

Recentes desenvolvimentos visando melhoria de qualidade e aumento de produtividade nas máquinas de lingotamento contínuo da CSN ⁽¹⁾

Antônio Carlos Sant'anna da Silva (2)
Elcio Santana (3)
Reginaldo Fonseca Lourenço (4)
Noraldito Hipólito Guimarães Gomes (5)

RESUMO

O trabalho descreve os testes e as alterações de processo realizados na área do Lingotamento Contínuo da CSN nos últimos anos .

Foram desenvolvidos projetos relacionados à melhoria de eficiência do argônio no sistema de vazamento, aumento de vida dos tubos submersos , dentre outros.

São apresentados resultados das melhorias implantadas ou em teste, no tocante a qualidade de produto, aumento de produtividade e melhoria no rendimento. As ações devem capacitar o Lingotamento Contínuo da CSN, no curto prazo, a atingir níveis anuais acima de 5,5 Milhões de toneladas de placa e a aumentar a participação em mercados que exigem elevado padrão de qualidade.

Palavras-Chave: máquina de lingotamento, distribuidor, lingotamento contínuo

(1) Contribuição técnica a ser apresentada na XXXV Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, de 17 a 19 de maio de 2004, Salvador, BA, Brasil.

(2) Engenheiro Metalúrgico, Gerência de Tecnologia Metalúrgica, GTME-CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil

(3) Engenheiro Metalúrgico, Gerência de Tecnologia Metalúrgica, GTME-CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil

(4) Engenheiro Metalúrgico, Gerência de Tecnologia Metalúrgica, GTME-CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil

(5) Engenheiro Metalúrgico, Gerência de Lingotamento Contínuo, GLA-CSN, Volta Redonda, RJ, Brasil

1 – Introdução

A Aciaria da CSN dispõe hoje de 3 conversores LD/KGC, com capacidade para produção de 220 t por corrida e de 3 máquinas de lingotamento contínuo de 2 veios cada uma.

Desde que atingiu, pela primeira vez, a sua capacidade nominal de 4,6 Milhões de toneladas/ano de aço líquido, em 1994, essa aciaria vem experimentando sucessivos incrementos de produção, ano após ano, conforme pode ser visto pela evolução mostrada no gráfico da figura 1, devendo atingir, em 2003, o patamar de 5,5 Milhões de toneladas.

Por outro lado, para acompanhar as exigências do mercado, o mix de aços produzidos pela CSN também tem sofrido uma rápida transformação, marcada por um aumento na participação de aços com rotas de fabricação mais complexas. A figura 2 apresenta uma comparação entre a distribuição da produção de aço por classe em 1997 e 2002.

Com o objetivo de atender à demanda, em 1998, entraram em operação novos equipamentos de Metalurgia Secundária (Desgaseificador RH e Forno Panela), bem como uma nova máquina de lingotamento contínuo, em substituição à Máquina de lingotamento 1, desativada devido sua obsolescência. Esses investimentos capacitaram a CSN a atender mercados extremamente exigentes, indo dos aços IF com elevada conformabilidade para a Indústria Automobilística até os aços microligados de alta resistência (usados para fabricação de rodas e longarinas).

A maior complexidade na produção desses aços, em geral, implica em maior tempo de processo, e, como consequência, a menor produtividade no conjunto da aciaria. Esse fato apresenta uma aparente contradição com as metas de aumento de produção que são anualmente propostas. Compatibilizar, por um lado, o atendimento a esses mercados extremamente exigentes, e, por outro, atingir as metas de aumento de produção tem sido o grande desafio para os especialistas da aciaria nos tempos mais recentes.

2 – Produtividade e qualidade no Lingotamento Contínuo

Após a entrada em operação da Máquina nº 4 em Dezembro de 1998, o Lingotamento Contínuo deixou, em tese, de ser o "gargalo" de produção, ficando com a capacidade nominal superior a dos conversores. Entretanto, é sabido que a capacidade de produção de uma máquina de lingotamento depende, em grande parte, do mix de produto lingotado.

De modo geral, aços IF, ARBL ou alto carbono, seja devido a exigências de qualidade, seja por adequação aos tempos de processamento mais longos no refino secundário, são caracterizados por velocidades mais baixas de lingotamento e números

mais baixos de corridas por seqüência. Esses fatores levam, indiscutivelmente, à perdas de produtividade nas máquinas.

