

# MATÉRIAS-PRIMAS ALTERNATIVAS PARA A INCORPORAÇÃO DE ALUMINA EM ESCÓRIAS SINTÉTICAS: UMA REVISÃO<sup>1</sup>

*José de Anchieta Rodrigues<sup>2</sup>*

*Paschoal Bonadía Neto<sup>3</sup>*

*Jorge Borges Gallo<sup>4</sup>*

## Resumo

Tanto a indústria do aço quanto do alumínio vivem um período bastante otimista, com significativos investimentos em modernização e ampliação da capacidade produtiva previstos para os próximos anos. O setor siderúrgico é um importante consumidor de matérias-primas derivadas do processo de fabricação do alumínio, tais como a alumina ( $Al_2O_3$ ), tipicamente utilizada na fabricação de materiais refratários e de insumos para o tratamento do aço. Com o objetivo de propor alternativas para a indústria siderúrgica, este trabalho lista, de forma sistêmica, diversas fontes de  $Al_2O_3$  com potencial para serem utilizadas na fabricação de escórias sintéticas para a obtenção de aços com exigentes requisitos de especificação. A partir de uma revisão bibliográfica, são apresentados diagramas de equilíbrio de fases de sistemas envolvendo alumina, cálcia e sílica, assim como alguns mecanismos que controlam a dessulfuração, a absorção de partículas não-metálicas e a viscosidade, entre outras propriedades. Com base nos fundamentos apresentados, traçou-se uma análise preliminar das vantagens e desvantagens de cada uma das matérias-primas listadas.

**Palavras-chave:** escória sintética, alumina, pó de alumínio, borra de alumínio.

---

<sup>1</sup> XXXVI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, 16 a 18 de maio de 2005, Vitória-ES.

<sup>2</sup> Sócio da ABM, Dr. rer. nat., Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, Grupo de Engenharia de Microestrutura de Materiais, josear@power.ufscar.br

<sup>3</sup> Sócio da ABM, Mestre-Engenheiro de Materiais, Alcoa Alumínio S. A., Poços de Caldas-MG, Paschoal.Bonadia@alcoa.com.br

<sup>4</sup> Doutor-Químico, Alcoa Alumínio S. A., Poços de Caldas-MG, Jorge.Gallo@alcoa.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

A siderurgia brasileira atravessa um momento muito promissor em sua história, com previsão de investimentos de US\$ 7,4 bilhões até 2008 a fim de elevar a sua capacidade produtiva dos atuais 34 para 44 milhões de toneladas de aço por ano.<sup>(1)</sup> Da mesma forma, a indústria do alumínio primário produziu 1,46 milhão de toneladas no Brasil em 2004, estabelecendo um novo recorde para o setor.<sup>(2)</sup>

Além da competição natural entre o aço e o alumínio por mercados como o automotivo e o de embalagem, existe também uma relação de dependência entre essas indústrias no campo de matérias-primas e insumos. A indústria do aço consome significativos volumes de alumínio metálico e de alumina, seja na composição de escórias e produtos para o tratamento do metal líquido, seja nos refratários utilizados em seus processos produtivos.

A escória é um produto natural do processo de fabricação de um metal pelo método da fusão, conseqüente da concentração de impurezas não-metálicas e da oxidação desse metal e de elementos de liga nele contidos. Contudo, uma escória pode também ser planejadamente fabricada a partir de um conjunto de matérias-primas para cumprir uma função específica em alguma etapa do processo.<sup>(3)</sup> No caso do ferro gusa e do aço, a sua co-existência sobre do metal líquido é fundamental para a obtenção de um produto com baixo nível de impurezas e alta limpidez.<sup>(4,5)</sup>

O óxido de alumínio (ou alumina) é um componente importante em vários tipos de escórias, desde aquelas utilizadas no tratamento do gusa, passando pelo refino do aço, até o lingotamento contínuo. Embora haja uma preocupação positiva com o emprego de resíduos na fabricação de escórias sintéticas, tal como em Nolasco Sobrinho, Lima, Vieira e Assis<sup>(6)</sup> e Gabrich, Muñoz, Lima, Vieira e Assis,<sup>(7)</sup> a literatura é precária em trabalhos que listem, de forma sistemática, as fontes de alumina comercialmente disponíveis para essa aplicação. Este artigo apresenta, portanto, diferentes opções de matérias-primas ricas em alumina e fornece algumas ferramentas fundamentais para o projeto de escórias sintéticas a partir desses materiais.

