



## DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PADRÕES DE SOPRO NO CONVERTEDOR LD COM A UTILIZAÇÃO DA PRÁTICA CATCH CARBON<sup>1</sup>

Dione Araújo Moreira<sup>2</sup>  
Hudson Guerra Asth<sup>3</sup>  
Igor Eduardo Silva Vieira<sup>4</sup>  
Mirelle Oliveira Spindola<sup>4</sup>  
Paulo César Lemes de Almeida<sup>4</sup>  
Ronaldo Santos Sampaio<sup>5</sup>  
Washington Fernandes da Cruz<sup>6</sup>

### Resumo

A prática *Catch Carbon* no convertedor LD da V&M do Brasil visa finalizar o refino primário do aço com o teor de carbono acima do teor tradicional. Pelo equilíbrio termodinâmico quanto maior o teor de carbono de final de sopro menor será o oxigênio dissolvido no aço. Na prática em estudo o oxigênio dissolvido no banho metálico no final do processo LD será inferior comparada com a prática tradicional. Com relação à escória o teor de FeO será menor em relação ao cenário atual e como é um óxido fluxante sua redução implicará no aumento da temperatura liquidus. Avaliou-se a influência da alumina na temperatura liquidus da escória e estimou a quantidade necessária para reduzir a temperatura de acordo com a necessidade do processo, utilizando a ferramenta de termodinâmica computacional Thermo-Calc. Outra propriedade estudada foi a saturação da escória em MgO. Os principais ganhos são o acréscimo no rendimento metálico em 0,9%, a redução no consumo de desoxidantes e o aumento na limpidez do aço. A melhor qualidade do produto final é devido à redução na formação de inclusões, principalmente de alumina.

**Palavras-chave:** Refino primário; Desoxidação; Convertedor LD; Alumina.

### DEVELOPMENT OF NEW STANDARDS FOR BLOW AT THE BOF USING THE PRACTICE "CATCH CARBON"

#### Abstract

The aim of this study is to develop the practice "Catch Carbon" at V&M do Brazil's BOF. This method finishes the primary refining with high carbon content. At thermodynamic equilibrium the higher carbon content of the final blow the less oxygen dissolved in the steel. Therefore, this practice using oxygen dissolved in the molten metal at the end of the BOF process will be lower compared with traditional practice. The FeO content in the slag is lower and as it is a fluxing oxide the decreasing of FeO increase the liquidus temperature. It was evaluated the influence of alumina in the slag liquidus temperature and was estimated the amount to reduce the temperature using the Thermo-Calc. Other property studied was the MgO saturation. The main advantages are the potential increase of BOF metallic yield in 0.9%, reduction of deoxidizers' consumption and an improvement of the steel cleanliness since the amount of inclusions decrease.

**Key words:** Primary refining; Desoxidation; LD converter; Alumina.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 43º Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2012, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro de Produção da Metalurgia Primária da V&M do Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro de Qualidade da V&M do Brasil.

<sup>4</sup> Estudante de Engenharia Metalúrgica da UFMG.

<sup>5</sup> Engenheiro Metalurgista Ph.D. Consultor pela RSConsultants Ltda.

<sup>6</sup> Supervisor de Processo da V&M do Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

A prática *Catch Carbon* é utilizada no convertedor LD para produzir aços alto carbono com baixo nível de inclusões não metálicas. Esse método visa finalizar o refino primário com o teor de carbono acima do teor tradicional, com o intuito de reduzir a oxidação do aço e da escória no final do sopro. Pelo equilíbrio termodinâmico (Figura 1), quanto maior o teor de carbono de final de sopro menor será o oxigênio dissolvido no aço.

