

IMPLANTAÇÃO DE MEDIÇÕES DE OXIGÊNIO NO FORNO ELÉTRICO DA VIBASA ¹

Octávio Alves Júnior ²
César da Silva Alves Leandro ³
Rodolfo da Fonseca Rezende ⁴
Antonio Sergio Hering Kvacek ⁵
Hélio Medeiros Júnior ⁶

Resumo

O objetivo desse trabalho é mostrar os benefícios operacionais obtidos pela planta Villares Pindamonhangaba com o uso dos sensores eletroquímicos para medição de teor de oxigênio dissolvido em aço líquido, Celox®. O adequado controle do nível de oxigênio antes do vazamento do forno elétrico proporcionou um aço mais limpo, um melhor rendimento dos elementos de ligas, e maior rapidez na fabricação. No caso da Aços Villares, o controle de oxigênio antes do vazamento, proporcionou também melhor desempenho operacional e maior educação por parte dos operadores do fornos em se tratando de atingir níveis de qualidade elevados.

Palavras-chave: Sensor de oxigênio; Forno elétrico a arco.

INTRODUCTION OF OXYGEN MEASUREMENTS ON THE EAF OF VIBASA

Abstract

The main goal of this paper is to show the operational benefits obtained by Villares Pindamonhangada Steelworks with the use of electrochemical oxygen sensors, Celox®. The appropriate control of the oxidation level before the tapping of the EAF allows a cleaner steel, better yield of the alloys and faster production. In the case of Aços Villares, the proper control of oxygen content before the taping also allowed better operational development and better education of the workers.

Key words: Electric arc furnace; Oxygen sensor

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

² *Engenheiro Metalurgista, M.Sc., Gerente de Aplicação de Produto, Heraeus Electro-Nite*

³ *Engenheiro Metalurgista; Dr.; Sup. Processos Metalúrgicos – Aços Villares - UP*

⁴ *Técnico Metalúrgico, Assistente Técnico, Heraeus Electro-Nite*

⁵ *Supervisor Técnico dos Fornos – Aços Villares UP*

⁶ *Supervisor Operacional dos Fornos – Aços Villares UP*

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho visa mostrar os resultados obtidos com a implantação na Aços Villares, do sensor Celox® para medida do nível de oxigênio antes do vazamento das corridas a partir dos Fornos Elétricos a Arco. O objetivo da tomada do teor de oxigênio é controlar o nível de oxidação, de maneira a facilitar as operações de refino secundário no forno panela e melhorar o rendimento metálico da Aciaria.

2 DETALHES DO SENSOR DE OXIGÊNIO - CELOX®

O sensor Celox® é composto por uma célula eletroquímica de concentração de oxigênio, um termopar de metal nobre tipo S (Pt / Pt10%Rh) e um contato elétrico de aço.

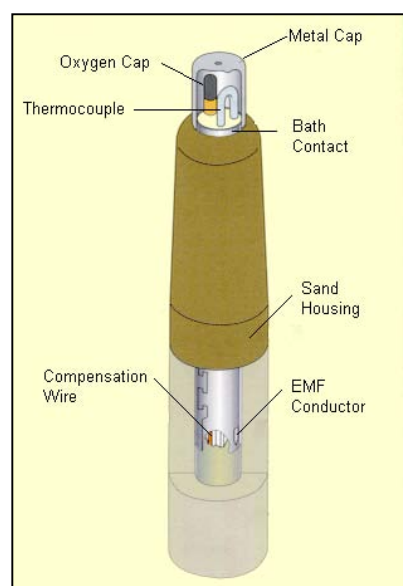
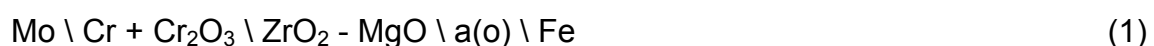
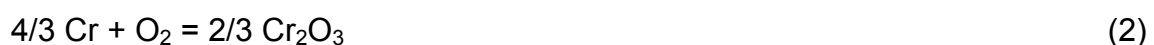


