

# UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA RECIRCULADA NA ACIARIA DA BELGO - USINA DE MONLEVADÉ<sup>(1)</sup>

*Wanderlei Miguel Gonçalves<sup>(2)</sup>  
João Baptista Romão<sup>(2)</sup>  
Marco Antônio M. Bosco<sup>(2)</sup>  
Anísio Ferreira Torres<sup>(2)</sup>  
Warley César Barbosa<sup>(2)</sup>  
Luiz Fernando Andrade de Castro<sup>(3)</sup>*

## **Resumo**

A quantidade de escória necessária para o refino do aço no processo LD é considerada uma das variáveis importantes, exercendo influência direta para o sucesso do refino primário do aço líquido. Embora a quantidade de escória, possa variar um pouco entre as aciarias, um valor considerado razoável está entre 70 e 80 kg de escória por tonelada de aço líquido. A principal variável que contribui de maneira significativa para a determinação da quantidade de escória, é o “input” de silício na carga. Esse trabalho teve como principal proposição, avaliar a viabilidade da utilização de escória recirculada da própria aciaria LD, visando a substituição de parte dos fundentes adicionados, considerando as condições operacionais da aciaria da Belgo - Usina de Monlevade. Os resultados preliminares mostraram ser viável a utilização desta prática em termos operacionais e financeiras. Os ganhos ambientais também podem ser considerados significativos, uma vez que a utilização da escória recirculada, reduz a quantidade de resíduos descartáveis gerados pelo processo.

**Palavras-chave:** Belgo, escória recirculada, LD.

*(1) Contribuição técnica a ser apresentada no XXXVI Seminário de Fusão - Vitória- 2005*

*(2) Funcionários da Belgo - Usina de Monlevade.*

*(3) Engenheiro Metalurgista, Prof. Dr. - UFMG*

## 1 INTRODUÇÃO

A aciaria LD da Belgo - Usina de Monlevade, possui dois convertedores de 110 t que operam em regime "stand by". Possui um forno panela e uma máquina de lingotamento contínuo de tarugos de seis veios e seção quadrada de 155 mm. Os tarugos alimentam dois laminadores de fio-máquina. A Usina está balanceada para uma produção de 1.200.000 t/ano de fio-máquina.

A carga metálica carregada no convertedor é composta de 80% de gusa líquido e 20% de sucata. Todo o gusa líquido é fornecido por um único alto-forno a coque, e apresenta a seguinte composição química média: carbono = 4,2%; silício = 0,370%; manganês = 0,430%; fósforo = 0,100% e enxofre = 0,010%.

Dentro das diretrizes de redução de custo da usina, esforços vem sendo direcionados para redução do teor de silício do gusa líquido. Além da redução no consumo de coque, o alto-forno fica mais estável operacionalmente com conseqüente aumento da produção, quando opera visando teor de silício menor.

A quantidade de escória no processo LD é função de alguns fatores, sendo o principal o teor de silício do gusa líquido. Embora o volume de escória praticado varie um pouco entre as diferentes aciarias, existe uma faixa considerada ideal que fica entre 70 a 80 kg de escória por tonelada de aço líquido. Operar com muita escória, além da perda de ferro na escória, tem outros efeitos colaterais ligados ao volume interno do convertedor, que podem trazer transtornos operacionais. Por outro lado, a operação com baixa quantidade de escória, pode contribuir para aderência de cascão na lança de oxigênio e na borda do forno. Além de elevar o custo de manutenção e risco de acidentes, a aderência desse metal acarreta perdas de produção, seja pelo tempo de parada para a sua remoção ou pela dificuldade no enforamento da sucata devido à redução do diâmetro da boca do forno.

A complementação da quantidade de escória, com uma maior adição de cal, traz alguns efeitos colaterais para o processo de sopragem. Normalmente, esses efeitos são contornados utilizando alguns artifícios, dentre eles a adição de fluidificantes de escória. Nesse caso, o mais utilizado é a fluorita. Porém a utilização de fluorita traz para o processo outros efeitos colaterais negativos. Além do custo, a fluorita pode trazer prejuízos para a vida útil do revestimento refratário do forno.