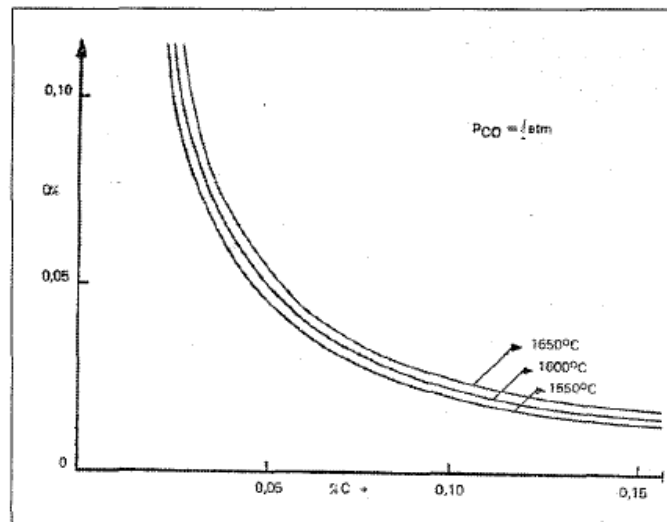


Figura 1. Equilíbrio termodinâmico entre carbono e oxigênio.<sup>(1)</sup>

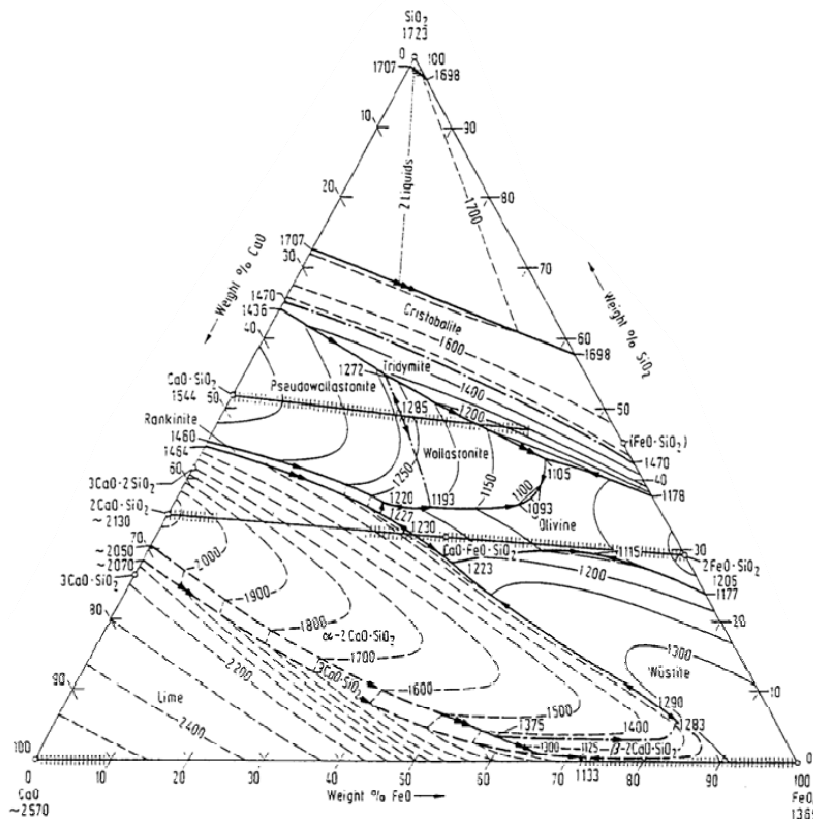


Figura 2. Diagrama ternário FeO-CaO-SiO<sub>2</sub>.<sup>(2)</sup>



Nesse contexto, ao utilizar a prática em estudo o oxigênio dissolvido no banho metálico no final do processo LD será inferior comparado com a prática tradicional. A escória na prática *Catch Carbon* terá o teor de FeO menor em relação ao cenário tradicional. Como pode ser avaliado no diagrama ternário FeO-CaO-SiO<sub>2</sub> (Figura 2), para uma escória de aciaria com basicidade igual a 3 e com 10% de FeO a temperatura liquidus será aproximadamente 2.000°C, o que seria impraticável para o processo de refino primário. A redução desse óxido fluxante implicará no aumento da temperatura liquidus e conseqüentemente na necessidade de se adicionar um óxido fluxante durante o processo.

Na prática *Catch Carbon* é importante conhecer as condições operacionais que permitem obter uma escória saturada em MgO na temperatura de operação. Como os refratários utilizados são a base de magnésio, uma escória saturada em MgO reduzirá o desgaste dos refratários.<sup>(3)</sup>

Com o intuito de avaliar a viabilidade da prática *Catch Carbon* estudou-se a utilização da alumina para reduzir a temperatura liquidus da escória. Estimou-se, também, a saturação em MgO e os ganhos comparativos da prática no processo de refino primário.

