

DESENVOLVIMENTO DO SOPRO COMBINADO - MTBI - NOS CONVERTEDORES DA CST ARCELOR BRASIL¹

David Haguët²
Robson Dettogne de Nascimento³

Resumo

O sopro combinado foi desenvolvido para os convertedores a partir de 1970. O sistema MTBI (Mannesmann Technology Bottom Injection) tem como principal vantagem o controle individual da vazão e pressão do gás inerte por ventaneira. Através da instalação do sistema nos Converteedores 1 e 2 da CST e de um novo modelo de gestão refratária foi possível reduzir o nível de oxidação médio de fim de sopro de 930 para 600 ppm sem prejudicar a vida do revestimento.

Palavras-chave: Sopro pelo fundo; Converteedor; Ventaneira; Refratário.

IMPROVEMENTS OF THE BOTTOM STIRRING AT CST ARCELOR BRASIL PLANT

Abstract

The combined blowing has been developed to converters as from 1970. The main advantage of MTBI system (Mannesmann Technology Bottom Injection) is the individual control of flow and pressure inert gas by each tuyere. The MTBI and a new refractory management model were installed in Converters # 1 and # 2 of CST plant and brought as results the reduction of the oxidation levels mean at the end blow from 930 to 600 ppm without reducing the lifetime of the refractory.

Key words: Bottom stirring; Converter; Tuyere; Refractory.

¹ Contribuição técnica ao XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Especialista da divisão técnica da aciaria da CST Arcelor Brasil - Vitória

³ Coordenador técnico de projeto da MAGNESITA

INTRODUÇÃO

O sopro combinado nos convertedores surgiu da necessidade de melhoria da homogeneização térmica e química do banho metálico, principalmente na etapa final de sopro. Sem o sopro pelo fundo, a movimentação do banho provém basicamente do impacto do jato de oxigênio no banho e da formação de $\text{CO}_{(g)}$ gerado na oxidação do carbono contido no gusa líquido. Na fase final do sopro, com o decréscimo do teor de carbono, a geração de $\text{CO}_{(g)}$ também é baixa e torna-se importante suprir esta deficiência através da injeção de gás inerte pelo fundo do convertedor para melhorar a homogeneização térmica e química do banho. Após o fim do sopro a injeção de gás melhora a interação do banho metálico com a escória, favorecendo a desfosforação e reduzindo perdas de ferro para a escória.

Na busca de melhores resultados no domínio do refino primário, reprodutibilidade dos resultados fim de sopro, redução da oxidação e do aumento da vida do refratário, a CST ARCELOR BRASIL desenvolveu um projeto de melhoria do sistema MTBI (Mannesmann Technology Bottom Injection). Para o alcance dos resultados foram indispensáveis mudanças nos padrões operacionais e um controle reforçado na gestão do refratário.

IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

A CST possui em operação dois convertedores de 315 toneladas de capacidade cada, inicialmente equipados de um sistema de sopro pelo fundo do tipo KGC desde 1987, sistema que possui uma regulagem comum para todas as ventaneiras. Os fornos foram reformados em 2000, quando cada uma das doze ventaneiras recebeu uma regulagem individual, tornando o sistema MTBI.

No primeiro semestre de 2005, o nível de oxidação fim de sopro médio dos convertedores era de 899 ppm com um desvio padrão de 320 ppm. A temperatura média na mesma época era de 1671°C. Esses valores são medidos no fim de sopro com a sublança. A comparação destes resultados de fim de sopro com algumas outras empresas que também operavam com sopro combinado (Tabela 1) mostrou que para um mix de produção de aço similar ao da CST, o nível de oxidação era alto conforme mostra o gráfico de oxigênio livre em função de temperatura (Figura 1).

