



## ADIÇÃO DE METÁLICOS EM CARRO TORPEDO\*

*André Tarcizo de Oliveira Vieira<sup>1</sup>*

*João Henrique Echternacht<sup>2</sup>*

*José Ricardo de Oliveira<sup>3</sup>*

*Paulo Roberto Fusco<sup>4</sup>*

### Resumo

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) gera diversos resíduos metálicos de diferentes granulometrias que não podem ser utilizadas na rota natural da produção do aço. Este trabalho tem como objetivo descrever o pioneirismo do desenvolvimento e a implantação de melhorias no sistema de adição em carros torpedos que permitiram a utilização nobre de resíduos ricos em ferro, demonstrando a viabilidade técnica assim como a viabilidade econômica. A redução do consumo de energia é outro argumento para reciclagem de resíduos, neste contexto a CSN tem aumentado o interesse pela reciclagem devido a necessidade de diminuição de consumos energéticos e da consciência ambiental. O processo desenvolvido demonstrou a viabilidade da utilização de metálicos de pequena granulometria pela adição em carros torpedo, aumentando a oferta de ferro gusa líquido para os convertedores da CSN.

**Palavras-chaves:** Carga metálica; Resíduos; Carro torpedo.

### INCORPORATION OF METAL INTO PIG IRON

#### Abstract

The National Steel Company (CSN) generates several metallic waste of different particle size that cannot be used in natural route of steelmaking. This paper aims to describe the pioneering development and implementation of improvements of addition system of hot-metal transfer car that allowed the noble use of iron-rich waste system, demonstrating the technical feasibility and the economic viability. Reducing energy consumption is another argument for recycling, in this context CSN has increased interest in recycling due to the necessity of decrease of energy consumption and environmental awareness. The developed process has demonstrated the feasibility of using small metal particle size by adding in hot-metal transfer car, increasing the supply of liquid pig iron to converters CSN.

**Key words:** Metallic iron; Residues; Hot-metal transfer car.

<sup>1</sup> Coordenador, CSN, Brasil.

<sup>2</sup> MSc, Engenheiro Especialista, CSN, Brasil.

<sup>3</sup> MSc, Engenheiro Especialista, CSN, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Especialista.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



## 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 ao do beneficiamento do produto primário.

A redução do consumo de energia é outro argumento para a reciclagem de resíduos, neste contexto, as Indústrias Siderúrgicas tem aumentado o interesse pela reciclagem devido à necessidade de diminuição de consumos energéticos e da consciência ambiental.

As siderúrgicas integradas geram diversos tipos de resíduos sólidos em grande quantidade. Entre estes resíduos temos os recicláveis contendo ferro, os finos de coque e as escórias.

A recuperação do conteúdo metálico contido nos resíduos sólidos passou a ser um importante desenvolvimento tecnológico, tanto do ponto de vista das restrições legais impostas pelas legislações relativas à proteção do meio ambiente, quanto do ponto de vista econômico.

Como consequência, os resíduos hoje são considerados co-produtos e o processo de reciclagem passou a ser encarado como um “negócio”.

Durante o processo de redução do minério de ferro para a produção de ferro gusa, é gerado um subproduto, a “escória de alto-forno”. Esta, ainda em forma líquida é encaminhada para o sistema de granulação que a resfriam bruscamente.

No passado, este material era considerado um resíduo siderúrgico, mas atualmente é matéria-prima essencial para a fabricação de cimento Portland substituindo o clínquer. Esta substituição reduz o consumo de energia e a emissão de CO<sub>2</sub> pelas cimenteiras.

A escória de alto forno é composta basicamente por CaO e SiO<sub>2</sub> possuindo um pequeno percentual de ferro gusa (0,5%) em sua composição. Para uma redução de custos do processo de moagem as cimenteiras retiram estes finos metálicos, gusa granulado, por um processo de separação magnética, tornando-se um resíduo.

### 1.1. Geração

A geração de finos metálicos, gusa granulado, está atrelada à produção de escória dos altos fornos da CSN e da capacidade de retirada dos separadores magnéticos da fábrica de cimento.

A escória é gerada em função da produção de gusa, as produções dos dois altos fornos da CSN são da ordem de: Alto forno II com 4.000 t/dia de produção de gusa com uma geração específica média de 320 kg de escória por tonelada de gusa produzida; Alto forno III com 9.000 t/dia de produção de gusa com uma geração específica média de 330 kg de escória por tonelada de gusa produzida.