Deve-se acrescentar também que, mesmo para os aços considerados "comuns", novas características demandadas pelos clientes (por exemplo, redução das espessuras das folhas metálicas, destinadas ao mercado de embalagens) têm levado à necessidade de melhoria no nível geral de limpeza interna das placas.

Esse cenário motivou a implementação de projetos de melhoria de processos, com destaque para 3 itens, priorizados em função dos méritos potenciais considerando aumento de produtividade, melhoria de rendimento e melhoria na qualidade:

- a) Alteração do processo de uso de argônio no sistema de vazamento do distribuidor, com inclusão da injeção através de válvula superior porosa nas Máquinas 2, 3 e 4;
- b) Implantação de dispositivo de controle de fluxo para os distribuidores da Máquina 4;
- c) Desenvolvimento de novo projeto de tubo submerso com capacidade para lingotar 600 minutos.

Em linhas gerais, os méritos esperados com os três projetos são:

- Aumento no sequencial médio por distribuidor, devido redução nas ocorrências de obstrução, especialmente no lingotamento de aços mais suscetíveis à deposição de alumina como os aços UBC e EBC.
- Redução dos desvios (downgrade), devido menor geração de placas de início e final de seqüência, bem como menor número de placas contaminadas devido limpeza do canal de vazamento.
- Melhoria da produtividade devido diminuição das ocorrências de reduções de velocidade devido obstrução.
- Melhoria do nível de limpeza interna devido menor tempo lingotado com obstrução, que provoca deterioração no desempenho do controle automático de nível no molde, com maior risco de arraste de inclusões oriundas da escória do molde.
- Aumento no rendimento devido redução das perdas por descartes na região das emendas realizadas em função de trocas de tubo submerso durante o lingotamento.
- Redução das interrupções de seqüência devido não êxito nas operações de trocas de tubo submerso.

3 – Alteração do processo de uso de argônio no sistema de vazamento do distribuidor, com inclusão da injeção através de válvula superior porosa nas Máquinas 2, 3 e 4;

3.1 Descrição do problema

Um dos principais motivos para a perda de eficiência das máquinas de lingotamento contínuo na CSN é a redução de velocidade por obstrução devido a deposição de Al_2O_3 no canal de vazamento entre o distribuidor e o molde. Este

problema também gera um downgrade nas placas quando é necessário a remoção desta Al_2O_3 com o auxílio de uma vara para evitar uma parada na seqüência, gerando inclusões grandes que conduzem a defeitos no produto.

São 3 os principais pontos de deposição de Al_2O_3 no canal de vazamento:

- a) Na parte inferior e ao redor da saída do tubo submerso
- b) No interior da válvula gaveta, na região morta abaixo da placa superior (sistema com 2 placas) .A obstrução nesta região se agrava com velocidades baixas pois se trabalha estrangulado.
- c) No poço acima da válvula superior

3.2 Situação atual X proposta

Atualmente a CSN utiliza argônio apenas em um ponto, que é na placa superior , porém este argônio não é efetivo para a limpeza do poço e parte inferior do tubo submerso. A obstrução do tubo é contornada com a troca programada do mesmo porém na obstrução do poço é necessária a intervenção do operador através da introdução de uma vara metálica para soltar a Al_2O_3 . O aumento da vazão de argônio seria uma solução para diminuir a obstrução mas que traz grande prejuízo na qualidade do aço.

Para combater esta obstrução no poço mantendo vazões de argônio compatíveis com a qualidade interna e superficial necessária para cada tipo de aço e evitando a perda de eficiência na máquina, optamos por injetar o argônio em dois pontos mantendo a placa porosa e entrando com argônio na válvula superior conforme figura 3. Foi escolhida uma válvula superior porosa com câmara inferior pois demonstrou eficiência na limpeza do poço sem perder muito na limpeza da parte inferior do tubo submerso.

3.3 Descrição dos testes

Em uma 1ª etapa foram testados 4 tipos de concepção de válvula diferentes (10 peças de cada tipo): Válvula superior porosa com câmara inferior, válvula superior porosa com câmara superior , válvula superior multiporos com câmara superior e válvula superior multiporos com câmara inferior. Foi observado que as válvulas com argônio na câmara superior apresentavam uma boa eficiência na obstrução do poço porém eram pouco eficientes na obstrução do tubo. Já as válvulas com argônio na câmara inferior conseguiam uma boa eficiência na obstrução do poço sem perder muito na obstrução do tubo. Não foi observada diferença significativa entre as válvulas multiporos e as porosas.