## 2 METODOLOGIA

Com o auxílio do *software* Thermo-Calc IV estimou-se a quantidade de alumina na prática *Catch Carbon* para reduzir a temperatura liquidus da escória e viabilizar operacionalmente a nova prática. Para realizar as simulações foi considerado em todas as situações a basicidade binária da escória igual a 3. Para a Escória Tradicional foi considerado o teor de FeO igual a 25%. A situação Escória FeO Baixo simula a condição na prática *Catch Carbon* com o teor de FeO igual a 15% e sem adição de alumina e os cenários de 1 a 4 simulam a prática *Catch Carbon* com adições de alumina (Tabela 1). A partir dessa simulação foi possível, também, encontrar a saturação de MgO na escória.

**Tabela 1.** Cenários avaliados no Thermo-Calc para verificar a viabilidade da prática

Cenário Escória LD	Consumo Alumina (Kg/t aço)
Escória Tradicional	0,0
Escória Feo Baixo	0,0
Cenário 1	2,0
Cenário 2	4,0
Cenário 3	5,0
Cenário 4	6,0

Estudou-se a viabilidade econômica da prática *Catch Carbon* do convertedor LD em relação à operação tradicional do processo. Para realizar esse estudo, foi desenvolvido o Modelo Termoquímico do Convertedor LD. Esse modelo foi construído no *MS Excel* baseado nas relações termodinâmicas que regem o processo, incluindo reações conhecidas que ocorrem nesse sistema e as características de insumos e produtos. O objetivo inicial com a construção desse modelo foi estudar a melhor forma de utilização das matérias-primas disponíveis, obtendo o maior lucro possível.

**Tabela 2.** Considerações realizadas nas simulações

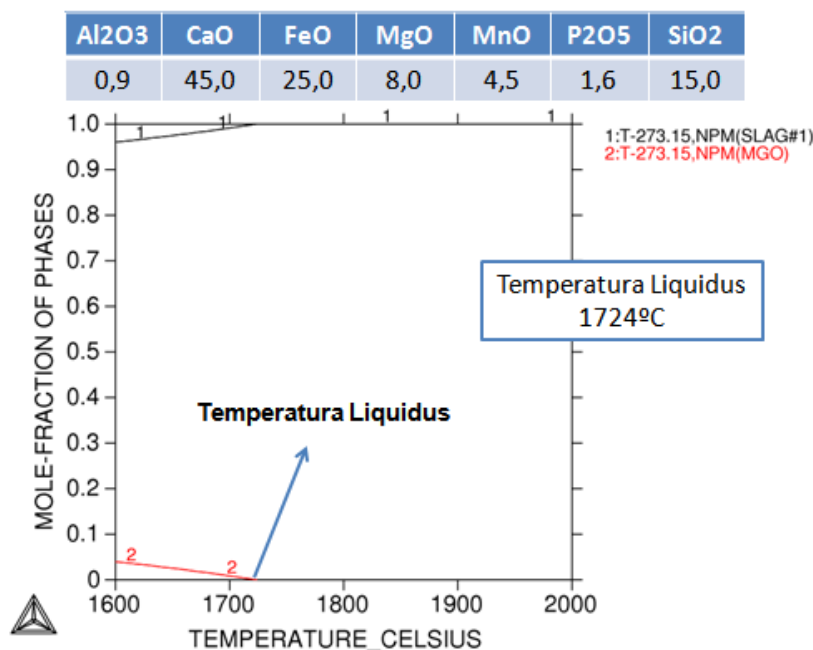
Variáveis mantidas constantes	Valor utilizado
Temperatura de Fim de Sopros	1.620°C
Basicidade Binária da Escória	3,0
MgO na Escória	7,3%
Partição de Fósforo	20% Aço / 80% Escória