Figura 1 – O sensor Celox®

A célula eletroquímica é formada por um eletrólito sólido, cujo formato é um tubo fechado em uma das extremidades, um eletrodo de referência e um contato elétrico. O eletrólito sólido é um composto de zircônia com magnésia ($ZrO_2 - MgO$), este material devido ao processo de estabilização parcial da fase cúbica de face centrada e ao processo de sinterização, tem a propriedade de condução de íons oxigênio em altas temperaturas. O eletrodo de referência é uma mistura sólida formada por $Cr + Cr_2O_3$ ($pO_2=10^{-12}$ atm a 1873K) e o contacto elétrico é uma agulha molibdênio. Com isto, depois da imersão do sensor no aço líquido, a seguinte seqüência eletroquímica é formada na ponta do sensor.



O potencial de oxigênio da referência pode ser representado pela seguinte equação:



A constante de equilíbrio da equação (2) pode ser representada por:

$$K_2 = \frac{(a_{Cr_2O_3})^2}{(a_{Cr})^4 \times (Po_2')} \quad (3)$$

O potencial de oxigênio do metal líquido pode ser representado pela seguinte equação:



A constante de equilíbrio da equação (4) pode ser representada por:

$$K_4 = \frac{(a_{FeO})^2}{(a_{Fe})^2 \cdot (Po_2)} \quad (5)$$

Devido a diferença entre os potenciais de oxigênio da referência e do banho, é gerada uma força eletromotriz, que é descrita pela equação de Nernst.

$$EMF = \frac{RT}{4F} \ln \left(\frac{Po_2}{Po_2'} \right) \quad (6)$$

onde EMF representa a força eletromotriz, R representa a constante dos gases ideais, T representa a temperatura, F representa a constante de Faraday, pO_2' representa o potencial de oxigênio da referência e pO_2 representa o potencial de oxigênio da interface entre a escoria e o aço líquido.

3 MEDIÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO EM AÇO

A determinação de oxigênio é baseada na temperatura e na força eletromotriz determinados pelo sensor. A concentração do oxigênio dissolvido em banho de aço aplicando-se a formula mostrada a seguir.

$$a_{(O)} = 10^{\frac{(F_1 + F_3(EMF + F_4 + F_5.t))}{(T + 273)}} \quad (7)$$

onde EMF representa a força eletromotriz (mV), T representa a temperatura do banho (°C) e a(o) representa a concentração de oxigênio (ppm).

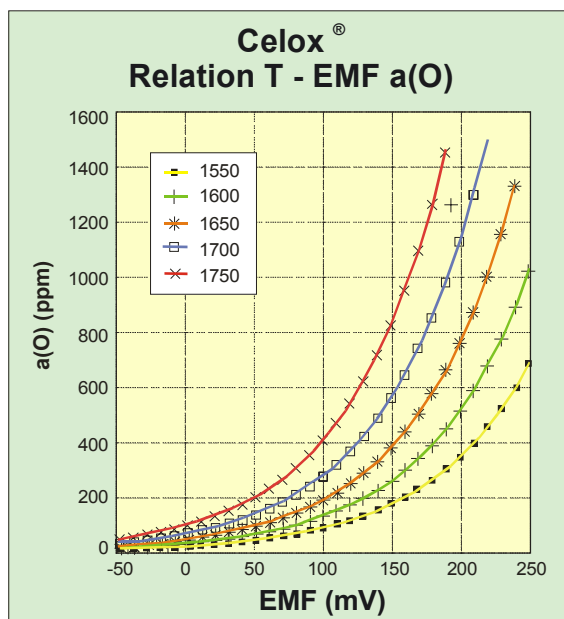


Figura 2 – Relação teórica entre a EMF, a concentração de oxigênio e a temperatura do banho

4 DETERMINAÇÃO DE CARBONO

A determinação de teor de carbono se baseia na relação termodinâmica entre o oxigênio e o carbono. Assumindo que a pressão de CO seja unitária (o que nem sempre é correto na prática), obtenção uma relação como a mostrada a seguir.