Após esta primeira etapa, foi definida a válvula superior porosa com câmara inferior para uma 2ª etapa de testes e foi adquirida quantidade suficiente para utilização durante 1 mês nas 3 máquinas de lingotamento contínuo.

Durante o período de testes foi dado uma ênfase maior para o lingotamento de aços UBC e EBC, onde foi possível aumentar o sequencial máximo programado de 4 para 5 corridas e reduzir o índice de desvio de placas por limpeza com vara.

A tabela 1 mostra uma comparação de ganhos durante os testes com a válvula porosa nos aços UBC e EBC.

	Nº corridas por mês	Nº corridas por distribuidor	Nº distribuidores por mês	% Placas com downgrade	
				Placas de início e final de sequencia	Placas de limpeza com vara
S/ válvula porosa	140	4	35	12.5%	1.25%
C/ válvula porosa	140	5	28	10%	0.71%
			Ganho total	3,04%	

Tabela 1 – Demonstração de ganhos através da redução de placas de down-grade nos aços IF`s.

As figuras 4 e 5 mostram a evolução do sequencial médio por distribuidor e a queda no índice de obstrução nos aços UBC e EBC lingotados nas máquinas de lingotamento contínuo 2 e 3 no mês de junho (quando foram utilizadas as válvulas de teste).

A figura 6 apresenta a evolução do índice de placas desviadas devido desobstrução do veio com vara nas Máquinas 2 e 3, ao longo de 2003, onde se destaca o mês de Dezembro, já após a implantação definitiva da válvula porosa.

4 – Implantação de dispositivo de controle de fluxo para os distribuidores da Máquina nº 4

4.1 - Descrição do problema

O dispositivo de controle de fluxo de aço no distribuidor conhecido como TURBOSTOP tem-se mostrado uma alternativa eficaz às diversas configurações de barragens e diques utilizadas no mundo, demonstrando eficiência na melhoria da limpeza interna do aço tanto em regime permanente como em regime transiente.

Na CSN, desde 1997, esta configuração já é utilizada nas mcc's 2 e 3, que utiliza distribuidores de 30 t, tendo sido obtido um aumento de 1,5 corridas no sequencial médio em relação à configuração com diques e barragens, devido redução de deposição de alumina. Já para a mcc#4, que utiliza distribuidores de 60 t, adotou-se a concepção de que o tempo de residência do aço no distribuidor seria suficiente para garantir a qualidade tornando desnecessário o uso de um sistema controlador de fluxo.

No intuito de buscar a melhoria contínua no nível de qualidade de seus produtos, a CSN optou por alterar esse conceito. A configuração testada é mostrada esquematicamente na figura 7, onde se vê um corte longitudinal do distribuidor com as peças refratárias responsáveis pelo controle de fluxo de aço líquido, proposto pela Foseco inc., composto de TURBOSTOP e diques. Já a figura 8 mostra com detalhes um distribuidor da mcc#4 montado com TURBOSTOP.

4.2 - Teste a frio em modelo de água

Com o objetivo de analisar antecipadamente o potencial do projeto TURBOSTOP, bem como definir a configuração mais adequada para os testes industriais, foram realizados em laboratório testes utilizando modelo de água, construído para avaliar alternativas de controle de fluxo de aço no distribuidor .

O modelo permite a avaliação do fluxo de aço no distribuidor com base nos valores obtidos de fluxo pistonado, volume morto e mistura. A tabela abaixo mostras os resultados do modelamento comparando 4 configurações diferentes:

I – sem acessórios (configuração atual)

II - Turbostop sem diques

III - Turbostop com diques baixos

IV – Turbostop com diques altos

	Volume morto	Volume pistonado	Volume de mistura
Caso I	0.188	0.201	0.610
Caso II	0.113	0.356	0.531
Caso III	0.046	0.375	0.579
Caso IV	0.073	0.358	0.569

Tabela 2 – Demonstrativo dos resultados do modelo de água para o distribuidor da mcc#4

Com base nestes resultados, o caso III (com Turbostop e diques baixos) foi o escolhido pois apresentou o menor volume morto e o maior volume pistonado com um maior tempo de residência.