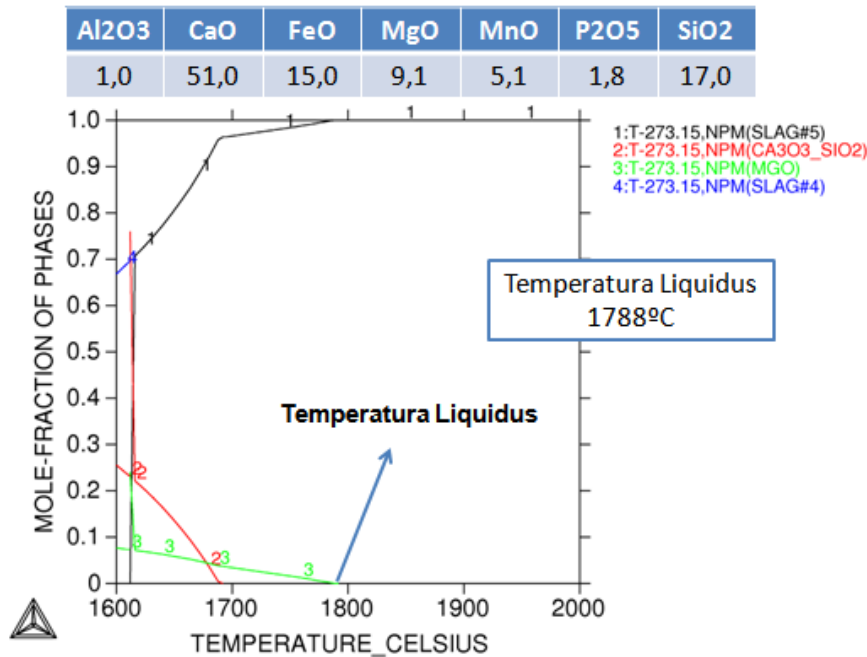
O modelo trabalha, através do otimizador *solver*, minimizando o custo variável de produção do aço. O sistema possui restrições sendo as principais o fechamento do balanço de massa e energético do processo, e inclui também o atendimento a algumas exigências operacionais. Há ainda os valores estimados pelo programa para que todas as restrições sejam atendidas, como por exemplo: massa de gusa líquido, sucata, fundentes e escória; e composição da escória.

As simulações foram conduzidas com algumas considerações (Tabela 2), que foram mantidas constantes em todos os cenários para que pudesse ser feita, posteriormente, a comparação entre estes.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas simulações apresentadas nas Figuras 3 e 4 é possível perceber claramente que ao se reduzir a %FeO na escória aumenta-se consideravelmente a temperatura liquidus do sistema.

**Figura 3.** Diagrama para avaliar a temperatura *liquidus* da Escória Tradicional.



**Figura 4.** Diagrama para avaliar a temperatura *liquidus* da Escória Baixo FeO.

Os resultados obtidos para os cenários avaliados no Thermo-Calc estão apresentados na Tabela 3. A partir de uma adição de alumina de 4 kg/t aço já é possível obter uma escória com a temperatura liquidus menor que a escória tradicional. Nos cenários de 1 a 4 aumentou-se gradativamente a quantidade adicionada de alumina no sistema e foi possível perceber uma redução na temperatura *liquidus* da escória.

Na prática optou-se por uma adição de 5 kg/t aço de alumina com o objetivo de garantir uma escória líquida durante o processo, cuja temperatura liquidus é igual a 1.677°C (Figura 5). Além disso, possui uma menor % de MgO de saturação, igual a 5,8%.

**Tabela 3.** Avaliação da influência da alumina na temperatura liquidus da escória

Cenário Escória LD	Consumo Alumina (Kg/t aço)	Temperatura Liquidus (°C)	MgO de Saturação (%)	MgO na Escória (%)
Escória Tradicional	0,0	1725	5,5	8,0
Escória Feo Baixo	0,0	1788	6,0	9,1
Cenário 1	2,0	1746	5,3	8,8
Cenário 2	4,0	1714	5,8	8,6
Cenário 3	5,0	1677	5,8	8,5
Cenário 4	6,0	1644	6,4	8,4

