

# USO DE RESÍDUOS NA FABRICAÇÃO DE ESCÓRIA SINTÉTICA PARA TRATAMENTO DE AÇO SILÍCIO DE GRÃO ORIENTADO DA ACESITA

**Paulo Santos Assis** <sup>(1)</sup>

**Pedro José Nolasco Sobrinho** <sup>(2)</sup>

**Sérgio Antônio Gabrich** <sup>(3)</sup>

**Antônio Francisco Martins Barreto** <sup>(4)</sup>

**Cláudio Batista Vieira** <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas. Ouro Preto, 35400-000 Ouro Preto, MG, Brasil. E-mail: [assis@em.ufop.br](mailto:assis@em.ufop.br) <sup>(2)</sup> Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, 11450-010, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: [nolascop@usp.br](mailto:nolascop@usp.br) <sup>(3)</sup> Vamtec. 35180-000, Timóteo, Mg, Brasil. E-mail: [vamtec@gtc.com.br](mailto:vamtec@gtc.com.br) <sup>(4)</sup> Acesita, Departamento de Aciaria, 35180-000, Timóteo, MG, Brasil. E-mail: [cprocaciaria@acesita.ind.br](mailto:cprocaciaria@acesita.ind.br)

## Resumo

Este trabalho mostra as etapas realizadas durante a preparação e uso de uma escória sintética para o tratamento do aço silício de grão orientado(GO) no forno panela da Acesita. São apresentados alguns fundamentos para a preparação de uma escória sintética. O plano de trabalho de preparação da escória, bem como os critérios utilizados pela empresa Acesita para avaliar o desempenho deste produto são mostrados. Algumas características do processo de fabricação do aço GO são apresentadas. Em função de sua composição química foi formulada a escória visando atender certas propriedades especiais como a manutenção do teor de enxofre do aço silício de grão orientado dentro de certo limite. Os resultados confirmam que a escória fabricada atende bem ao processo de tratamento do aço (GO) no forno panela. Alguns problemas, como a poluição visual que foi gerada no início dos testes, foram eliminados ou minimizados. Conclui-se que: a escória Escorivam GO1 fabricada pela Vamtec desempenhou bem as funções durante os testes no forno panela da Acesita, por isso foi definitivamente adotada pela empresa, para o tratamento do aço silício (GO).

**Palavras-chave:** escória, resíduos, aço, refino.

## 1. INTRODUÇÃO

A procura pela produção de aços de elevada pureza tornou-se maior devido a muitos fatores, mas principalmente à globalização do mercado e à concorrência do aço com outros materiais. Tecnologias de refino secundário, utilizando escória sintética têm sido usadas para manter baixos os níveis de impureza no aço, melhorando assim as propriedades do mesmo.

Este trabalho mostra as etapas da elaboração de uma escória sintética para o tratamento do aço silício de grão orientado(GO) da empresa Acesita S.A. A etapa de preparação da escória, foi realizada na empresa Vamtec - Vamcoster Tecnosider. Os resultados preliminares dos testes com a escória no forno panela da Acesita foram apresentados no XXXI Seminário de Fusão Refino e Solidificação de Metais por Nolasco et al. (2000) e mostram que os objetivos inicialmente propostos foram atingidos.

---

Destaca-se que apesar de se tratar de um aço mais nobre, com uma composição química mais elaborada, foi possível a utilização de resíduos industriais na formulação da escória sintética. A presente contribuição técnica mostra as etapas para a fabricação da escória sintética, as suas propriedades, uma descrição do aço silício grão-orientado e o plano operacional para fabricação da escória.

## 2. A ESCÓRIA SINTÉTICA

Pode-se afirmar que durante o tratamento do aço com escória sintética ela pode atender a vários objetivos, como citados por Ribeiro, Barrios & Costa (1993), Barrios et al (1994) e Ferreira (1994):

- proteção do aço líquido, evitando o seu contato com a atmosfera, absorvendo os gases  $H_2$ ,  $N_2$  e  $O_2$ .
- minimização das perdas térmicas, propiciando um melhor controle da temperatura do aço.
- absorção e incorporação de impurezas que podem prejudicar a qualidade do produto, como, enxofre, fósforo, hidrogênio, etc.
- Impedimento da exposição do arco elétrico durante o aquecimento do aço no forno panela, diminuindo o desgaste do refratário da panela e da abóbada. Em linhas gerais, o forno panela é um aparelho utilizado para o aquecimento e refino de metal líquido, empregando-se energia elétrica como um forno elétrico a arco.