4.3– Descrição dos testes e resultados finais

Este teste foi composto por 3 etapas. Na 1ª foram utilizados 10 conjuntos e foi analisada principalmente a resistência mecânica das peças onde foi observado um desgaste nas abas do Turbostop e um empeno nos diques.

Para a segunda etapa, as peças foram reforçadas e foi feito um teste com 20 peças onde se analisou a qualidade do aço através da contagem de inclusões. Foi feita a caracterização em amostras extraídas do molde em corridas com e sem o uso do Turbostop. Com o intuito de eliminar a influência das Metalurgia, foram utilizadas somente corridas com idênticas rotas de fabricação.

A figura 9 mostra o resultado da contagem de inclusões, podendo ser observada uma grande redução na incidência de inclusões > 50 μ e uma estabilização nas < 50 μ . Foram analisadas 19 amostras (corridas) sem Turbostop e 13 corridas com Turbostop.

A 3ª etapa de testes está atualmente em curso e consiste na utilização durante 40 dias (com início em 10 de Novembro 2003), quando será analisado o efeito no desempenho do produto nas linhas de laminação. No entanto, resultados parciais já sinalizam uma redução no índice de desvio de placas por desobstrução na Máquina 4, conforme pode ser visto na figura 10 (mês de Novembro)

5 – Desenvolvimento de novo projeto de tubo submerso com capacidade para lingotar 600 minutos.

5.1- Descrição do Problema

Atualmente nas máquinas da CSN, o que define o nº de corridas por distribuidor é a vida útil da placa deslizante (em torno de 600 minutos). Os tubos submersos atualmente em uso permitem lingotar até 350 minutos, sendo que após este período, é necessário substituí-lo por um novo.

As trocas de tubo são feitas manualmente, com necessidade de interrupção do fluxo de aço e parada da linha, gerando assim uma emenda, que provoca a geração de um descarte e também, em alguns casos, o downgrade das placas.

Com o objetivo de minimizar esses problemas, a CSN optou por solicitar aos fornecedores o desenvolvimento de um projeto de tubo submerso capaz de lingotar durante 600 minutos, igualando ao tempo de vida das placas e eliminando a necessidade de troca.

Os principais fatores que limitam a vida do tubo submerso são o desgaste por corrosão (sobretudo na linha de escória) e a deposição de alumina. A corrosão ou desgaste do tubo é função de:

- espessura e resistência da cinta de Zircônia (característica do projeto do tubo);

- características da escória do fluxante;
- possibilidade da variação da região do tubo em contato com a escória.

Com relação à redução de deposição de alumina, alguns tipos de tubos podem ser usados, como:

- Tubo submerso com slit

Trata-se de um tubo que permite o sopro de argônio através de pequenos furos ou poros existentes nas paredes. O argônio soprado forma um filme de gás entre a parede interna e o aço líquido, que impede a aderência de compostos não metálicos.

- Tubo submerso anti-clogging

Outra alternativa para evitar a aderência de Al_2O_3 é o uso de tubo submerso com uma aplicação, sobre a parede interna, de uma camada de material anti-clogging com 5 a 10 mm de espessura.

Normalmente utiliza-se a aplicação de partículas de CaO . ZrO_2 . Este composto reage com as inclusões de Al_2O_3 do aço formando um terceiro composto com baixo ponto de fusão que, sendo líquido à temperatura do aço líquido, não deposita nas paredes do tubo.

No caso da CSN, a opção para teste foi o tubo anti-clogging, isto porque a injeção de argônio no tubo com Slit, pode provocar agitação na interface metal-escória e como consequência, defeitos nos produtos.

5.2 – Testes Industriais/Resultados

Foram realizados testes com 300 tubos anti-clogging na MCC4. No que diz respeito ao desgaste, o desempenho dos tubos foi avaliado através do controle do tempo de vida obtido (real) e o tempo de vida potencial (através de medição da espessura de camada de Zircônia remanescente e da taxa de corrosão).