Tabela 1: Comparação de características e resultados atingidos com sopro combinado

	CST	usina A	usina B	usina C	usina D
Capacidade do convertedor (t)	315	294	260	237	287
Taxa de gusa líquido (kg/t)	929	836	912	840	886
Temperatura fim de sopro (°C)	1671	1666	1684	1654	1677
Ferro total na escória (%)	19,1	21,6	16,7	19,1	18,4
O_2 fim de sopro (ppm)	899	667	705	684	755
Consumo alumínio (kg/t aço)	1,9	1,58	1,97	1,91	1,54
Vida media do convertedor (corr.)	5930	2768	3880	2440	2345
Número de ventaneiras	12	13	12	10	16
Slag splashing	Sim	Não	Não	Não	Não

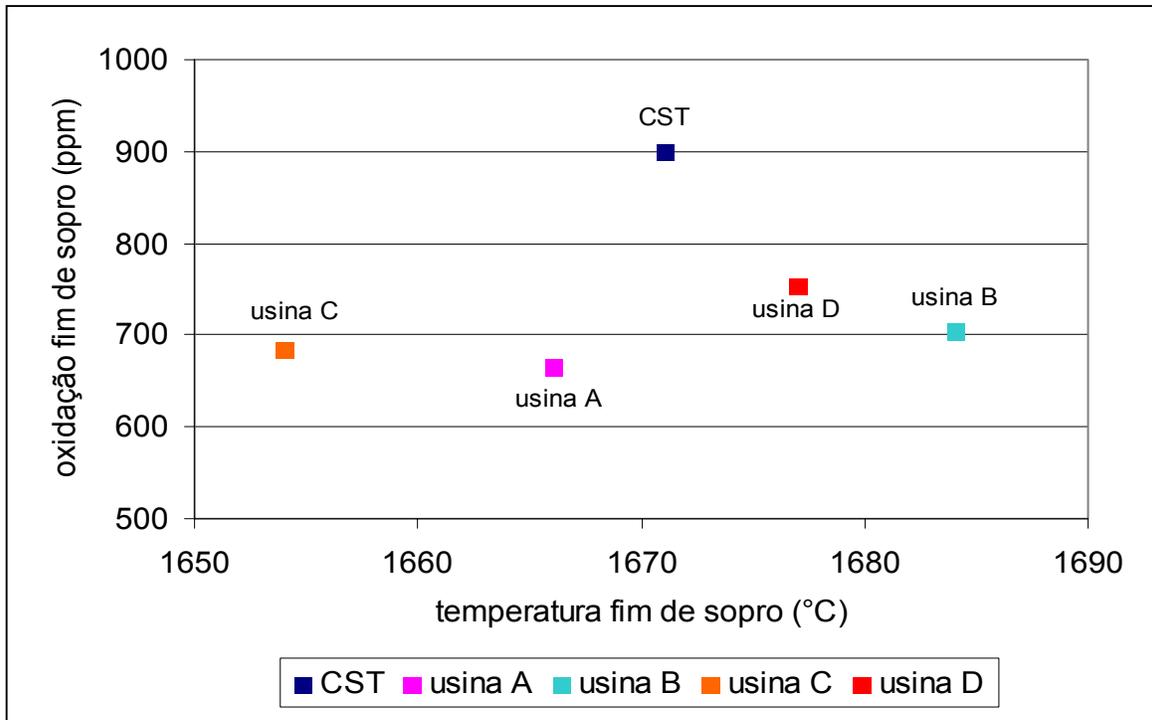


Figura 1: Temperatura fim de sopro X Oxidação fim de sopro das usinas da Tabela 1

Após a comparação com outras usinas, decidiu-se avaliar o funcionamento do sopro pelo fundo da CST e a usina B foi escolhida para ser o *benchmark* de referência. O trabalho desenvolvido foi baseado em cima de uma avaliação do estado dos equipamentos de injeção de gás, do revestimento, da reforma dos padrões de injeção, dos indicadores de controle diário e da manutenção refratária dos convertedores.

ANÁLISE

Antes do início do projeto de melhoria, a condição de passagem de gás pelo fundo era ineficaz, principalmente com excesso de camada de escoria na sola. O trabalho foi iniciado no convertedor 2 e a vazão de cada linha era conforme o padrão da Tabela 2.

Tabela 2: Padrão de sopro pelo fundo

Padrão de sopro combinado	
Vazão global no sopro (Nm ³ /h)	300
Vazão global após sublança (Nm ³ /h)	900
Vazão global em modo projeção (Nm ³ /h)	1200

Outras anomalias eram observadas durante a operação, tais como, pontos de vazamentos no sistema de junta rotativa e nas conexões com a ventaneira, desgaste acentuado em uma ventaneira do lado de carregamento que necessitavam de fechamento prematuro para evitar risco de infiltração e furo na carcaça. Com essas situações de excesso de cobertura (baixa eficiência do sopro combinado) ou desgaste acentuado nas regiões das ventaneiras, era necessário o fechamento total do sistema. O controle de desgaste das ventaneiras, era feito com o instrumento de medição a

laser, do tipo RTF, porém, com uma baixa frequência de medição devido tempo longo para preparação e medição, além da baixa precisão na medição.