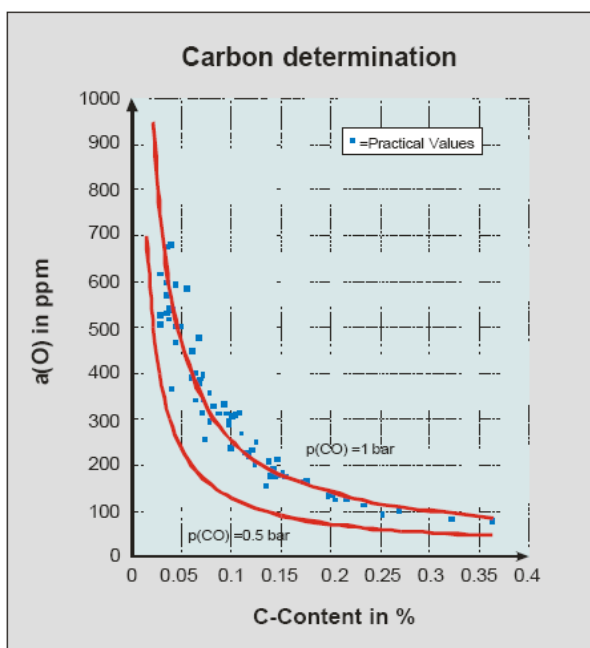


Figura 3 – Relação teórica entre a %C x ppmO

5 RESULTADOS E PRÁTICAS OPERACIONAIS

O processo de desoxidação com carbono tem produto gasoso (CO), sendo desta forma o melhor do ponto de vista da qualidade do aço. Por não ser solúvel, o gás escapa do aço líquido, não resultando em inclusões não metálicas.

Essa prática operacional não é permitida em sua plenitude para todos os aços, pois além de existir uma especificação em termos de composição química, grande parte dos aços utiliza o alumínio como refinador de grão. Mas é possível minimizar o impacto, entendendo que para teores de carbono abaixo de 0,05% o teor de oxigênio dissolvido eleva-se de forma quase exponencial. Esse excesso implica em posterior retirada através de desoxidantes, que originam inclusões no produto acabado, que é um caso muito grave para lingotamento contínuo com dimensões pequenas de molde, onde a obstrução durante o lingotamento por inclusões é um fator relevante e de grande impacto na produtividade da máquina de lingotamento contínuo.

É possível durante o processo de elaboração do aço no forno elétrico, utilizar o carbono como desoxidante o tanto quanto possível, pois se controla melhor o nível de desoxidação, traz benefícios por reduzir a quantidade de inclusões geradas durante o processo de refino secundário.

Também é importante comentar que quanto menor for o nível de oxidação durante o processo de fusão, melhor será o rendimento metálico, ou menor será a perda de ferro por oxidação. Neste caso o processo de melhora do rendimento metálico esbarra no processo de desfosforação, que exige um nível de oxidação mínimo de 15% de FeO na escória, para valores menores as taxas de desfosforação são muito baixas. Mas a partir desse ponto, o processo de desoxidação com carbono pode cumprir uma etapa importante no processo de fabricação do aço em FEA.

A Figura 4 mostra resultados de oxigênio antes da desoxidação e a Figura 5 mostra resultados de oxigênio após a desoxidação. Aqui é importante salientar que com as medições com o sensor, fica mais fácil para os operadores entenderem a relação entre menores teores de carbono e maiores teores de oxigênio no final do refino no forno elétrico. Notou-se uma melhora sensível, quando os próprios forneiros sentiram essa diferença por medições feita por eles mesmos.