A figura 11 apresenta os tempos reais obtidos para alguns dos tubos submersos testados. Nos casos em que o tempo objetivado de 600 minutos não foi obtido, este fato se deveu ao encerramento da seqüência no distribuidor ter ocorrido em tempo menor, seja por programação, seja por algum tipo de emergência. Nesses casos, medições na camada residual da cinta de Zircônia dos tubos utilizados projetaram uma vida entre 610 e 640 minutos.

Para avaliação da deposição de Alumina, foram feitas medições da espessura depositada em cerca de 80 tubos utilizados (32 tubos convencionais e 48 tubos anti-clogging). Os valores foram lançados em gráficos, que são apresentados nas figuras 12 (a) (tubos convencionais) e 12 (b) (tubos de teste).

Observa-se que, para os tubos convencionais, após 300 minutos, pode-se estimar uma espessura de deposição em torno de 10 mm, o que representa cerca de 44% de redução na seção de escoamento do tubo. Para o tubo anti-clogging, há um nível mínimo de deposição até para tempos de lingotamento entre 550 e 600 minutos.

6 – Conclusões

- Foi analisado neste trabalho o efeito individual de cada alteração de processo proposta e, em todos os casos, observaram-se ganhos significativos, como redução de placas de downgrade, sucata e aumento no sequencial médio. Embora as alterações apresentem impacto no custo variável da placa, os ganhos projetados revelam uma relação altamente favorável de custo/benefício.
- O efeito conjunto da válvula superior porosa, tubo submerso anticlogging e Turbostop poderá garantir um aumento nos sequenciais médio por distribuidor, sobretudo para os aços mais críticos (UBC/EBC), uma redução no corte de sequência por obstrução e não êxito na troca de tubo, aumentando a eficiência das máquinas sem comprometer o desempenho do produto.
- Acredita-se que, com o conjunto de melhorias, o lingotamento contínuo da CSN estará capacitado para acompanhar os novos patamares de produção propostos, bem como manter um nível de qualidade dos produtos compatível com as atuais e futuras necessidades dos clientes.

7 – Revisão Bibliográfica

- (1) Gallo, Maurício, Refratários para Lingotamento Contínuo, 1ª edição, Dezembro de 2000.
- (2) Wagner, Otávio L M, Sistema de Controle de Fluxo de Aço no Distribuidor, 1º Seminário Técnico da Metalurgia do Aço, CSN, Setembro de 1997.