DESENVOLVIMENTO

Foi elaborado um plano de checagem de possíveis pontos de vazamentos de gás em todo sistema, antes da parada para fim de campanha do convertedor, com objetivo de serem eliminados durante o revestimento refratário. Nessa inspeção, foram descobertos vazamentos nas conexões com as ventaneiras e na junta rotativa. A Figura 2 mostra a antiga e nova conexão com a ventaneira, eliminando possíveis pontos de vazamento através da troca de um conjunto de peças pela peça única de conexão. Com relação a junta rotativa, foi integralmente desmontada, revisada e testada na oficina. Durante a montagem das ventaneiras, foi inspecionada e acompanhada pelo fornecedor e pela empresa prestadora de manutenção refratária. Após o término de montagem refratária, todo sistema foi testado passo a passo, para verificar possível vazamento de gás ao longo da linha.

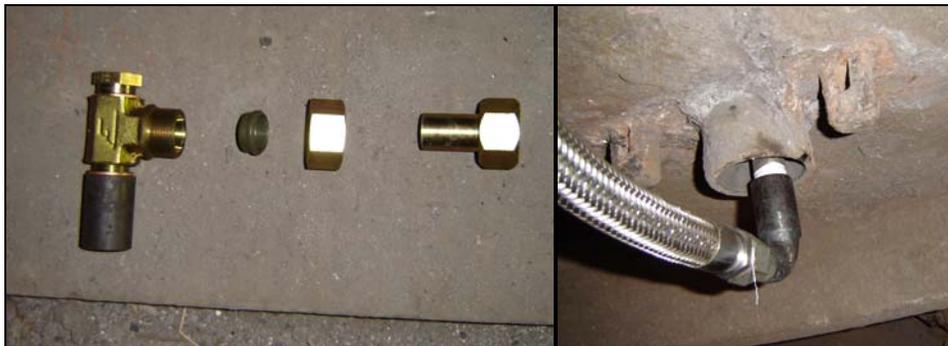


Figura 2: Sistemas antigo e novo de conexão das ventaneiras

Foi alterado o procedimento durante o aquecimento, iniciando a injeção de gás pelo fundo após quinze minutos, para evitar o entupimento dos capilares dos tijolos e sem prejudicar a chama do aquecimento.

Para reduzir a velocidade de desgaste das ventaneiras, foi reduzido também o padrão de vazão de injeção de gás para minimizar o choque térmico, conforme mostrado na Tabela 3.

Outra grande diferença para a operação inicial foi a decisão de trabalhar com uma cobertura de sola entre 10 e 20 cm, suficiente para proteger o refratário e ao mesmo tempo permitir a passagem do gás de borbulhamento.

Tabela 3: Novo padrão de injeção de gás.

Padrão de sopro combinado novo	
Vazão global no sopro (Nm ³ /h)	240
Vazão global após sublança (Nm ³ /h)	350
Vazão global em modo projeção (Nm ³ /h)	Não existe

DISCUSSÃO

Na operação do sistema MTBI no convertedor 1, o correto funcionamento das linhas de alimentação foi comprovado logo após as primeiras corridas com a visualização de todas as ventaneiras na sola. A análise das curvas de pressão e vazão de cada linha mostrou que nenhum vazamento ocorreu durante a montagem. Até a décima quinta corrida, a vazão global ficou constante e mínima. Depois da 15ª corrida, o PLC passou o MTBI para modo remoto com as vazões conforme a Tabela 3.

Para caracterizar a eficiência do sopro combinado, o nível de oxidação fim de sopro foi comparado com os valores da campanha anterior do convertedor 1 e com os valores do convertedor 2 que funcionou com a injeção de gás desligado. O nível de concentração em oxigênio mostrou uma melhoria imediata com um ganho médio de 102 ppm.

