

RECUPERAÇÃO DE CONTEÚDO METÁLICO DE AGREGADO SIDERÚRGICO PROVENIENTE DE ACIARIA LD APLICADO EM CARRO TORPEDO¹

Sidiney Nascimento Silva²
André Tarcizo de Oliveira Vieira³
Fábio André da Silva Nascimento⁴
João Henrique Echternacht⁵
José Ricardo de Oliveira⁶
Maxwell Pereira Cangani⁷
Fernando Vernilli⁸

Resumo

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) gera aproximadamente 600 mil toneladas/ano de escória de aciaria. Grande parte deste resíduo é utilizado como agregado siderúrgico para uso em leitos de ferrovias e pavimentação de rodovias. Porém a escória de aciaria ainda apresenta elevados teores metálicos em sua composição. Este trabalho tem como objetivo demonstrar a valoração do resíduo em outra aplicação. O estudo comprova que é possível a utilização de parte da escória, que é denominada escória C, ser aplicada em carros torpedos aproveitando a estrutura já existente do projeto de adição de pelotas auto-redutoras em carro torpedo.

Palavras-chave: Escória de aciaria LD; Conteúdo metálico; Resíduos; Carro torpedo.

RECOVERY OF METALLIC CONTENT OF SLAG BOF CONVERTER APPLIED IN HOT-METAL TRANSFER CAR

Abstracts

The Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) its generates 600 thousand ton/year of slag BOF converter approximately. Great part of this residue is used as metallurgical aggregate for use in railway beds and pavement of highways. Even so the slag BOF converter still presents high metallic contents at this composition. This work has as objective to demonstrate to give value of the residue in another application. The study checks that it is possible the use of part of the slag, denominated "Escória C", to be applied in hot-metal transfer car already taking advantage of the structure existent of the project of addition of pellets self-reduction in hot-metal transfer car.

Key words: Slag BOF converter; Metallic iron; Residues; Hot-metal transfer car.

¹ *Contribuição técnica ao XXXIX Seminário de Aciaria – Internacional, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba, PR, Brasil*

² *Dr – Gerente Processos Metalúrgicos da CSN.*

³ *Coordenador de Projetos Especiais da CSN.*

⁴ *Técnico especialista da CSN.*

⁵ *MSc – Engenheiro de Desenvolvimento Sênior da CSN.*

⁶ *MSc – Engenheiro Especialista da CSN.*

⁷ *Mestrando – DEMAR – EEL- USP.*

⁸ *Prof. Dr – DEMAR – EEL – USP.*

1 INTRODUÇÃO

No atual ciclo de crescimento econômico, considerando-se o contexto de equilíbrio no consumo e na conservação dos recursos extraídos da natureza, a reciclagem torna-se uma importante ferramenta para redução da poluição e no uso racional de energia, transformando custo de disposição em faturamento.

O valor agregado do resíduo é negativo antes da reciclagem. Porém, apresenta a vantagem de ter custo extrativo nulo quando comparado ao custo de extração do produto primário.

Visando a competitividade econômica a tecnologia de reciclagem deve ter custo e complexidade no máximo igual a do beneficiamento do produto primário.

As escórias de aciaria, são resíduos gerados no refino de ferro-gusa, tendo como composição básica SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , MgO , MnO , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , carbono, dentre outros, com uma grande geração anual.

Além das possibilidades de aproveitamento como lastro de ferrovias e pavimentação de vias públicas, a escória deve ser submetida a um processo de beneficiamento, que busque recuperar ao máximo o metal contido, visando sua reutilização na produção de aço, reduzindo o custo e evitando exploração de recursos naturais. Deste processo de recuperação metálica, obtém-se um subproduto com aplicação técnica e econômica.

1.1 Geração

O volume de escória gerada na produção siderúrgica varia em função das matérias primas, e atualmente este volume não é quantificado na maioria das indústrias. Usualmente, a quantidade de escória gerada é estimada pela quantidade de aço e gusa produzidos e por taxas médias de geração de escória.

Na aciaria LD, os volumes de geração de escória bruta apresentam grande variação, porque são influenciados pelo tipo de aço produzido. Na média temos uma geração nos conversores LD de 105 kg de escória por tonelada de aço bruto (de 45 até 165 kg / ton).