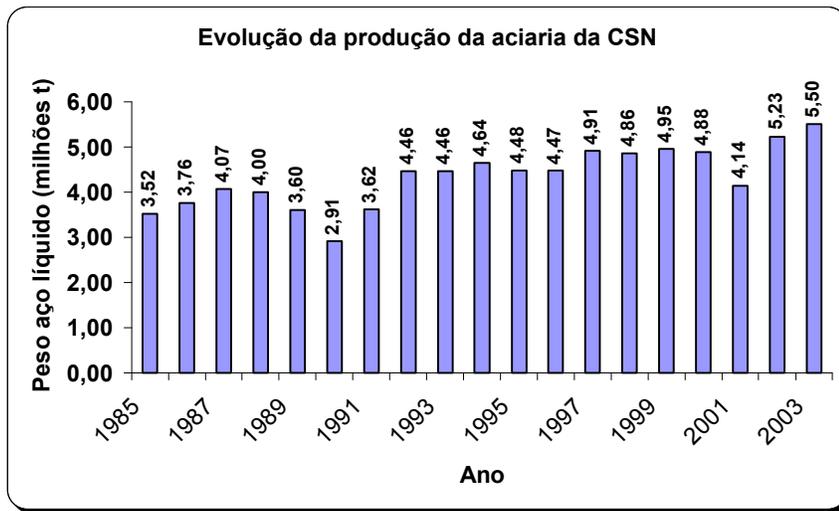


Figura 1 – Evolução da produção de aço líquido da CSN

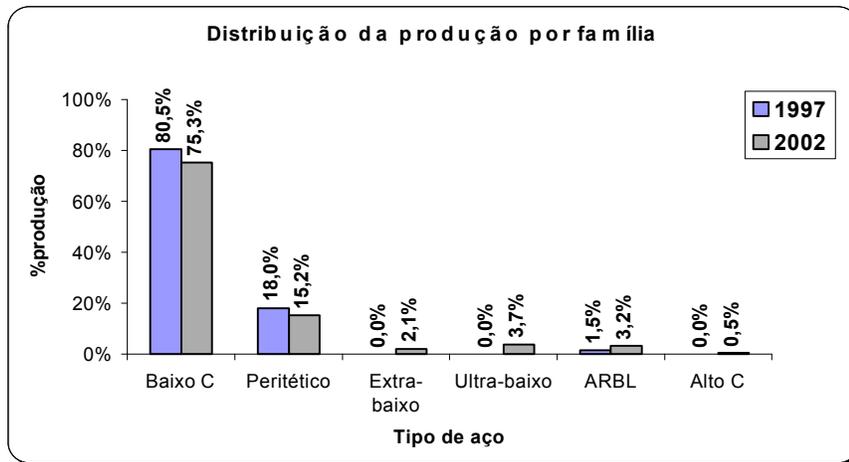


Figura 2 – Comparação do mix de produtos CSN nos anos de 1997 e 2002

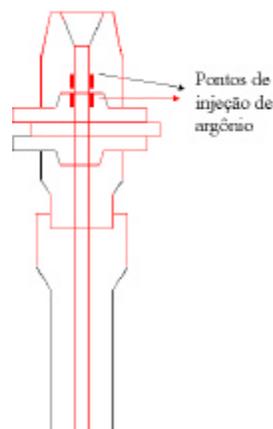


Figura 3 – Esquema do canal de vazamento da mcc#4 com os pontos de injeção de argônio

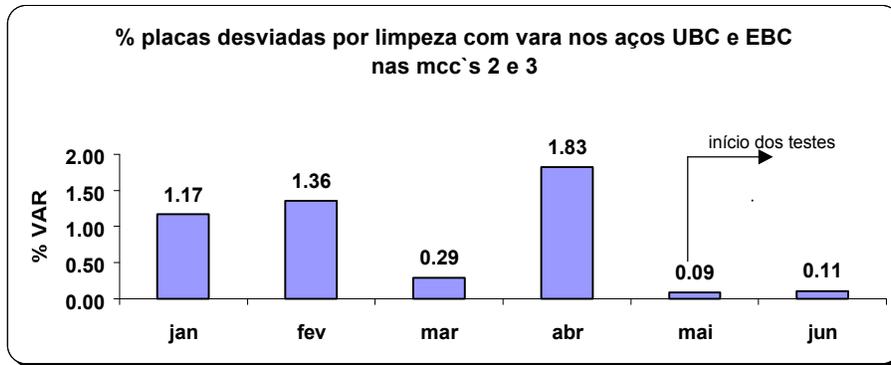


Figura 4 – Gráfico com a queda do índice de placas desviadas por limpeza com vara nos eixos UBC e EBC nas mcc's 2 e 3

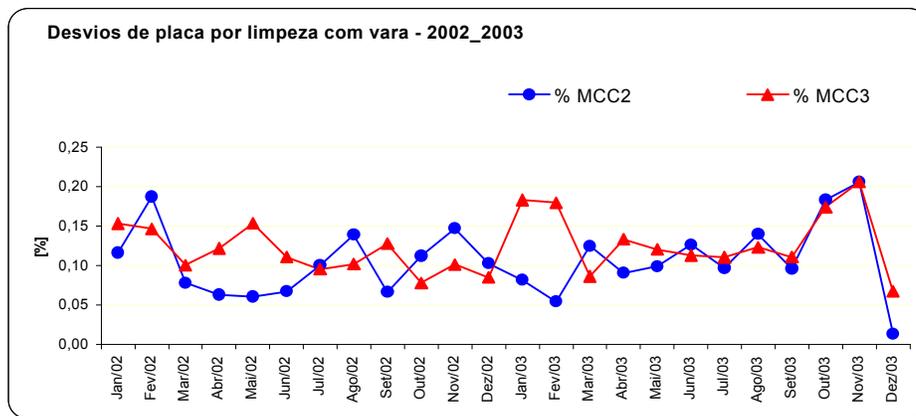


Figura 5 – Gráfico com o aumento do sequencial médio nos eixos UBC e EBC nas mcc's 2 e 3

