



Tema: Aciaria Oxigênio

## DESENVOLVIMENTO DE FLUIDIFICANTE PARA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA FLUORITA NA PRODUÇÃO DE AÇO CARBONO SAE 1012 DE ALTA PUREZA\*

Valdeci Paula Alvarenga<sup>1</sup>  
Filipe Bueno Carvalho<sup>2</sup>  
Sergio Luiz Souza Costa<sup>3</sup>  
Itavahn Alves da Silva<sup>4</sup>  
Carlos Antonio da Silva<sup>4</sup>  
Varadarajan Seshadri<sup>5</sup>

### Resumo

Foi desenvolvida uma mistura briquetada utilizando escória recirculada, gerada no convertedor MRP-L e finos de fluorita para substituir a fluorita granulada no refino primário do aço SAE1012 na Aperam. A utilização desse briquete permitiu a substituição parcial da fluorita granulada, importada, sem prejudicar as reações de descarburização e desfosforação, mantendo as mesmas condições físico-químicas da escória. A qualidade interna dos aços produzidos, usando este novo insumo, permaneceu inalterada, atendendo a todas as exigências especificadas para os produtos.

**Palavras-chave:** Briquete; Escória sintética briquetada; Reciclagem.

### DEVELOPMENT OF A FLUX TO PARTIAL REPLACEMENT OF FLUOSPAR IN THE PRODUCTION OF THE CARBON STEEL SAE 1012 WITH HIGH PURITIG

### Abstract

It was developed a briquetted blend from recycled slag of MRP-L and fluorspar fines to replace the fluorspar lumps in secondary refining of SAE1012 steel produced by Aperam. The utilization of this briquette has permitted the partial replacement of imported fluorspar lumps, without any deleterious metallurgical influence. The internal quality of produced steels remains the same, fulfilling all specified requirements of the products.

**Keywords:** Briquette; Synthetic slag; Recycling.

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Mestrando de Engenharia de Materiais, UFOP, Metalurgista de processo, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro de Materiais, Mestre em Metalurgia, Solvi Insumos, Timóteo, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista, Dr., Consultor na Solvi Insumos, Timóteo, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Metalurgista, Professor Doutor, Demet, UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheiro Metalurgista, Professor Doutor, Demet, UFOP, Belo Horizonte, MG, Brasil.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

A Aperam é produtora de aços inoxidáveis, por isso, utiliza fluorita como escorificante uma vez que o uso da alumina é restritivo devido a problemas de composição química do aço.

As reservas mundiais de fluorita são estimadas em 230 milhões de toneladas [1]. Estão distribuídas em diversos países e os mais representativos apresentam as seguintes distribuições percentuais das reservas mundiais: África do Sul (17,1%), México (13,3%), China (8,8%) e Mongólia (5,0%). As reservas brasileiras contribuem com somente 0,4%. No Brasil, as reservas de fluorita de qualidade metalúrgica (teor de fluorita entre 80% a 85%) são pequenas, o que implica em necessidade de importação.

A fabricação de aço pelo processo MRP-L ou BOF da Aperam, contribui para este consumo, sendo que a disponibilidade de fluorita na usina acabou por disseminar o seu uso em todos os processos de refino primário e secundário. Por outro lado, com a utilização da fluorita, o desempenho do revestimento refratário dos processos envolvidos no processamento do aço líquido é bastante comprometido.

Diante dos problemas comerciais envolvidos na utilização da fluorita, a substituição parcial ou total da fluorita na Aperam passou a ser um importante objetivo da empresa. Neste sentido, uma parceria foi estabelecida com a Solvi Insumos, com o objetivo de desenvolver um fluidificante a base de escória recirculada e resíduos de finos de fluorita para a formação de um compósito (briquete), capaz de substituir a fluorita na produção de aço de elevada pureza.

Na Figura 1 observa-se uma fotografia da fluorita granulada e finos de fluorita, resíduo de processo de peneiramento da Aperam (composição química:  $\text{CaF}_2 = 82,72\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 10,20\%$ ,  $\text{C} = 3,87\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,20\%$ ,  $\text{Fe}_t = 0,60\%$ ,  $\text{P} = 0,038\%$ , Umidade = 0,37).



Figura 1. Fluorita granulada e finos de fluorita importada.

