



# DESENVOLVIMENTO DE ESCÓRIA SINTÉTICA SINTERIZADA PARA PRODUÇÃO DE AÇOS ELÉTRICOS DE GRÃO ORIENTADO (GO)<sup>1</sup>

Adão Adalcio Campos<sup>2</sup>  
Hélcio de Araújo Quintão<sup>3</sup>  
Luiz Fernando Andrade de Castro<sup>4</sup>  
Pedro José Nolasco Sobrinho<sup>5</sup>  
Simão Pedro de Oliveira<sup>6</sup>

## Resumo

O aço elétrico de grão orientado tem como principais características as excelentes propriedades magnéticas, desenvolvidas especialmente para a redução das perdas magnéticas e aumento da eficiência de máquinas elétricas. No processo de fabricação deste aço, a etapa de transformação da carga metálica sólida (sucata) e da carga metálica líquida (gusa), aliada à adição dos elementos de ligas na panela e controle dos elementos químicos indesejáveis, como Al, Ti e P (contaminantes), constitui-se uma das etapas mais importantes deste processo. Neste trabalho é dado foco ao desenvolvimento de uma escória sintética sinterizada para adição via silo na panela durante o processo de produção do aço GO na aciaria, pois a escória é parte essencial na garantia da qualidade do produto final da Aciaria. Para isto foram feitas a avaliação e caracterização das propriedades físico-químicas da escória para comparação entre as condições experimentais utilizadas. O ajuste da composição química da escória, através da combinação entre CaO e óxido de Fe ( $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $2\text{SiO}_2\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), permitiu eliminar a adição de enxofre na escória. Reduziu-se em 100% o risco de sucata por fora de faixa especificada em enxofre, devido à estabilidade alcançada para o enxofre durante a produção do aço GO na Aciaria. Além disto, a adição da nova escória via silo permitiu uma menor perda de temperatura, pois quando a escória é adicionada junto com a liga, passa-se gás na panela uma única vez e não duas vezes como anteriormente. Os teores de alumínio final no aço GO foram reduzidos, ajudando no processo de garantia de qualidade do produto final e o ajuste da composição química da escória, incluindo o controle da basicidade e o teor de MgO, permitiu um menor desgaste do revestimento refratário da panela.

**Palavras-chave:** Escória sintética; Aços elétricos; Sinterização.

## DEVELOPMENT OF SYNTHETIC SLAG SINTERED FOR PRODUCTION ELECTRIC STEEL OF ORIENTED GRAIN (GO)

### Abstract

Oriented grain electrical steel has as its major characteristic excellent magnetic properties, specially developed for reducing core losses and for increasing electrical machine efficiency. During the manufacturing process of this steel, steelmaking is responsible for converting solid (scrap) and liquid (hot metal) metallic charge to steel, with alloys' addition in the ladle, and the control of undesirable elements, such as Al, Ti and P, constituting one of the most important steps in the process. This work focuses on the development of a sintered synthetic slag, added to the ladle by bin during the manufacturing process of OG steel in steelmaking, because the slag is an essential part in ensuring the quality of the final product of the steel mill. For this, the assessment and characterization of the physicochemical properties of the slag has been made, for comparison between the experimental conditions used. The adjustment of the chemical composition of the slag, through the combination of CaO and Fe oxide ( $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), has eliminated the addition of sulfur in the slag. The risk of scraping racing outside of the specified range in sulfur has fallen by 100% due to the stability achieved for sulfur during the production of OG steel in steelmaking. Moreover, the addition of the new slag by bin enables far lower heat loss, because the slag is added together with the alloy, passing gas in the ladle only once, not twice as before. The levels of aluminum in the final OG steel have been reduced, helping in the process of ensuring final product quality and adjusting the chemical composition of slag, including control of basicity and MgO content, allowing for less wear on the refractory lining of the ladle.

**Key words:** Synthetic slag; Electric steel; Sinter.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 41º Seminário de Aciaria – Internacional, 23 a 26 de maio de 2010, Resende, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> M. Sc. Engenheiro de Materiais, Assistente Técnico Aciaria Aços Elétricos – AcellorMittal Inox Brasil.

<sup>3</sup> M. Sc. Engenheiro Metalurgista, Assistente Técnico Aciaria Aços Elétricos – AcellorMittal Inox Brasil.

<sup>4</sup> Prof. Dr. Engenheiro Metalurgista, Departamento de engenharia Metalúrgica da UFMG

<sup>5</sup> Pós Dr., M.Sc. Engenheiro Metalurgista, Centro de Pesquisa da Vamtec SA

<sup>6</sup> M. Sc. Engenheiro Metalurgista, Pesquisador RHI



## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Centro Brasileiro de Infra-Estrutura (CBIE),<sup>(1)</sup> poderá faltar energia elétrica em 2010 e 2011 no Brasil devido à falta de novos projetos para o aumento na produção deste recurso. Segundo a CBIE o Brasil poderá enfrentar uma defasagem de 2% aproximadamente, entre a demanda e a oferta de energia, se a economia do país apresentar taxas de crescimento de 4% a 4,5% ao ano.

