



UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS A BASE DE MgO PARA CONDICIONAMENTO DE ESCÓRIA E SEUS BENEFÍCIOS PARA O PROCESSO, REATORES E REFINO DOS AÇOS¹

Thiago Augusto Ávila²
Neivson José de Carvalho³
Glaucio Galdino Martins⁴
Roberto Parreiras Tavares⁵
Thiago Nogueira de Souza⁶

Resumo

A constante busca por produtividade, qualidade e custo no mercado siderúrgico bem como investimentos em pesquisas, tem evoluído sistematicamente ao longo dos anos. Expandindo assim o conhecimento dos siderurgistas para áreas além dos metais, como óxidos e refratários, uma vez que estes elementos estão presentes em toda cadeia do ciclo produtivo. No caso particular dos óxidos, participando ativamente das etapas de refino. Dessa forma, a escória tomou o principal papel atribuído às etapas de refino e durabilidade dos equipamentos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é mostrar os benefícios da utilização de aditivos como o slag optimizer para o condicionamento de escórias. Mostrando que através da utilização de produtos ricos em MgO é possível reduzir a carga de fundentes, diminuindo o consumo energético, saturando a escória e protegendo o revestimento dos reatores.

Palavras-chave: Escória; Aciaria; Convertedor LD; Forno elétrico a arco; Espumação de escórias; Desfosforação; Dessulfuração.

UTILIZATION OF MgO BASED ADDITIVES TO SLAG CONDITIONING AND THEIR BENEFITS TO THE PROCESS, REACTORS AND STEEL REFINING

Abstract

The constant pursuit of productivity, quality and cost in the steelmaking market as well as investment in research has systematically evolved over the years, expanding the knowledge of steelmakers to the areas beyond the metals, as oxides and refractories. These elements are present in the whole steelmaking process, specially for the oxides that are actively involved in the steel refining stages. Thus, the slag has taken the leading role to the refining steps and reactors' life. In this context, the main goal of this work is to show the benefits by using additives such as slag optimizer for the slag conditioning. By using products rich in MgO, it is possible to reduce the flux charge, reducing energy consumption, slag saturation and protect the refractories lining of the reactors.

Key-words: Slag, steelmaking; Basic oxygen furnace; Electric arc furnace; Foaming slags; Defosforization; Desulfurization; Slag conditioning.

¹ Contribuição técnica ao 42º Seminário de Aciaria – Internacional, 15 a 18 de maio de 2011, Salvador, BA, Brasil.

² Engenheiro Metalurgista, Mestrando UFGM, Assistente Técnico Especialista – Magnesita Refratários

³ Engenheiro Produção, Assistente Técnico – Magnesita Refratários

⁴ Analista Técnico – Magnesita Refratários

⁵ Professor do departamento de Metalurgia e Materiais, PHD – UFGM

⁶ Estagiário da Magnesita Refratários, graduando do curso de engenharia Metalúrgica UFGM



1 INTRODUÇÃO

As escórias possuem um papel importante para o refino do aço, conferindo ao mesmo limpidez e qualidade, além de afetar a vida do revestimento refratário do reator, uma vez que a escória contém óxidos e elementos que podem se combinar com o refratário, propiciando desgaste ou proteção. A adequação desta às necessidades do refino e o tipo de revestimento tornam-se imprescindíveis para garantir o menor custo ao processo. A combinação entre os diferentes elementos presentes na escória afetará a extensão das diversas reações possíveis de um sistema metalúrgico (gás, metal, escória, inclusões e refratário), bem como a cinética. Tendo em vista que as mudanças de propriedades da escória estão intrinsecamente ligadas à composição desta. Resguardada as diferenças entre os diversos reatores, a escória sempre irá afetar o refino, logo o objetivo deste trabalho é mostrar os resultados alcançados no processo pela utilização de um aditivo contendo alto teor de MgO na escória.

2 MgO E As Reações Do Refino Primário

Independente do tipo de equipamento, sejam conversores ou fornos elétricos, normalmente objetiva-se no refino primário a oxidação do carbono e eliminação do fósforo contido no metal líquido. Estas duas reações acontecem em um ambiente oxidante, aplicado pela injeção de oxigênio, e o contato com uma escória básica. Desta maneira, o suprimento de oxigênio garante a oxidação do carbono e do fósforo, sendo que este último se fixa na escória através da combinação do então formado pentóxido de fósforo, P_2O_5 , com o óxido de cálcio, CaO, conforme equação [1]



Assim, a quantidade de fósforo contida no metal, no final do tratamento, é definida pela equação [2], onde as principais variáveis são o potencial de oxigênio, atividade do CaO e do fósforo.

$$\ln[\% \underline{P}] = \frac{1}{2} \ln a_{3CaO.P_2O_5} + \frac{\Delta G^0}{2RT} - \frac{5\mu_{O_2}}{4RT} - \frac{3}{2} \ln a_{CaO} - \ln a_P \quad [2]$$

A atividade do fósforo no aço depende dos demais elementos presentes no banho, já a atividade do CaO dependerá fortemente da composição da escória. Afim de verificar a influência do MgO na atividade do CaO para escórias ricas em FeO (20%-30%), foi calculado no programa *Thermocalc* a atividade do CaO para diferentes teores de MgO (5%, 10% e 15%) e basicidades (1, 1.5, 2 e 3). As Figuras 1 e 2 mostram o valor da atividade do CaO em função do aumento da quantidade de MgO.

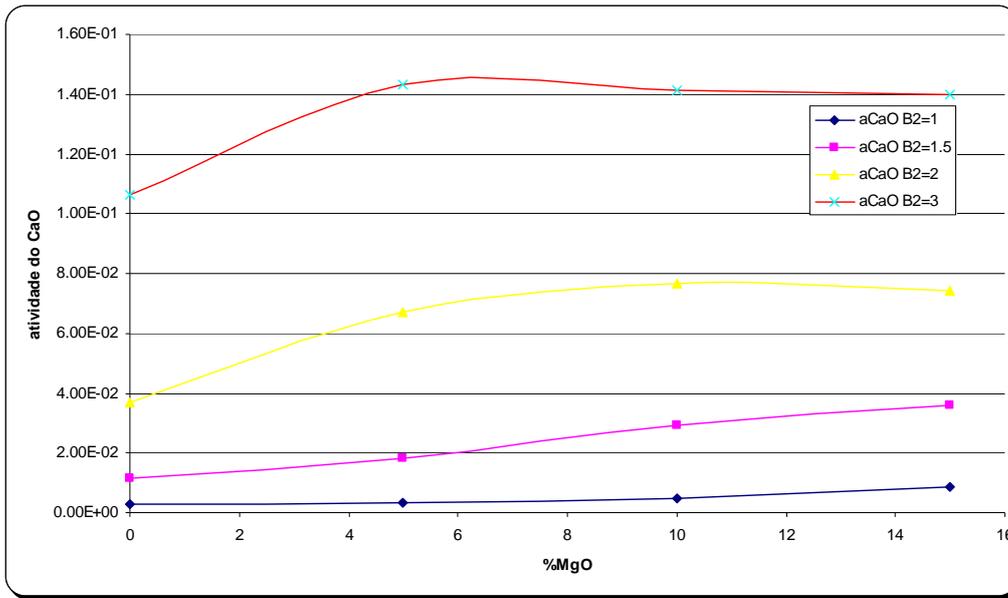


Figura 1 - Atividade do CaO em função da basicidade e teor de MgO, com 30% FeO.