Com este trabalho foi possível avaliar as principais variáveis de entrada e saída do convertedor MRP-L (BOF), o que resultou numa comparação de seu desempenho, com a utilização da fluorita ou de briquetes de finos recirculados de fluorita. As principais variáveis determinantes para esta avaliação foram a desfosforação e o teor de alumina na escória.

## 2 METODOLOGIA

Serão descritos os materiais, equipamentos e a metodologia para o desenvolvimento do trabalho.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



## 2.1 Equipamento Utilizado

O trabalho foi desenvolvido em escala industrial sendo utilizado o Convertedor MRP-L da Aperam, com tijolos refratários básicos, com capacidade máxima de 85 toneladas. Os insumos utilizados para o refino do aço são abastecidos por meio de silos.

## 2.2 Materiais Utilizados

As matérias primas utilizadas são escória gerada no refino do gusa no processo MRP-L, finos de fluorita gerada do sistema de peneiramento da Aperam, usina de Timóteo e ligante para aglomeração do briquete.

### 2.2.1 Escória recirculada

Na Aperam, todas as escórias geradas na aciaria, tanto a de convertedor como a de panela, são transportadas em potes idênticos para uma mesma planta de beneficiamento. Por isso foram tomados alguns cuidados especiais para que não houvesse mistura. A escória recirculada foi beneficiada em uma planta adaptada para obtenção das características físicas e composição química especificada. Após o beneficiamento foi feita a secagem natural da escória para redução da umidade. Então foi transportada para a Solvi Insumos onde foi efetuado peneiramento, formulação e briquetagem do fluidificante. Alguns detalhes do beneficiamento da escória são mostrados nas Figuras 2 e 3:



**Figura 2.** Beneficiamento da escória recirculada.



**Figura 3.** Transporte da escória recirculada.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



### 2.2.2 Briquete

Briquete é um bloco denso e compacto de materiais, geralmente feito a partir de resíduos, ver Figura 4 [2]. A composição química típica da escória recirculada, parte da formulação dos briquetes, em percentual (%) é:  $Fe_t = 33,5$ ;  $CaO = 28,9$ ;  $SiO_2 = 18,2$ ;  $MgO = 9,5$ ;  $MnO = 5,3$ ;  $Al_2O_3 = 2,5$ ;  $Cr_2O_3 = 0,8$ ;  $P_2O_5 = 0,7$ ;  $TiO_2 = 0,4$ ;  $S = 0,04$ . A composição química típica do fino de fluorita em percentual (%) é  $CaF_2 = 82,7$ ;  $SiO_2 = 10,2$ ;  $C = 3,8$ ;  $Al_2O_3 = 2,2$ ;  $Fe_T = 0,6$ ;  $P = 0,03$ ; Umidade =  $0,3$ .



Figura 4. Escória sintética briquetada utilizada nos testes.

## 2.3 Plano Experimental

O presente trabalho foi desenvolvido em duas etapas:

- 1ª etapa: Coleta dos dados das corridas de acordo com a prática regularmente adotada pela usina, sem utilização de briquetes;
- 2ª etapa: Realização dos testes, empregando briquetes de escória recirculada e finos de fluorita de geração interna.

Não foi efetuada modificação no modelo para adições de fundentes durante o sopro. A adição da escória sintética briquetada foi na mesma proporção em peso da adição da fluorita, isto é, na base de 1 para 1 em fluorita sendo que não foram reduzidas as adições dos fundentes cal calcítica e dolomítica. Portanto, promoveu-se a substituição parcial da fluorita, uma vez que o briquete está na faixa de 18 a 22% de  $CaF_2$ . A composição química média do briquete pode ser observada na Tabela 1. Portanto, foi introduzida uma redução significativa do consumo de fluorita granulada na Aperam.