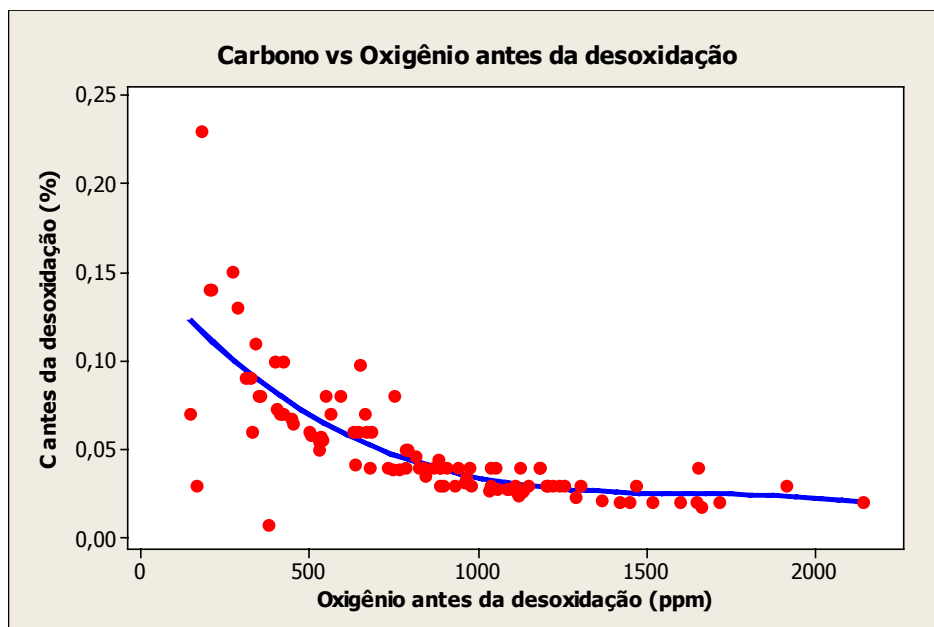


Figura 4 – Curva Carbono versus Oxigênio antes da desoxidação

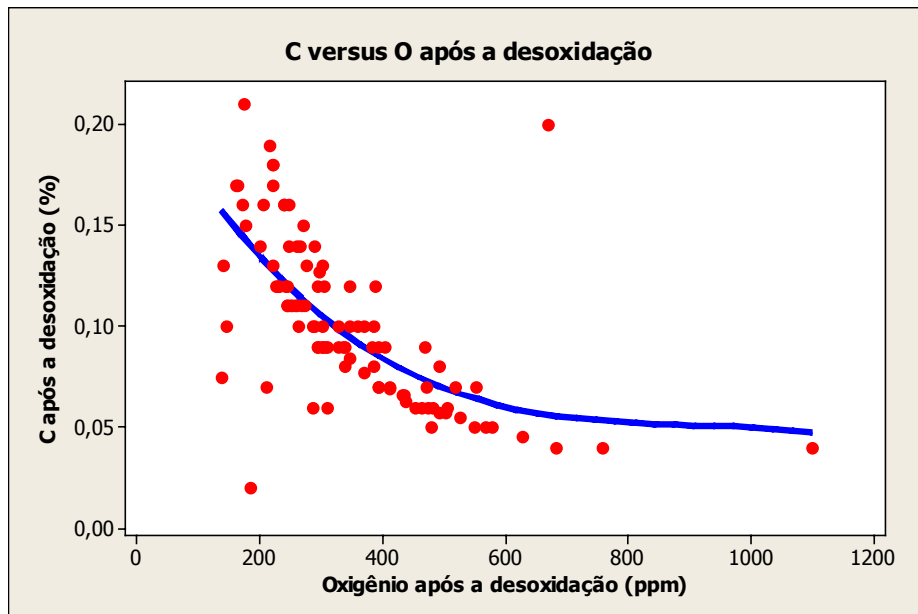


Figura 5 – Curva Carbono versus Oxigênio após a desoxidação com carbono

Na Figura 6 pode-se notar a melhora obtida em termos de rendimento metálico ou *mise au mille*. Muito desse resultado se deve a desoxidação do ferro durante o processo de fusão nos fornos com carbono.

