

# Fabricação de escória sintética em forno de indução para uso em aciaria <sup>(1)</sup>

Álvaro Martins Júnior <sup>(2)</sup>

Fernando Luiz Ramos <sup>(3)</sup>

Magno Fernandes Reis Silva <sup>(3)</sup>

Jorge Alberto Soares Tenório <sup>(4)</sup>

Sérgio Antônio Gabrich <sup>(5)</sup>

Ricardo Delgado Muñoz <sup>(5)</sup>

Cláudio Batista Vieira <sup>(6)</sup>

Paulo Santos Assis <sup>(6)</sup>

## Resumo

Para nacionalizar matérias-primas para a Siderurgia, em particular no processo ESR (*Electroslag Remelting*), que utiliza uma escória sintética para as operações de refino, e sendo que este material atualmente é importado, buscou-se um meio de produzi-la de maneira mais econômica. Assim, através da fusão por um forno de indução laboratorial, mostraram-se alguns resultados obtidos com as escórias trabalhadas, desde a preparação das escórias até uma análise de custo para fabricação, passando por estimativas das temperaturas de fusão e análises químicas.

**Palavras-chave:** escória sintética, fornos de Indução, processo ESR

(1) Contribuição a ser apresentada no XXXV Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, 17 a 19 de maio de 2004 – Salvador, BA.

(2) Membro da ABM. Graduado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela UFOP e Mestrado em Engenharia de Materiais pela REDEMAT, Ouro Preto, MG.

(3) Membro da ABM. Graduando da UFOP em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Ouro Preto, MG.

(4) Membro da ABM. Prof. Associado do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Politécnica da USP e Prof. Visitante da REDEMAT, São Paulo, SP.

(5) Membro da ABM. Gerente da VAMTEC S/A, Timóteo MG

(6) Membro da ABM. Prof. Titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFOP e da REDEMAT, Ouro Preto, MG.

## 1. Introdução

A Siderurgia vem sofrendo transformações como consequência da globalização. Independente da região, essas transformações visam buscar inovação para atender as necessidades dos clientes <sup>[1]</sup>. Dentro deste contexto, a qualidade do aço produzido, em especial pelo refino secundário, é de importância relevante.

A qualidade do aço relaciona-se ao número de inclusões, o tamanho médio das mesmas e também a distribuição. Quanto à origem, as inclusões podem ser endógenas (das reações de desoxidação) e exógenas (da escória, pós fluxantes e escória) <sup>[2]</sup>.

Com relação ao refino secundário, tem-se o processo ESR (*Electroslag Remelting*), que utiliza como agente no refino dos aços uma escória sintética. Este processo é realizado à pressão ambiente, e produz um aço bem isento de impurezas <sup>[3]</sup>.

As escórias utilizadas no ESR, apresentam alto custo e são importadas, no caso brasileiro. Em geral, o tipo de escória a ser usada vai depender do tipo de aço a ser fabricado porque envolve uma série de variáveis como a composição do aço a ser produzido, os componentes que formarão a escória, o modo de fabricação e as propriedades obtidas desta escória (basicidade, viscosidade, temperatura líquida e outras propriedades) <sup>[4]</sup>.

Neste trabalho, apresentam-se alguns resultados obtidos em esforços de fabricar, em laboratório, escórias sintéticas, por fusão, via forno de indução, para uso em aciaria.

## 2. Metodologia

**2.1 Preparação da escória:** Para a preparação da escória, utilizou-se uma mistura de matérias primas pulverizadas. Através de um balanço de massa foi preparada a mistura que constituirá a escória. A tabela 1 mostra as composições das escórias, denominadas PF1 e PF2, a serem fabricadas, a partir das matérias primas utilizadas dadas pela tabela 2.

Tabela 1 – Composição química das escórias a serem fabricadas

Escória	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	CaF <sub>2</sub>	P	S
PF1	1,0-2,0	31-36	0,2 max	27-32	2,0-4,0	29-34	0,005max	0,04max
PF2	0,6 max	19-22	0,15 max	16-20	2 max	55-61	0,005max	0,03max

Tabela 2 – Matéria primas utilizadas e composição química

MATÉRIAS PRIMAS	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	CaF <sub>2</sub>	P	S	Outros
Alumina	0,07	86,60	0,02					0,31	13,00
Fluorita	2,50		1,50			93,00			3,00
Cal	0,46	0,13	0,06	96,81	0,48		0,05	0,03	1,98
Magnesita	2,50	0,58	1,59	0,28	94,91				0,14

2.2 *Preparação do forno:* Após a preparação da escória através de uma mistura artesanal, esta foi pesada (~530g), colocado no cadinho (de grafita) e levado ao forno (indução), conforme figura 1. Pedacos de grafita foram utilizados para calçar o cadinho e melhorar a condução de calor.