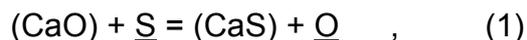
## 2. ESCÓRIAS DO PROCESSO SIDERÚRGICO

### 2.1. ESCÓRIA DE ALTO FORNO

Em alto-fornos a alumina é usada como um aditivo para o ajuste da basicidade e das propriedades das escórias, também compostas por cálcia, sílica e magnésia. Papanastassiou, Nicolau e Send,<sup>(8)</sup> mostraram que a adição de alumina (até um limite de 12 a 13%), em substituição parcial à sílica, reduz o teor de silício do gusa, aumenta a eficiência de dessulfuração e reduz a viscosidade da escória, melhorando a qualidade do metal.

### 2.2. ESCÓRIA PARA DESSULFURAÇÃO DE GUSA

Com raras exceções, o enxofre é considerado um elemento indesejado no aço, já que prejudica suas propriedades mecânicas. O enxofre pode ser removido do aço líquido com o uso de escórias fluídas altamente básicas ricas em óxido de cálcio.<sup>(9,10)</sup> A dessulfuração através de escórias ricas em CaO pode ser expressa pela equação:



onde os compostos entre parênteses estão contidos na escória e os grifados no metal. A partir da Equação 1 torna-se claro que a remoção de enxofre é favorecida por escórias com altos teores de óxido de cálcio e aços com baixa concentração de oxigênio. O ferro gusa reúne condições bastante favoráveis à dessulfuração, já que apresenta baixo potencial de oxigênio e concentrações relativamente elevadas de carbono e silício, elementos que aumentam significativamente o coeficiente de atividade do enxofre no metal e favorecem a formação de uma maior quantidade de sulfeto de cálcio.<sup>(10)</sup>

Aditivos metálicos como o alumínio atuam como desoxidantes do metal e da escória, reduzindo o potencial de oxigênio do sistema e favorecendo a reação entre o óxido de cálcio da escória e o enxofre do metal, conforme descrito pela equação a seguir:<sup>(11)</sup>



onde os compostos grifados estão contidos no metal e aqueles entre parênteses estão na escória.

### 2.3. ESCÓRIA DE CONVERSOR (CONVERTEDOR)

Escórias de conversores são compostas por uma mistura de óxidos (de ferro e de outros metais oxidados), os quais são gerados pela injeção de oxigênio no vaso. O fósforo é removido do aço e fixado nessa escória através da adição de CaO e, quando ajustes de viscosidade são necessários, adicionam-se pequenas quantidades de CaF<sub>2</sub>.<sup>(12)</sup> A incorporação de MgO ao sistema é realizada com o objetivo de proteger o revestimento refratário, tipicamente constituído por tijolos magnesianos. Como se nota, a alumina não é um componente relevante em escórias de conversores.

### 2.4. ESCÓRIA PARA REFINO SECUNDÁRIO DE AÇO

Após a conversão do gusa em aço, o metal líquido passa por uma ou mais estações secundárias de refino onde são realizados ajustes da composição química, homogeneização da temperatura, desgaseificação e remoção de inclusões,<sup>(12)</sup> antes de seguir para a estação de lingotamento contínuo. Com a crescente demanda por aços limpos, com baixos níveis de inclusões e impurezas, o refino secundário tornou-se uma etapa extremamente importante nas indústrias siderúrgicas. Para se produzir aços dentro das especificações que o mercado exige, o uso de condicionadores de escória ou mesmo escórias sintéticas com características adequadas a cada tipo de processo tornou-se fundamental.