O principal desafio passou a ser a gestão diária para controlar a espessura da camada protetora da sola, com índice de consecução de slag splashing de 80 a 100%. A principal dificuldade era a formação de uma camada heterogênea e desnivelada de escoria sobre a sola, do tipo “murundu” e provocava uma agitação descentralizada do banho. Apesar dessa camada não provocar entupimento das ventaneiras, porém, a condição de agitação do banho não era homogênea. O gás passava sob a camada de escoria e submergia na junção da sola com o cone inferior (fim de cobertura de escoria). Essa hipótese foi confirmada com o uso de uma câmera colocada no bocal da lança, onde se observa uma agitação localizada na periferia do banho conforme mostra a Figura 4.

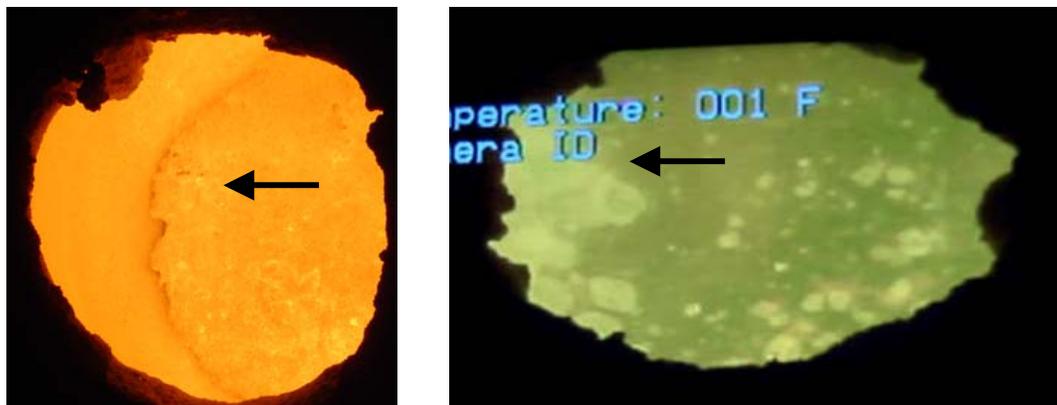


Figura 4: Foto frontal do convertedor na posição de carregamento e imagem do borbulhamento no fim de sopro através de câmera instalada no bocal de lança. A saída do gás do MTBI está deslocada para a junção sola – cone inferior devido acúmulo de material sobre as ventaneiras.

A principal causa era a adição excessiva de dolomita crua determinada pelo cálculo de fundentes para correção de escoria, antes de iniciar o slag splashing. Para situações de escoria muito oxidada (FeT elevado), o modelo calculava a adição de dolomita crua maior que 2500 kg por corrida, e não ocorria mistura completa com a escoria e provocava uma elevação desnivelada da sola. Ao repetir esse fenômeno em várias corridas, provocava uma elevação rápida do fundo, de até 50 cm em um dia.

Além de prejudicar os resultados de fim de sopro, essa cobertura desnivelada concentra o desgaste refratário na região da junção sola - cone inferior. Essa área já é uma região conhecida como região de atenção, principalmente no eixo dos munhões.

Para minimizar este efeito é necessário que o operador ou a pessoa responsável pela manutenção refratária do forno esteja atento e tome decisões no início do desnivelamento da sola. A função do operador de sopro na avaliação diária e o método de adição de material são fundamentais para evitar a formação repentina dessa cobertura. O modelo de correção de escória da CST ainda está sendo adaptado às condições operacionais para evitar a queda de grande quantidade de material frio na mesma corrida.

Após o acúmulo de material não reagido na sola do convertedor 1, foram testadas na CST duas soluções para voltar a operação com a sola nivelada e com cobertura fina. A primeira solução foi soprar a sola com a lança de oxigênio e a segunda solução foi variar as condições de sopro e *slag splashing* favorecendo o desgaste da sola. A primeira solução apresenta a vantagem de ter resultados imediatos, porém apresenta riscos, não podendo ser aplicada quando há alguma região próxima da sola com espessura refratária fina devido ao risco do aparecimento de refratário de trabalho ou até mesmo de furo na carcaça. A segunda alternativa é menos drástica, porém, desgasta todas as áreas do convertedor. Essa alternativa consiste em, abaixar o teor de MgO da escoria, oxidar mais a escoria, não fazer forragem e nem corrigir a escoria antes do slag splashing.