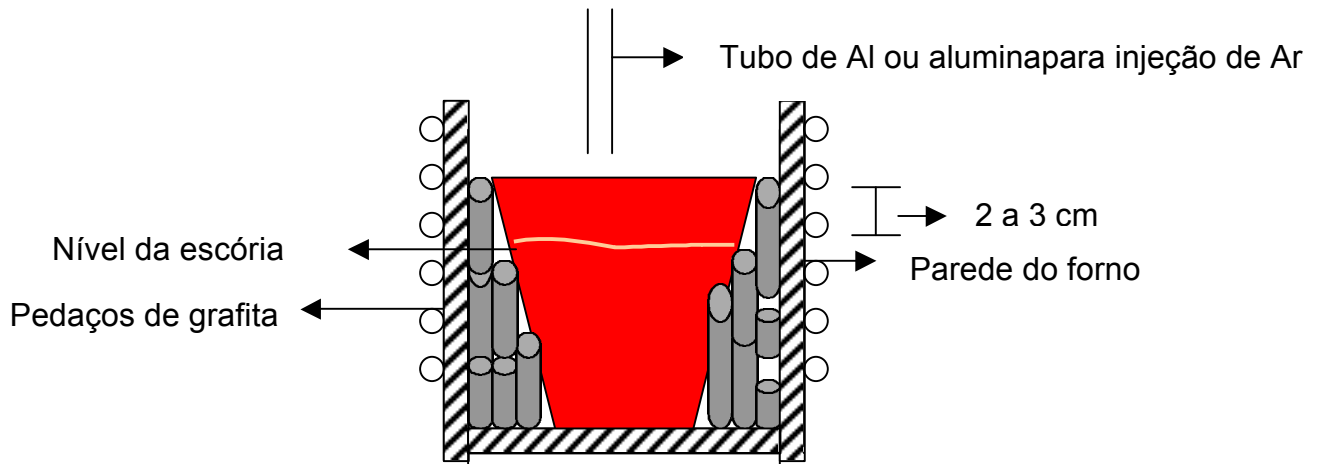


Figura 1 - Montagem do cadinho com escória no forno

Durante as fusões da escória, contou-se com os seguintes equipamentos de acordo com a tabela 3, abaixo:

Tabela 3 – Equipamentos utilizados

<i>Equipamento</i>	<i>Característica - Especificação</i>
Cadinho de grafita	Formato tronco-cônico, 15 cm de altura, 8 cm diâmetro da base e 12 cm diâmetro da boca.
Balança digital	Para pesagem, uma balança digital comum de laboratório, com capacidade máxima de 1,6 kg e precisão de dois dígitos decimais.
Forno de indução	O forno utilizado é um forno elétrico de indução da Escola Politécnica da USP, no Departamento de Metalurgia e Materiais. A potencia do forno é de 30 kVA e frequência nominal de 200 Hz, fabricado pela INDUCTOTHERM-IND Ltda, tipo POWER-TRAK, com bobina sem núcleo, refrigerado a água e capacidade de 25 kg de aço.
Pirômetro ótico laser	Para medição de temperatura, utilizou-se um pirômetro ótico fabricado por MINOLTA LAND, tipo CYCLOPS 52, faixa de temperatura de 600°C a 3000°C, incerteza de ~0,5% da leitura à temperatura ambiente.
Termopar Inditemp	Também foram utilizados dois tipos de termopares de contato. Um termopar fabricado pela ECIL, modelo INDITEMP DIGITAL, tipo S (CILTEMP S), resolução 1°C, faixa de temperatura de 1000°C a 1700°C, precisão de ~0,5% de leitura. Caixa de Al fundido pintado na cor preto, tampa frontal de Al acrodizado preto, tampa traseira de Al escovado e anodizado, lança com tubo de aço carbono bicromatizado.
Termopar fluke	O outro termopar de contato utilizado foi o fabricado pela FLUKE, modelo 52 K/J, tipo K bainha em alloy 600 mm, 6 x 1000 mm com cabeçote miniatura e rabicho de 1000 mm, com conector mini compensado, código 20900-K-A-60-600-HM11-PC-00-000-000-1000-F, rabicho 1000 mm e conector compensado miniatura macho, marca IOPE. Até 1300°C.

2.3 *Fusão da escória*: Foram realizadas 20 fusões e separadas em 4 grupos conforme a tabela 4, e além das 20 amostras, foi separada uma amostra de cada escória antes de ir para o forno (somente misturada).