Alguns processos como a descarburagem e a desfosforagem exigem altas concentrações de oxigênio, quer seja através da injeção de O<sub>2</sub>, quer pela utilização de escórias ricas em FeO. Conseqüentemente, os conversores são os equipamentos mais adequados a essas tarefas.

Por outro lado, escórias com baixos níveis de oxigênio são essenciais para a desoxidação e dessulfuração do aço. Nesse caso, evita-se ao máximo que a escória do conversor, rica em óxidos pouco estáveis como o FeO, seja arrastada para a

panela de tratamento de aço. A desoxidação é efetuada através da adição de elementos metálicos que apresentam elevada afinidade com o oxigênio, tais como Al, Si, Mn e suas ligas. Uma vez oxidados, tais elementos precisam ser incorporados à escória, a qual, por sua vez, deve ter baixas concentrações de MnO, FeO e SiO<sub>2</sub> a fim de favorecer o processo de absorção e dissolução das inclusões formadas.

Como já discutido na seção 2.2, a dessulfuração é uma operação que ocorre preferencialmente no ferro gusa, onde, em comparação com o aço, as altas concentrações de carbono e silício conferem uma atividade até 10 vezes maior para o enxofre,<sup>(11)</sup> facilitando a sua reação com o CaO para formação de CaS. Contudo, alguns aços necessitam ter o seu teor de S reduzido a níveis extremamente baixos, forçando os aciaristas a realizarem uma dessulfuração adicional durante o refino secundário através de escórias saturadas em CaO e com adições de alumínio metálico como desoxidante.

## 2.5. ESCÓRIA PARA LINGOTAMENTO CONTÍNUO

Após o refino secundário, o aço líquido precisa ser solidificado nos formatos mais adequados para as etapas posteriores de conformação. O processo mais utilizado atualmente é o lingotamento contínuo, onde o aço é vazado da panela em um vaso intermediário chamado distribuidor (ou tundish), o qual alimenta um molde.

O distribuidor funciona como uma espécie de pulmão, possibilitando a troca da panela sem que haja interrupção da operação de lingotamento. A fim de tornar o processo mais eficiente, uma escória, também conhecida como pó de cobertura, é adicionada ao vaso com o objetivo de isolar termicamente o metal líquido, absorver inclusões e, entre outras coisas, evitar a reoxidação do aço.

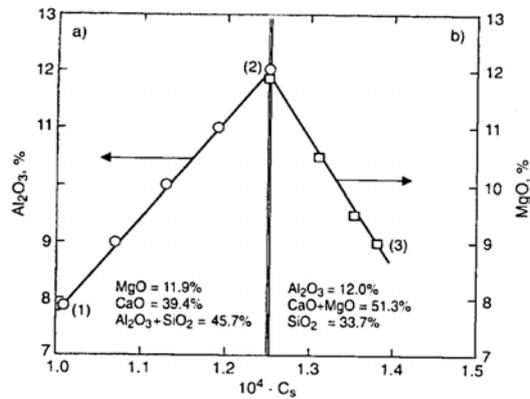
A qualidade do aço produzido por lingotamento contínuo é muito dependente dos pós fluxantes, os quais também podem ser definidos como escórias sintéticas, que são adicionados ao molde com os objetivos principais de minimizar o atrito metal/molde e proporcionar a transferência de calor adequada para a solidificação do aço. De acordo com Mills,<sup>(13)</sup> os pós fluxantes são materiais complexos, constituídos por diversos componentes, entre eles a alumina em teores que podem chegar até 13%.