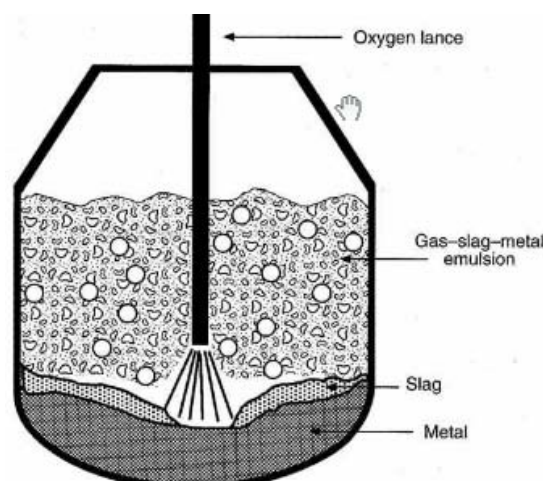


Figura 1 – Geração de escória em conversor LD.

1.2 Processamentos de Escórias de Aciaria

A utilização de alguns princípios de beneficiamento de minérios no tratamento físico dos resíduos industriais sólidos, caracterizam-se pela economia e praticidade de aplicação. O beneficiamento da escória de aciaria, consiste em operações unitárias de cominuição, operações estas que não modificam a identidade química dos minerais e metais presentes na escória.

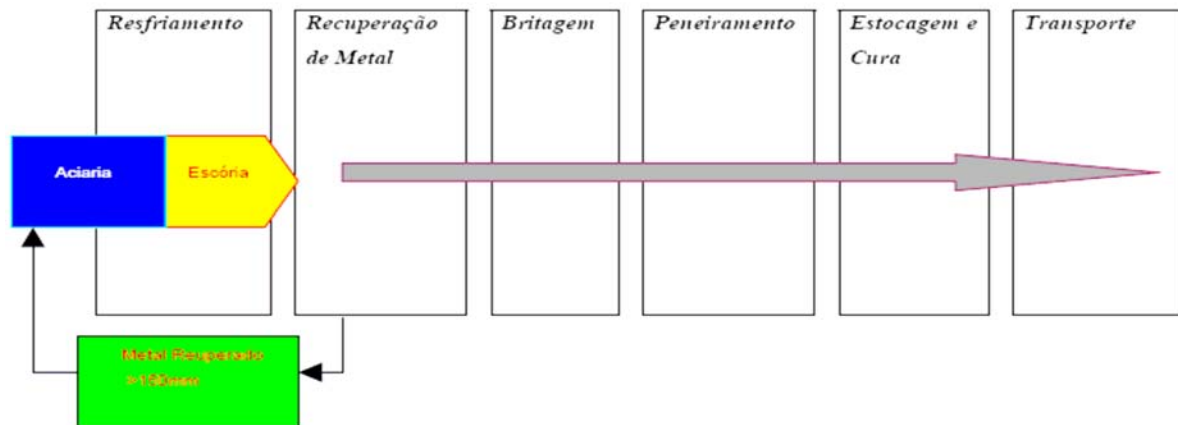


Figura 2 – Beneficiamento típico de escória de aciaria.

Pelo método de resfriamento utilizado pode-se gerar três tipos de escória: Resfriada ao Ar, Expandida e Granulada (inclusive pelletizada)



Figura 3 – Deposição de escória de aciaria para resfriamento na CSN.

A escória resfriada ao ar é formada pelo resfriamento lento da escória num poço ao ar livre. Após sua solidificação, ela pode ser ainda mais resfriada pela adição de água.

A escória expandida é obtida pelo rápido vazamento da escória fundida em poços de parede inclinada molhados no fundo, de forma a permitir que o vapor penetre na escória enquanto líquida.

A escória granulada é produzida pelo resfriamento rápido (ou têmpera) da escória líquida, gerando uma estrutura vitrificada (*glass-like*). Jatos d'água em alta pressão são lançados diretamente na saída da escória fundida.

A escória pelletizada é uma variação da escória granulada, na qual água corrente, num tambor rotativo, é utilizada para atomizar a escória.