Tabela 4 – Grupos de amostras das escórias

<i>Escória</i>	<i>Grupos</i>	<i>Tipo de atmosfera</i>	<i>Nº de amostras</i>
PF1	-	Sem fundir	1
PF2	-	Sem fundir	1
PF1	1	Sem atmosfera	5
PF1	2	Atmosfera de argônio	5
PF2	3	Sem atmosfera	5
PF2	4	Atmosfera de argônio	5

Devem ser feitas as seguintes observações em relação aos resultados obtidos:

- Em todas as fusões foram feitas observações (aspectos da escória, como: variação de coloração - creme para branco e deste para cinza -, emissão de gases, redução de volume, início de sinterização e fusão) e medições de temperatura (curvas de aquecimento).
- Após a fusão da escória, o forno era desligado e o cadinho com escória era retirado e resfriado ao ambiente.
- Todas as amostras eletro-fundidas foram analisadas em dois laboratórios químicos: VAMTEC S/A e Geosol.

### 3. Resultados Obtidos

3.1 *Temperaturas de fusão*: Depois de levantado as curvas de aquecimento de cada amostra, até a sua fusão, foi utilizada ferramenta estatística para determinar a faixa de temperatura de fusão de cada escória. Na tabela 5, apresenta-se o valor médio das temperaturas de cada grupo de amostras.

Tabela 5 – Resultados estatísticos das temperaturas de fusão das escórias

<i>Escória</i>	<i>Média Aritmética</i>	<i>Desvio padrão</i>	$T_{média} \pm 2\sigma$
Grupo 1	1355,75 °C	20,60	1314 °C – 1397 °C
Grupo 2	1373,20 °C	26,63	1320 °C – 1426 °C
Grupo 3	1295,80 °C	22,40	1251 °C – 1341 °C
Grupo 4	1248,60 °C	22,67	1203 °C – 1294 °C

As seguintes observações em relação aos resultados obtidos, são pertinentes:

- Nas medições de temperatura foram utilizados um pirômetro a laser e em paralelo um termopar de contato, ambos apresentam sua margem de erro, mas o que se buscou com isso foi garantir a confiabilidade das medidas.

b) A relevância deste parâmetro se deve ao fato de conseguir uma maior precisão nos valores de temperatura, uma vez que através de diagramas de “Temperatura liquidus”, quando disponíveis, a margem de erro é muito maior.

3.2 *Tempo gasto para fundir a escória*: Foi medido o tempo, decorrido do início (ligação do forno) até o término (forno desligado), de fusão de cada escória. Na tabela 6, apresenta o tempo, em minutos, de cada fusão, também ilustrado pela figura 2:

Tabela 6 – Tempo (t) de fusão das amostras

<i>Escória PF1</i>				<i>Escória PF2</i>			
<i>Grupo 1</i>		<i>Grupo 2</i>		<i>Grupo 3</i>		<i>Grupo 4</i>	
<i>Ensaio</i>	<i>t (min)</i>	<i>Ensaio</i>	<i>t (min)</i>	<i>Ensaio</i>	<i>t (min)</i>	<i>Ensaio</i>	<i>t (min)</i>
1	42	6	20	11	34	16	28
2	21	7	17	12	15	17	15
3	15	8	32	13	17	18	15
4	32	9	17	14	13	19	30
5	17	10	19	15	14	20	19
<i>t médio de fusão (min)</i>				<i>t médio de fusão (min)</i>			
23,2				20,2			

Devem ser comentados que:

a) O tempo foi curto, na maioria das vezes inferior a 20 min, dada a alta agilidade do forno, para as fusões mais longas, a justificativa foi a de se partir com o forno a frio.

b) Pela figura 2, pode se dizer que a mesma apresentou um padrão.

c) A relevância deste parâmetro se deve ao fato de conseguir uma maior precisão nos valores da rampa de aquecimento, uma vez que é importante se estimar custos de consumo de energia para este tipo de material, futuramente.