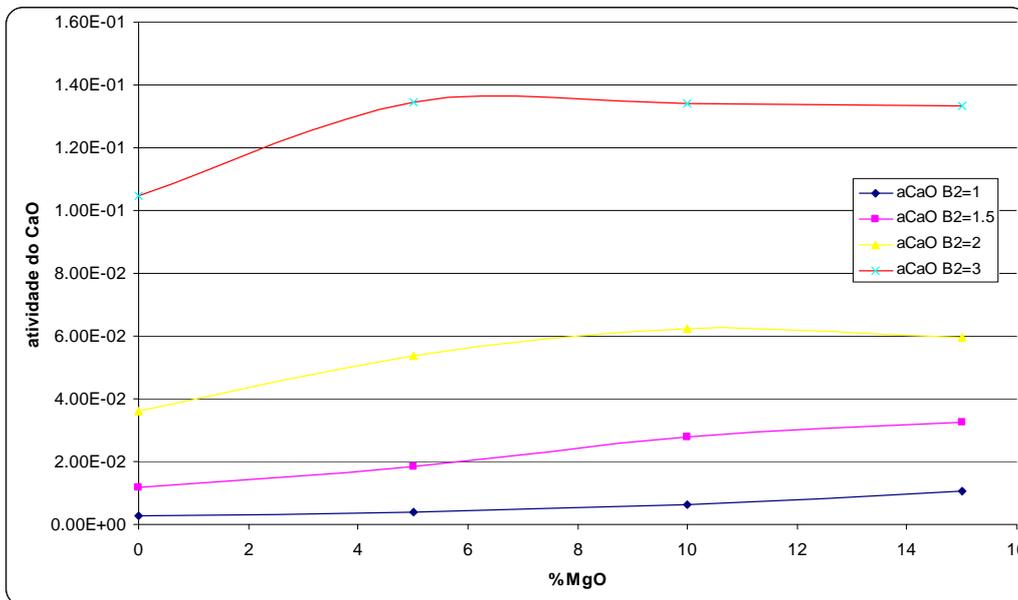


Figura 2 - Atividade do CaO em função da basicidade e teor de MgO, com 20% FeO.

Para o design de escória com alto poder de remoção de fósforo, pode-se também utilizar equações empíricas como a equação [3] proposta por Suito.^(1,2) A equação [3] mostra a partição de fósforo na escória em função da composição e temperatura.

$$\text{Log} \left(\frac{(P)}{[P] \cdot \text{Fe}^{5/2}} \right) = \frac{a}{T} + b \cdot \text{CaO} + c \cdot \text{MgO} + d \cdot \text{MnO} + e \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + f \cdot \text{SiO}_2 + c1 \quad [3]$$

Oliveira⁽³⁾ mostrou que os valores das constantes que multiplica cada óxido, da equação [3], obtidos via regressão, não diferem muito entre seis diferentes aciarias analisadas (Tabela 1).



Tabela 1 - Coeficientes de regressão para partição de fósforo⁽³⁾

Aciaria	a (1/T)	b (CaO)	c (MgO)	d (MnO)	e (P ₂ O ₅)	f (SiO ₂)	constante	R ²
A	9663,78	0,0370948	0,0377228	0	0,223778	0,0109625	-8,98548	0,6679
B	10813,8	0,0412533	0,0291553	0	0,166359	0,0180906	-9,69650	0,8529
C	12961,3	0,0373169	0,0150349	0	0,231654	0,0205020	-10,5490	0,7119
D	5090,77	0,0483800	0,0312388	0	0,206637	0,0242153	-7,12307	0,8427
E	15261,6	0,0382014	0,0204508	0	0	0,0433026	-11,6814	0,6917
F	15263,7	0,0389699	0,0268101	0	0	0,0428668	-11,5850	0,8206

Expressões similares e de diferentes autores podem ser encontradas na literatura, como mostra Tabela 2.

Tabela 2 - Diferentes modelos para partição de fósforo⁽⁴⁾

Turkdogan's model ²	$\log \frac{(P)}{[P]} = 5.9 \times \log (CaO) + 2.5 \times \log (FeO) + 0.5 \times \log (P_2O_5) + 10.6$
Healy's model ³	$\log \frac{(P)}{[P]} = \frac{22350}{T} + 0.08 \times (CaO) + 2.5 \times \log (Fe) - 16$
Optical basicity model ^{5,6}	$\log C_P = -18184 + 435.84A - 22.35 A^2 + 22390 (A/T) - 0.06257 \times FeO - 0.04256 \times MnO + 0.359 \times (P_2O_5)^{0.3}$
Suito's model ⁷	$\log \frac{(P)}{[P] \times (Fe)^5} = 0.720 \times [(CaO) + 0.3(MgO) + 0.6(P_2O_5 + MnO)] + \frac{11570}{T} - 10.520$
Suito and Inoue's model ⁷	$\log (K_P) = 0.145 \times [(CaO) + 0.3 (MgO) + 0.6 (MnO)] + (22810/T) - 20.56$
Molecular slag model ¹	$\log \frac{(\%P_2O_5)}{[P]^2 (\%Fe)^5} = 7.04 \log (\%CaO) + \frac{9922}{T_c + 17.8} - 20.2$
Quadratic formalism model ⁹	$RT \ln a_{P_2O_5}(l) = RT \ln a_{P_2O_5}(RS) + 52720 - 230.706T$

Pode-se notar que o valor do coeficiente, c, fator de contribuição do MgO, na partição de fósforo é positivo e próximo aos valores do CaO. Em outras palavras, o aumento deste óxido na escória contribui para remoção do fósforo dentro da variação das escórias em estudo. Valor similar para a constante c (média 0,026) foi encontrado por Suito^(1,2) (0,0216) para uma equação ligeiramente diferente no sistema CaO-SiO₂-FeO. Deo⁽⁴⁾ testou os modelos citados acima, encontrando somente em um dos casos o coeficiente negativo para MgO, para escórias contendo baixo teor deste. Os demais modelos e condições continuaram positivos. Segundo Deo⁽⁴⁾ o valor positivo do coeficiente de MgO é atribuído a alta viscosidade da escórias ricas em MgO. Esta alta viscosidade, por sua vez, dificultaria a reversão do fósforo. Contudo, para o presente autor este fato está mais diretamente ligado ao efeito do MgO na atividade do CaO do que na viscosidade da escória, conforme mostrado anteriormente. Embora algum aumento de viscosidade pode ocorrer no final do processo para escórias pré-saturadas devido ao aumento adicional de MgO oriundo de algum desgaste refratário. A Figura 3 (lado esquerdo) mostra que dependendo da composição a adição de MgO reduz a viscosidade. Embora, exista concordância entre diferentes estudos de diferentes autores, a contribuição do MgO para desfosforação tem sido um assunto polêmico e entender os limites e detalhes de cada estudo é a chave para uma melhor compreensão.