Após o resfriamento, a escória é fragmentada para recuperação do metal contido. Grande parte do metal presente na escória de aciaria, solidifica-se no fundo do pote de escória, em seguida o metal é separado para reuso.

A cominuição é um dos primeiros estágios do beneficiamento de escória de aciaria, nesse processo utiliza-se equipamentos de britagem para a redução dos tamanhos e para a liberação dos metais associados.

A fração metálica é extraída pela ação de uma série de polias magnéticas, peneirada, e então reciclada nos fornos de aço.

Esta fração metálica é classificada em sucata A, sucata B e escória C em função da granulometria e teor metálico presente.

Tanto a sucata A como a sucata B tem aplicações diretas no coversor da aciaria.

Este estudo tem como objetivo demonstrar a viabilidade da aplicação da escória C em carro torpedo para a recuperação do teor metálico contido.

A metodologia do trabalho consistiu em: caracterização da escória, escolha do processo de recuperação; e análise dos resultados.

2 MATERIAIS E METÓDOS

A sucata C foi caracterizada quanto a sua macro e microestrutura e principais propriedades físico-químicas.

2.1 Caracterização Ambiental

Para a caracterização ambiental da escória de aciaria foram utilizadas as seguintes normas de referência.

- NBR - 10.004: 2004 - Classificação de Resíduos Sólidos
- NBR - 10.005: 2004 - Ensaio de Lixiviação
- NBR - 10.006: 2004 - Ensaio de Solubilização
- NBR - 10.007: 2004 - Amostragem dos Resíduos Sólidos
- Métodos do Standard Methods of Water and Wastewater - 20a Edição/SW 46 – EPA

Os resultados são apresentados a seguir:

Tabela 1 – Ensaio da amostra bruta.

PARÂMETROS	UNIDADES	L.M.	L.D.	RESULTADOS
Antimônio	mg Sb/Kg	-	50	n.d.
Arsênio	mg As/Kg	-	2,0	n.d.
Bário	mg Ba/Kg	-	15	237
Berílio	mg Be/Kg	-	4	n.d.
Cádmio	mg Cd/Kg	-	0,5	n.d.
Chumbo	mg Pb/Kg	-	10	30
Cobalto	mg Co/Kg	-	5	n.d.
Cobre	mg Cu/Kg	-	2,5	21
Crômio VI	mg Cr/Kg	-	4,5	n.d.
Crômio Total	mg Cr/Kg	-	3,0	63
Mercúrio	mg Hg/Kg	-	1,25	n.d.
Molibdênio	mg Mo/Kg	-	10	n.d.
Níquel	mg Ni/Kg	-	1,5	6,8
Prata	mg Ag/Kg	-	2	n.d.
Selênio	mg Se/Kg	-	3,0	n.d.
Tálio	mg Tl/Kg	-	100	n.d.
Vanádio	mg V/Kg	-	50	n.d.
Zinco	mg Zn/Kg	-	0,5	261
Umidade	%	-	0,1	3,7
Óleos e Graxas	%	-	0,1	0,6
Cianeto	mg CN/Kg	250	1,70	n.d.
Fluoreto	mg F/Kg	-	100	826
Fenóis	mg C ₆ H ₅ OH/Kg	-	0,10	n.d.
pH	-	< 2,0 e >12,5	-	11,28

OBS.: 1. **L.M.:** Limites Máximos da NBR 10004; 2. **L.D.:** Limites de Detecção do Método; 3. **n.d.:** Não detectado; 4. Resultados expressos na base seca.

Tabela 2 – Ensaio de Solubilização da escória de aciaria.