## 3. FERRAMENTAS PARA O PROJETO DE ESCÓRIAS SINTÉTICAS

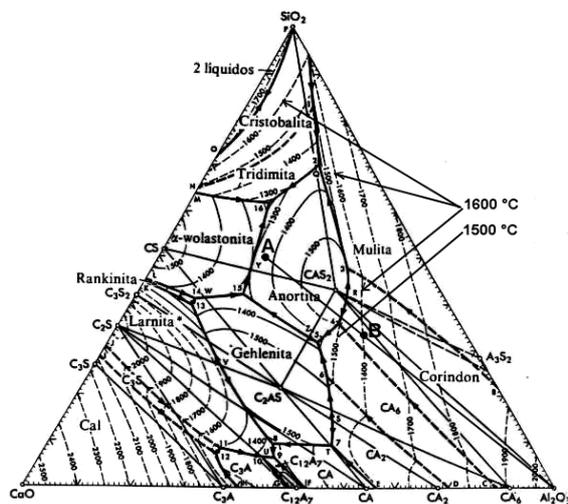
Os materiais não-metálicos mais utilizados para a composição de escórias sintéticas são: CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> e MgO.<sup>(3)</sup> Combinações variadas desses componentes geram escórias com diferentes propriedades, cada qual adequada para um tipo específico de aço.

A Figura 1 mostra o efeito do teor de alumina e de magnésia sobre a capacidade de sulfeto (capacidade de reter enxofre), C<sub>S</sub>, de uma escória típica de alto-forno.<sup>(8)</sup> O lado direito da figura mostra que a substituição de CaO por MgO, mantendo-se constante a basicidade, reduz o valor de C<sub>S</sub>. Já o aumento do teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em detrimento de SiO<sub>2</sub> (lado esquerdo da figura), provoca o efeito contrário, favorecendo a dessulfuração do gusa.

O diagrama de fases do sistema CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é mostrado na Figura 2,<sup>(14)</sup> com destaque para as regiões de fase líquida para as temperaturas de 1500 e 1600°C. Normalmente, as escórias sintéticas são projetadas de modo a se enquadrarem em uma dessas áreas a fim de garantir que estarão totalmente líquidas nas temperaturas dos processos siderúrgicos.



**Figura 1.** Influência da concentração de alumina e de magnésia sobre a capacidade de sulfeto,  $C_s$ , de uma escória de alto-forno. <sup>(8)</sup>

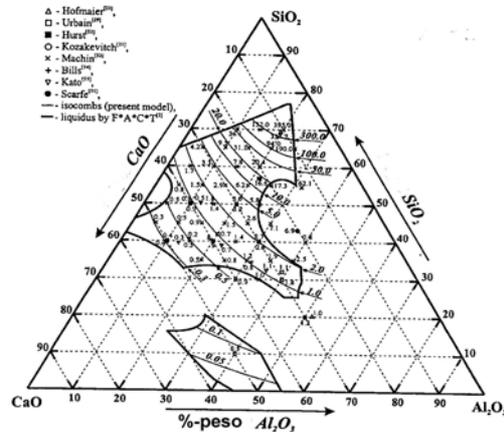


**Figura 2.** Diagrama de equilíbrio de fases do sistema  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Destacam-se as isoterma de 1500 e 1600 °C. <sup>(14)</sup>

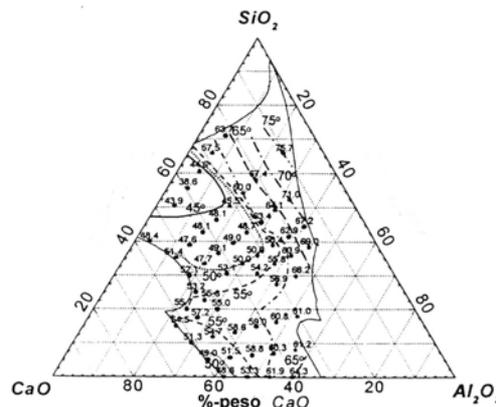
A cinética de incorporação de inclusões não-metálicas é dependente de uma série de fatores, entre eles, a viscosidade, o limite de saturação e a molhabilidade da partícula pela escória. Quanto menor a viscosidade, maior a eficiência da escória sintética na absorção das partículas não-metálicas, entretanto, maior também a velocidade de dissolução dos refratários que estão em contato com a mesma. A Figura 3 mostra que, dependendo da concentração, a sílica pode elevar em até três ordens de grandeza a viscosidade do sistema  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  a 1500 °C. <sup>(15)</sup>