A escória sintética pode ser preparada das seguintes formas:

- Mistura: possui um custo menor, mas possui o inconveniente de ser mais susceptível à hidratação e variação no desempenho.
- Sinterizada: é um produto obtido pelo aquecimento abaixo do ponto de fusão completo dos componentes da escória. O produto obtido é poroso e pode se hidratar.
- pré-fundida: obtida pela fusão dos componentes. Caracteriza-se pela consistência da composição e hidratação quase nula devido à baixa porosidade. Em consequência, seu custo é mais elevado.

Deve-se estabelecer a quantidade e o tipo de escória a ser utilizada no tratamento do aço. É importante calcular a quantidade de escória a ser utilizada. Normalmente adota-se como espessura da escória sintética (  $E$  ) um valor 10% maior que o comprimento do arco (  $C$  ) para evitar problemas de exposição do arco elétrico, que poderia causar problemas no processo. A espessura da escória não deve ser grande, pois significaria maior perda de energia e, conseqüentemente, maior custo. Em quantidade insuficiente poderá expor o arco elétrico e aumentar o desgaste refratário. A espessura da escória é função do comprimento de arco e deverá ser adequadamente acertada para evitar problemas como “pick-up” de carbono. A relação custo/benefício deve sempre ser verificada. Assim, tem-se a equação (1):

$$E = 1,1 C \tag{1}$$

Pode-se utilizar a expressão mostrada na equação (2) para o cálculo de massa da escória,  $m_E$ .

$$m_E = 0,79 \times Dp^2 \times E \times \rho \tag{2}$$

Onde:

Dp é o diâmetro da panela (cm)

E é a espessura da escória (cm)

$\rho$  é a massa específica da escória ( $\text{g/cm}^3$ )

## 2.1 Escolha do tipo de escória

A escolha do tipo de escória a ser usada no forno panela dependerá do tipo de aço em fabricação, especialmente a qualidade exigida na desoxidação, do objetivo do tratamento, do tipo de revestimento refratário da panela, bem como outras características da escória como temperatura *liquidus* e viscosidade. Utilizando-se de diagramas de fase mostrados no *Slag Atlas* do sistema predominante na escória, pode-se obter valores para algumas propriedades da escória bem próximos dos valores reais e observar se a escória, teoricamente formulada, possui as características mínimas necessárias para o processo de refino do aço.

Normalmente, a adição de uma certa quantidade de MgO, de 10 a 12% da massa total de escória, ajuda a reduzir o desgaste refratário da panela que utiliza refratários básicos na linha de escória. Sabe-se que com a diminuição da basicidade binária, há um aumento da capacidade de absorção de MgO pela escória. O teor de sílica também é importante, pois escórias mais ácidas se tornam mais viscosas e podem dificultar a captação de inclusões e sua retirada do forno. A literatura cita como indicado para a viscosidade das escórias sintéticas a faixa de 10-12 poises. Deve-se procurar fabricar escórias sintéticas com uma temperatura *liquidus* compatível com a temperatura de tratamento do aço líquido, porque se a escória possuir temperatura *liquidus* muito inferior à temperatura do aço ela será extremamente fluida e poderá causar um maior desgaste de refratário da panela. Caso a escória possua temperatura *liquidus* superior à temperatura do aço ela será muito viscosa, prejudicando a operação do forno panela como amostragens, adição de ligas e fios, além de uma maior dificuldade para a captação de inclusões. Objetiva-se temperatura *liquidus* da escória na faixa de 1450 a 1650 °C, conforme mostrados por Nolasco et al.

O aumento no teor de oxigênio no aço causa um crescimento no número de inclusões presentes, prejudicando a qualidade interna do mesmo, isto pode ser minimizado pela utilização de uma escória sintética bem elaborada.

## 3. O AÇO SILÍCIO DE GRÃO ORIENTADO DA ACESITA

Este tipo de aço é aplicado na fabricação de núcleo de transformadores, geradores de potência e outros equipamentos elétricos e se caracteriza por apresentar excelentes propriedades magnéticas na direção da laminação. Este produto apresenta processos tecnológicos complexos, o que requer pessoal altamente treinado e capacitado durante sua elaboração, conforme relatado por Andrade, Fernandes & Lana.