PARÂMETROS	UNIDADES	L.M.	L.D.	RESULTADOS
Alumínio	mg Al/L	0,2	0,03	0,17
Arsênio	mg As/L	0,01	0,010	n.d.
Bário	mg Ba/L	0,7	0,30	1,15
Cádmio	mg Cd/L	0,005	0,001	n.d.
Chumbo Total	mg Pb/L	0,01	0,01	n.d.
Cobre	mg Cu/L	2,0	0,010	n.d.
Crômio Total	mg Cr/L	0,05	0,016	n.d.
Ferro	mg Fe/L	0,3	0,012	0,033
Manganês	mg Mn/L	0,1	0,012	n.d.
Mercúrio	mg Hg/L	0,001	0,001	n.d.
Prata	mg Ag/L	0,05	0,009	n.d.
Selênio	mg Se/L	0,01	0,003	n.d.
Sódio	mg Na/L	200	0,030	5,67
Zinco	mg Zn/L	5,0	0,001	n.d.
Cianeto	mg CN/L	0,07	0,017	0,296
Fluoreto	mg F/L	1,5	0,10	20,6
Sulfato	mg SO ₄ /L	250	2	< 4
Cloreto	mg Cl/L	250	0,5	14
Nitrato	mg N/L	10,0	0,02	n.d.
Fenóis Totais	mg C ₆ H ₅ OH/L	0,01	0,001	< 0,002
Surfactantes	mg LAS/L	0,5	0,07	< 0,35

OBS.: 1. **L.M.:** Limites máximos segundo anexo G da NBR 10004:2004; 2. **L.D.:** Limites de Detecção do Método; 3. **n.d.:** Não detectado.

Tabela 3 – Ensaio de Lixiviação da escória de aciaria

PARÂMETROS	UNIDADES	L.M.	L.D.	RESULTADOS
Arsênio	mg As/L	1,0	0,010	n.d.
Bário	mg Ba/L	70,0	0,30	0,49
Cádmio	mg Cd/L	0,5	0,004	n.d.
Chumbo Total	mg Pb/L	1,0	0,05	n.d.
Crômio Total	mg Cr/L	5,0	0,016	n.d.
Mercurio	mg Hg/L	0,1	0,001	n.d.
Prata	mg Ag/L	5,0	0,009	n.d.
Selênio	mg Se/L	1,0	0,003	n.d.
Fluoreto	mg F/L	150	0,10	1,07

OBS.: 1. **L.M.:** Limites máximos segundo anexo F da NBR 10004:2004; 2. **L.D.:** Limites de Detecção do Método; 3. **n.d.:** Não detectado.

De acordo com os dados obtidos, a escória de aciaria pode ser caracterizada como Classe II A (resíduo não inerte).

2.2 Caracterização Microestrutural e Físico-química

A amostra de sucata “C” de Aciaria foi pulverizada para facilitar a identificação dos diversos elementos químicos presentes em sua composição. A Figura 4 apresenta a imagem de composição da amostra (Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV, Imagem de Elétrons Secundários – SE).

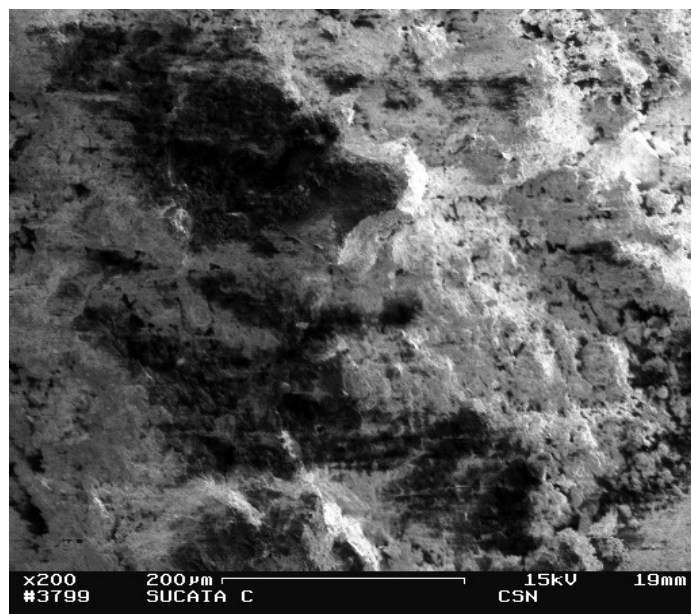


Figura 4 – Micrografia da sucata “C” de aciaria - MEV, imagem de elétrons secundários.

Análises com auxílio de microsonda eletrônica - MEV/EDS (Figura 5), revelaram a presença dos seguintes elementos: Fe (ferro), O (oxigênio), C (carbono), Mg (magnésio) e Si (silício).