Foram realizadas 30 corridas com adição do briquete em substituição à fluorita granulada. Avaliou-se o grau de desfosforação e o teor de alumina da escória. Existe uma restrição quanto ao teor de alumina pois os aços silício GNO possuem especificação química correspondente a um máximo de 50ppm de Al.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



**Tabela 1.** Composição química média do briquete

CaO	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fet	MnO	PPC
27,5	21,3	2,7	16,1	0,5	7,1	19,7	2,7	2,4

Os seguintes parâmetros foram observados durante a coleta de dados: basicidade da escória, adições de cal calcítica, dolomítica e fluorita, quantidade de briquete em relação a fluorita, teor de fósforo final de sopro, composição química da escória final de sopro (MgO e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), temperatura final de sopro e tempo de tratamento.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para substituição parcial da fluorita, utilizou-se um briquete com escória recirculada e finos de fluorita gerados em outras aplicações na usina. Foi efetuado a comparação com a prática padrão da Aperam. A média geral e o desvio padrão desses parâmetros podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Média Geral e desvio padrão dos parâmetros comparando a prática padrão utilizada pela Aperam e a etapa de teste [3]

		Bas	Fundentes (kg)				%	Temp.	(%P)/	%
			Cal Calc.	Cal Dol	Fluorita	Esc. Solvi				
Prática Aperam	Média	3,7	2774	3273	248	-	9,6	1675	99	1,1
	Desvio	0,6	777	893	152	-	2,37	26,0	34,2	0,5
Etapa de teste	Média	3,2	2633	3816	-	144	10,9	1683	104,5	1,3
	Desvio Padrão	0,3	847	893	-	54	2,1	17,8	17,7	0,2
Variação (%)	Média	(15,1)	(5,1)	14,2	-	-	12,3	0,47	5,6	14,9
	Desvio Padrão	(44,3)	8,3	0,0	-	-	(10,2)	(46,1)	(93,7)	(68,8)

Observa-se que a partição de fósforo foi aumentada. A alternativa de redução de consumo de fluorita no refino primário é indicada tanto do ponto de vista metalúrgico quanto econômico uma vez que a empresa possui uma geração de finos proveniente da produção de aços inoxidáveis.

A Figura 5 apresenta a região onde se localizam as escórias de final de sopro com a prática atual da Aperam e com a utilização da escória briquetada em substituição à fluorita. Considerando-se apenas os teores de CaO, MgO e SiO<sub>2</sub> pois o teor de FeO da escória manteve-se praticamente constante, ocorre uma redução na temperatura de fusão da escória da ordem de 200°C. Um percentual de fluorita, da ordem de 20%, apresentou-se suficiente para reduzir a temperatura de liquidus da escória obtendo-se uma rápida formação de escória (o que é muito benéfico nas etapas posteriores do processamento do aço) com características menos agressivas ao revestimento refratário.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