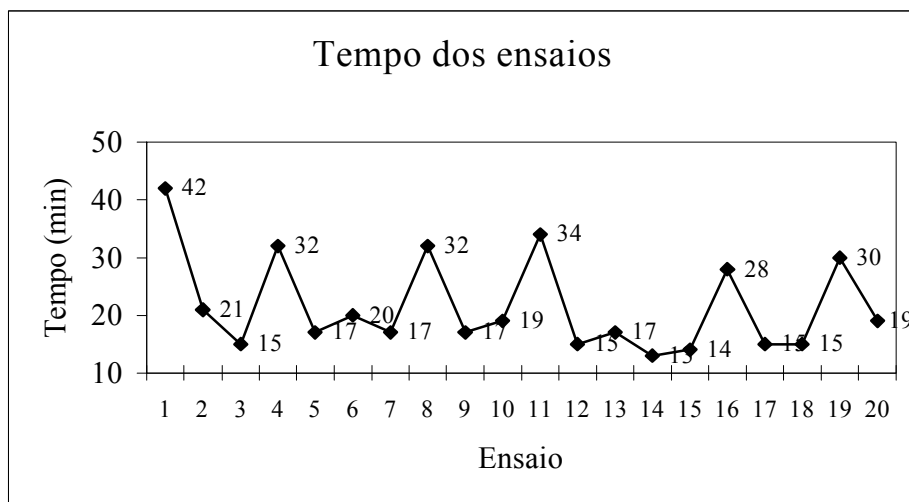


Figura 2 – Ensaio x Tempo de cada amostra

3.3 *Balanço Térmico do Forno de Indução*: A avaliação das perdas foram feitas utilizando-se os parâmetros levantados anteriormente, temperatura de fusão, entalpias de fusão e aquecimento (calor contido) na escória e cadinho, e tempo médio de fusão, para estimar o consumo de energia para fundir a escória, conforme tabelas 7.1 a 7.4, a seguir, considerando-se os maiores valores de temperaturas obtidos nos experimentos:

Tabela 7.1 – Consumo de energia do forno (Estimado)

<i>Escória</i>	<i>kWh/kg</i>	<i>kWh</i>	<i>t<sub>médio</sub> de fusão (min)</i>
PF1	15,334	<b>8,127</b>	23,2
PF2	13,194	<b>6,993</b>	20,0

Tabela 7.2 - Calor contido na escória (Fusão)

<i>Escória</i>	<i>Total (kcal)</i>	<i>Energia (kWh)</i>	<i>Energia (kWh/kg)</i>
PF1	218,67	<b>0,254</b>	0,480
PF2	186,08	<b>0,216</b>	0,408

Tabela 7.3 – Calor contido no cadinho (Aquecimento)

<i>Escória</i>	<i>Total (kcal)</i>	<i>Energia (kWh)</i>	<i>Temperatura (K)</i>
PF1	1662,62	<b>1,93</b>	1703
PF2	1533,31	<b>1,78</b>	1613

Tabela 7.4 – Estimativas de perdas das escórias PF1 e PF2

<i>Escória</i>	<i>kWh</i>	<i>%</i>	<i>Temperatura(K)</i>
PF1	5,95	<b>73,19</b>	1703
PF2	4,99	<b>71,39</b>	1613

Devem ser observados:

- Como não havia como fazer a leitura direta do consumo de energia, foi utilizada uma equação que relacionava a potência do transformador com o consumo de energia horário, para estimar a energia fornecida (de entrada).
- A relevância deste parâmetro se deve ao fato de estimar a eficiência da fusão, que está diretamente relacionada à viabilidade ou não de se utilizar este tipo de forno.

3.4 *Análises químicas*: Seguem abaixo, a tabela 8 e a figura 3 (com os 4 principais compostos), que apresenta a análise química das amostras a partir das quais as escórias foram fabricadas, ou seja, a escória antes de fundir, realizada via úmida pela GEOSOL.

Tabela 8 – Composição química (%) das escórias misturadas, sem fundir

<i>Amostras</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>TiO<sub>2</sub></i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>MnO</i>	<i>MgO</i>	<i>CaO</i>	<i>Na<sub>2</sub>O</i>	<i>K<sub>2</sub>O</i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<i>P.F.</i>	<i>Outros</i>
PF1	3,4	27,6	0,01	0,24	<0,01	2,7	44,3	0,16	0,07	0,15	14,76	6,67
PF2	5,8	19,7	0,03	0,33	<0,01	1,4	49,4	<0,1	0,1	0,21	10,64	12,28

Fonte: Geosol - \* Foi usada para ser comparada com as amostras fundidas

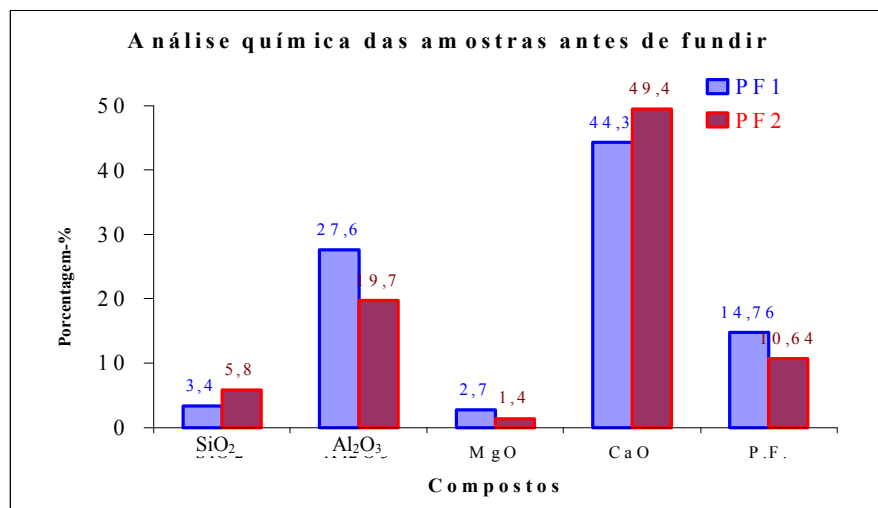


Figura 3 – Composição química das escórias antes da fusão (Laboratório da Geosol, Belo Horizonte)