A presença de partículas de C₂S contribuem para a desfosforação, conforme mostrou Suito.^(1,2) Isto se deve pela fácil estabilização em 3CaO.P₂O₅ na superfície das partículas. Contudo os efeitos cinéticos do aumento da viscosidade pela presença de grande quantidade de sólidos prejudica a taxa de desfosforação. A adição de MgO em quantidades inferiores à saturação permitem a redução da viscosidade da escória, conforme pode ser visto no diagrama da Figura 3.

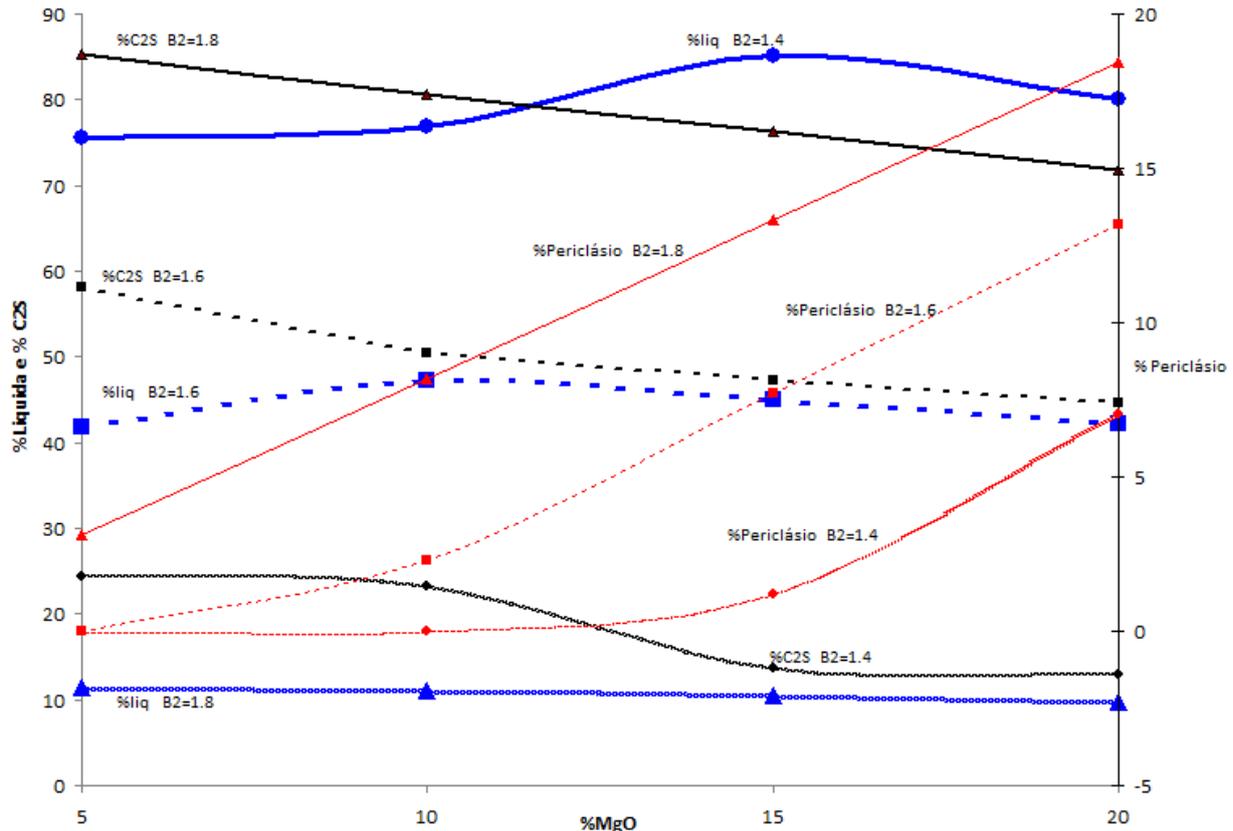


Figura 3 - relação entre a quantidade de MgO, taxa de sólidos e % de líquido.

A adição de MgO até a saturação não somente diminui a viscosidade mas também, dependendo da basicidade, aumenta a quantidade de líquido na escória, permitindo trabalhar com maior quantidade de CaO em solução (Figura 3). O gráfico da Figura 3 mostra que ao aumentarmos a quantidade de MgO em basicidades binárias baixa, como exemplo B2=1.4, um máximo de líquido irá ocorrer com 15% de MgO. Nesta condição a adição de MgO reduz o ponto de fusão da escória, dissolvendo o C₂S, trazendo mais CaO para a solução líquida. Porém, ao aumentar a quantidade de MgO superior a 15%, a taxa de sólidos na escória sobe subitamente devido a precipitação do periclásio, incrementando a viscosidade da escória. Esta alteração da taxa de sólidos irá ocorrer em relações diferentes de MgO, em função da basicidade e dos demais óxidos presentes. No presente caso, a wustita foi desconsiderada, sabe-se porém que a presença desta aumentaria a quantidade da fase líquida, diminuindo a solubilidade do MgO. A adição de MgO, altera a quantidade de C₂S presente Este fator contribuirá positivamente para a cinética e para quantidade de CaO livre disponível para reagir. De acordo com a teoria iônica das escórias, escórias que contenham mais de 7% de MgO tendem a precipitar nas temperaturas de processo (1.600°C). Desta maneira a wustita seria o primeiro precipitado a se formar tornando a escória líquida repleta de cátions livres, antes do PO₄⁻³ se associar ao C₂S, prejudicando a desfosforação. Escórias de conversores, como LD possuem basicidades altas (normalmente superiores a 2.5) e neste caso 7% é o suficiente para alcançar a saturação a 1600°C, conforme mostra Figura 4.

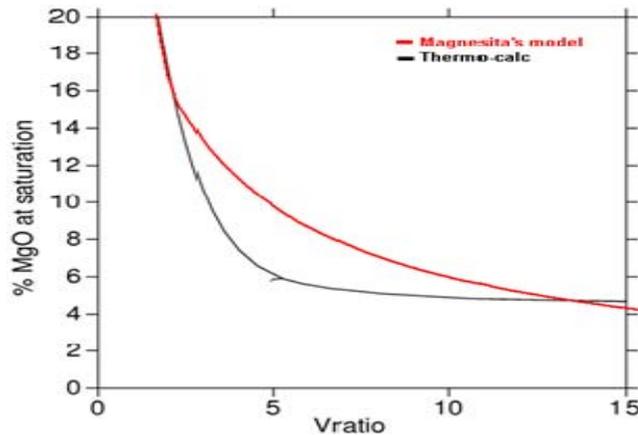


Figura 4 - Relação entre a saturação em MgO e a basicidade binária.