Segundo Valdez, Propakorn, Cramb e Sridhar, <sup>(5)</sup> a força motriz para a dissolução de uma partícula não-metálica na escória é a diferença entre a concentração da espécie que se dissolve e a sua concentração de saturação ( $\Delta C$ ). A Figura 2 mostra o exemplo de uma escória localizada no ponto A, cujo  $\Delta C$  para o caso de uma inclusão de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é dado pela diferença de concentração de alumina entre os pontos A e B (limite de saturação de alumina no líquido a 1600°C, definido pela linha A- $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Porém, a viscosidade da escória,  $\eta$ , também determina a taxa de dissolução da partícula, já que a mobilidade das espécies depende da viscosidade do líquido. Portanto, o tempo de dissolução deve diminuir conforme a razão  $\Delta C/\eta$  aumenta.

Além das variáveis já discutidas (viscosidade e concentração), a molhabilidade da inclusão pela escória também determina a eficiência com que as partículas são absorvidas. A Figura 4 ilustra os ângulos de contato entre escórias de  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  e partículas de alumina, de forma que quanto menor o ângulo, maior o molhamento, e mais rápida a absorção das inclusões.<sup>(16)</sup>



**Figura 3.** Região da fase líquida do sistema  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  a  $1500\text{ }^\circ\text{C}$ , com curvas de isoviscosidade (valores apontados com flechas, Pa.s).<sup>(15)</sup>



**Figura 4.** Ângulos de contato entre escória do sistema  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  e partícula de alumina a  $1600\text{ }^\circ\text{C}$ .<sup>(16)</sup>

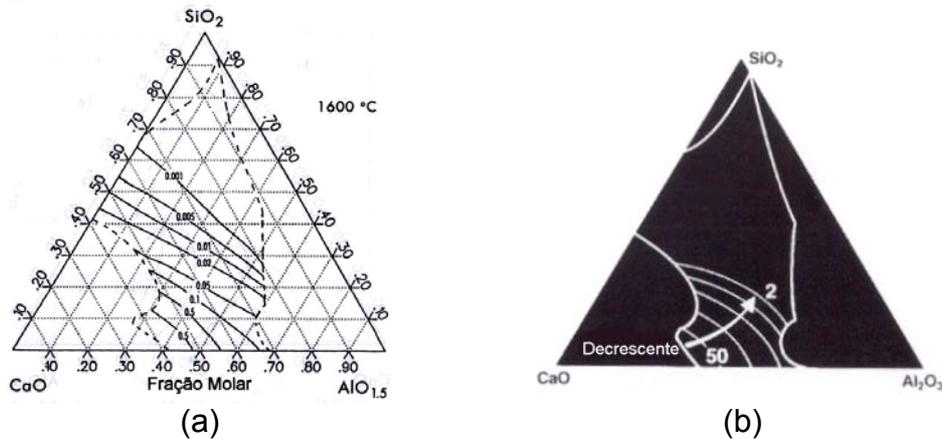
Como descrito na seção 2.2, a dessulfuração do aço é favorecida por escórias desoxidadas com altas atividades de óxido de cálcio. Observa-se, na Figura 5, que a atividade de  $\text{CaO}$  e a capacidade de sulfeto a  $1600\text{ }^\circ\text{C}$  são drasticamente reduzidas pela presença de  $\text{SiO}_2$ .<sup>(17,18)</sup> Argumenta-se que a sílica, ao se combinar com o óxido de cálcio, formando silicatos de cálcio, o impede de reagir com o enxofre para formar sulfeto de cálcio. Dessa forma, o uso de fontes de alumina com baixos teores de sílica são as mais recomendadas para escórias dessulfurantes.

#### 4. FONTES DE ALUMINA E ALUMÍNIO

Diversas são as fontes de alumina para uso em siderurgia disponíveis no mercado, desde materiais brutos como a bauxita até aluminas sintéticas de alta pureza.