Os resultados das escórias depois de fundidas, seguem abaixo, onde foi feita a média para cada grupo, tabelas 9 (grupo 1), 10 (grupo 2), 11 (grupo 3) e 12 (grupo 4), onde se observa os pequenos valores de desvio padrão, apresentando uma homogeneidade na composição química. Os materiais após fundidos foram preparados na Vamtec e analisados na Geosol.

Tabela 9 – Resultado das análises químicas das escórias fundidas – Grupo 1

Amostras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	Outros
1	6,7	35,0	0,04	0,64	0,04	3,5	51,3	0,32	0,07	0,10	0,41	1,88
2	5,7	33,4	0,03	0,76	0,02	3,1	49,4	0,23	0,08	0,15	0,69	6,44
3	6,2	34,7	0,04	0,49	0,02	3,0	50,0	0,36	0,08	0,13	0,17	4,81
4	5,7	31,2	0,03	0,55	0,01	3,1	50,2	0,13	0,07	0,15	0,64	8,22
5	5,6	36,1	0,03	0,47	<0,01	3,3	50,6	0,30	0,08	0,15	0,58	2,78
<b>Média 1</b>	<b>5,98</b>	<b>34,08</b>	<b>0,034</b>	<b>0,582</b>	<b>0,02</b>	<b>3,2</b>	<b>50,3</b>	<b>0,268</b>	<b>0,076</b>	<b>0,136</b>	<b>0,498</b>	<b>4,826</b>
Desvio	0,47	1,875	0,005	0,119	0,012	0,200	0,707	0,090	0,005	0,022	0,212	2,598

Tabela 10 – Resultado das análises químicas das escórias fundidas – Grupo 2

Amostras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	Outros
1	5,4	33,3	0,04	0,48	<0,01	3,1	51,8	0,18	0,07	0,15	0,45	5,02
2	5,3	33,5	0,03	0,39	<0,01	2,9	50,4	0,20	0,06	0,14	0,50	6,57
3	5,7	34,0	0,04	0,40	<0,01	3,0	50,6	0,25	0,07	0,14	0,44	5,35
4	5,1	33,1	0,03	0,41	<0,01	3,1	52,0	0,18	0,06	0,17	0,60	5,24
5	5,4	32,7	0,04	0,48	<0,01	3,2	52,4	0,28	0,06	0,15	0,70	4,58
<b>Média 2</b>	<b>5,38</b>	<b>33,32</b>	<b>0,036</b>	<b>0,432</b>	<b>0,01</b>	<b>3,06</b>	<b>51,44</b>	<b>0,218</b>	<b>0,064</b>	<b>0,15</b>	<b>0,538</b>	<b>5,352</b>
Desvio	0,22	0,482	0,005	0,044	0,000	0,114	0,888	0,045	0,005	0,012	0,111	0,742

A figura 4, apresenta as amostras da escória PF1, antes de fundir, a composição média do grupo 1 (Média 1) sem atmosfera e a composição média do grupo 2 (Média 2) com atmosfera.