Basu, Lahiri e Seetharaman^(5,6) mostraram que a partição de fósforo da escória é pouco afetada se a quantidade de MgO é inferior ao limite de 7% (ou saturação) (Figura 5).

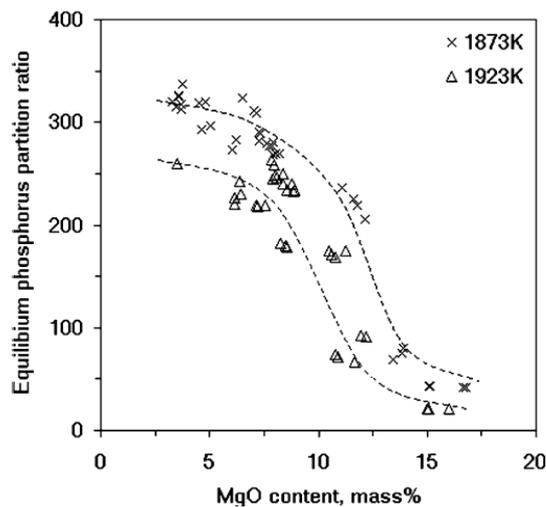
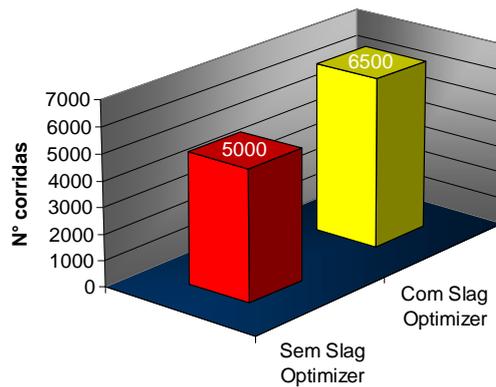


Figura 5 - Relação entre o MgO e a Partição de fósforo.⁽⁶⁾

Considerando o exposto acima, pode se concluir que a utilização de MgO aumenta a atividade do CaO, contribuindo para desfosforação. A adição de MgO até o limite de saturação não prejudica a cinética do processo sendo que a presença de MgO é desejável no final do processo para dificultar a reversão do fósforo durante o vazamento.

3 RESULTADOS EM CONVERSORES

Afim de garantir que o MgO não ultrapassasse o limite de saturação foi elaborado um balanço de massa e o cálculo da saturação realizado via modelo da Magnesita. Desta forma, foi proposto a utilização de um aditivo a base de MgO, para saturação da escória em uma usina integrada brasileira. Os testes com adição de MgO foram executados para cada corrida e também durante o slag-splashing. Nenhuma influência na desfosforação foi presenciada. Contudo, grandes ganhos foram observados no revestimento refratário, possibilitando aumento de campanha e produtividade do equipamento. A Figura 6 mostra um ganho de 30% na campanha através da utilização de produto rico em MgO até o limite de saturação



	BOF Campaign
■ Sem Slag Optimizer	5000
■ Com Slag Optimizer	6500

Figura 6 - Campanha do Convertedor LD com e sem adição de MgO.

Os intervalos de corridas para slag-splashing aumentou, sendo esta prática empregada somente quando o convertedor apresentava desgaste acentuado. A Figura 7 mostra o resultado anterior e posterior ao slag-splashing utilizando o Slag Optimizer.

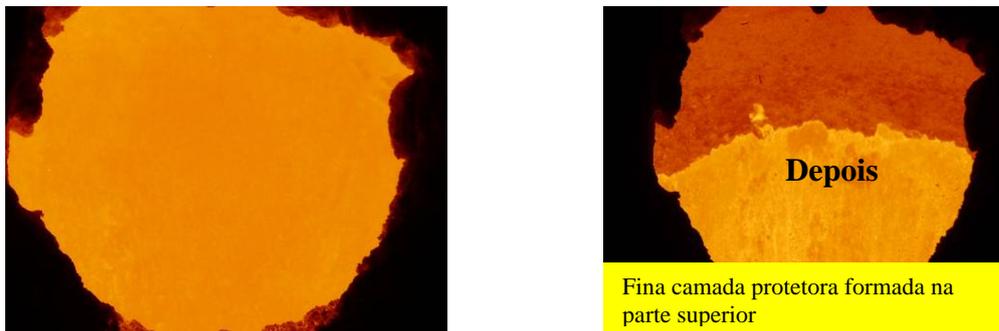


Figura 7- Paredes do convertedor antes e após o slag-splashing, utilizando aditivo de MgO.

4 RESULTADOS EM FORNO ELÉTRICO A ARCO

No forno elétrico é dada à escória não somente o papel de refino, mas também a capacidade de afetar o consumo energético e de refratários. O principal fenômeno que ocorre no seio da escória é chamado de espumação, onde o FeO contido na escória reage com o carbono, injetado ou dissolvido no banho metálico, conforme reação[4].



Esta reação gera bolhas de CO que, ao atravessarem a camada de escória provocam um aumento no volume desta. Contudo este volume somente será significativo para escórias que apresentam uma consistência cremosa, permitindo que as bolhas de CO escapem lentamente da escória. Uma escória líquida por sua



vez permitirá que as bolhas de CO escapem tão rápido que o aumento e manutenção deste volume será insignificante ou ineficiente. Já o aspecto cremoso da escória somente é possível se esta escória estiver saturada e com uma pequena quantidade de sólidos precipitados. A saturação em MgO beneficia o refino, aumentando a atividade do CaO, que é favorável as reações como a desfosforação e incrementa a quantidade de sólidos. A adição de produtos a base de MgO possibilita a manutenção e o prolongamento da espumação, uma vez que a temperatura e composição da escória são modificadas durante o processo. Esta manutenção é possível para fornos que possuem carregamento contínuo e ou injetoras. A Figura 8 ilustra como é possível o prolongamento da espumação da escória através da injeção de MgO. A partir de uma basicidade e temperatura definidas a quantidade de MgO pode ser definida em função do teor de FeO (região vermelha superior do gráfico).