Uma alternativa econômica e interessante, para minimizar a falta de energia, é tornar os equipamentos, com funcionamento a base de energia elétrica, mais otimizados com a utilização de aços elétricos de alta eficiência em máquinas elétricas, tal como o aço elétrico de grão orientado (aço GO), que reduz a perda de energia elétrica e por consequência, gera uma economia substancial de recursos em toda cadeia de produção.

Vale lembrar que os “aços elétricos” interessam a dois segmentos econômicos onde o Brasil tem engenharia forte: o siderúrgico e o elétrico. A presença do silício na composição química do aço GO, aliada ao rígido controle de processo em todas as etapas de produção, assegura excelentes propriedades magnéticas, capazes de garantir maior eficiência dos equipamentos elétricos e economia de energia.

Para o aço GO as propriedades magnéticas do produto final são atribuídas à perfeita combinação de todas as etapas dos processos de fabricação. Dentro desta ótica a aciaria é uma das partes essenciais na produção deste aço.

Para garantir as restritas faixas de composição química, aliadas ao baixo índice de contaminação no aço por elementos químicos indesejáveis, como Al, Ti e P, busque-se o menor nível possível de passagem de escória do convertedor para a panela, pois com a adição do silício (aços GO possuem aproximadamente 3% de Si em sua composição química) ocorre a redução destes elementos indesejáveis da escória oriunda do convertedor e incorporação no aço.

Na panela trabalha-se a formação de uma escória capaz de garantir a proteção térmica do aço durante a sua elaboração, além da capacidade de reter as inclusões.

Para garantir a eficiência da escória, são adicionados na panela, após o vazamento do metal do convertedor, fundentes, como cal cálcica, magnésia e escória sintética, sendo que a escória sintética adicionada deve ter 1% de enxofre em sua composição química para diminuir ou evitar sua propriedade dessulfurante, pois o aço GO produzido na ArcelorMittal Inox Brasil tem faixa de enxofre, que deve ser atendida.

Este processo levava aos seguintes problemas durante a produção do aço GO na aciaria:

- perda de tempo no processo (espera da ponte rolante);
- perda de temperatura na panela (necessidade de muita agitação);
- alto índice de corridas sucata por fora de faixa em enxofre; e
- alto residual de alumínio no aço.

Baseado nestes problemas este trabalho visa apresentar:

- o desenvolvimento de uma escória sintética sinterizada para adição via silo na panela durante o processo de fabricação do aço GO na aciaria que permitiu um maior estreitamento das especificações da composição química do aço GO para o carbono, enxofre e alumínio e, conseqüentemente, melhor qualidade do aço;
- uma análise termodinâmica avaliando as condições do processo para a dessulfuração do aço GO utilizando a escória sintética sinterizada;
- uma análise do consumo de ligas Fe-S no forno panela nas duas condições, com a utilização da escória sintética comum e com a escória sintética sinterizada; e



- uma avaliação do comportamento dos elementos Al, C e S no aço GO com utilização da escória sintética sinterizada, comparando-o com a utilização da escória sintética comum.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Escória Sintética Sinterizada

Foi desenvolvida em parceria com a empresa Vamtec S.A. e denominada VAMFLUX RGO-SI. A Tabela 1 apresenta a propriedade química dos quatro tipos de experimentos desenvolvidos.

Tabela 1 - Composição química das escórias sintéticas sinterizadas desenvolvidas e testadas

Experimento	Especificação (%) em massa								
	Faixa	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	C <sub>(fixo)</sub>
A	Mínimo	20	20	0	0		0	0	0
	Máximo	50	50	10	5		10	1	2
B	Mínimo	30	20	10	0	0	0	0	0
	Máximo	50	50	20	3,5	5	10	1	1
C	Mínimo	30	20	0	0	0	0	0	0
	Máximo	65	40	15	2,5	8	12	0,5	1
D	Mínimo	25	10	0	0	0	0	0	0
	Máximo	65	35	25	1,8	10	15	0,2	1

Para o desenvolvimento dos experimentos citados na tabela 1, as matérias-primas foram inicialmente misturadas durante 2 minutos em uma betoneira. Posteriormente, a mistura recebeu água para ajuste da umidade para 2% e então, prosseguiu-se com a homogeneização da mistura por mais 3 minutos. A mistura foi transferida para a sinterização piloto (Figura 1), equipada com quatro termopares distribuídos nas regiões do centro, base, caixa de vento, exaustor, vacuômetros e medidor de vazão dos gases gerados durante a sinterização. Há várias entradas de “ar falso” na tubulação do sistema para permitir o controle da velocidade da frente de reação formada durante a sinterização. A massa anteriormente misturada na betoneira foi colocada dentro do forno e sobre ela foram adicionados cerca de 4 kg de carvão vegetal, com o objetivo de dar ignição à mistura a ser sinterizada. Posteriormente foi ligado o exaustor para promover a passagem de ar pela mistura. Acendeu-se então o carvão vegetal com auxílio de uma queimador a gás e deu-se início ao processo de sinterização que durou cerca de 30 minutos. A temperatura e a pressão interna do sistema foram controladas no intervalo de um em um minuto. O forno foi então basculado a 90° e a massa sinterizada foi depositada sob uma mesa e posteriormente enviada para britagem e peneiramento para granulometria máxima de 70 mm no Centro de Pesquisa da Vamtec. A escória sintética sinterizada foi amostrada, análises químicas e físicas foram realizadas para ajuste da composição da massa a ser sinterizada em escala industrial.