Experiências realizadas por algumas aciarias conseguiram resultados significativos, com uso de escória recirculada da própria aciaria ou adições de outros fundentes, substituindo parte da cal (THORNTON, ANDERSON, 1998)<sup>(5)</sup>; Donayo(2003)<sup>(3)</sup>. Além dos benefícios observados com relação a uma melhor e mais rápida dissolução da cal, existe também uma significativa redução de custo devido à redução no consumo de cal. Outra vantagem é com relação ao meio ambiente, pois, a utilização da escória recirculada reduz a geração de resíduos.

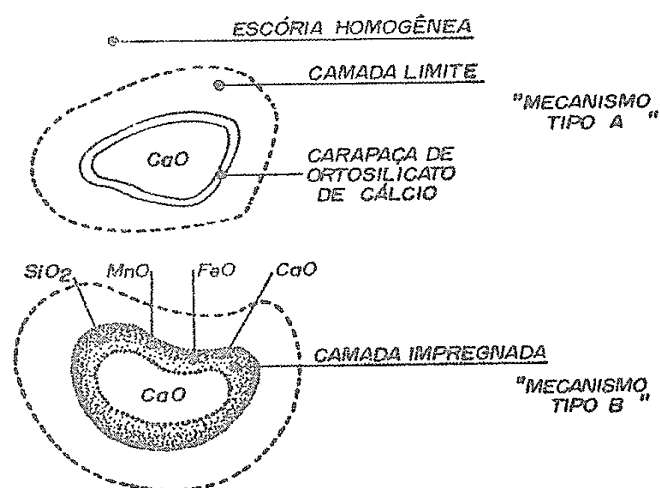
O presente trabalho descreve os experimentos realizados com utilização de escória recirculada na aciaria da Belgo - Usina de Monlevade.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Fundamentos teóricos

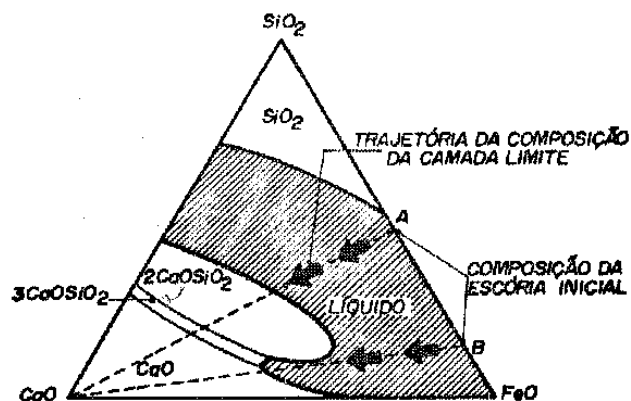
Os fundamentos teóricos para a realização desse experimento, têm como base o menor ponto de fusão da escória recirculada comparado com a cal. Esse fato se dá principalmente pelo teor de FeO presente na mesma. A fusão da escória recirculada é mais rápida, formando uma certa quantidade de escória fluida que já participa do processo logo no início do sopro. Além de contribuir para acelerar a própria dissolução da cal, a formação da escória mais cedo, irá minimizar a projeção de metal nos primeiros minutos de sopro. Esse período é considerado o mais crítico com relação à aderência de metal na lança e na borda do forno.

Conforme explica Campos(1980)<sup>(1)</sup>, o mecanismo de formação da escória é definido pela transferência do CaO para a fase líquida. Isso ocorre após o período passivo. Esse tempo dura em torno de um minuto, e se inicia após o grão de cal ter sido molhado pela escória líquida e se solidificar em torno dele. O processo de dissolução da cal pode ser alterado conforme o teor de FeO inicial presente na escória. Quando a escória tem baixo teor de FeO, a medida que a cal se dilui, forma-se na camada limite, o ortossilicato de cálcio ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ). Esse composto possui alto ponto de fusão e prejudica sensivelmente a dissolução da cal. Porém quando a escória inicial possui um teor de FeO mais alto, a trajetória da camada limite não atinge a formação do ortossilicato de cálcio. É formada então uma carapaça impregnada contendo  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$  e  $\text{CaO}$ . A figura 1 mostra os dois mecanismos descritos. Esses mecanismos estão identificados como "A" e "B".



**Figura 1.** Mecanismos de dissolução da cal, mostrando a camada impregnada<sup>(1)</sup>.

A trajetória da formação da escória em função do seu teor inicial de FeO, também pode ser observada na Figura 2 através do diagrama ternário CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO.