Desenvolvido em 1934, de acordo com citação de Goos (1985), este método produz chapas de aço silício com orientação dos grãos, cuja estrutura cristalina apresenta os planos (110) paralelos à superfície da chapa e à direção [001], nestes planos paralelos à direção de laminação. O método consiste na produção de uma chapa mediante laminação a frio com recozimento intermediário. O material é descarbonetado e, por último, a chapa é submetida a um recozimento final, a alta temperatura, que promove a recristalização e crescimento dos grãos com uma orientação seletiva. Este procedimento tem sido aperfeiçoado, sobretudo no que diz respeito às proporções de grau de redução, tratamentos térmicos e controle de pureza. Os processos industriais existentes diferem basicamente pelo tipo de inibidor que utilizam. A

Acesita fabrica o aço silício GO utilizando como inibidor de crescimento de grão o sulfeto de manganês. A produção de aço GO foi iniciada em 1981, citado por Andrade (1989).

#### **4. PREPARAÇÃO DA ESCÓRIA SINTÉTICA**

A principal função que esta escória sintética fabricada para o tratamento do aço GO no forno panela deveria apresentar era estabilizar o teor de enxofre final no aço. Além disso, esta escória não poderia possuir um custo elevado. A escória poderia possuir no máximo 1% de umidade e cumprir outras funções, limitando os teores de impurezas aos valores acima citados. Devido às experiências anteriores, o teor de alumina na escória deveria situar-se em valores mínimos, pois em contato com o arco elétrico do forno panela poderia haver a redução da alumina presente na escória e posterior incorporação do alumínio ao aço, o que é indesejável. Este raciocínio pode ser estendido para os óxidos de titânio, cobre, cromo e níquel. Após os testes preliminares, ela foi alterada visando um melhor desempenho. A espessura da escória sintética no forno panela da Acesita pode variar de 5 a 8 cm.

##### **4.1 Plano operacional**

Esta fase envolveu as seguintes etapas, como reuniões técnicas com as empresas envolvidas; um estudo minucioso para escolha das matérias-primas da escória sintética; várias visitas técnicas em empresas de diferentes setores na busca de resíduos para serem usados como matérias-primas para a escória sintética; beneficiamento das matérias-primas; preparação de amostras de escória, em escala laboratorial, para confirmação da composição química; avaliação dos resultados da análise química dos tipos de escória; estudo da viabilidade de outros resíduos para utilização como matéria-prima da escória sintética; preparação de amostras para testes industriais iniciais no forno panela da Acesita; testes industriais com dois tipos de escória fabricadas pela Vamtec, Escorivam GO1 e Escorivam GO2, em quatro corridas e definição do tipo de escória a ser testado e comparado à escória MVK em um número maior de corridas; avaliação dos resultados, determinação e escolha do tipo de escória, reacerto da composição; testes com a escória escolhida, chamada Escorivam GO1, em metade das corridas da campanha do aço silício GO; Análise dos resultados e escolha definitiva pela Acesita pela escória Escorivam GO1 da Vamtec.

##### **4.2 Sistema de controle para avaliação da escória, adotado pela Acesita**

O sistema de controle do processo adotado pela Acesita para avaliar o desempenho da escória sintética fabricada pela Vamtec foi:

- Analisar a composição química do aço no LD, forno panela (início e fim) e no lingotamento contínuo;
- Verificar a estabilidade do enxofre no aço, as necessidades de reacerto e o teor de enxofre final;
- Verificar se houve incorporação de carbono no aço;
- Avaliar visualmente o desgaste refratário da panela;
- Avaliar o atendimento à relação %Mn/%S no aço;
- Avaliar o nível de contaminação com titânio, alumínio e fósforo.
- Avaliar visualmente o nível de poluição emitido durante adição da escória na panela;

### 4.3 Composição química e propriedades da escória

Visando atender às exigências da Acesita e da Vamtec, selecionou-se diferentes matérias-primas, que após a preparação da escória forneceram a seguinte composição química, indicadas na **Tabela 1**.

**Tabela 1.** Composição química da escória sintética usada na Acesita

Componente	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	S
%	37-39	46-48	< 0,5	10-12	Traços	0,6-0,75

Umidade máxima 1%.

A análise granulométrica mostra que as partículas possuem tamanho menor ou igual a 15 mm.