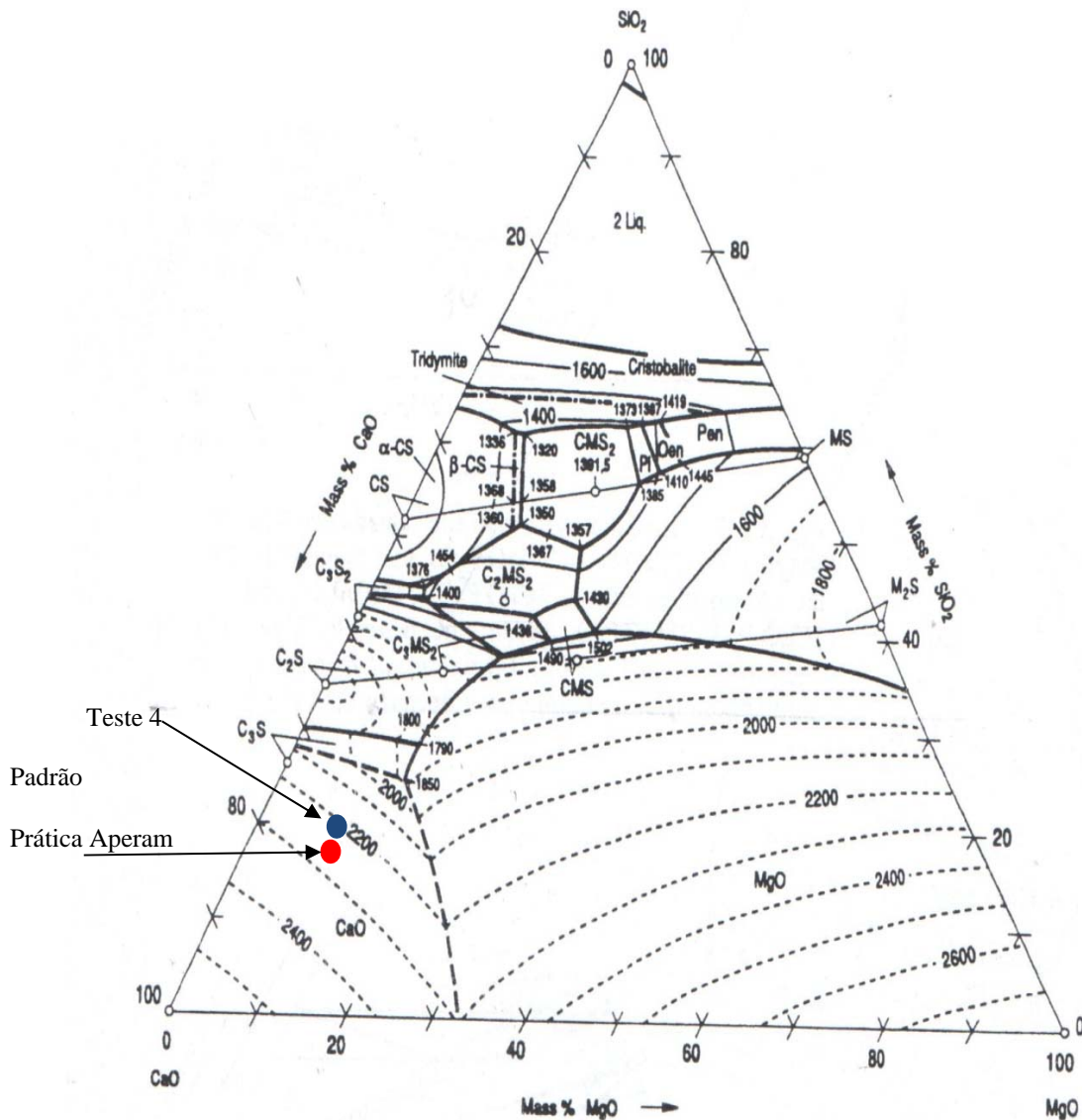


Figura 5. Diagrama Ternário CaO, MgO e SiO<sub>2</sub> [4].

Embora tenha sido planejado a substituição da fluorita granulada pelo briquete em peso na proporção de 1 para 1, trabalhou-se com a adição de briquete cerca de 40% menor, avaliando-se a análise da escória durante o acompanhamento que a adição de fluorita estava em excesso para relação 1 para 1, conforme mostrado na Tabela 2. O estudo permitiu obter uma redução de fluorita de 2,2 kg/t de aço.

#### 4 CONCLUSÕES

Da utilização do novo fluidificante à base de escória recirculada e finos de fluorita do sistema de peneiramento da aciaria da Aperam pode-se concluir:

- A utilização de finos de fluorita mais escória recirculada foi uma solução adequada para a prática da Aperam. A escolha da alternativa de substituição parcial da fluorita se deu em função de possibilitar utilizar na produção de outros aços tais como aço ao silício que requer faixa máxima de alumina na escória de 1,8% e 50ppm de Al no produto final (aço GNO), além de consumir os finos gerados dentro da Aperam.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



- A composição química da escória de final de sopro, não apresentou alteração significativa em relação aos valores normalmente obtidos pelo processo convencional.
- A capacidade de desfosforação da escória, calculada pela partição do fósforo, apresentou menores teores de fósforo no final de sopro nas corridas onde foi utilizado o briquete como fluidificante.
- Não foi percebido nenhum possível efeito negativo ao processo em função da adição da escória sintética briquetada;
- Houve uma redução no impacto ambiental em função da utilização da escória recirculada no processo de fabricação do aço carbono SAE 1012.

## REFERÊNCIAS

- 1 Fluorspar. Mineral Commodity Summaries 2009. Washington: U.S. Geological Survey; 2009. p.58-59.
- 2 Alvarenga VP. Utilização de mistura de fundentes briquetada em substituição à adição de cal dolomítica, fluorita e CaC<sub>2</sub> na produção de aços carbonos e ligados. In: ABM. 43º Seminário de Aciaria – Internacional; maio 2012; Belo Horizonte, Brasil. São Paulo: ABM; 2012.
- 3 Alvarenga VP. Resultados Operacionais Aperam 2013 [proposta de dissertação de mestrado]. Ouro Preto: UFOP; out. 2013.
- 4 Slag Atlas. Verlag Sthaleisen GMBH. 2ª ed. Dusseldorf: Slag Atlas; set.1995.

---

\* *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.*