Bauxitas (calcinadas ou sinterizadas) e chamotes aluminosos são duas das fontes mais utilizadas por apresentarem teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  da ordem de 70 a 80% a um

custo relativamente baixo. Por outro lado, tais materiais também contêm compostos pouco interessantes para o refino do aço, tais como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{SiO}_2$ , os quais podem reduzir a eficiência das escórias.<sup>(18)</sup> Portanto, torna-se importante uma análise da relação custo-benefício para cada caso, pois aços mais nobres podem requerer matérias-primas igualmente mais puras.



**Figura 5.** (a) Atividade de CaO (17) e (b) capacidade de sulfeto relativa (18) para escórias do sistema  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  a 1600 °C.

Certas situações demandam fontes de alumina com elevado grau de pureza e granulometria grosseira, por exemplo, com diâmetro médio de partícula entre 1 e 3 mm. Nesses casos, pode-se empregar a alumina eletrofundida branca (>99%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ou marrom (>95%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), além da alumina sinterizada (não fabricada no Brasil), também conhecida como tabular (>99%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Tais produtos costumam apresentar custo elevado, pois são obtidos a partir de processos dispendiosos como a fusão (alumina eletrofundida branca) ou a sinterização (alumina tabular) de aluminas calcinadas altamente puras ou mesmo a fusão da bauxita, no caso da alumina eletrofundida marrom.

Alternativas interessantes para os produtores de escórias sintéticas ou os siderurgistas são as aluminas calcinadas apresentadas na Tabela 1 e descritas a seguir:

- **A-2:** alumina calcinada a altas temperaturas e de baixa reatividade (baixa área superficial), com grau de pureza bastante elevado e diâmetro médio de partícula em torno de  $95\mu\text{m}$  (disponível também na versão moída com diâmetro de  $3\mu\text{m}$ );
- **A-1:** alumina calcinada a temperaturas intermediárias e de alta reatividade (alta área superficial), com alto grau de pureza e diâmetro médio de partícula próximo de  $95\mu\text{m}$ ;
- **A-50:** alumina de baixo grau de calcinação (contém uma fração de hidróxido de alumínio), com pureza superior a 99% após queima a  $1000^\circ\text{C}$ , e diâmetro médio de partícula em torno de  $10\mu\text{m}$ ;
- **A-85:** alumina calcinada (de alta reatividade) coletada a partir de cubas eletrolíticas para produção de alumínio, contendo pequenas quantidades de elementos como sódio, carbono e flúor. Esse carbono pode ser útil como elemento redutor de escória, quando for o caso.<sup>(6)</sup>

Além das fontes de alumina, a Tabela 1 mostra dois tipos muito interessantes de pó de alumínio (101 e 1221-C) que podem ser utilizados como desoxidantes em agentes dessulfurantes e escórias sintéticas, ou como gerador de calor em escórias exotérmicas.<sup>(19)</sup> Pelo fato de serem extremamente puros (99,8% de alumínio) e

apresentarem elevada área superficial (granulometria fina), reagem facilmente com o oxigênio e se constituem numa alternativa à tradicional borra de alumínio, que também é uma matéria-prima interessante como fonte simultânea de alumina e alumínio. A única diferença entre os dois pós de alumínio é a granulometria (Tabela 1), entretanto, o pó 101 pode também ser recoberto com óleo mineral (aproximadamente 0,2%-peso de óleo) de modo a minimizar drasticamente os riscos de explosão associados ao manuseio de pós metálicos.

As alternativas dos pós de alumínio e borra de alumínio como fontes de alumínio se restringem às escórias do tipo mistura ou briquetada.

**Tabela 1.** Algumas aluminas, pós de alumínio e borra de alumínio comercialmente disponíveis para uso em escórias sintéticas.