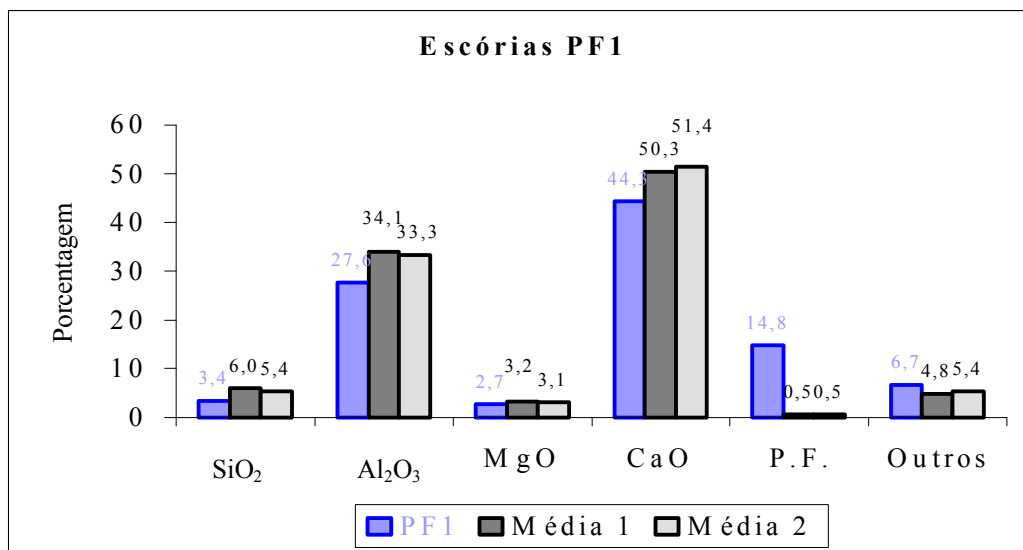


Figura 4 –Composição química dos principais componentes das escórias PF1, antes de fundir e a composição média das escórias fundidas

Tabela 11 – Resultado das análises químicas das escórias fundidas – Grupo 3

Amostras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	Outros
1	8,6	25,3	0,05	0,59	0,02	1,3	51,2	0,46	0,11	0,14	0,94	11,29
2	9,4	24,9	0,04	0,41	0,01	1,5	54,3	0,36	0,12	0,15	0,60	8,21
3	8,3	24,7	0,04	0,26	<0,01	1,4	54,4	0,28	0,10	0,17	0,41	9,94
4	7,5	23,4	0,04	0,39	<0,01	1,4	54,3	0,25	0,11	0,20	0,53	11,88
5	8,4	24,8	0,05	0,27	0,02	1,5	54,8	0,46	0,11	0,14	0,44	9,01
<b>Média 3</b>	<b>8,44</b>	<b>24,62</b>	<b>0,044</b>	<b>0,384</b>	<b>0,0167</b>	<b>1,42</b>	<b>53,8</b>	<b>0,362</b>	<b>0,11</b>	<b>0,16</b>	<b>0,584</b>	<b>10,066</b>
Desvio	0,68	0,719	0,005	0,134	0,006	0,084	1,468	0,098	0,007	0,025	0,213	1,530

Tabela 12 – Resultado das análises químicas das escórias fundidas – Grupo 4

Amostras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	Outros
1	8,2	24,7	0,07	1,10	0,38	1,4	53,4	0,37	0,14	0,16	0,63	9,45
2	8,0	23,5	0,04	0,55	0,03	1,3	54,2	0,86	0,11	0,17	0,52	10,72
3	7,9	24,0	0,04	0,32	0,02	1,4	53,8	0,44	0,12	0,15	0,49	11,32
4	7,7	23,9	0,05	0,58	0,01	1,5	55,0	0,34	0,10	0,18	0,60	10,04
5	6,2	25,1	0,04	0,47	0,02	1,4	54,8	0,34	0,08	0,19	0,88	10,48
<b>Média 4</b>	<b>7,6</b>	<b>24,24</b>	<b>0,048</b>	<b>0,604</b>	<b>0,092</b>	<b>1,4</b>	<b>54,24</b>	<b>0,47</b>	<b>0,11</b>	<b>0,17</b>	<b>0,624</b>	<b>10,402</b>
Desvio	0,80	0,647	0,013	0,295	0,161	0,071	0,669	0,222	0,022	0,016	0,154	0,705

A figura 5, apresenta as amostras da escória PF2, antes de fundir, a composição média do grupo 3 (Média 3) sem atmosfera e a composição média do grupo 4 (Média 4) com atmosfera.