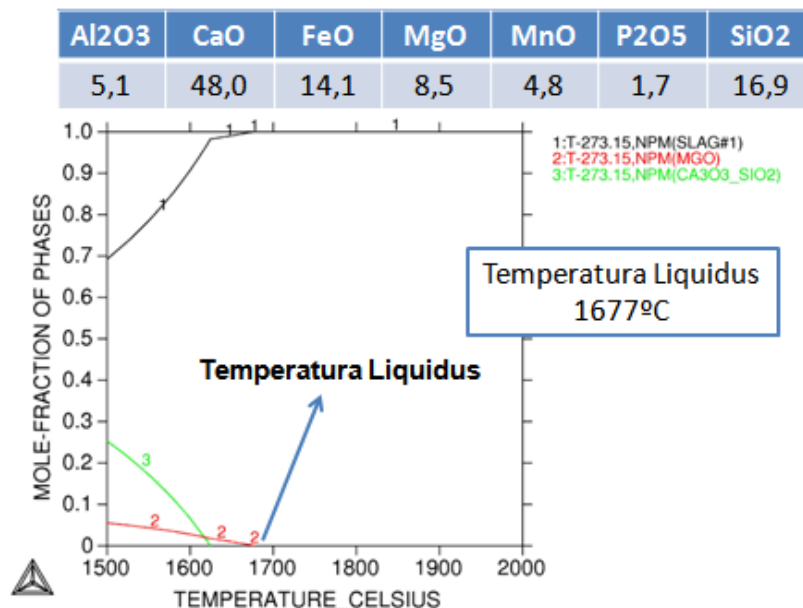


Figura 5. Diagrama para avaliar a temperatura *liquidus* da Escória Cenário 3 (5 kg/taço de alumina).

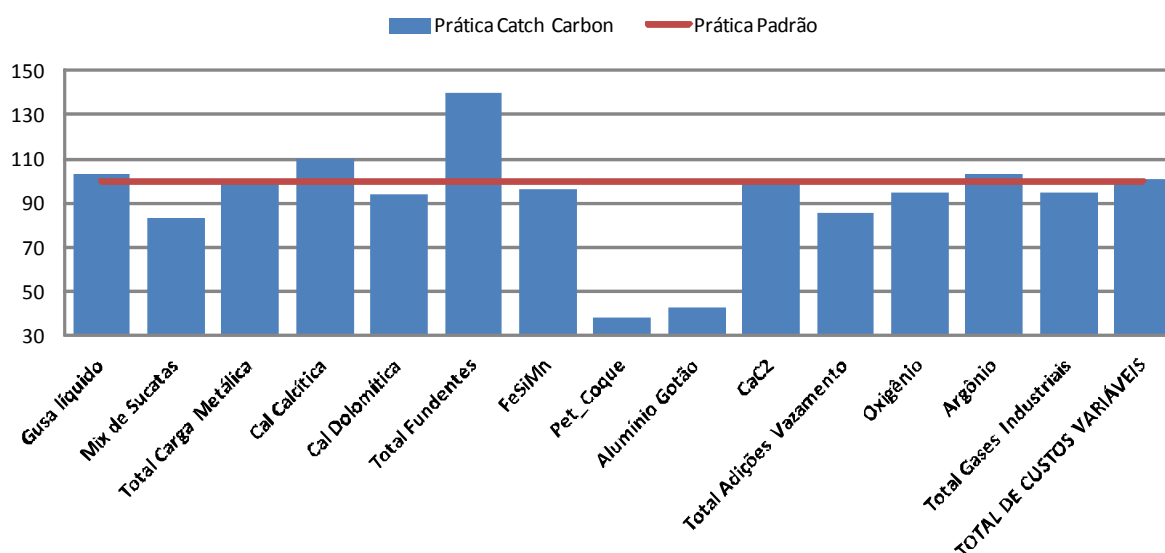


Figura 6. Comparação entre a prática tradicional e a prática *Catch Carbon*.

Como se pode verificar pelos resultados apresentados na Figura 6, a prática *Catch Carbon* apresenta uma maior custo variável em relação à prática padrão, principalmente devido ao aumento na proporção de Gusa Líquido na carga metálica. Esse aumento é necessário para fechar o balanço térmico do processo, já que para atingir a mesma temperatura final de sopro nas duas práticas a nova prática utiliza menos a energia da oxidação do carbono. Outro fator que aumenta o custo variável é a utilização da alumina.