Característica	A-2	A-1	A-50	A-85	Pó Al <sup>o</sup> 101	Pó Al <sup>o</sup> 1221-C	Bor. Alum.
Al <sup>o</sup> (%)	---	---	---	---	99,8	99,8	33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	99,0	98,5	88,6	85,7	---	---	67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> após calcin. (%)	99,2	99,5	99,3	95,3	---	---	---
SiO <sub>2</sub> (%)	0,02	0,02	0,06	1,4	---	---	---
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,03	0,03	0,03	0,7	---	---	---
Na <sub>2</sub> O (%)	0,50	0,50	0,51	3,4	---	---	---
MnO (ppm)	29	27	20	0,2	---	---	---
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	<10	<10	<10	---	---	---	---
S (%)	0,02	0,034	0,37	0,2	---	---	---
C total (%)	0,008	0,04	0,24	6,5	---	---	---
F <sup>-</sup> (%)	0,002	0,03	0,12	0,6	---	---	---
Umidade a 300°C (%)	0,1	0,5	6,2	2,6	---	---	---
Perd. Fogo 300 - 1000°C (%)	0,1	0,5	4,5	7,0	---	---	---
Ár. Sup. (m <sup>2</sup> /g)	1,3	60	55	48	---	---	---
+ #40 (%)	---	---	---	---	---	12	---
+ #100 (%)	5	5	---	7	---	46	---
+ #200 (%)	60	70	---	59	4	68	---
+ #325 (%)	90	95	0,4	85	16	82	---

## 5. CONCLUSÕES

- As perspectivas para a indústria de escórias sintéticas e insumos correlatos são positivas para os próximos anos no Brasil.

- São muitas as ferramentas teóricas disponíveis para o projeto (design) de escórias sintéticas específicas para o setor siderúrgico.

- A indústria do alumínio é uma participante ativa na cadeia produtiva do aço pela produção de insumos importantes para a fabricação de revestimentos refratários e escórias sintéticas. Os principais produtos e co-produtos de interesse são: alumina, alumina com carbono, alumínio em pó e borra de alumínio (alumínio + alumina).