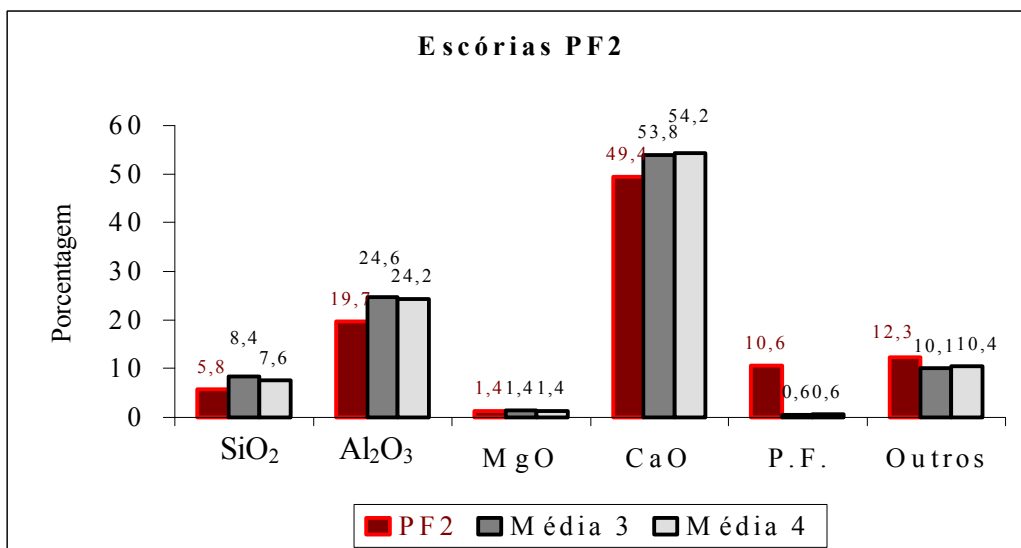


Figura 5 –Composição química dos principais componentes das escórias PF1, antes de fundir e a composição média das escórias fundidas

#### 4. Discussão dos resultados

Foi observada a relação entre a temperatura de fusão da escória e a atmosfera. Para a escória PF1, a faixa de temperatura da escória sem atmosfera (grupo 1) foi de: 1310°C - 1400°C, que foi menor que a escória com proteção atmosférica de Ar (grupo 2), cuja faixa de temperatura foi de: 1320°C - 1430°C.

Esta diferença de temperatura ocorreu, provavelmente, devido ao resfriamento da escória com injeção de Ar, dificultando a fusão da mesma.

Para a escória PF2, a faixa de temperatura da escória sem atmosfera (grupo 3) foi de: 1250°C - 1340°C, que foi maior que a escória com proteção atmosférica (grupo 4), cuja faixa de temperatura foi de: 1200°C - 1290°C.

É provável que, como esta escória apresenta alto teor de CaF<sub>2</sub>, conforme tabela 13, e que este apresenta baixo ponto de fusão além de ajudar na fusão da escória, a atmosfera reteve por um tempo mais prolongado perda de flúor na forma de gás e a presença do mesmo agilizou a fusão.

Comparando por escória, as faixas de temperaturas para as escórias PF1 são: 1310°C – 1430°C, foram menores devido ao maior teor de CaF<sub>2</sub> contido nas mesmas, enquanto as faixas de temperaturas para as escórias PF2 são: 1200°C – 1340°C.

Tabela 13 –\*Resultados obtidos das composições químicas, em %, das escórias

Escória	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	CaF <sub>2</sub>	PPC	Outros
PF1	3,06	36,14	0,26	27,54	1,05	<b>27,09</b>	3,19	1,67
PF2	5,02	21,49	0,38	16,72	0,99	<b>50,28</b>	4,53	0,59

Fonte: Vamtec SA

Este tipo de forno, apresenta oscilação na temperatura, inerente ao princípio de funcionamento, sendo possível determinar faixas de temperaturas. Havendo necessidade de obter maior precisão na temperatura de fusão, deve-se utilizar outro forno onde se consiga manter a temperatura estável. Porém este apresenta uma elevada rampa de aquecimento: na escória PF1, 61 °C/ min e na escória PF2, 66 °C/ min.

Em relação às perdas térmicas, a escória PF1 apresentou consumo de energia de 0,254 kWh para fundir 530 g ou 0,480 kWh por kg de escória e perdas da ordem de 73% e a escória PF2 apresentou consumo de energia de 0,216 kWh para fundir 530 g ou 0,408 kWh por kg de escória e perdas da ordem de 71%. Esta diferença se deve à composição química das escórias, o que torna a temperatura de fusão da escória PF2 ser mais baixa que a da escória PF1, com isto o gasto de energia para fundir a escória PF2 ser menor.

Pode-se dizer que a maior parte das perdas é devido à dissipação do calor por efeito Joule (o calor dissipado para a atmosfera) devido à baixa condutividade elétrica e térmica do material, pois se trata de um material não metálico (material refratário).

O calor para aquecer o cadinho é maior que o calor necessário para fundir a escória. Portanto, pode-se aprimorar as condições operacionais do forno para reduzir as perdas, por exemplo, tornar hermético.

E junto ao valor obtido das perdas, estão incluídos os calores em: entalpias de dissolução dos compostos, porque não existem esses dados na literatura <sup>[5]</sup> e o calor para aquecer o forno. O que indica que se esses parâmetros fossem contabilizados haveria uma redução no nível de perdas.

Relativamente à análise química, não houve uma dispersão elevada, conforme é mostrado pelas tabelas 9, 10, 11 e 12, e pelo pequeno desvio padrão das respectivas médias (média 1, 2 e 3, 4). Agrupando-se as escórias por composição química, têm-se 2 grupos, escória PF1 e escória PF2, nota-se que a atmosfera teve pouca influência sobre a composição química das escórias fundidas, conforme gráficos 12 e 13.