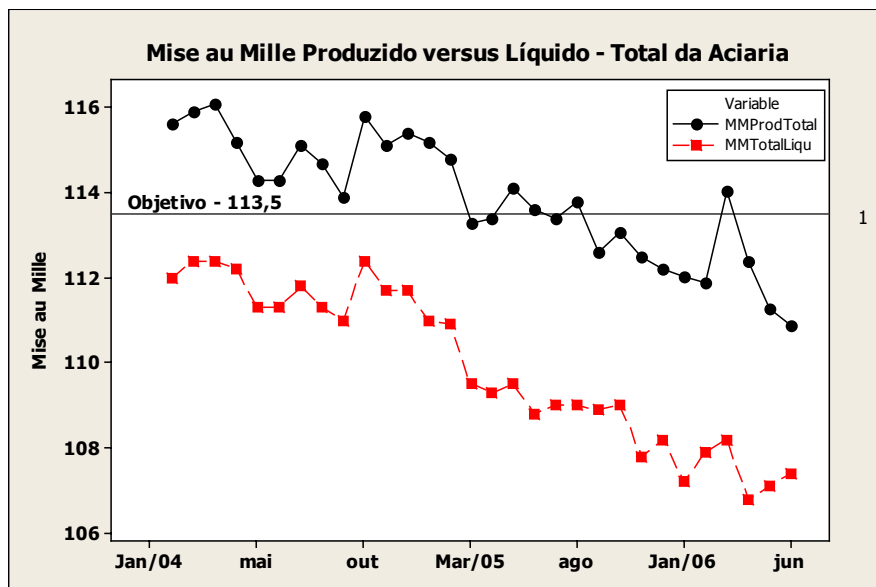


Figura 6 – Evolução do mise au mille (rendimento metálico) na Aciaria da Aços Villares - UP

Para melhor entendimento destes resultados na prática de fabricação de aço da Usina da Aços Villares, as Figuras 7,8 e 9 auxiliam no raciocínio. A Figura 7 mostra que o consumo de energia elétrica na Aciaria é função da quantidade de oxigênio consumido no período de fusão. Logo existe uma troca de energia elétrica por energia química.

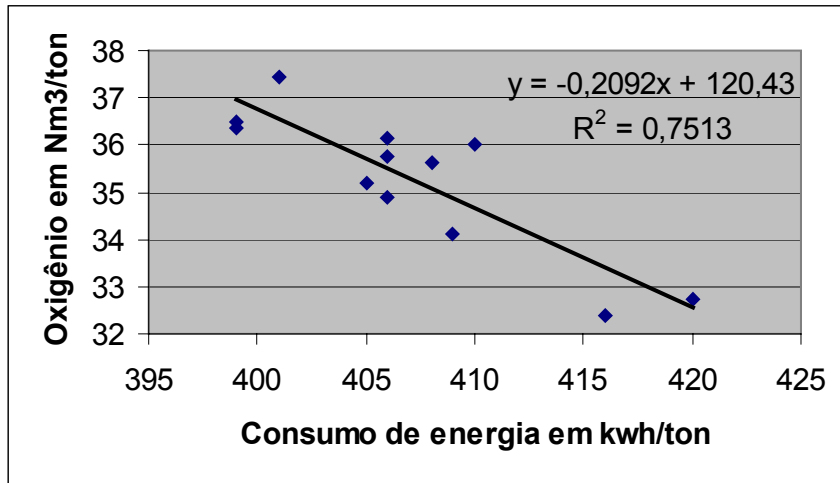


Figura 7 – Consumo de energia elétrica em kWh/ton em função do consumo de oxigênio em Nm³/ton

No gráfico da Figura 8 observa-se que uma piora no rendimento metálico, leva a um aumento no consumo de energia elétrica. Essa relação é verdadeira pois os dois índices são calculados através da relação energia e carga. Ambos separadamente divididos por produção de aço líquido. Portanto se a quantidade de aço líquido for menor, os dois índices pioram conjuntamente.

O gráfico da Figura 9 relaciona o consumo de oxigênio em função do rendimento metálico, que representa perda de ferro por oxidação através da escória. Nesse caso se percebe que aumentando o consumo de oxigênio total do forno, ocorre uma melhora no rendimento metálico. Essa relação somente tem significado se entendermos que a medida que o oxigênio é soprado para dentro do aço líquido durante o período de fusão, a quantidade em excesso é revertida pela processo de desoxidação com carbono. Também é importante entender que o rendimento metálico não se relaciona somente com a oxidação, ocorre também perda de aço durante a retirada de escória. Durante o período de desfosforação é preciso se ter na escória uma quantidade de FeO de pelo menos 15% para garantir um teor de fósforo dentro das especificações.

