspondente a um peso de descarte que não afete significativamente no rendimento de condicionamento ou na desclassificação da placa por falta de comprimento. Para medir este comprimento foram realizados ensaios com equipamento ultra-som (Figura 9). Observou-se que com a utilização do dispositivo de capeamento (experimento), houve uma redução na dispersão do comprimento da bolsa de contração (Figura 10). Realizando o teste hipótese  $H_0$  (média experimento menos média padrão) = zero, não houve diferença significativa ( $p$ -level= 0,15). A maior dispersão do comprimento da bolsa de contração, decorrente dos encerramentos de seqüência com capeamento natural é explicada pela maior dispersão do tempo de permanência do veio em baixas velocidades para realizar a solidificação natural do topo da placa.

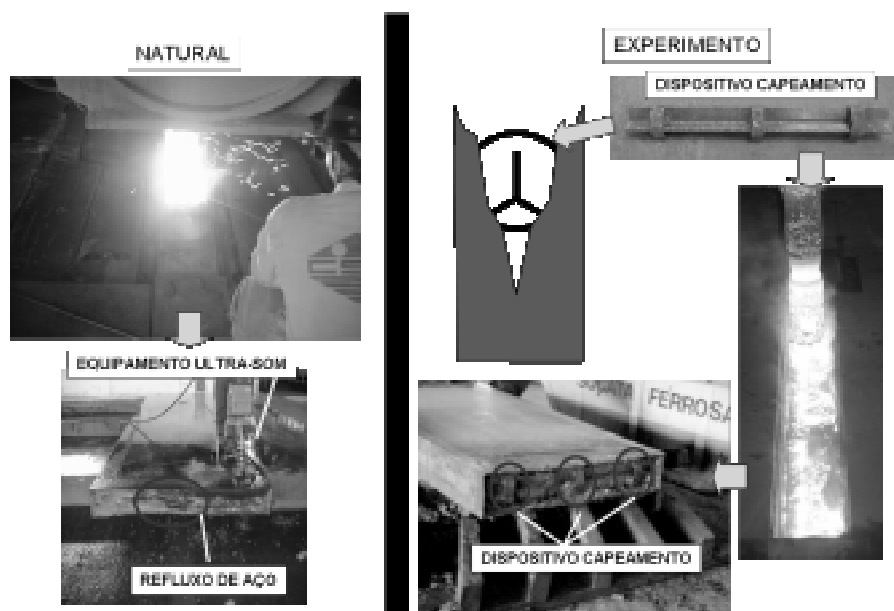


Figura 9. Equipamento ultra-som para avaliação do comprimento do vazio de solidificação