Com esta prática no convertedor 1 durante uma semana, foi possível observar a situação mostrada na Figura 5. A sola está parcialmente coberta porém o restante do forno está limpo. O gás continua a sair das ventaneiras, mesmo nas ventaneiras cobertas. Neste caso, foi provado que o desgaste da ventaneira continua por baixo dessa cobertura.

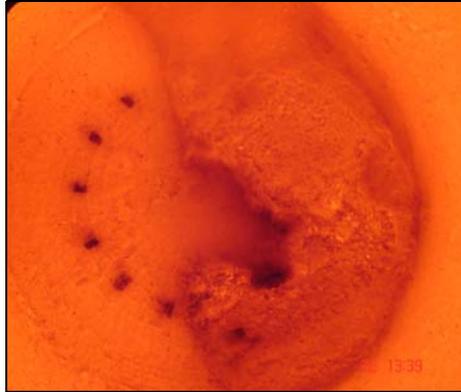


Figura 5: Sola do convertedor após 1 semana com operação de desgaste da sola

A dificuldade da gestão do desgaste da sola do convertedor 1 levou ao desligamento do sistema MTBI após 3350 corridas. Essa campanha refratária atingiu a marca de 7191 corridas, recorde da CST. Para ajudar no controle da espessura dos tijolos, o laser RTF foi substituído por uma máquina mais moderna que permite uma medição mais precisa e mais freqüente. A Figura 6 mostra o novo resultado dessa medição, uma foto dos níveis de espessura na sola.

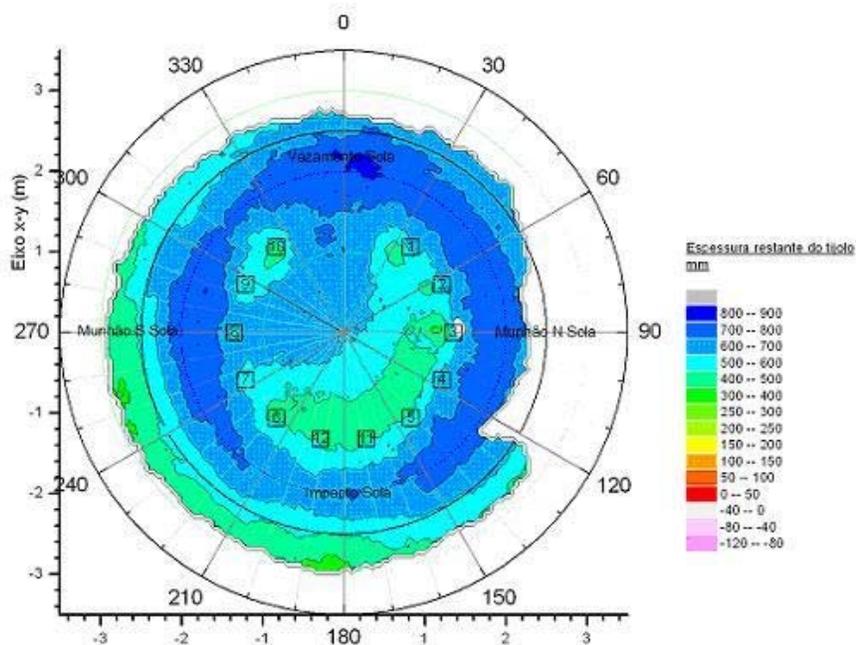


Figura 6: Medição a laser da sola

O potencial refratário de cada ventaneira passou a ser controlado diariamente. As ventaneiras do lado de vazamento e de carregamento mostraram-se mais expostas e para poupá-las foi implantado um rodízio que consiste em colocar uma vazão reduzida nessas ventaneiras no início da vida do convertedor. Ao longo da vida o rodízio depende da espessura da ventaneira, do aspecto visual da região ao redor dela e das condições de pressão e vazão da injeção de gás.

Outro fator limitante da boa operação do MTBI é a falta de adequação dos instrumentos que foram especificados para trabalhar na faixa de vazão inicial (até 1200 Nm³/h) e não na faixa atual reduzida. Com o novo padrão foi necessário reduzir a pressão de alimentação para atender a nova faixa de trabalho, porém não eliminou totalmente o problema. Abaixo do valor de corte do transmissor de vazão (~6,2 Nm³/h para 6 kg/cm²), este manda um valor padrão, menor, que faz abrir a válvula até que ele consiga medir novamente. Essas variações podem levar a um efeito de bombeamento que prejudica o potencial refratário da ventaneira. Não é possível definir precisamente o fenômeno preferencial de desgaste no caso da CST, mas em alguns momentos durante a variação da vazão é bastante provável que se combinam fenômenos de *back-attack* e de choque térmico.