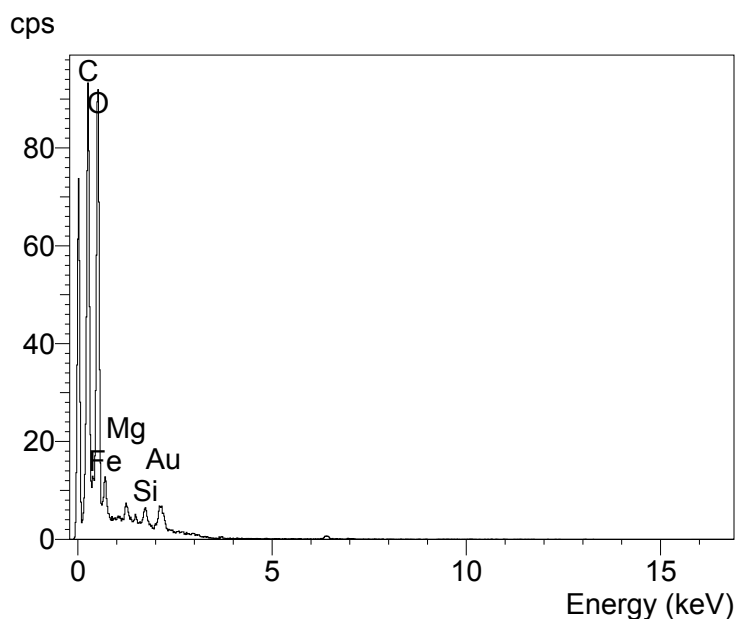


Figura 5 – Microanálise (EDS) da Sucata “C” de Aciaria.

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise química quantitativa dos óxidos e ferro metálico presentes na amostra de sucata “c” de Aciaria.

Tabela 4 – Análise química quantitativa de óxidos e ferro metálico.

Composição (%)										
Fet	Fe°	Al ₂ O ₃	SiO ₂	ZnO	FeO	CaO	MgO	C	S	P
61,4	39,1	2,754	5,495	0,01	4,224	10,73	2,815	0,369	0,084	0,218

A sucata “C” de Aciaria é constituída essencialmente de óxidos de ferro e ferro metálico, com baixa concentração de óxidos não ferrosos como MgO e CaO.

A distribuição granulométrica da Escória C está compreendida na faixa entres maior que 5 mm e menor que 20 mm.



Figura 6 – Fotografia da Escória “C” de Aciaria.

2.3 Metodologia

Utilizando-se das estruturas de um projeto pioneiro da CSN, o desenvolvimento de pelotas auto-redutoras (AR) a partir da aglomeração de resíduos siderúrgicos portadores de ferro e carbono e sua adição direta em Carro-Torpedo, foram feitos testes da adição conjunta das pelotas AR e da escória C.



Figura 7 – Carregamento de Gusa em Carro-Torpedo.

3 PROCESSO

Após separação magnética, foi observado que em função de sua granulometria, a aplicação da escória C junto à carga de sucata não é econômica.

Entretanto devido aos elevados teores de ferro, a recuperação desta carga metálica constitui um desafio técnico.

Desta forma, aproveitando-se o calor dos Carros-Torpedo e a energia liberada durante o processo de auto-redução das pelotas, a fração metálica da escória C pode ser incorporada ao Gusa vazado dos Altos-Fornos e sua fração não metálica absorvida pela escória.



Figura 8 – Carregamento de Carro-Torpedo na estação de adição de pelota AR.



Figura 9 – Carro-torpedo com carga de sucata “C” de aciaria e pelota AR.

4 CONCLUSÃO

Como principais conclusões do extenso trabalho, pode-se concluir que:

O processo desenvolvido demonstrou a viabilidade da utilização de escória “C” de aciaria pela adição em carro-torpedo, o qual pode substituir parte da sucata adquirida de terceiros, para abastecimento dos convertedores LD da CSN.

O processo mostrou-se promissor na utilização de resíduos siderúrgicos gerados na Aciaria, indicando a possibilidade de montagem de uma planta industrial.

Os resultados obtidos com o produto final habilitam o prosseguimento dos testes para sua utilização nos Carros-Torpedo, como complemento da carga de sucata que hoje são usadas nos conversores.