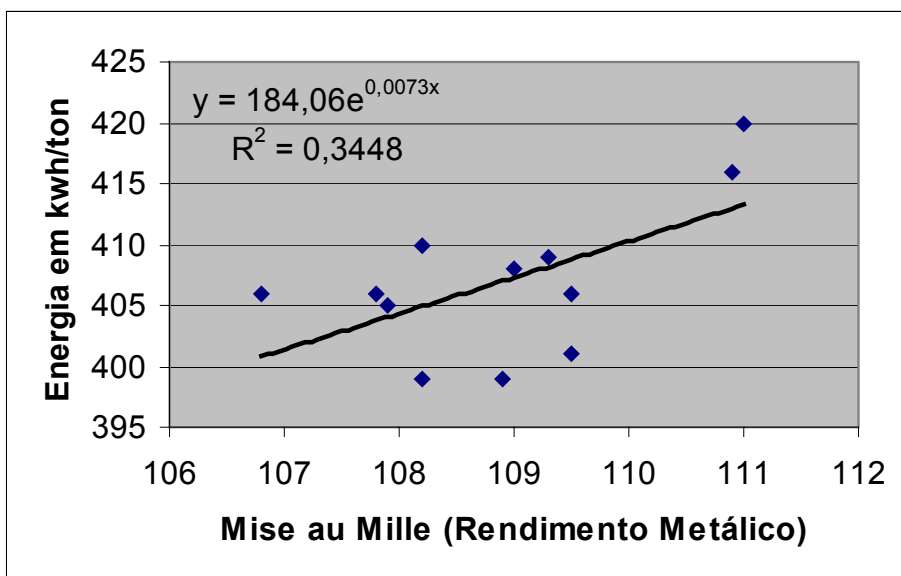


Figura 8 – Relaciona o consumo de energia elétrica com o rendimento metálico

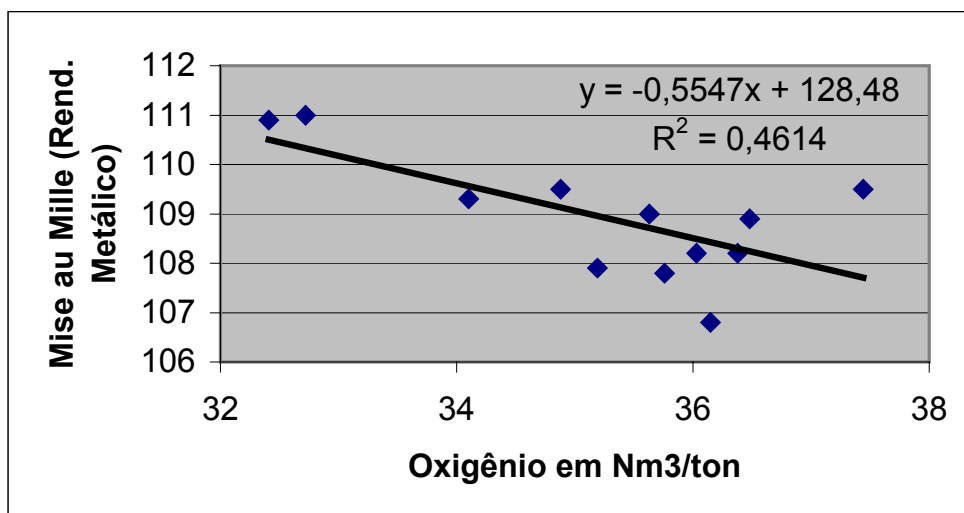


Figura 9 – Relação entre Rendimento Metálico e consumo de oxigênio (Nm3/ton)

6 CONCLUSÕES

Concluí-se que os resultados encontrados através da aplicação do Celox® para medir o oxigênio nos fornos elétricos a arco, trouxeram um grande benefício ajudando no melhor entendimento do processo e verificando que a utilização de carbono como desoxidante pode ser praticado e aprimorado com o sensor de oxigênio.