**Figura 2.** Esquema dos dois mecanismos de dissolução da cal, no diagrama ternário, CaO-FeO-SiO<sub>2</sub><sup>(1)</sup>.

## 2.2 Planejamento para realização dos experimentos

Como o foco principal foi uma análise somente do primeiro período de sopro, não interessando nesse primeiro momento os resultados finais de processo, foi elaborado um modelo específico para os cálculos das adições de fundentes. Esse modelo teve sua base de cálculos no balanço de massa de toda a carga a ser adicionada no convertedor. Também foram considerados parâmetros de processo como: rendimentos, composição química dos materiais, carga metálica, etc. Foi feito também um balanço térmico com base no calor de aquecimento (CASTRO,1996)<sup>(2)</sup> com as novas adições. Esse modelo teve como finalidade a padronização das adições para as duas condições propostas, com e sem adição de escória. Também nessa fase foi feito o planejamento das atividades periféricas, uma vez que, todos testes foram realizados junto com as atividades de rotina da aciaria. Alguns aspectos importantes foram então foco de uma atenção especial como:

- segurança absoluta das pessoas e equipamentos;
- evitar interferências com o ritmo de produção e qualidade do aço;
- obtenção de resultados confiáveis.

As principais atividades do procedimento estão relacionadas abaixo:

- Preparação da escória recirculada conforme especificação;
- Padronização da carga metálica;
- Raspagem completa da escória do gusa líquido;
- Cálculo das adições através do modelo;
- Coleta das amostras de aço, escória e medida de temperatura para os diversos momentos durante o primeiro período de sopro;
- Identificação das amostras e análise de laboratório.

Foi planejada a elaboração de algumas corridas, sem e com adição de escória recirculada, como experimentos exploratórios, denominadas “condição A” e “condição B” respectivamente. Para ambas as condições foi previsto manter a faixa de silício do gusa líquido de 0,200% a 0,300%, valor considerado baixo para o processo. A faixa de manganês foi mantida entre 0,300 a 0,450%, faixa considerada normal de trabalho. O principal objetivo nessa fase foi a coleta de informações preliminares e ajustes do modelo de cálculos dos fundentes a serem adicionados. Como análise de resultados, o foco principal foi a avaliação da composição química da escória para os diferentes momentos do sopro (OLIVEIRA<sup>(4)</sup>). Também nessa

fase foi previsto o beneficiamento da escória da aciaria para a complementação das adições. As principais características da escória recirculada foram:

- Granulometria: 10 a 50 mm
- Baixa umidade
- Composição química conhecida.

A composição química média da escória recirculada é mostrada na tabela abaixo:

**Tabela 1.** Composição química média da escória recirculada(% em peso)

SiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
14,17	23,87	6,67	1,32	1,2	45,07	7,07

Para a confirmação dos resultados, após os ajustes previstos na fase anterior foi planejada a elaboração de duas seqüências de corridas, uma para cada condição mencionada anteriormente.

Até nessa fase do trabalho, o foco dos experimentos foi avaliar a evolução da composição química da escória, comparando as condições “A” e “B” para os diferentes momentos de sopro, sem considerar, portanto os resultados finais de processo. Para análise dos possíveis impactos do novo procedimento nesses resultados, foi planejada a elaboração de uma seqüência de corridas com adição de escória recirculada. Os resultados finais de processos foram comparados com algumas corridas do mesmo grupo de aço, elaborado com o processo convencional. As variáveis respostas medidas foram o tempo de sopro, teor de fósforo fim de sopro e consumo total de fundentes.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Principais dados de processo

Foram elaboradas quatorze corridas, sendo seis com procedimentos convencionais(condição “A”) e oito com utilização de escória recirculada (condição “B”) . O teor de silício e manganês do gusa líquido e as adições de fundentes referentes às corridas fabricadas nas condições “A” e “B” são mostrados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Dados de processo das corridas do experimento.