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Processo nº 304980/2003-0) e à Alcoa Alumínio S. A. (Projeto de extensão nº 798-03, UFSCar-Alcoa) pelo apoio dado a este trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 NETTO, A. B. Retrato da Siderurgia. **Metalurgia e Materiais**, v. 60, n. 549, p. 602-606, 2004.
- 2 Associação Brasileira do Alumínio. Disponível em: <<http://www.abal.org.br>> Acesso em 25/01/2005.
- 3 RIBEIRO, D.M. **Escórias sintéticas para tratamento de aços líquidos**. BR n. PI 9302861-0 A, 23 jun. 1993, 17 jan. 1995.
- 4 COSTA, S. L. S.; CAMPOS, E. B. Controle de inclusões de óxidos no lingotamento de placas na Usiminas. In: CONFERÊNCIA SOBRE DESSULFURAÇÃO E CONTROLE DE INCLUSÕES EM AÇOS, 1997, Volta Redonda. **Anais...** São Paulo: ABM, 1997. p. 329-337.
- 5 VALDEZ, M.; PROPAKORN, K.; CRAMB, A. W.; SRIDHAR, S. Dissolution of alumina particles in CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-MgO slags. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 29, n. 1, p. 47-52, 2002.
- 6 NOLASCO SOBRINHO, P. J.; LIMA, J. A.; VIEIRA, C. B.; ASSIS, P. S., Fundamentos para fabricação de escória sintética utilizada no tratamento de aço no forno panela. In: SEMINÁRIO DE FUSÃO, REFINO E SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS, 31., 2000, Vitória. **Anais...** São Paulo: ABM, 2000. p.491-502
- 7 GABRICH, S. A.; MUÑOZ, R. D.; LIMA, J. A.; VIEIRA, C. B.; ASSIS, P. S. Alguns fundamentos para fabricação de escória sintética na siderurgia usando resíduos. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO E MATÉRIAS-PRIMAS SIDERÚRGICAS, 31., 2000, Santos. **Anais...** São Paulo: ABM, 2000. p.10.
- 8 PAPANASTASSIOU, D.; NICOLAU, P.; SEND, A. The effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and MgO contents on the properties of the blast furnace slag. **Stahl und Eisen**, v. 120, n. 7, p. 59-64, 2000.
- 9 QUIGLEY, J.R. **Premelted synthetic slag for ladle desulfurizing molten steel**. U. S. Patent 4,795,491, 3 Jan. 1989.
- 10 WILSON, W.G., MCLEAN, A. Fundamental Considerations; Dessulfurization of Iron; Dessulfurization of Steel. In: \_\_\_\_\_. **Dessulfurization of iron and steel and sulfide shape control**. Warrendale: The Iron and Steel Society of AIME, 1980. p. 3-27.
- 11 BANNENBERG, N.; BERGMANN, B.; GAYE, H. Combined decrease of sulphur, nitrogen, hydrogen and total oxygen in only one secondary steelmaking operation. **Steel Research**, v. 63, n. 10, p. 431-437, 1992.
- 12 ROSETTI, J. P. V.; BENEDUCE NETO, F.; ALBERTINI, E. **Identificação de oportunidades para a utilização de produtos e co-produtos da Alcoa no parque siderúrgico nacional**. IPT: São Paulo, 2003. (Parecer técnico nº 8.448/03, 28/11/2003).
- 13 Mills, K. Fluxantes para Lingotamento contínuo. In: FLUXANTES PARA LINGOTAMENTO CONTÍNUO, 2003, Itatiaia. **Anais...** Resende: Carbox, 2003, p. 1-20.
- 14 VAN VLACK, L.H. **Propriedades dos materiais cerâmicos**. São Paulo: Edgar Blücher, 1973.
- 15 KONDRATIEV, A.; JAK, E. Review of experimental data and modeling of the viscosities of fully liquid slags in the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - CaO - "FeO" - SiO<sub>2</sub> system. **Metallurgical and Materials Transactions-B**, v. 32B, p. 1015-1025, Dec. 2001.
- 16 CHOI, J.-Y.; LEE, H.-G. Wetting of solid Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with molten CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>. **ISIJ International**, v. 43, n. 9, p. 1348-1355, 2003.
- 17 SLAG ATLAS. **Verein Deutsch Eisenhüttenleute**. Düsseldorf: Verlag Stahleisen GmbH, 1995.

- 18 FAULRING, G.M. Effect of calcium and calcium aluminate slags in secondary steelmaking. In: ELECTRIC FURNACE CONFERENCE, 46., 1988, Niagara Falls. Niagara Falls: Elkem Met. Co., 1989. p. 89-96.
- 19 GILBERT, S., MONOS, G. G., TURKDOGAN, E. T. Ladle refining of steel using an exothermic synthetic slag. In: STEELMAKING CONFERENCE, 1988, Toronto. Warrendale: Iron and Steel Society, 1988. p. 291-298.

# ALTERNATIVE ALUMINA CONTAINING RAW MATERIALS FOR SYNTHETIC SLAGS: A REVIEW

*José de Anchieta Rodrigues  
Paschoal Bonadia Neto  
Jorge Borges Gallo*

## **Abstract**

Both the aluminum and steel industry in Brazil are expected to grow significantly within the next few years due to remarkable investments in modernization and increase of production capacity. The steelmaking process consumes a considerable amount of aluminum and aluminum oxide (alumina), either in refractory materials or in products for steel refining. In this paper, a series of calcined aluminas that can be used in synthetic slags for high quality steel production is listed in such a way that the steelmaker can directly compare their characteristics and then choose the ones that best fit for the aimed application. Along with that, some basic tools for the design of synthetic slags are given based on a literature review about the alumina-calcia-silica system. Phase diagrams, viscosity and contact angle maps are presented in order to illustrate how the three components ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO and  $\text{SiO}_2$ ) can affect the properties of the slag. Based on that, a preliminary analysis of the advantages and disadvantages of each listed raw material is presented.

**Key-words:** synthetic slag, alumina, aluminum powder, aluminum dross.