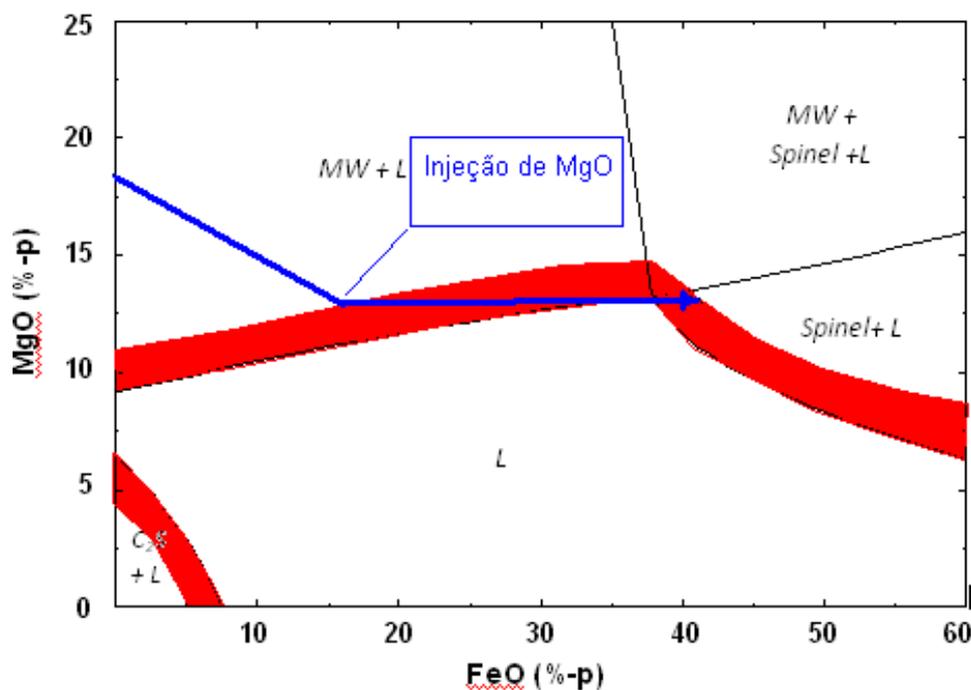


Figura 8.- Prolongamento do período de espumação através da injeção de MgO, $\text{CaO}/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)=1.1$ e $T=1550^\circ\text{C}$.

A espumação também acontece através de outros precipitados, como o C_2S (silicato de dicálcio), região vermelha no canto inferior esquerdo do gráfico, e pela precipitação do espinélio ($\text{MgO}.\text{Al}_2\text{O}_3$), região vermelha superior à direita do gráfico. Estes dois últimos são mais comuns para o caso de operações com basicidades ternárias baixas, inferior a 1.3 e escórias com teores de alumina apreciáveis de 10% a 15%. A linha azul representa a dissolução do MgO em função do aumento do FeO e de volume de escória, esta diluição é cessada a partir do momento que se começa a injeção de MgO, dada pela seta azul na horizontal até o momento final da corrida. O maior benefício desta prática encontra-se no fato de que uma escória de maior volume consegue cobrir totalmente o arco elétrico, reduzindo assim a parcela de energia, que antes com uma escória convencional era perdida por radiação e aumentando a parcela de energia que realmente é transferida para o banho. Esta afirmação se traduz na redução da energia elétrica através do aumento da eficiência de transferência de calor para o banho, bem como na redução do tempo de refino. Paralelo a este fato, o aumento da campanha do revestimento do forno é eminente,



uma vez que a saturação seja em MgO ou espinélio, reduz o desgaste por dissolução, bem como permite a formação da camada protetora. Diferentes testes foram propostos em 5 aciarias elétricas na América do Sul, com produtos ricos em MgO, a base de pó e outro a base de briquete. Ambos os produtos possuem quantidades diferentes de carbono para garantir a espumação e redução do FeO, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Produtos a base de MgO

Produto	Formato	C	MgO	Usina testada
Slag Optimizer EAF	pó	alto	alto	A, F
INJECTMIX	pó	baixo	alto	B
Slag Optimizer ME	briquete	baixo	alto	C, D

A aciaria A possui um forno pequeno de elevadas perdas térmicas por tonelada, alta alumina e basicidades ternárias inferiores a 1. Devido às restrições de equipamentos todo o suprimento alternativo de MgO foi substituído por cal calcítica e o MgO adicionado somente em função do material em pó, Slag Optimizer EAF, na quantidade necessária para alcançar a saturação em C₂S e espinélio. Exclusivamente para aciaria A, buscou-se saturação em C₂S e espinélio devido às basicidades extremamente baixas e as restrições de carregamento. Em paralelo foi realizado um teste com o Injectmix na aciaria B, cuja o forno também é de pequena capacidade porém opera com basicidades ternárias superiores àquelas encontradas na aciaria A, B3 variando de 1 a 1.5. Para a aciaria B foi adicionado uma quantidade de material ligeiramente inferior a saturação a fim de evitar o fechamento do forno, devido à formação de cascão. Nas aciarias C e D, ambas com fornos de porte médio, operando com baixa basicidade e carga contendo alto teor de P e S, foi utilizado Slag Optimizer ME. As aciarias E e F de grande porte, operam com basicidades ternárias superiores a 1 foram testados, Slag Optimizer ME e Slag Optimizer EAF, respectivamente.

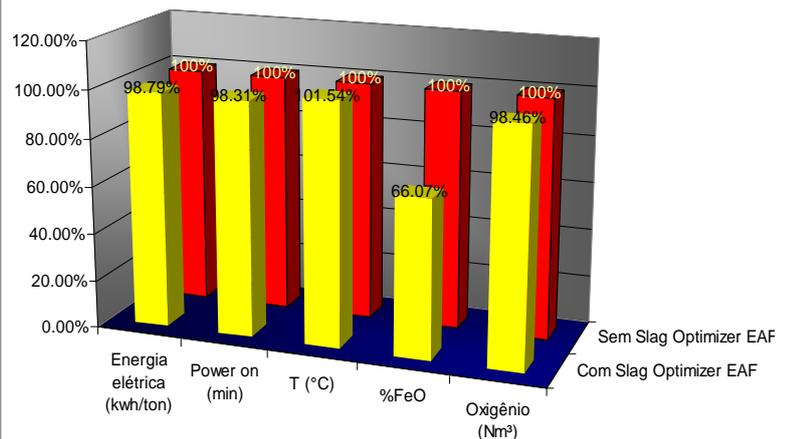


Figura 9 - Indicadores e espumação de escória, usina A.

Nestas condições a injeção do material em pó propiciou uma espumação instantânea e abundante, cobrindo toda a porta do forno e extinguindo completamente o ruído do arco (Figura 9). A espumação cessava quando o produto deixava de ser adicionado. Uma análise do material proveniente da escória grudada



no barrado mostrou frações de espinélio e periclásio. Acredita-se que a primeira fase sólida formada é a formação de espinélio na interface das partículas de MgO sob temperaturas mais baixas no início do refino, porém com o aumento da temperatura este se desfaz estabilizando na forma de periclásio. Observou-se 1.2% de ganho em energia elétrica com um aumento de 1.5% na temperatura, o que indica que este ganho de energia poderia ser ainda maior, pois as temperaturas de saída foram desnecessariamente superiores. Este aparente descontrole está ligado ao fato de um novo ritmo imposto a aciaria com o uso do produto, pois os operadores não poderiam prever de quanto seria o ganho afim de adiantar as amostragens para tomada de decisão.

A injeção de Injectmix na usina B sem alteração da carga de fundentes, mostrou resultados moderados quando comparados as outras usinas (Figura 10). Isto se deve pela quantidade e condições da escória. Particularmente nesta experiência optou-se por dividir o suprimento de MgO com o da cal dolomítica, observando uma distância mínima da saturação a fim de evitar o fechamento do forno devido a formação de cascão. Não foram acompanhados os demais indicadores.