Baseado nas informações geradas na sinterização em escala laboratorial foi então promovida a sinterização em escala industrial na Vamtec. A escória sintética sinterizada foi briquetada e peneirada para atendimento da faixa granulométrica conforme especificação de 70mm máximo, sendo posteriormente colocada em big bags e enviada para a aplicação na ArcelorMittal Inox Brasil (Figuras 2 e 3).



**Figura 1**– Sinterizador piloto do Centro de Pesquisa da Vamtec S.A



**Figura 2** – Escória sintética sinterizada.



**Figura 3** – Bag de escória sintética sinterizada.



## 2.2 Descrição dos Experimentos de Adição da Escória Sintética Sinterizada no Aço

Os experimentos foram realizados na seqüência apresentada na tabela 1, sendo que cada novo experimento foi modificado em função dos resultados alcançados com o experimento anterior. Foram realizados 13 experimentos com a escória sintética sinterizada Vamflux RGO-SI na etapa inicial – experimentos preliminares e 20 experimentos na etapa final – experimentos sistemáticos. Na etapa inicial adicionou-se a escória sintética através de big bag via ponte-rolante e na etapa final a escória foi adicionada via silo.

Cada experimento preliminar ocorreu da seguinte forma:

após vazamento de aproximadamente 80t de aço do convertedor para a panela, adicionou-se a escória sinterizada em bag de 800kg (Figura 4), que permaneceu ali durante 2 minutos até a abertura do gás inerte (Ar) para agitação do banho por um período de 3 minutos. Amostras de escória e de aço foram então retiradas e enviadas para o laboratório da ArcelorMittal Inox Brasil para análise química. Depois foram adicionados os demais materiais, como as ligas de FeSi, FeS, e fundentes à base de CaO e MgO. Em seguida a panela foi enviada para o equipamento VOD.



**Figura 4** – Adição de escória sintética em bag e ponte rolante.

No VOD o banho metálico foi submetido a um vácuo menor que 10mbar por um período mínimo de 5 minutos e feitas as adições complementares de FeSi. Após processo no VOD, foram coletadas as amostras de aço e escória e enviada para análise no laboratório químico, sendo a panela enviada para o Forno Panela.

No Forno Panela foram realizados os ajustes finais na composição química com adições de ligas e temperatura, sendo retirado no final do processo amostras de aço e escória de panela.

Após liberação da panela para o lingotamento contínuo, deu-se por encerrado o experimento.

Cada experimento sistemático ocorreu da seguinte forma:

a escória sintética sinterizada foi colocada em um silo (Figura 5), adicionada junto com a liga de FeSi e fundentes via silo. Neste caso a passagem de gás inerte



(argônio) ocorreu uma única vez após todas as adições, por um período de apenas três minutos. Depois a panela seguiu o fluxo apresentado para os testes preliminares.

Em ambas as situações a panela após adições foi enviada para a o VOD para redução do teor de hidrogênio e em seguida para o forno panela para ajustes da composição química e temperatura e posteriormente enviada para o lingotamento contínuo.

Foram coletadas amostras de aço e de escória em todas as fases dos experimentos para análise química.