Pode-se notar que a base desta escória é o sistema CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO. Após o ajustamento dos valores para este sistema, pode-se calcular a basicidade ótica da escória e, posteriormente o coeficiente de partição de enxofre na escória. Estes valores são, respectivamente:

$$\Lambda = 0,65$$
$$C_s = 10^{-4,004}$$

Utilizando-se o *Slag Atlas* obtiveram-se outros valores de propriedades desta escória, a saber:

$$T_{\text{liquidus}} = 1380 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$\rho = 2,55 \text{ g/cm}^3 \text{ a } 1500 \text{ }^\circ\text{C} \text{ e } 2,54 \text{ g/cm}^3 \text{ a } 1550 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$\eta = 12 \text{ poise}$$
$$\sigma = 460 \text{ mN/m a } 1500 \text{ }^\circ\text{C}$$

Esta escória foi embalada em *big-bags* de rafia, revestidos externamente por plástico para evitar absorção de umidade.

A sua utilização em escala industrial permitiu obter resultados satisfatórios no tocante a estabilidade do teor de enxofre, um atendimento na relação %Mn/%S, sendo que devido a limitação dos residuais de elementos como fósforo, alumínio e titânio, a quantidade de resíduos industriais na fabricação da escória ficou limitada em 15%.

Sob o ponto de vista de poluição e de desgaste refratário das painéis, estes parâmetros se mantiveram dentro dos padrões normais da Acesita

## 5. CONCLUSÕES

Do trabalho desenvolvido, concluiu-se:

- A escória Escorivam GO1 fabricada pela Vamtec desempenhou bem as funções para que foi projetada durante os testes no forno painel da Acesita, por isso foi definitivamente adotada pela empresa para o tratamento do aço silício GO.
- Resíduos industriais foram utilizados como matéria-prima desta escória, mostrando que é possível a reciclagem de resíduos sem o comprometimento da qualidade do produto fabricado, desde que se atente para a composição química final da escória.

- O uso da escória sintética Escorivam proporcionou maior estabilidade do enxofre no aço quando comparado àquelas processadas com escória padrão e conseqüentemente, melhor atendimento da relação %Mn/%S.
- Os residuais obtidos nos elementos titânio, alumínio e fósforo, nas corridas com uso da Escorivam, não afetaram a qualidade do aço silício GO.
- A incorporação de carbono no forno panela nas corridas com uso de escória sintética Escorivam foi 50% menor que nas corridas com uso da escória padrão.
- Os níveis de poluição e de desgaste refratário das panelas mantiveram-se dentro dos padrões normais da Acesita.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos às empresas, aos diretores, técnicos e funcionários das empresas Acesita e Vamtec que ofereceram todo o suporte técnico necessário para a realização da pesquisa, elaboração do produto e testes preliminares e definitivos, fator este que foi determinante para que se obtivesse êxito neste trabalho. A FAPEMIG pelo apoio financeiro para permitir a apresentação do mesmo no CONEM 2000, em Natal/RN.

## 6. REFERÊNCIAS

- Andrade, P.R.C; Fernandes, W.M.A; Lana, N.O A Fabricação de aços ao silício de grão orientado na Acesita. Metalurgia-ABM, vol. 45, nº 375, p. 126-129. 1989.
- Barrios, S.R; Costa, E.A Interação físico-química de escórias sintéticas com o refratário de panelas de aço. Seminário de fusão, refino e solidificação, 25. ABM, RS, p. 253, 1993.
- Barrios, S. R. et alli. Considerações metalúrgicas a respeito da utilização de escórias sintéticas em forno panela. Seminário de fusão, refino e solidificação, 26. ABM, BA, p. 287, 1994.
- Ferreira, J. P; Duarte, J. C; Coura, J. C. Produção de aços baixo enxofre através da adição de escórias sintéticas durante o vazamento. CONGRESSO ANUAL DA ABM, 49, p. 557, 1994.
- Goos, N.P. The development of Grain Oriented Silicon Steel. Industrial Heating. 1985.
- Nolasco Sobrinho, P.J. et al. Desenvolvimento de escória sintética para a fabricação de Aço Silício Grão Orientado (GO) na Aciaria da ACESITA. In: Seminário internacional de fusão, refino e solidificação, 31. Vitória (ES). 2000.
- Ribeiro, D.B. Cálculo de escórias sintéticas à base de  $Al_2O_3$ -CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO para metalurgia em panela. Congresso anual da ABM, 48, p.509, 1993.
- Slag Atlas - Verlag Stahleisen M.B.H. Dusseldorf. 1981.

## SÍMBOLOS

$\Lambda$  - basicidade ótica

$C_s$  - Capacidade de sulfeto

$T_{liquidus}$  - Temperatura liquidus (°C)

$\rho$  - Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)

$\eta$  - Viscosidade (Poise);  $\sigma$  - Tensão superficial (mN/m)