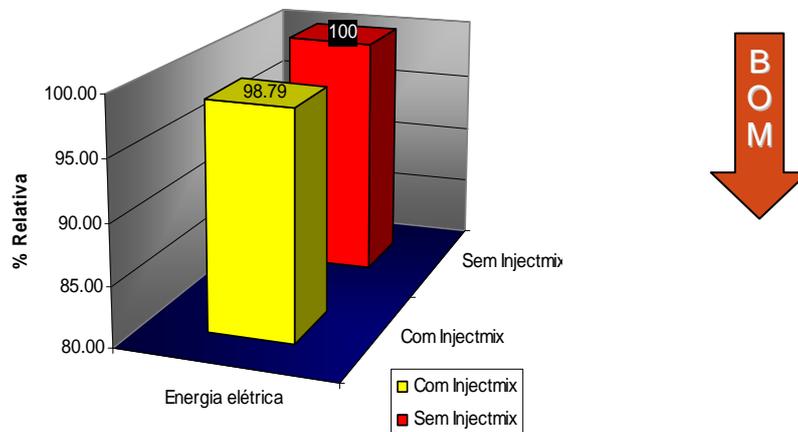


Figura 10 - Redução de energia elétrica na Usina B pela utilização do Injectmix.

Os ganhos das variáveis medidas nas aciarias C e D podem ser visualizados na Figura 11. Observa-se que os ganhos maiores concentram-se principalmente no tempo da corrida, mais especificamente no tempo de refino. Durante este tempo, o material é injetado causando o aumento de volume da escória, isto reduz as perdas térmicas do processo possibilitando que a corrida se aqueça mais rapidamente, reduzindo o tempo de refino e o consumo de energia. Deste modo, a energia é reduzida pelo aumento da eficiência da transferência de calor e indiretamente pela redução do tempo da corrida.

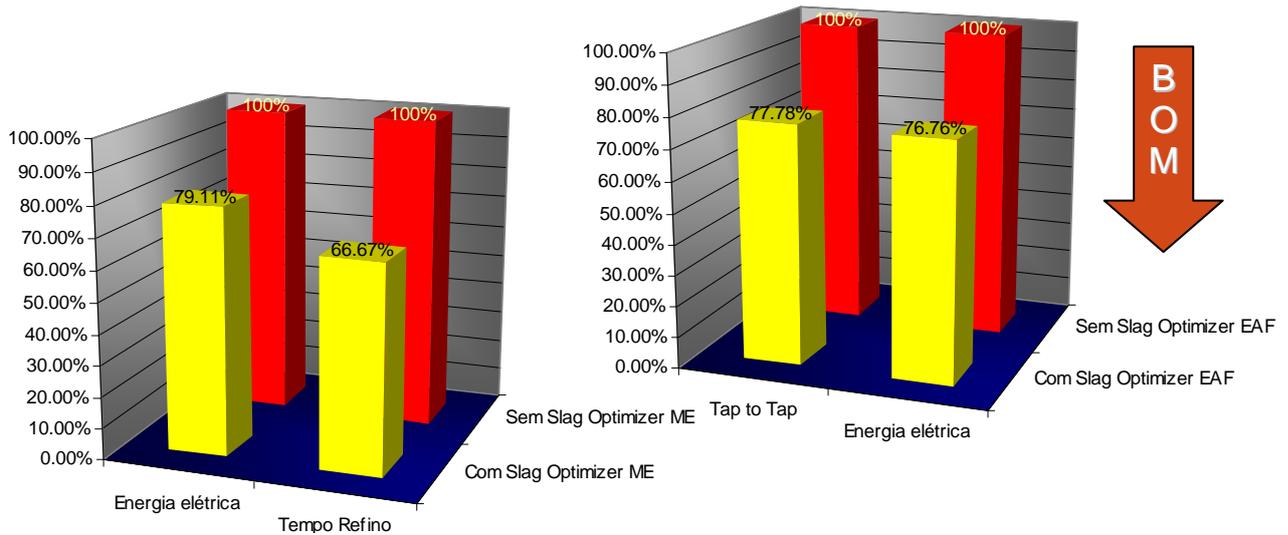


Figura 11 - Redução do tempo de corrida e consumo de energia com utilização do produto, usinas C(esquerda) e D(direita).

A condição de cada usina é única, e particularmente definida pelo processo, pessoas, qualidade de matéria prima, potência e energia disponível, dentre outros. Os ganhos podem variar de usina para usina dependendo da qualidade do processo em que esta se encontra. Contudo, a comparação com fornos menores com maiores em termos de perda térmica e eficiência energética normalmente é favorável para fornos de grande porte. Pois fornos de maior capacidade permitem que as perdas térmicas por tonelada sejam diluídas em função de uma maior carga. As Figuras 12 e 13 mostram que os ganhos obtidos para fornos de maior capacidade são menores do que aqueles obtidos para fornos pequenos, conforme previsto.

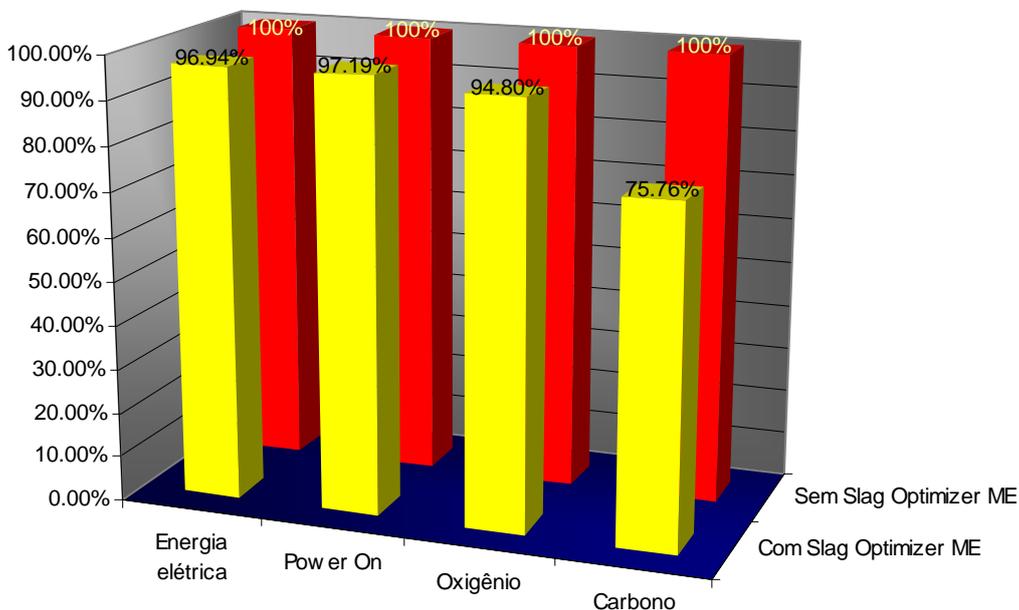


Figura 12 - Comparação de consumo de insumos com e sem Slag Optimizer, Usina E.