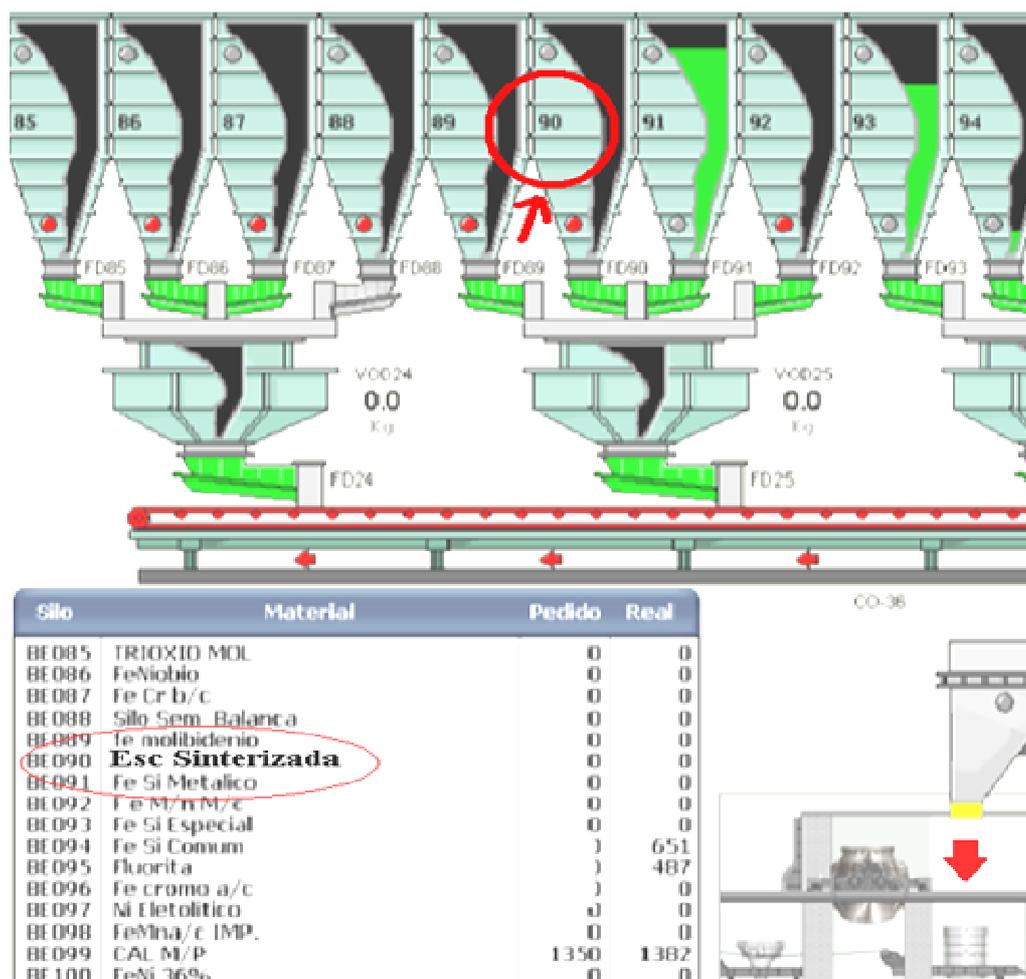


Figura 5 - Adição da escória, ligas e fundentes através do silo.

A Tabela 2 mostra os experimentos realizados e a forma de adição da escória sintética sinterizada na panela.



**Tabela 2** – Formas de adição da escória na panela

Experimentos	Adição via Ponte rolante	Adição via Silo
Experimento A	3 corridas	0
Experimento B	3 corridas	0
Experimento C	5 corridas	0
Experimento D	2 corridas	20 corridas

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise Química dos Contaminantes da Escória Sintética Sinterizada

As análises químicas dos contaminantes da escória desenvolvida nos experimentos A e B, apresentaram um maior teor de carbono e alumina. Já nos experimentos C e D o teor destes elementos foi reduzido, conforme pode ser visto na Tabela 3.

**Tabela 3** - Composição química dos residuais da escória sintética sinterizada

Experimento	C (%)	S (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
A	0,92	0,22	4,86
B	0,88	0,12	3,42
C	0,35	0,11	1,72
D	0,32	0,12	0,59

Durante o desenvolvimento de cada experimento em escala piloto no Centro de Pesquisa da Vamtec SA, as matérias-primas utilizadas para fabricação do sinter foram substituídas por matérias-primas mais nobres, garantido assim um maior estreitamento para o teor da alumina e do carbono presente na escória. Aliado ao ajuste da composição química da matéria-prima, foi trabalhado também o ajuste no processo de sinterização, aumentando a capacidade de fluxo de calor no forno de sinterização, além do ajuste da granulometria final do sinter para no máximo 70mm. Os resultados mostraram que alumina na escória acima de 1,5%, implica na ocorrência de maior teor de Al no aço final. Já o carbono na escória acima de 1% representa um pick-up de carbono no aço acima dos teores especificados.

#### 3.2 Análise Química do Aço GO nos Experimentos Preliminares e Sistemáticos

Para visualização dos resultados, adotaram-se as faixas otimizadas para os elementos carbono, alumínio e enxofre. Observa-se na Figura 6, que o carbono ficou acima do limite superior especificado para o aço GO, quando foi utilizada a escória sintética no experimento A, levando ao sucata desta corrida. A partir do experimento B, quando foi feito o ajuste no processo de produção do sinter para redução do teor de carbono na escória, o carbono encaixou-se na faixa, confirmando o acerto do ajuste da escória com os resultados nos experimentos finais.

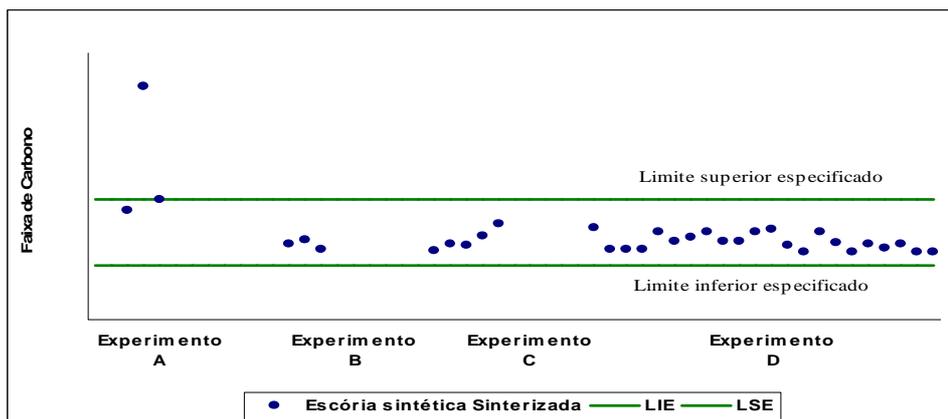


Figura 6 – Teor de carbono final do aço GO.