Cond.	Média/ desvio	Gusa Líquido		Escória recirculada (kg/t)	Cal calcítica (kg/t)	Cal dolomítica (kg/t)
		%Si	%Mn			
"A" n=6	Média	0,276	0,411	x	22,0	22,1
	Desvio.	0,027	0,062	x	1,2	1,2
"B" n=8	Médio.	0,301	0,425	14,4	19,3	19,6
	Desvio.	0,027	0,125	3,8	1,3	1,1

Foram coletadas as amostras aos dois, quatro e seis minutos de sopro. A composição química das escórias para as duas condições é mostrada na tabela 3:

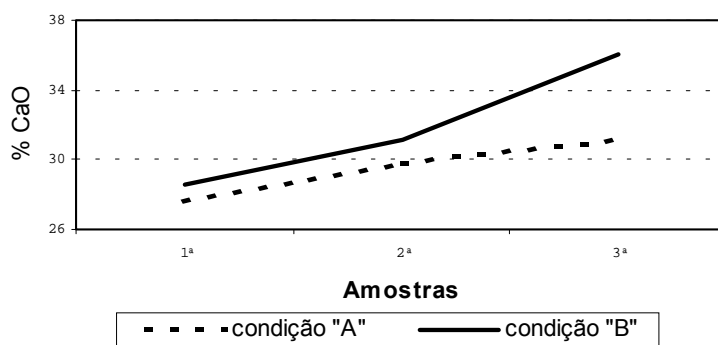
**Tabela 3.** Composição química das escória referente às três amostragens durante o 1º período de sopro

Cond.	Média/ desvio	%CaO			%SiO <sub>2</sub>			%FeO			%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
		1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
"A" n=6	Média	28,7	29,8	31,2	19,8	20,7	19,2	20,7	19,1	19,1	2,9	3,3	3,2
	Desvio	2,8	1,8	4,2	3,9	3,2	3,7	2,2	5,6	7,2	0,5	0,9	1,2
"B" n=8	Média	29,3	31,3	36,1	21,9	21,2	19,5	21,8	21,3	20,0	3,1	3,8	4,1
	Desvio	3,3	3,0	6,0	1,9	1,7	2,8	4,9	4,8	4,3	0,4	0,9	1,0

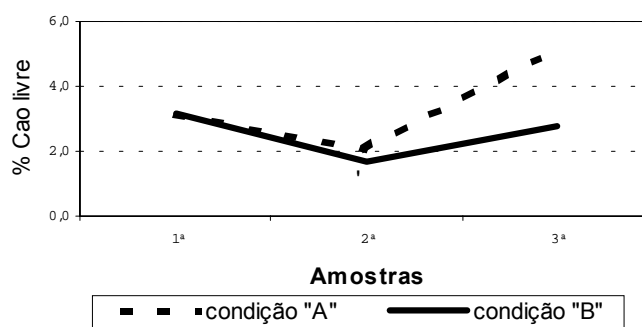
Cond.	Média/ desvio	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			%MnO			%MgO			%CaO livre		
		1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
"A" n=6	Média	2,5	3,1	3,0	12,5	11,7	7,9	9,7	10,1	11,2	3,4	2,1	5,2
	Desvio	1,3	1,6	1,3	1,8	1,4	1,9	4,1	5,2	6,0	1,9	0,5	4,5
"B" n=8	Média	2,4	2,8	2,7	11,5	10,0	8,5	7,8	7,9	9,2	3,2	1,7	2,8
	Desvio.	0,6	0,9	1,0	3,7	2,8	1,7	3,0	2,2	2,4	1,2	0,6	1,3

### 3.1 Análises e comentários sobre os resultados

Como já mencionado anteriormente, procura-se obter o máximo de dissolução da cal na escória logo no primeiro período de sopro. A figura 3 mostra que nas corridas com utilização de escória recirculada, foi obtido um maior teor de CaO. A figura 4 mostra que o teor de CaO livre nessas corridas foi menor. Analisando esses resultados juntos, pode-se concluir que nas corridas com utilização de escória recirculada (condição "B"), houve uma maior dissolução da cal no período de sopro analisado.



**Figura 3.** Evolução do teor de CaO na escória.



**Figura 4.** Evolução do teor de CaO livre na escória.

Conforme pode ser observado também na Tabela 3, as corridas da condição "B" apresentaram um maior teor de  $P_2O_5$  na escória. Considerando que a entrada de fósforo na carga foi praticamente a mesma para os dois casos, significa que houve uma maior fixação do fósforo na escória. Esse fato pode ser considerado mais uma evidência de uma melhor dissolução da cal para as corridas da condição "B". Outro aspecto também considerado relevante para as análises e conclusões, foram as observações visuais do aspecto físico da escória.