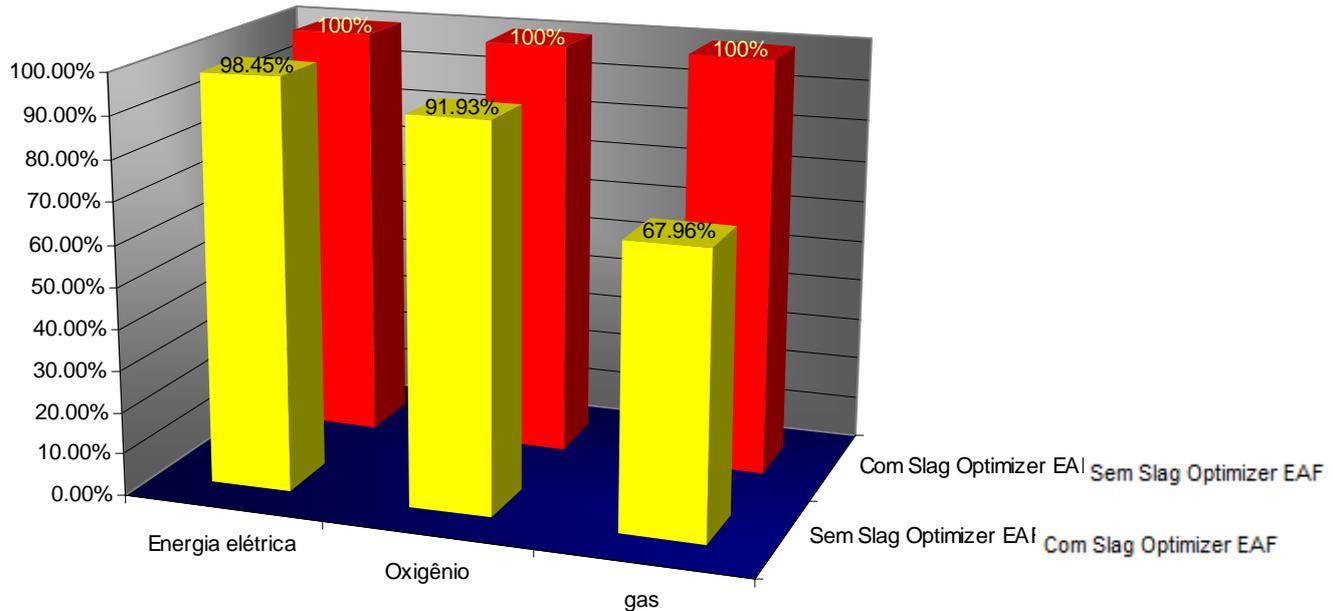
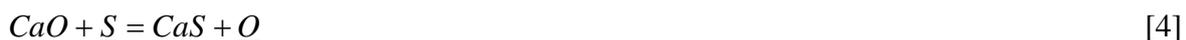


Figura 13 - Comparação de consumo de insumos com e sem Slag Optimizer, Usina F.

Pode-se notar que nos fornos grandes obteve-se uma maior redução na quantidade de oxigênio insuflada no forno quando comparada aos fornos pequenos. Independente do tipo de energia, seja química ou elétrica, houve uma redução do consumo energético total que impacta diretamente nos custos.

5 REFINO SECUNDÁRIO

Uma das principais reações no refino secundário além da desoxidação é a desulfuração que acontece segundo a equação [4].



a relação que governa a extensão desta reação é a constante de equilíbrio, dada pela equação [5]

$$K_{CaO} = \frac{a_O \cdot a_{CaS}}{a_s \cdot a_{CaO}} \quad [5]$$

Como na desfosforação, as atividades dos elementos como enxofre e oxigênio dependerão dos demais elementos presentes no aço e no caso particular do oxigênio neste caso uma menor quantidade é necessária. As atividades do óxido de cálcio e sulfeto de cálcio dependerão da composição da escória. Considerando a atividade do sulfeto de cálcio como unitária, pois este é um precipitado puro, a constante de equilíbrio dependerá somente da atividade do CaO. Como vimos anteriormente, a adição de MgO aumenta a atividade deste o que contribui positivamente para a dessulfuração, deslocando a reação [4] para a direita. Este aumento da atividade do CaO pela adição de MgO é coerente com os resultados experimentais encontrados por Lehmann(2004), que para escórias não saturadas em CaO, a adição de MgO aumenta o grau de dessulfuração, conforme Figura 14. A



relação ou contribuição do MgO para dessulfuração também pode ser verificada em expressões empíricas para capacidade de sulfeto ou partição de fósforo como as obtidas por Gaye et al.⁽⁸⁾

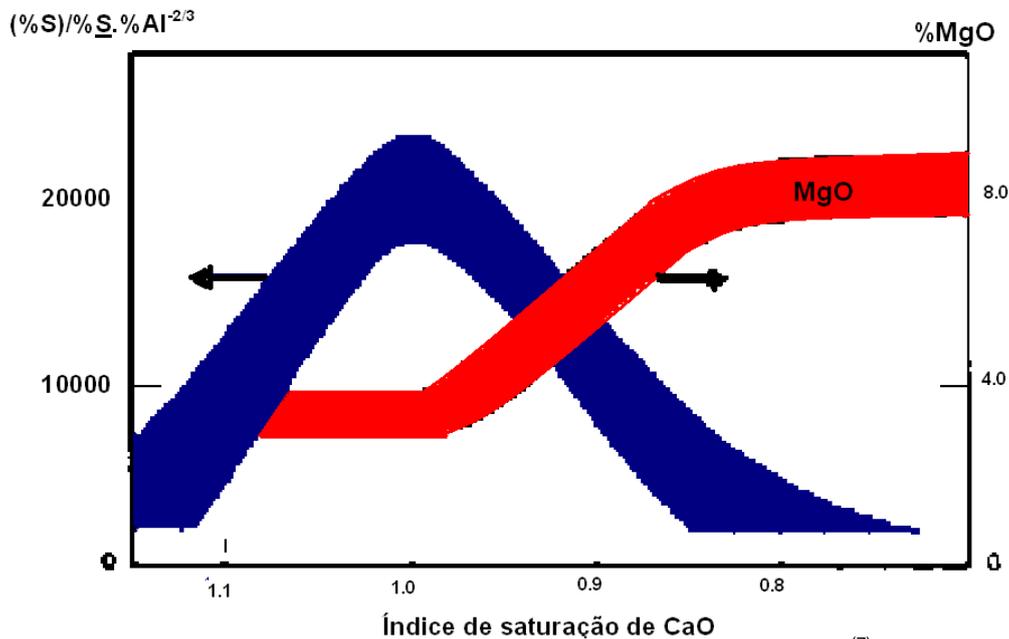


Figura 14- Grau de dessulfuração para escórias com MgO,⁽⁷⁾

A manutenção da viscosidade através de adição de condicionadores de escória a base de MgO, permite a escória reagir com o refratário e durante a redução do nível de metal no lingotamento permite a adesão da mesma na parede do refratário. Esta adesão forma a camada protetora responsável pelo aumento de performance do revestimento. A Figura 15 mostra a foto de um revestimento de panela recoberto com uma camada de escória saturada.