Para o alumínio, os resultados foram melhorando a partir do ajuste da escória (ver figura 7). Experiências durante a produção do aço GO na ArcelorMittal Inox Brasil na fase forno painel, tem revelado que a redução do teor de Al no aço esta diretamente ligada à redução do teor de  $Al_2O_3$  na escória. Assim, foi ajustado o teor de  $Al_2O_3$  na escória através da substituição das matérias primas, por materias primas mais nobres. O teor de  $Al_2O_3$  da escória foi reduzido para 100% entre 0 e 1,8%, sendo 90% inferior a 1,0%. Quando comparamos os resultados de corridas produzidas com a escória anterior é possível perceber uma melhora no resultado (Figura 8).

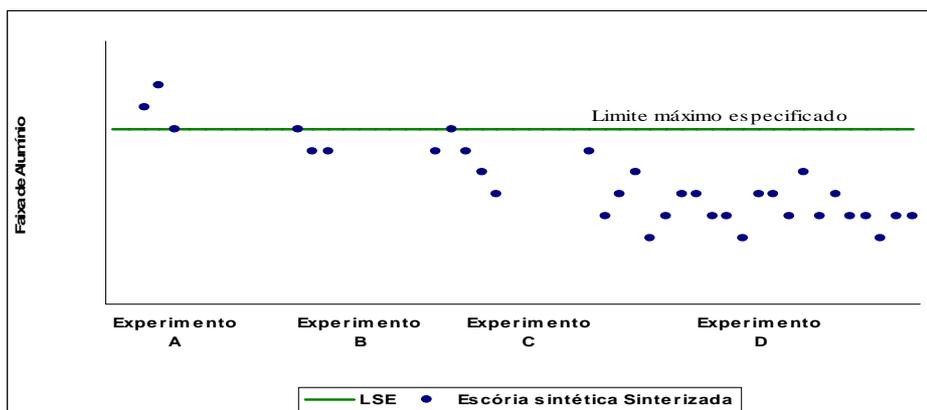


Figura 7 – Teor de alumínio final do aço GO.

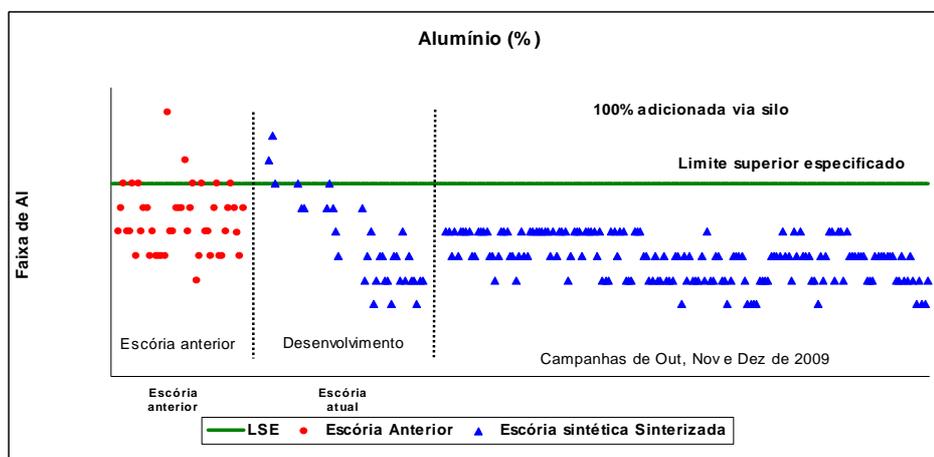


Figura 8 - Comparação entre a escória anterior e a atual.



Para o enxofre, a escória sintética sinterizada, trouxe uma maior estabilidade ao processo e estreitamento da faixa de enxofre. O que pode ser observado nas Figuras 9 e 10.

Quando comparadas as duas escórias sintéticas é possível verificar, a dificuldade encontrada na escória anteriormente utilizada para garantir o atendimento à especificação do teor de enxofre final no aço, o que será explicado mais adiante.

Pode-se verificar na Figura 10, a ocorrência de quatro corridas abaixo da faixa mínima especificada, o que levou ao sucata destas corridas.