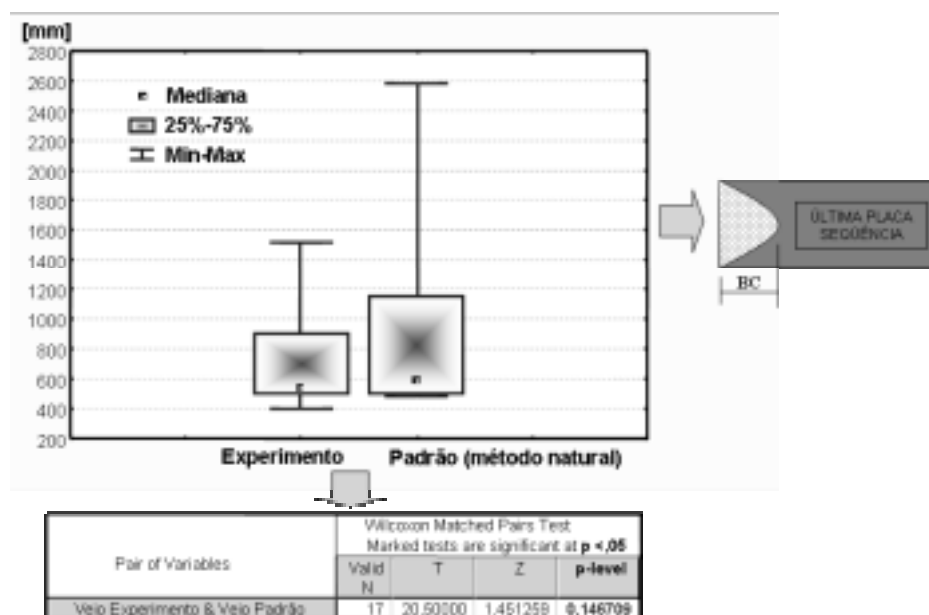


Figura 10. Comprimento da bolsa de contração – última placa da seqüência

### 4.3 Força Radial Sobre os Mancais de Segmentos

Para avaliação desta variável, foi instalada uma célula de carga no ponto de desdobraamento (segmento 8) com registro das cargas no sistema supervisório (Figura 11). Observou-se que quando a última placa da seqüência passa pelo ponto de desdobraamento ocorre um aumento da força radial sobre os mancais. Por exemplo, para um aço médio carbono ( $C=0,17\%$  e  $Mn=0,93\%$ ; dimensões da placa =  $1348 \times 225 \text{ mm}$ ), as forças radiais sobre o mancal inferior do segmento 8 foram  $912 \text{ KN}$  e  $241 \text{ KN}$  respectivamente para os encerramentos de seqüências com procedimentos padrões (método natural) e experimentos (figuras 12 e 13). Estes resultados demonstram que o capeamento de topo deverá ser realizado de forma otimizada com retomada de velocidade em menor intervalo de tempo, visando reduzir sobre esforços nos mancais de segmentos.

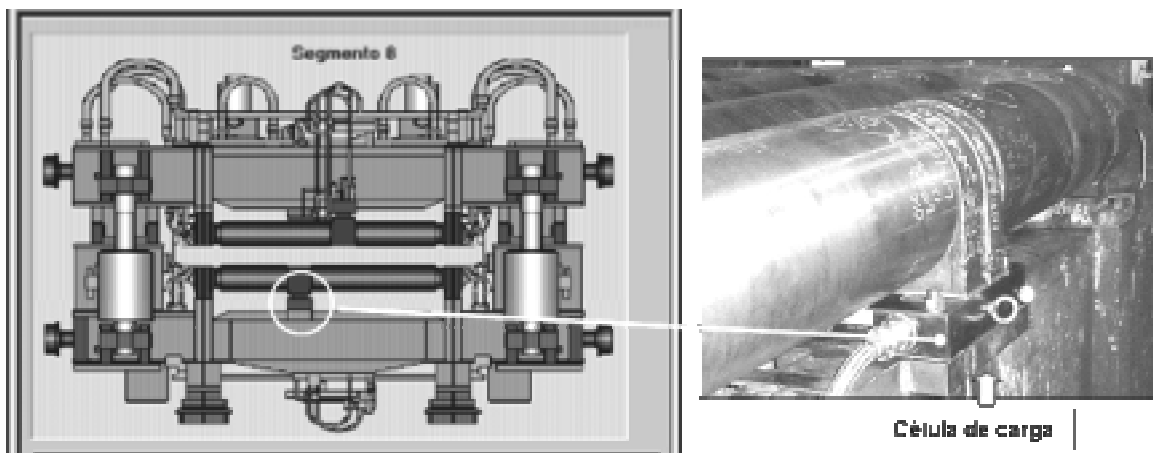


Figura 11. Posição da célula de carga no segmento 8

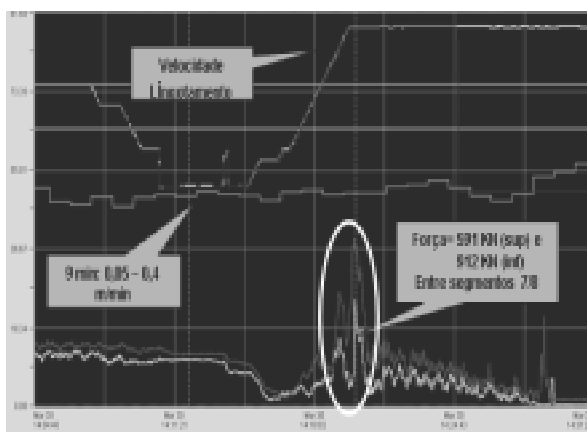


Figura 12. Influência dos procedimentos padrões de capeamento do topo da placa na força radial dos mancais e segmentos