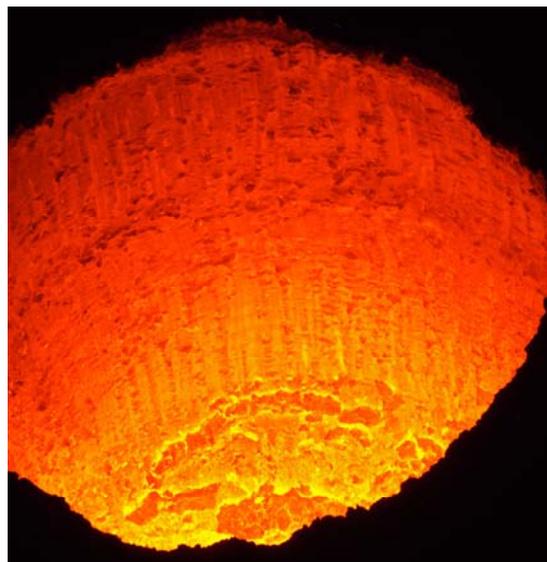


Figura 15 - Revestimento de panela com camada protetora de escória.

O MgO então passa a ser vital para garantir a combinação da camada de escória aderida com o refratário, afim de formar fases estáveis, de alto ponto de fusão e propriedades similares às do refratário. Esta adição de MgO ou produtos ricos neste



óxido deve acontecer o mais cedo possível, pois reduzirá a diluição do MgO, contido no refratário, pela escória durante a etapa de refino. A Figura 16 mostra a relação entre o desgaste do refratário em função da quantidade de MgO na escória e a quantidade de MgO para saturação.

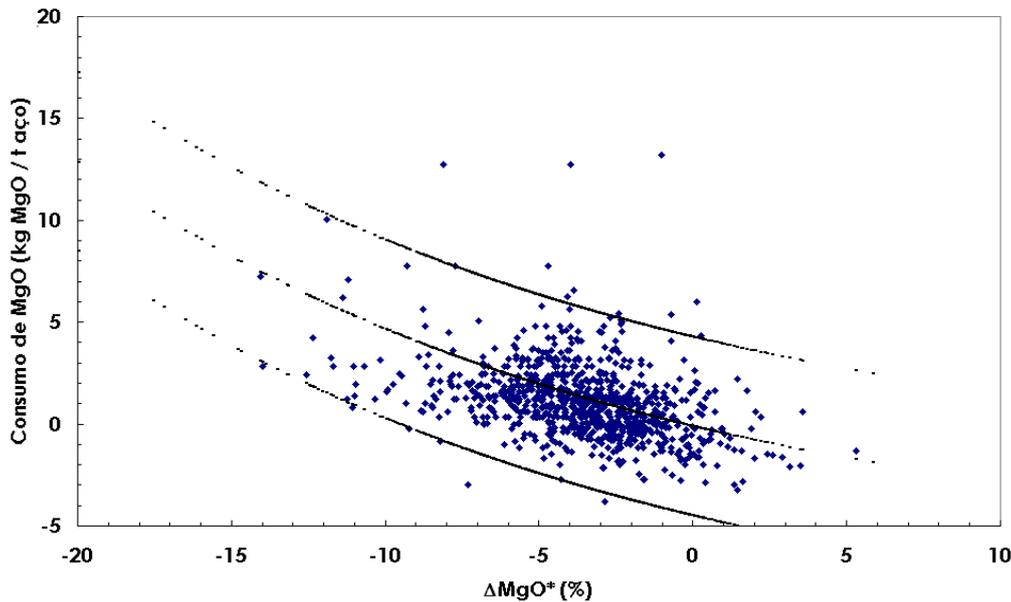


Figura 16 - Relação entre o consumo de refratário e a distancia entre o MgO contido na escória e o MgO de saturação.

6 CONCLUSÃO

A correta adição de MgO nas etapas de produção do aço, mostrou-se benéfica para o processo, permitindo aumentar a campanha dos reatores, bem como a melhoria da qualidade do aço. A adição de MgO aumenta a atividade do CaO e pode reduzir a viscosidade efetiva da escória, dependendo da quantidade de partida deste óxido. A saturação pelo MgO reduz o desgaste do refratário ao longo do processo e possibilita a formação de uma camada protetora. Contudo, a utilização de material de boa qualidade e concentrado é uma etapa imprescindível para o bom resultado final, conferido redução de custo, fundentes e tempo de processo.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos demais colaboradores, que devido à restrição do número de autores e colaboradores, não puderam ter seus nomes citados neste trabalho. Especialmente a Victor Carlos Pandolfelli e Ana Paula Luz da UFSCAR, pelo apoio no desenvolvimento técnico do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 A.P. Luz, T.A. Ávila, P. Bonadia, V.C. Pandolfelli, "Slag foaming: fundamentals, experimental evaluation and application in the steelmaking industry", Refractories World Forum, (2011). No prelo.
- 2 A.P. Luz, T.A. Ávila, P. Bonadia, V.C. Pandolfelli, "Thermodynamic simulations and isothermal solubility diagrams as tools for slag foaming control", American Ceramic Society, (2011). No prelo.



42º Seminário de Aciaria Internacional

42nd Steelmaking Seminar - International

15 a 18 de maio de 2011 / May 15th - 18th, 2011



- 3 Avila T A, Otimizando as Operações, *Metalurgia Materiais & Mineração*, vol 66, set/out 2010, Associação Brasileira de Metalurgia Materiais e Mineração, pag 387-389.
- 4 Avila T A, Freire R, Silva G L, Design of Slags Compatible with Refractories Systems, UNITCR 2009, Salvador 2009.
- 5 Basu S, Lahiri AK, Seetharaman S. Phosphorus partition between liquid steel and CaO-SiO₂-FeO_x-P₂O₅-MgO slag containing 15 to 25 pct FeO, *Metallurgical and Materials Transactions B*, New York, 2007, August; 38B(4); 623-630.
- 6 Basu S, Lahiri AK, Seetharaman S. Phosphorus partition between liquid steel and CaO-SiO₂-P₂O₅-MgO slag containing low FeO, *Metallurgical and Materials Transactions B*, New York, 2007, June; 38B(3); 623-630.
- 7 Bock M, Louis AK, Müller R, Oehler C, Computer supported calculation and evaluation of BOF slag composition, *Millennium Steel*, 2008; 55-59.
- 8 DeO B., Halder J., Snoeijer B., Overbosch A., Boom R., Effect of MgO and Al₂O₃ variations in oxygen Steelmaking (BOF) slag on slag Morphology and Phosphorus distribution, *Ironmaking and Steelmaking*, 2005, vol 32, N°1, pg 54-60.