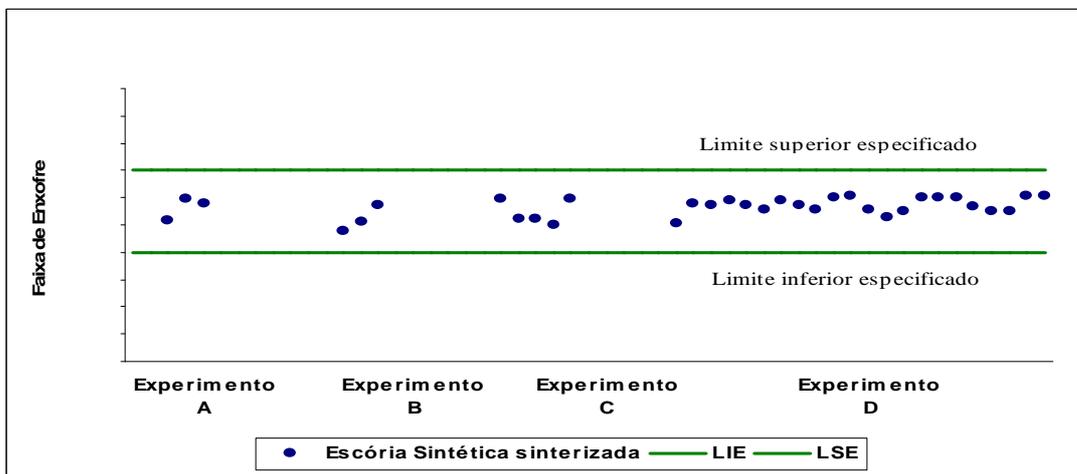


Figura 9 – Teor de enxofre final no aço GO.

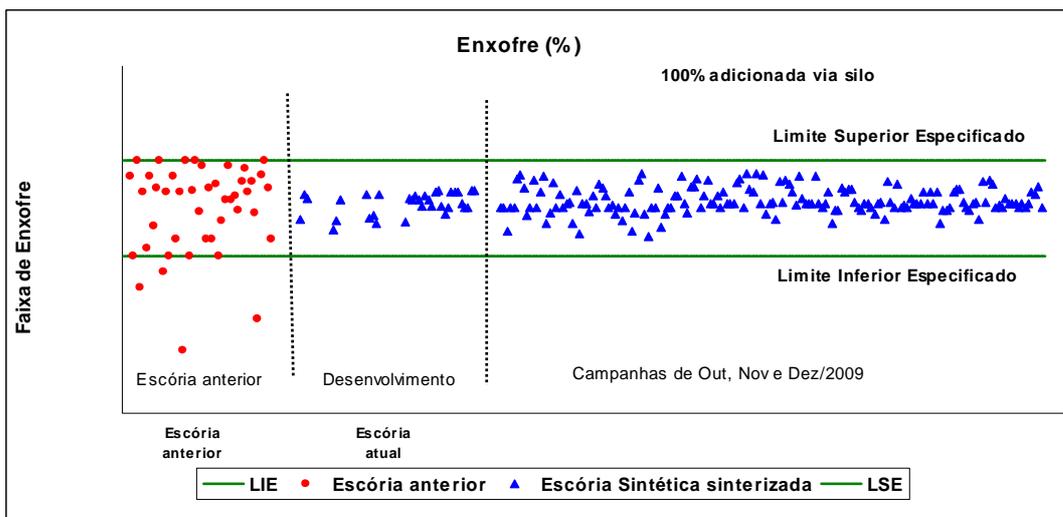


Figura 10 – Teor de enxofre com escória anterior e atual.

Como consequência de um melhor controle da faixa de enxofre, houve uma redução em cerca de 50% do consumo de enxofre usado para ajuste da composição química final do aço no Forno Panela, como pode ser verificado na Figura 11.

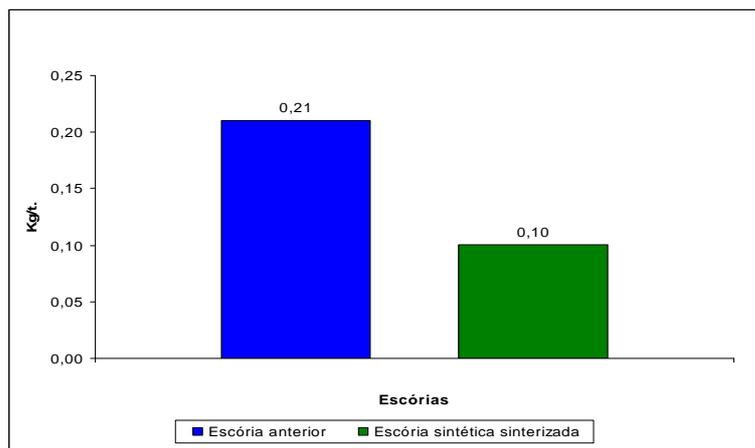


Figura 11 - Consumo de Enxofre no Forno Panela.

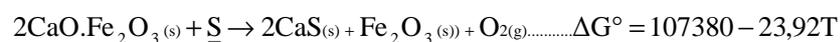
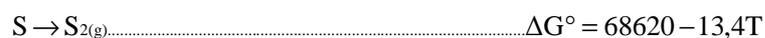
### 3.3. Análise Química Difração-RX da Escória Sintética Sinterizada

Para realização destes cálculos foi primeiramente feito uma análise via difração de raios para conhecimento das fases da nova escória por se tratar de um produto sinterizado. Esta caracterização foi realizada no Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo da Escola Politécnica da USP.