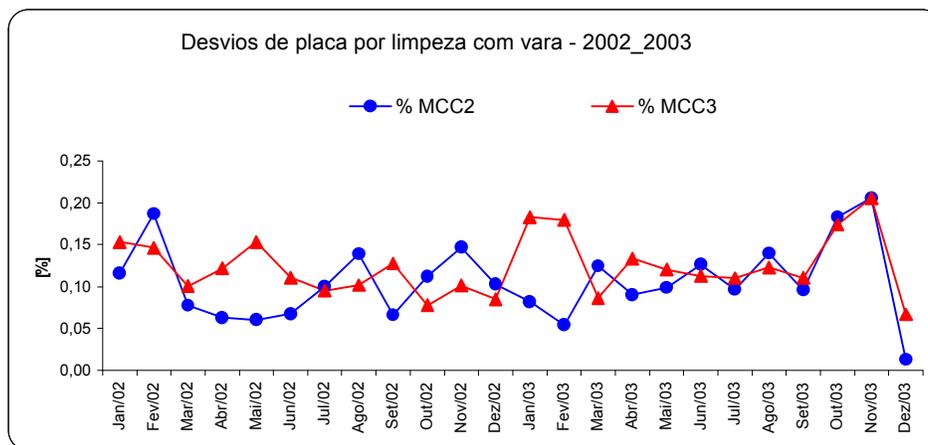


Figura 6 – Gráfico mostrando a queda no índice geral de placas desviadas por limpeza com vara no mês de Dezembro após a entrada da válvula em rotina nas máquinas 2 e 3.

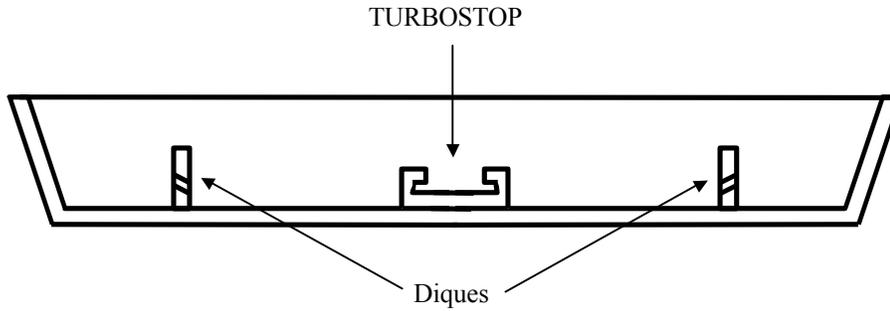


Figura 7 - Esquema de instalação do TURBOSTOP e diques para controle de fluxo do aço no distribuidor



Figura 8 – Foto do distribuidor da mcc#4 montado com turbostop e dique

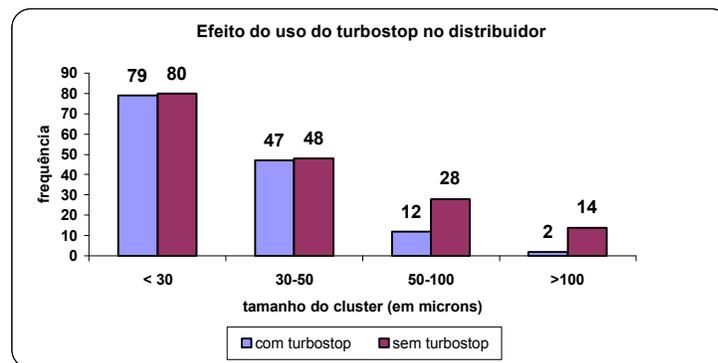


Figura 9 – Gráfico comparativo de tamanho de inclusões em aço IF lingotado com e sem TURBOSTOP

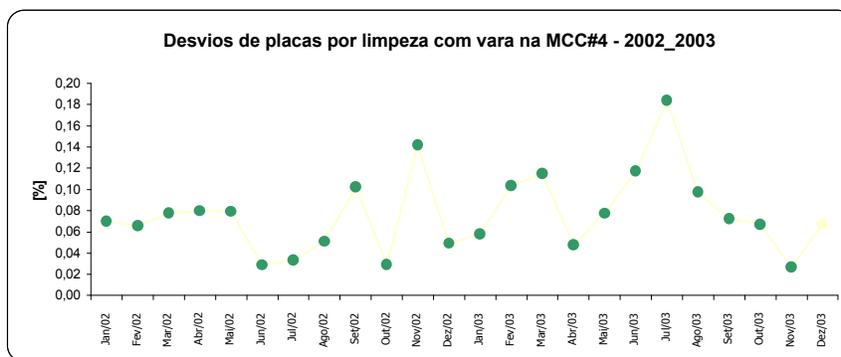


Figura 10 – Gráfico mostrando a queda no índice de desvio de placa por limpeza com vara geral no mês de Novembro após a entrada do Turbostop e diques na MCC#4.