Para a avaliação dos resultados finais de processo, foram elaboradas onze corridas com adição de escória recirculada. Os resultados foram comparados com uma seqüência de corridas elaboradas com o processo convencional. Também para essa fase foram mantidas as mesmas condições operacionais da fase da pesquisa. Os resultados de fim de sopro e a composição química da escória, foram considerados satisfatórios comparando as duas condições. Outro resultado considerado relevante foi com relação à redução do consumo de fundentes. Os resultados são mostrados nas Tabelas 4 e 5.

**Tabela 4.** Consumo de fundentes e teor de "P" e "C" de fim se sopro

Condição	n	Adições de fundentes(kg/t)			Fim de sopro		T. de sopro (min:sec.)
		Cal calcítica	Cal dolomítica.	Escória recirculada	%P	%C	
"A"	11	25,7	29,2	0	0,012	0,044	15:56
"B"	11	28,0	16,9	21,8	0,011	0,050	15:03

**Tabela 5.** Composição química da escória fim de sopro

Condição	n	SiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Bas
"A"	11	10,4	33,1	4,7	1,3	1,8	40,8	7,9	3,9
		0,9	3,0	0,5	0,0	0,6	1,6	0,4	0,4
"B"	11	11,6	29,6	5,1	1,3	1,7	42,5	8,2	3,7
		1,4	6,3	0,5	0,1	0,3	3,6	1,3	0,6

## 4 CONCLUSÃO

Os estudos mostraram viável a substituição de parte da cal utilizada na LD, com a utilização da escória recirculada da própria aciaria, com objetivos de complementar a massa de escória, quando se reduz o teor de silício do gusa líquido. Foi considerada também relevante, a significativa redução no consumo de cal calcítica e cal dolomítica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 CAMPOS, V.F. Tecnologia de fabricação do aço líquido. Belo Horizonte: UFMG, 1980. v. 1, p 77-114.
- 2 CASTRO, L. F., A. SAMPAIO, R. S.; TAVARES, R. P. **Termodinâmica metalúrgica**. Belo Horizonte: UFMG, 1996. v. 1, p 456-487.
- 3 DONAYO, R. Carga de escoria reciclada en los convertidores. In: STEELMAKING CONFERENCE, 14., 2003, San Nicolás. Buenos Aires: Instituto Argentino de Siderurgia, 2003.
- 4 OLIVEIRA, S. P. Curso de Diagramas de Fase Aplicados à Siderurgia. Curso fechado para Belgo - Usina de Monlevade. Agosto / Setembro de 2004.
- 5 THORNTON, G.; ANDERSON, D. Low phosphorus basic oxygen steelmaking practices in British Steel. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 25, n.3, p 233-238, 1998.



# UTILIZATION OF RECLYCLED SLAG IN THE SLEELSHOP OF BELGO - MONLEVADE PLANT <sup>(1)</sup>

*Wanderlei Miguel Gonçalves<sup>(2)</sup>  
João Baptista Romão<sup>(2)</sup>  
Marco Antônio M. Bosco<sup>(2)</sup>  
Anísio Ferreira Torres<sup>(2)</sup>  
Warley César Barbosa<sup>(2)</sup>  
Luiz Fernando Andrade de Castro<sup>(3)</sup>*

## **Summary**

One of the most important variables to the success of steel primary refining is slag volume. Although the volume applied by the steelmakers do not vary so much, a reasonable range to be considered range is 70 until 80kg/t of liquid steel. Silicon input on the total charge of BOF influences strongly the slag volume because the refining process must follow the determined binary basicity ( $\%CaO/\%SiO_2$ ) to reach the end blow target. The main objective of this paper is to evaluate the utilization of recycled slag (from primary refining) focused in BOF operational parameters. Recycled slag was used to complement slag volume and to help in slag formation. Preliminary results have shown a great possibility of recycled slag utilization during primary refining as well a cost reduction. Environment gains must be considered once the recycling process reduces the slag disposal to the environment.

**Key-words:** Belgo, Recycled slag, BOF.

*(1) Paper to be presented at XXXVI Refining Seminar – Vitória- 2005*

*(2) Technical Assistant- Belgo - Usina de Monlevade Steel Plant*

*(3) Metalurgical Engineer, Ph.D Professor at UFMG*