A análise em difração Raios-X, na escória sintética sinterizada, apresentou predominantemente as seguintes formas combinadas para a cal ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  e  $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Baseado nestas informações foi realizado o cálculo termodinâmico para verificação do efeito dessulfurante desta escória, conforme pode ser visto a seguir.

### 3.4 Análise Termodinâmica do Processo Utilizando a Escoria Sintética Sinterizada



$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

$$\Delta G = 107380 - 23,92T + RT \ln \left( \frac{a(\text{CaS})^2 \times a\text{Fe}_2\text{O}_3 \times P_{\text{O}_2}}{h_s \times a(2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)} \right)$$

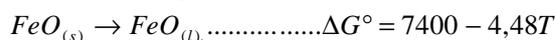
Fonte: Dados termodinâmicos para metalurgistas.<sup>(2)</sup>

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

$$\Delta G = 123480 - 16,50T + RT \ln \left( \frac{a \cdot (\text{CaS})^2 \times a \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \times P_{\text{O}_2}}{hS \times a \cdot (2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)} \right)$$



Cálculo do  $Po_2$  (equilíbrio Fe/FeO)



$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

$$\Delta G = 0 \text{ Equilíbrio, então } \Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K$$

$$0 = \Delta G^\circ + RT \ln \left( \frac{a_{FeO}}{a_{Fe} \times Po_2^{1/2}} \right)$$

onde :

$$a_{FeO} = 0,3 \text{ (Fonte : Slag atlas }^{(3)})$$

$$a_{Fe} = 1$$

$$0 = -58951 + 12,591T + 1,9872 \times 1873 \times \ln \left( \frac{0,3}{1 \times PO_2^{1/2}} \right)$$

$$PO_2 = 4,99 \times 10^{-3} \text{ atm.}$$

Considerando então:

$$a_{CaS} = 1$$

$$a_{Fe_2O_3} = 0,3 \text{ (Fonte : Slag Atlas }^{(4)})$$

$$a(2CaO.Fe_2O_3) = 1$$

$$Po_2 = 4,99 \times 10^{-3} \text{ atm.}$$

$$hS = fS \times \%S$$

$$\log fS = e_s^S \times \%S$$

$$\log fS = -0,014$$

$$fS = 0,96827$$

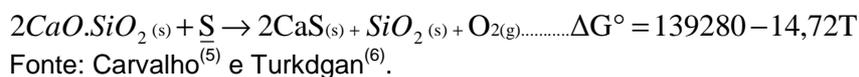
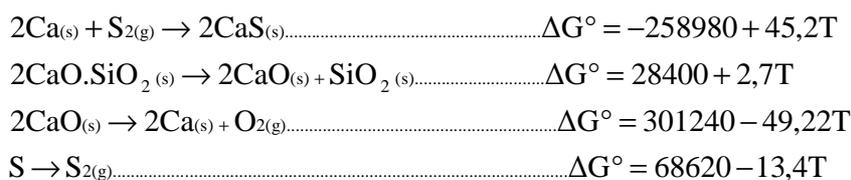
$$hS = fS \times \%S$$

$$hS = 0,048$$

$$\Delta G = 107380 - 23,92 \times 1873 + 1,9872 \times 1873 \times \ln \left( \frac{0,3 \times 4,99 \times 10^{-3}}{0,048} \right)$$

$$\Delta G = 49670,83 \text{ cal/mol.}$$

Como  $\Delta G > 0$ , a reação nas condições acima estabelecidas não ocorre no sentido indicado, determinado assim que não ocorrerá dessulfuração do aço pela escória.



$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

$$\Delta G = 139280 - 13,4 + RT \ln \left( \frac{a(\text{CaS})^2 \times a\text{SiO}_2 \times P_{\text{O}_2}}{h_S \times a(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)} \right)$$

Onde :

$a\text{SiO}_2$  = atividade raoultiana do  $\text{SiO}_2$

$a\text{CaS}$  = atividade raoultiana do  $\text{CaS}$

$a(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$  = atividade raoultiana do  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

$P_{\text{O}_2}$  = Pressão parcial do  $\text{O}_2$  no equilíbrio

$h_S$  = atividade henriana do S

Considerando então:

$$a\text{CaS} = 1$$

$$a\text{SiO}_2 = 0,0011 \text{ (Fonte Dados Termodinamicos)}$$

$$a(2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) = 1$$

$$P_{\text{O}_2} = 4,99 \times 10^{-3}$$

$$h_S = 0,048$$

$$\Delta G = 139280 - 13,4 \times 1873 + 1,9872 \times 1873 \times \ln \left( \frac{0,0011 \times 4,99 \times 10^{-3}}{0,048} \right)$$

$$\Delta G = 80399,91 \text{ cal/mol.}$$

A estabilidade da escória desenvolvida pode ser explicada pelo cálculo termodinâmico da nova reação, onde o  $\Delta G$  positivo indica que a reação não é espontânea no sentido indicado. Como  $\Delta G > 0$ , a reação nas condições acima estabelecidas não ocorre no sentido indicado, determinado assim que não ocorrerá dessulfuração do aço pela escória.