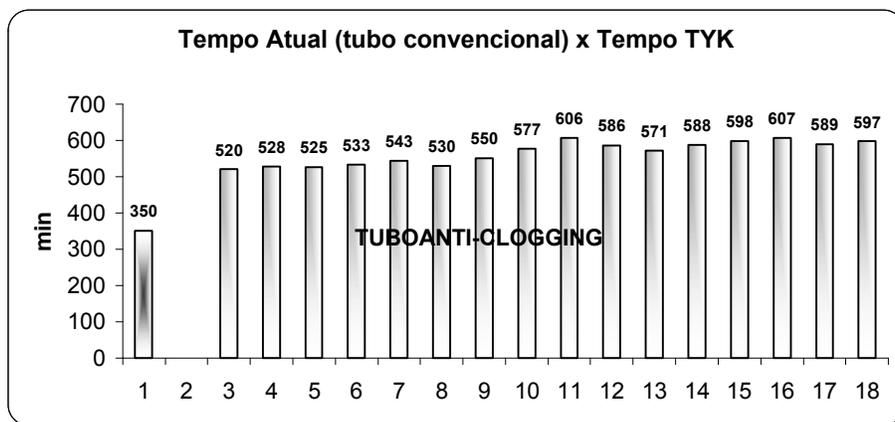


Figura 11 – Comparação tempo lingotamento: tubo convencional x tubo anti-clogging

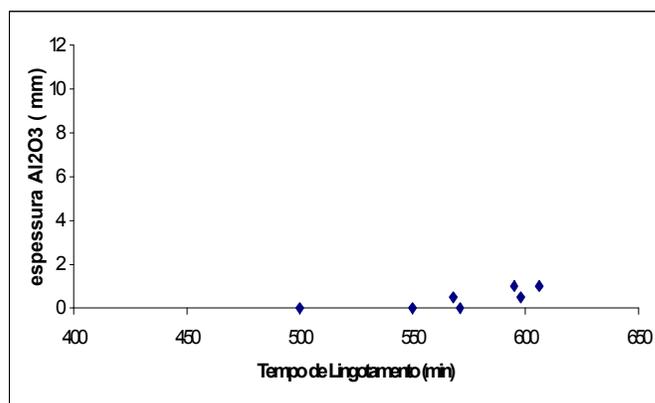
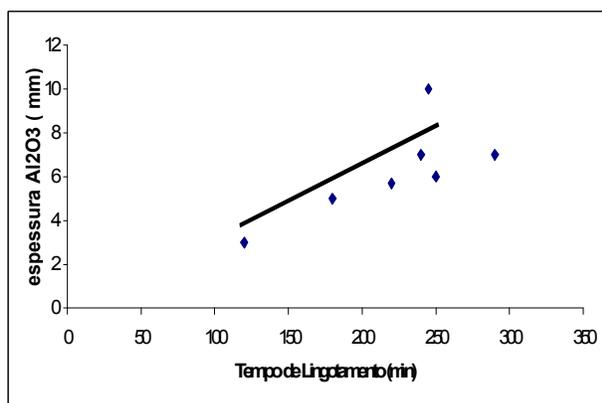


Figura 12 – (a) Espessura da camada de Al₂O₃ depositada em função do tempo de lingotamento - tubo convencional.

(b) Espessura da camada de Al₂O₃ depositada em função do tempo de lingotamento - tubo anti-clogging.

Recent developments aim for quality improvement and increasing of productivity in the CSN's continuous casting

**Antônio Carlos Sant`anna da Silva
Elcio Santana
Reginaldo Fonseca Lourenço
Noraldó Hipólito Guimarães Gomes**

ABSTRACT

This paper describes the experiments and the process improvements made on CSN's casters in the latest years.

The main developments were related to the improvement of argon efficiency in tundish, and to increase the SEN lifetime.

These actions should become CSN's continuous casting plant capable to produce more than 5,5 million tons and to increase the market share of high quality steels.

Key-words: caster, tundish, continuous casting