Tanto para a escória PF1 quanto para a escória PF2, os teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e CaO tiveram aumento em relação à escória sem fundir.

Para o CaO, isto provavelmente se deve, à perda de flúor, que estava no CaF<sub>2</sub> (análise inclusa como CaO), observada nas experiências, fazendo com que os demais compostos apresentassem um peso maior na composição da escória, há a possibilidade do Ca que estava combinado com o F, se oxidar e se juntar ao CaO remanescente. Nos demais, pode ter havido problemas com amostragem.

## 5. Conclusão

Com relação à temperatura de fusão, pode-se concluir que a escória se funde a partir das faixas de temperatura de 1314 à 1426°C e a escória PF2 se funde a partir das faixas de temperatura de 1203 à 1341°C.

Dada às variações nas temperaturas das amostras sem atmosfera e das amostras com atmosfera, constata-se que a atmosfera teve influência na temperatura de fusão das escórias.

Os valores estimados dos custos, são apresentados na tabela 14:

Tabela 14 – Custos estimados para fabricação das escórias

Escória	Energia		Matéria prima		Energia + materiais	
	R\$	U\$*	R\$	U\$*	R\$	U\$*
PF1	1380	476	456	158	1840	635
PF2	1200	414	412	142	1610	555

(\*U\$1,00 = R\$2,90, Base: out/2003.)

Com relação à análise química das escórias, conclui-se que não houve influência da atmosfera (gás inerte Ar) na composição química das escórias.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à REDEMAT, CAPES, Fundação Gorceix e a Vamtec pelo apoio financeiro e suporte técnico.

## 6. Referências Bibliográficas

1- Nilles P.E. "Steelmaking of the future", Liège, Bélgica, publicado na revista Steel Times - May 1999.

2-MARTINS, A. A. R et alii. Desenvolvimento de Processo para Fabricação de Aços de Elevada Limpeza Interna na Companhia Siderúrgica Nacional – Metalurgia e Materiais – Materiais, Fusão, Refino e Solidificação de Metais. N°2. ABM. Vol.58. N°520. 2002

3-CHOUDHURY, A. Vacuum Metalurgy. First Edition. USA. ASM International, 1990. Chapter 4 (Remelting Processes). Páginas 75-161

4-ASSIS, P. S. et alii. Fundamentos para Fabricação de Escória Sintética Utilizada no Tratamento de Aço no Forno Panela. XXXI Seminário de Fusão Refino e Solidificação de Metais da ABM. Vitória-ES, maio de 2000.

5-BARROS, D. R et alii. Refino Secundário do Aço. ABM, Belo Horizonte, maio de 2000.

# **Synthetic slag production by using a induction furnace to be used in steelmaking <sup>(1)</sup>**

**Álvaro Martins Júnior <sup>(2)</sup>**  
**Fernando Luiz Ramos <sup>(3)</sup>**  
**Magno Fernandes Reis Silva <sup>(3)</sup>**  
**Jorge Alberto Soares Tenório <sup>(4)</sup>**  
**Sérgio Antônio Gabrich <sup>(5)</sup>**  
**Ricardo Delgado Muñoz <sup>(5)</sup>**  
**Cláudio Batista Vieira <sup>(6)</sup>**  
**Paulo Santos Assis <sup>(6)</sup>**

## **Abstract**

**With the aim for obtaining a nationalization of raw materials for Iron and Steelmaking, particularity in ESR (*Electroslag Remelting*) process, which use a synthetic slag for refining reactions, and due to import such slag, it was developed such research for having alternative way for its production. This way was used the fusion method by induction furnace in laboratory scale. This paper shows some results obtained with those slag, from slag preparation until analyses of costs for production, melting temperature determination, chemical analyses and other parameters.**

**Key words: synthetic slag, induction furnace, ESR process**

**(1) Contribution to be presented in XXXV Seminário Internacional de Fusão, Refino e Solidificação-ABM, May, 17 to 19 of 2004 – Salvador, BA.**

**(2) ABM Member. Graduated in Metallurgical and Materials Engineer by UFOP and M. Sc. in Materials Engineering by REDEMAT, Ouro Preto, MG.**

**(3) ABM Member. UFOP under-Grad. Student in Metallurgical and Materials Engineer, Ouro Preto, MG.**

**(4) ABM Member. Associated Prof. of Metallurgical and Materials Engineer Department in Politécnica of USP and Visiting Prof. of REDEMAT, São Paulo, SP.**

**(5) ABM Member. Manager at VAMTEC S/A, Timóteo, MG.**

**(6) ABM Member. Full Prof. of Metallurgical and Materials Engineer Department at Escola de Minas of UFOP and REDEMAT, Ouro Preto, MG.**