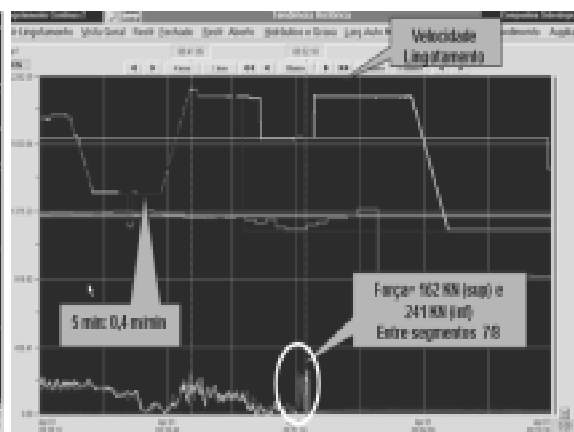


Figura 13. Influência dos procedimentos de experimentos para capeamento do topo da placa na força radial dos mancais e segmentos



## 5 CONCLUSÕES

A otimização do processo de encerramento de seqüência com a utilização do dispositivo de capeamento, desenvolvida na CST, apresentou os seguintes benefícios:

- ✓ Eliminação das ocorrências de refluxo de aço sobre os mancais e rolos dos segmentos;
- ✓ Resultados de qualidade com menores ocorrências de inclusão de pó fluxante devido às reduções de intervenções para acelerar a solidificação do topo da placa;
- ✓ Menor dispersão no descarte por vazios de solidificação, como também, redução da desclassificação de placas com largura abaixo da tolerância.
- ✓ Redução de quatro minutos no tempo de preparação de máquina, devido a maior velocidade de extração da placa;
- ✓ Redução da força radial sobre os mancais e rolos dos segmentos;
- ✓ Redução do tempo de exposição dos operadores as altas temperaturas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MATOS, M. F., CARDOSO, G. I. S. L., PERIM, C. A., SILVA, C. M. Avanços tecnológicos com o lingotamento contínuo na Companhia Siderúrgica de Tubarão. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 53., 1998. Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: ABM, 1998.
2. Relatório interno de visita a usinas da JFE (Mizushima e Chiba, Abril de 2001)

# CONTINUOUS CASTING MACHINE SEQUENCING WITHDRAWAL PROCESS OPTIMIZATION – COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO – CST <sup>(1)</sup>

*Altemar Dettogne do Nascimento* <sup>(2)</sup>

*Dimas Bahiense Moreira* <sup>(3)</sup>

*Marcelo Ferraz Matos* <sup>(4)</sup>

*Sergio Rangel Gomes* <sup>(5)</sup>

## **Abstract**

The continuous casting sequencing withdrawal requires slab top solidification practices together with adjustments in others process variables, such as casting speed curve and secondary cooling model, in order to prevent steel reflux, mainly at the machine unbending region and high solidification voids (sink holes). Steel refluxes on the segments is an anomaly that, when it isn't detected on time, may result in defects on the slab surface or machine stoppage for segment replacement.

After several experiments with the last slab capping practice and casting speed curves, conditions of lower occurrences of steel reflux in the machine (top burst) and smaller deviations in solidification voids length from the last slab of the sequence were achieved. This new sequencing withdrawal practice adopted by CST also contributed to reduce the exposure time of the continuous casting workers at high temperatures.

**Key-Words:** cap off, top BURST, and retraction pocket

- 
1. *Paper to be presented in the ABM XXXVI Melting, Refining and Casting of Metals Seminar, Vitória, ES, May, 16 ~ 08, 2005.*
  2. *Continuous Casting Expert, CST.*
  3. *Steelmaking Technical Division Manager, CST.*
  4. *Continuous Casting Section Manager, CST.*
  5. *Raw Material Section Manager, CST.*