Positivamente, tem-se uma redução significativa no custo variável das adições durante o vazamento do aço. Isso devido ao fato de que na prática *Catch Carbon* tem-se um maior teor de manganês e carbono e menor nível de oxigênio dissolvido no final de sopro. Dessa forma, tem-se um menor consumo de coque, ligas ferro-manganês e desoxidantes. Além da melhor qualidade do produto final, devido à redução na formação de inclusões, principalmente de alumina.

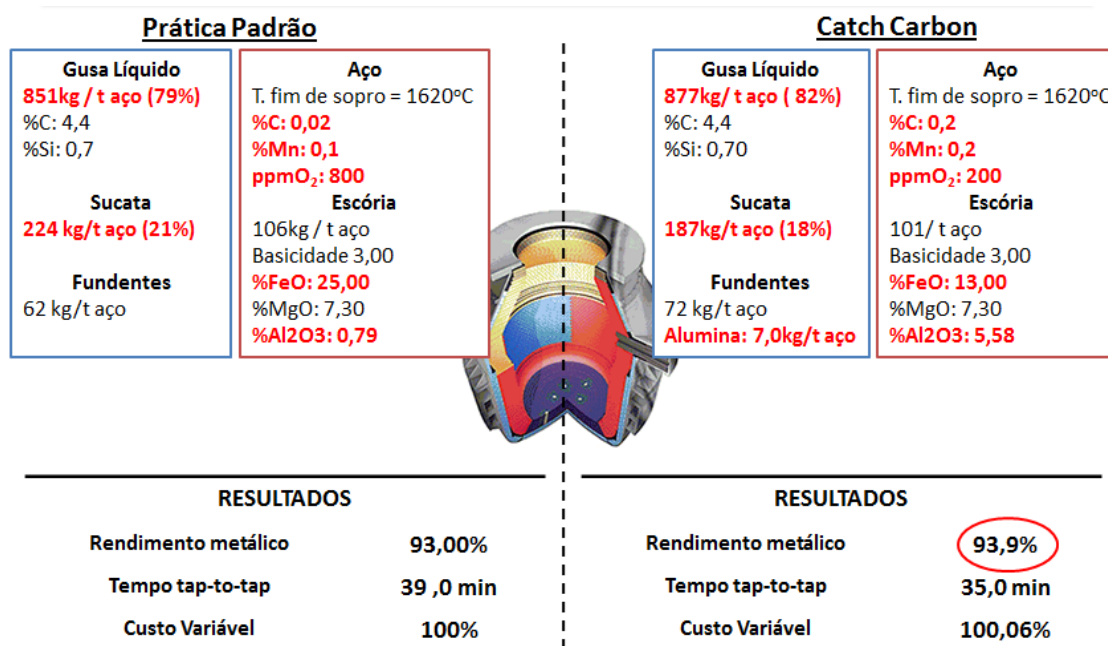
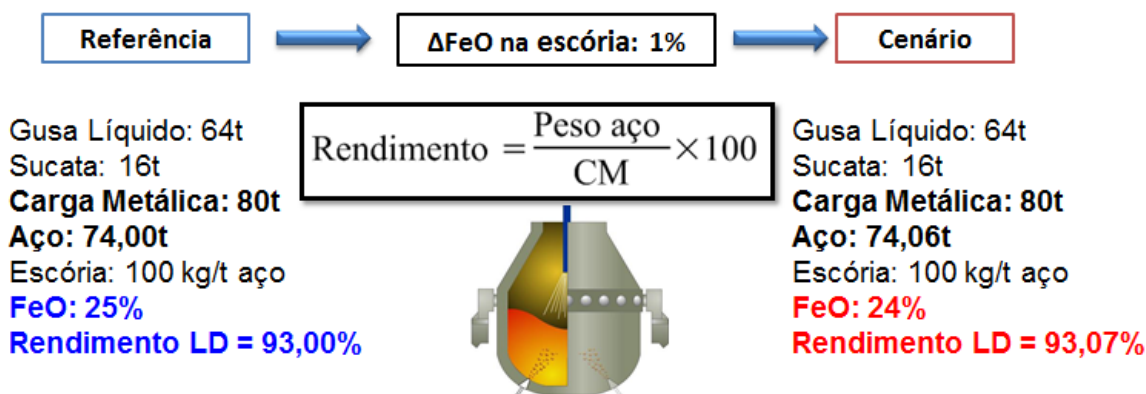


Figura 7. Comparação entre a prática tradicional e a prática *Catch Carbon*.