Praticamente não há alteração nos balanços térmicos e de escória no carro torpedo, se adicionado até 2 a 3% da carga.

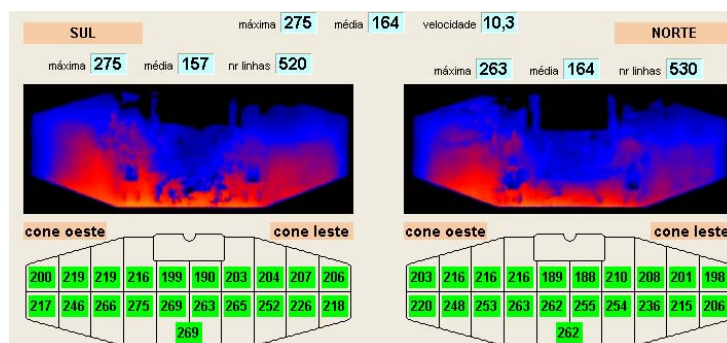


Figura 10 – Termografia típica de CT com adição

O ferro metálico contido na sucata “C” de aciaria, ao entrar em contato com o Gusa dentro do Carro-Torpedo, irá fundir e será incorporado ao metal líquido.

Pelas características do processo de produção de aço (atmosfera oxidante), é de se esperar que o fósforo presente na sucata “C” de aciaria esteja na forma de P_2O_5 , com isso, não sendo incorporado e elevando o teor de fósforo no Gusa.

BIBLIOGRAFIA

- 1 V. P. Della, J. A. Junkes, I. Kuhn, H. G. Hiella, D. Hotza - **Utilização do subproduto da recuperação metálica de escórias de aços inoxidáveis na síntese de pigmentos cerâmicos; caracterização da matéria-prima** - Cerâmica 51 (2005) 111-116
- 2 Lima, Aderaldo Gomes de Souza; Rocha, Eugênio Santos Minêu; Ribeiro, Laelson Dourado Ribeiro; Brandão, Iara – Monografia, Escola Politécnica 1999 – **Recuperação de manganês, ferro eletrolítico, magnésia e escória silicata provenientes de escórias siderúrgicas**
- 3 Vieira, André Tarcizo de O.; Nascimento, Fábio André da S; Echternacht, João Henrique, Oliveira, José Ricardo; Bentes, Miguel Angelo da Gama; Fusco, Paulo Roberto; Costa Reis, Walter Luiz –**Reciclagem Industrial de Resíduos Siderúrgicos através do processamento de pelotas auto-redutoras** – XXXVIII Seminário de Redução da ABM. Salvador, Setembro de 2007.
- 4 Vieira, André Tarcizo de O.; Longo, Elson; Echternacht, João Henrique, Oliveira, José Ricardo, Costa Reis, Walter Luiz – **Produção piloto de pelotas a partir da lama fina de aciaria LD e óxido de ferro sintético, gerado na decapagem ácida da CSN** – XXXVII Seminário de Aciaria ABM. Porto Alegre, Maio de 2006.
- 5 Oliveira, E. R., Martins, J. – **Emprego de Resíduos Siderúrgicos e Pellet Feed Micropelotizados na Sinterização de Minério de Ferro** – R. Esc. Minas, Ouro Preto, 56(4): 249-254, out-dez 2003.
- 6 Noldin Jr, José Henrique; D’Abreu, José Carlos; Martins, Karla de Meo Martins; Rodrigues Filho – **Cinética de Redução de Briquetes Auto-Redutores** – Seminário de Auto-Redução e Aglomeração a Frio do 58º Congresso Anual da ABM. Julho de 2003.
- 7 Nascimento, Ramiro C., et al. – **The Self-Reduction Technology For Recycling of Solid Wastes In An Integrated Steelmaking Plant : A Sustainable Alternative.** – Materials Transactions - vol. 42, no. 12, 2506-2510, 2002.
- 8 Takano, Cyro, et al.- **Reciclagem de Resíduos Siderúrgicos Sólidos** – Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2000
- 9 Landow, M.P., et al – **An Overview of Steel Mill Waste Oxide Recycling by Cold Bonded Roll Briquetting**, Ironmaking Conference, ISS, 1998.