Para a escória anterior, não sinterizada, o componente  $\text{CaO}$  estava quimicamente livre e valor de  $\Delta G$  é negativo, indicando que a dessulfuração do aço era favorecida, o que dificultava o controle do teor de enxofre do aço.

### 3.5 Avaliação do Desgaste do Refratário da Panela Durante os Testes

Como forma de medir o desgaste do tijolo refratário das panelas, foi adotado o cálculo do teor de  $\text{MgO}$  adicionado na panela comparado com os teores de  $\text{MgO}$  na escória retirados no forno panela antes do lingotamento contínuo. Como pode ser



observado na Tabela 4, não houve aumento significativo do teor de MgO na escória de panela, caracterizando assim que a escória não provocou o desgaste da panela.

**Tabela 4** - Resultado análise MgO da escória

Experimento	MgO inicial (%)	MgO Final (%)		
		Médio	Máximo	Mínimo
A	17,5	17,1	17,6	16,7
B	18,0	17,5	17,6	17,3
C	18,8	18,5	19,5	17,7
D	18,8	17,9	19,2	16,2

## 4 CONCLUSÕES

- 1 Os testes experimentais em escala laboratorial realizados no Centro de Pesquisa da VAMTEC SA permitiram ajustar a composição química das matérias- primas e da escória sintética sinterizada e o processo de fabricação do sinter para o desenvolvimento e obtenção de uma escória sintética sinterizada com qualidade que atendesse a aplicação final.
- 2 A combinação química entre o CaO e outros óxidos na escória sintética sinterizada ( $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ ) permitiu eliminar a adição de enxofre na escória sintética, devido à característica não dessulfurante dos novos compostos ( $2CaO.Fe_2O_3$  e  $2CaO.SiO_2$ ) à base de CaO presentes na escória sinterizada.
- 3 Reduziu-se em 100% o risco de sucata de corridas por fora de faixa especificada em enxofre, devido a estabilidade alcançada para o enxofre durante a produção do aço GO na aciaria com a utilização da escória sintética sinterizada.
- 4 Houve uma redução em 50% na necessidade de adição de enxofre no forno panela, demonstrando a ação não dessulfurante da escória e maior facilidade para o controle do teor de enxofre do aço.
- 5 O ensilamento da nova escória trouxe uma maior agilidade no processo, com ganho de aproximadamente 8 minutos por corrida para liberação para o VOD. Não é mais necessário aguardar a ponte rolante com o bag de escória para adicionar na panela, eliminando assim o transporte de bags de escória via caminhão até a área de aciaria e posterior transporte via ponte rolante para adição na panela, tornando o processo mais rápido e seguro.
- 6 A adição da nova escória via silo permitiu uma menor perda de temperatura do banho, pois a escória atualmente é adicionada junto com a liga Fe-Si, passando gás na panela uma única vez durante três minutos e não duas vezes como anteriormente e que totalizava-7 minutos.
- 7 A estabilidade da composição química final do aço e da escória no forno panela, permitiu um maior estabilidade do processo, garantido uma menor necessidade de acertos e por consequência uma redução no tempo de processo no forno panela.
- 8 Os teores de alumínio final no aço GO foram reduzidos em aproximadamente 15%, garantindo mais qualidade ao produto final.
- 9 O ajuste da composição química da escória, incluindo o controle da basicidade e o teor de MgO permitiu um menor desgaste do revestimento refratário da panela.



## Agradecimentos

Os autores agradecem:

- A ArcelorMittal Inox Brasil pelo apoio e confiança;
- A Vamtec SA, parceira neste projeto;
- A UFMG, principalmente ao professor Dr. Luiz Fernando Andrade de Castro pela orientação e conhecimento transmitido, o qual permitiu atingirmos nossos objetivos.

## REFERÊNCIAS

- 1 CBIE, A demanda de energia elétrica no Brasil, <<http://www.cbie.com.br>>2009 (acessado em março de 2009).
- 2 CARVALHO, J. L R, et al. Dados Termodinâmicos para Metalurgias, Departamento de engenharia Metalúrgica da UFMG, Fevereiro de 1977, Belo Horizonte, MG.
- 3 SLAG ATLAS, Verlag Stahleisen GMBH, Dusseldorf, fevereiro 1981 pág. 5,139.
- 4 SLAG ATLAS, Verlag Stahleisen GMBH, Slag Atlas, Dusseldorf Setembro 1995 ,Segunda Edição (Reprint Without change - 2008), pág 127.
- 5 TURKDOGAN, E.T. Physical Chemistry of High Temperature Technology. University Academic Press cap.1, Fundamental- tab 1.2 1980.
- 6 CASTRO, Luiz Fernando Andrade de; SAMPAIO, Ronaldo Santos; TAVARES, Roberto Parreiras. Termodinâmica metalúrgica. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 1985.