Na simulação realizada, não foi considerado um possível aumento no rendimento das ligas na prática *Catch Carbon*. É possível perceber então que apenas a economia de desoxidantes e ferro-ligas não é suficiente para compensar o aumento no consumo de gusa líquido. O que realmente viabiliza economicamente a prática *Catch Carbon* é o aumento no rendimento metálico. Como pode ser visto na Figura 7, tem-se um aumento teórico de 0,9% no rendimento metálico. Esse aumento é devido a redução no teor de FeO na escória.



**1% FeO → 57,5 kg Fe → 0,07% de Rendimento**

Figura 8. Influência do FeO da escória no rendimento metálico.

Como pode ser visto na figura 8, uma redução de 1% de FeO na escória implica num ganho no rendimento de 0,07%. Na prática tradicional, trabalha-se com um FeO na escória por volta de 25%, já na prática *Catch Carbon* esse valor será em torno de 13% e o ganho com o rendimento metálico supera o aumento no custo variável e viabiliza economicamente a prática.

Os gráficos apresentados nas Figuras 9 e 10 apresentam o rendimento metálico e o ppm de oxigênio dissolvido no aço, respectivamente, ao utilizar a prática *Catch Carbon*. Diante dos resultados, percebe-se que o rendimento metálico é superior se



comparado à prática convencional e que o teor de oxigênio dissolvido no aço é muito inferior.

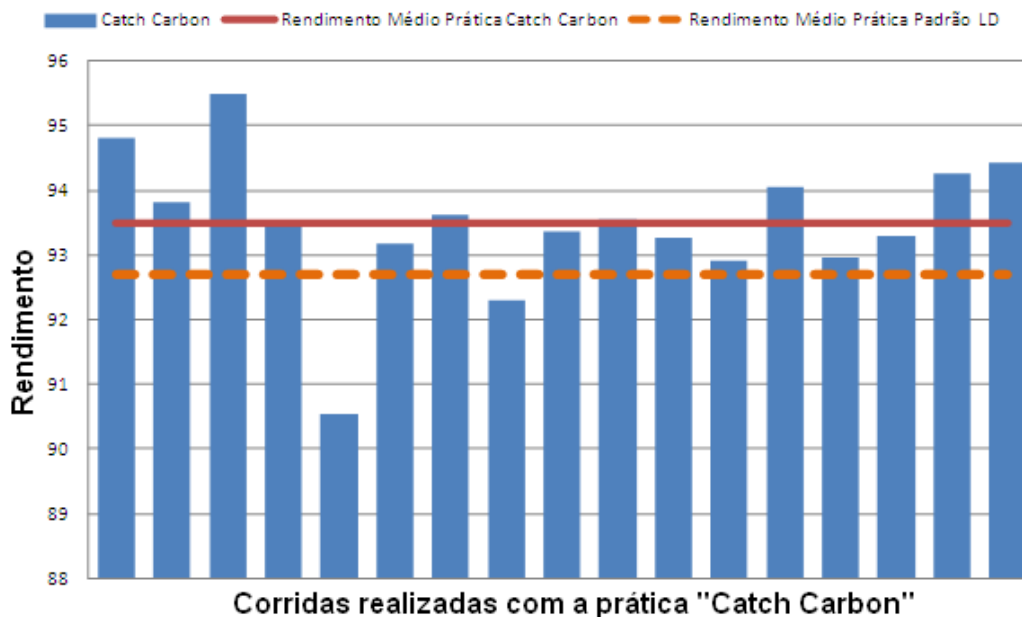


Figura 9. Resultados práticos de rendimento metálico da prática *Catch Carbon*.