RESULTADOS

A eficiência do sopro combinado pode ser avaliada através da redução do nível de oxidação de fim de sopro e da dispersão dos valores, da redução do ferro total na escória e uma melhor taxa de desfosforação. No presente trabalho, é apresentado a redução do nível de oxidação do banho, por ser o principal ganho e maior facilidade na obtenção e na análise dos resultados.

A oxidação no fim de sopro da CST é medida através da sublança. Os resultados estão apresentados na Tabela 4 e mostram os valores para o convertedor 1 antes e depois da implantação do MTBI. Os valores com sopro combinado referem-se a todas as corridas com a injeção de gás funcionando, seja com ou sem cobertura na sola.

Tabela 4: Novo padrão de injeção de gás.

	Sem MTBI	Com MTBI
Média O ₂ (ppm)	930	596
Desvio Padrão (ppm)	321	185

Além da redução do nível oxidação no fim do sopro, houve também uma redução no desvio padrão destes valores. Isso significa que o borbulhamento aumenta a homogeneização do banho e as reações tornam-se mais uniformes. Essa estabilidade do processo permite ao operador tomar decisões de vazamento com mais segurança do tipo *quick-tapping* (vazamento sem análise) ou com análise no limite da faixa antes do vazamento. Um outro parâmetro de controle foi a comparação do carbono e do nível de oxidação de fim de sopro da CST com a usina B, escolhida no início do trabalho como *benchmark*. Os resultados estão na Figura 6.

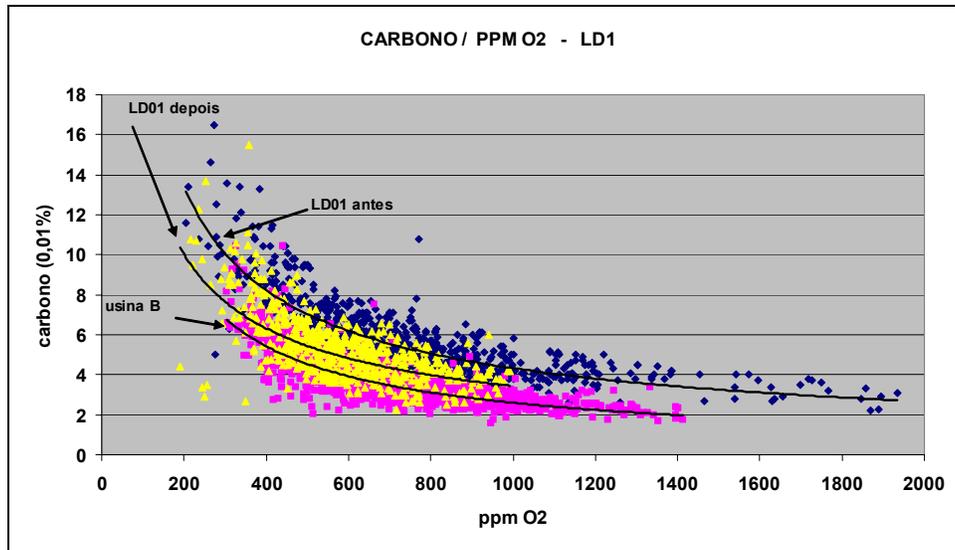


Figura 7: % Carbono fim de sopro X Nível de oxidação para o LD1 da CST antes e depois do MTBI e da usina B

O gráfico mostra a redução expressiva do nível de oxidação em relação ao carbono. Outra redução considerável ocorreu na faixa de carbono alto. O desvio padrão do carbono também teve uma pequena redução passando de 1,8 para $1,6 \cdot 10^{-2}\%$. Em relação ao manganês fim de sopro não houve mudança expressiva. A comparação das relações entre manganês e ppm O₂ está mostrada na Figura 8.