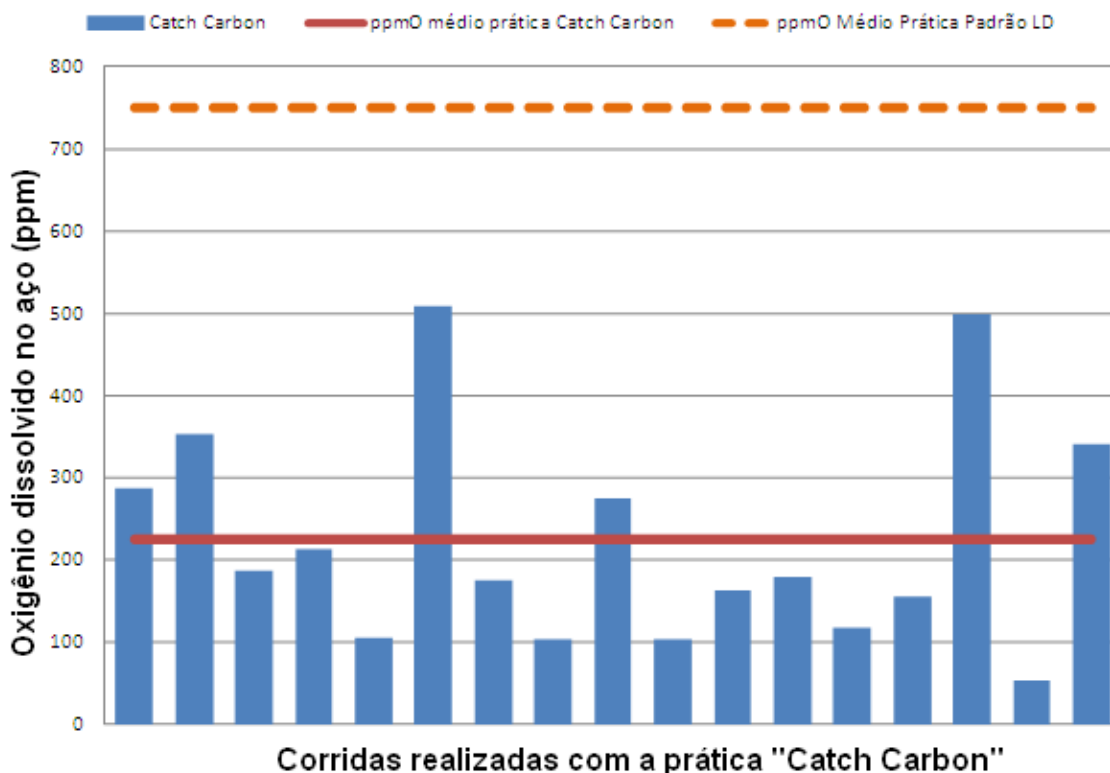


Figura 10. Resultados práticos comparativos de oxigênio dissolvido (ppm) na prática *Catch Carbon* e prática padrão.

## 4 CONCLUSÃO

Utilizando a prática *Catch Carbon* no convertedor LD da V&M do Brasil, pode-se afirmar que:





- ao utilizar 5 Kg de alumina por tonelada de aço pode reduzir a temperatura liquidus da prática tradicional com 25% de FeO na escória de 1.725°C para 1.677°C na prática *Catch Carbon* com 15% de FeO na escória;
- redução do oxigênio dissolvido no aço;
- redução de FeO na escória;
- aumento de 0,9% no rendimento metálico;
- redução do consumo de desoxidantes (Alumínio principalmente);
- redução do consumo de grafite e outras ligas no vazamento, devido ao aumento do rendimento;
- redução do nível de inclusões do aço.

## REFERÊNCIAS

- 1 Fabricação de Aço em Forno Básico a Oxigênio, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Programa de Educação Continuada Cursos ABM, Junho 2007.
- 2 STAHLISEN, V. Slag Atlas 2<sup>nd</sup> Edition. Germany: 1995, p. 126.
- 3 CHRISÓSTOMO, W.B.; PEREIRA, C.L.; SILVA, A.L.V.C. Avaliação da solubilidade de MgO em escórias de aciaria através de diferentes métodos de cálculo. In: XXX SEMINÁRIO SOBRE FUSÃO, REFINO E SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS, Maio, 1999, Belo Horizonte.