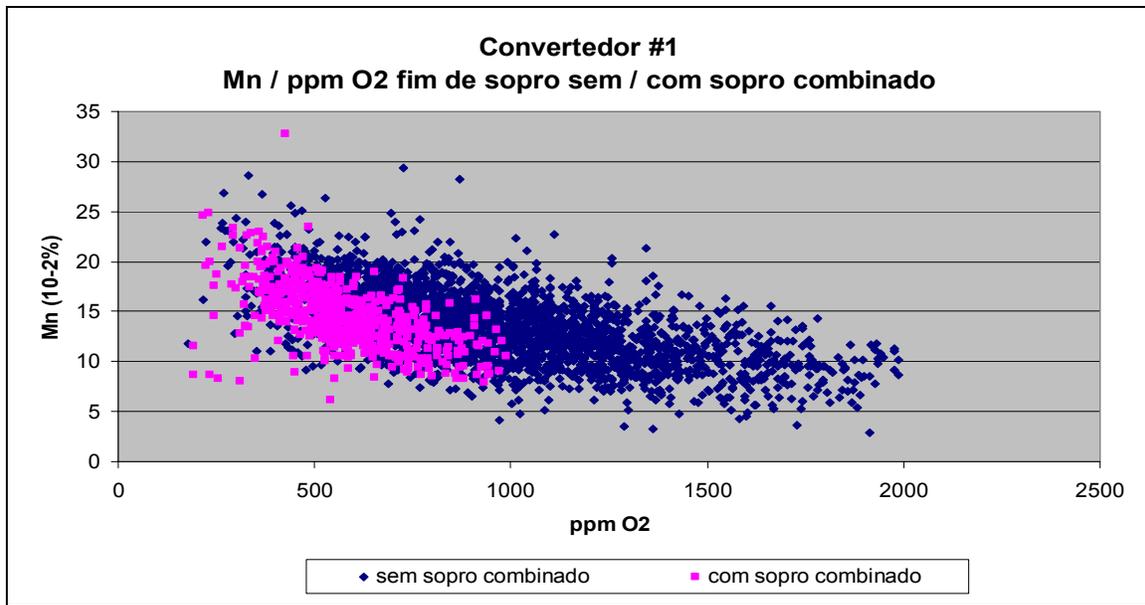


Figura 8: Comparação das relações entre C e Mn fim de sopro com e sem sopro combinado

Após a demolição do revestimento refratário ao final da campanha do convertedor 1, uma análise *post-mortem* das ventaneiras mostrou que a profundidade de obstrução dos capilares era de 20 mm (Figura 9). Considerando uma ventaneira que se obstrui com um comprimento igual a 800 mm, a infiltração pode encontrar vários obstáculos para prosseguir como o gradiente de temperatura. Ao chegar no fim da vida do revestimento, com uma espessura de tijolo menor, as juntas entre os tijolos na região das ventaneiras são outros pontos fracos que podem levar a infiltração. Para limitar esse risco na CST o limite de uso das ventaneiras é de 250 mm de espessura de refratário de trabalho. Ao atingir este valor, a ventaneira é fechada e isolada.



Figura 9: Análise post mortem das ventaneiras

CONCLUSÃO

O sistema MTBI de sopro pelo fundo foi implantado com sucesso no convertedor 1 da CST. Os resultados alcançados foram uma redução do nível de oxidação médio no fim de sopro de 930 ppm para 596 ppm de O₂ e uma redução no desvio padrão de 321 ppm para 185 ppm, o que se reflete em maior estabilidade operacional.

É possível concluir também que otimizar o sopro combinado trabalhando-se com valores de injeção menores requer uma mudança na forma de operar os convertedores. É necessário sair de uma zona de conforto de trabalho com sola coberta para uma sola com espessura fina e controlada.

Para atingir estes resultados na CST, foi necessário adaptar o modelo de gestão do refratário, compartilhar essa responsabilidade do inspetor refratarista com os operadores e vazadores. Outro ponto fundamental foi a implantação de um novo equipamento de medição a laser, mais moderno e confiável que o anterior. Os operadores receberam diversos treinamentos para realizar a medição a laser, diagnosticar o aspecto visual dos convertedores, fazer relatórios de desgaste e tomar contra medidas adequadas logo no início do desvio da situação ideal para o MTBI.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a seção dos convertedores da CST pelo apoio, as participações dos turnos para o desenvolvimento desse projeto e a MAGNESITA S.A. pelas análises dos refratários.