Com esta geração específica observa-se uma produção aproximada de 1,5 milhões de toneladas ano de escória de alto forno, a qual gera 7.500 toneladas de finos

\* *Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*



metálicos, gusa granulado, que não apresenta aplicação na UPV até o desenvolvimento deste projeto.

## 2. MATERIAIS E METÓDOS

### 2.1. Caracterização Microestrutural e Físico-química

A característica do gusa granulado extraído por separação magnética possui uma granulometria bastante reduzida (fina) conforme demonstra a figura 1.



Figura 1 – Foto comparativa do gusa com uma moeda de 25 centavos

Foi analisado a densidade aparente assim como a distribuição granulométrica do material.

A figura 2 demonstra a forma de determinação da densidade aparente, encontrando-se uma densidade de 4,6 g/cm<sup>3</sup>.



Figura 2 – Determinação da densidade aparente

A tabela 1 demonstra a distribuição granulométrica do gusa granulado.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Tabela 1 – Teste granulométrico do gusa granulado

Teste Granulométrico	
Massa analisada	2000 g
Malhas	Retido
9,5 mm	0,00%
4,75 mm	2,22%
2,38 mm	11,09%
1,18 mm	25,72%
# 600	35,48%
# 300	21,73%
# 150	3,55%
Fundo	0,22%

Foi analisado a composição mineralógica do material por DR-X / Método Rietveld aonde foi encontrado:

- Ferro metálico: 92% (fase majoritária).
- Guelenita ( $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ) / Silicato de cálcio (escória): 8%

A figura 3 demonstra a análise química realizada no gusa granulado.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo Laboratório de Caracterização Tecnológica Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.pol.usp.br tel: 11 3091-6151 Fax: 11 3091-6037 e-mail: lct@lct.pol.usp.br	
<b>RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA</b>	
CERTIFICADO: 937/12 AQ	REQ. 788/12
DATA: 04/07/12	
CLIENTE: SPECTRIS DO BRASIL INSTR. ELETRÔNICOS LTDA	
1. MÉTODO: Os teores apresentados foram determinados por análise semiquantitativa sem padrões ( <i>standardless</i> ) com análise de elementos químicos de flúor a urânio, em espectrômetro por fluorescência de raios X Axios Advanced, marca PANalytical.	
2. RESULTADOS: Análise semiquantitativa, valores expressos em % de elementos, normalizados a 100%.	
Nº LCT	6131/12
Amostra	Gusa granulada
Na	0,05
Mg	0,30
Al	0,46
Si	1,55
P	0,07
S	0,43
Cl	0,04
K	0,14
Ca	2,55
Ti	0,03
Cr	0,08
Mn	0,35
Fe	93,9
Cu	0,02
Sr	0,01
Nb	<<
<< = traços (menor que 0,01%), nd = elemento não detectado, gf = ganho ao fogo, mi = massa insuficiente.	

Figura 3 – Análise química (Fonte – USP).

## 2.2. Metodologia

A partir 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 do gusa granulado utilizando-se estas instalações.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

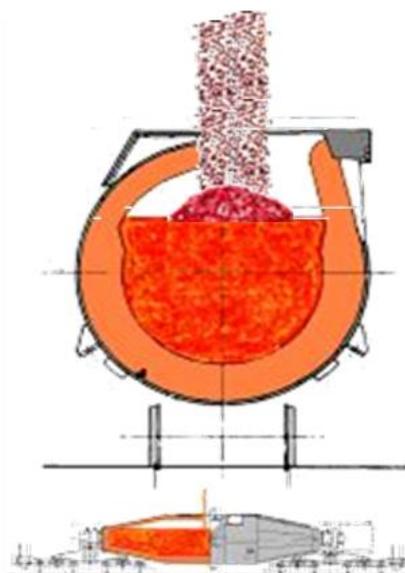


A partir dos testes iniciais, comprovada a possibilidade de utilização das instalações existentes, identificou-se a necessidade de promover modificações na estação de adição.



**Figura 4** – Carregamento de Carro-Torpedo na estação de adição antes das modificações

Visando não provocar interferências no escoamento dos Altos fornos, optou-se pela adição do gusa granulado em carros torpedo cheios, visto que durante o processo de dessulfuração a carga metálica sofre agitação.



**Figura 5** – Método para Carregamento de Gusa Granulado em Carro-Torpedo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido às características do gusa granulado, a utilização desta carga metálica constituiu um desafio técnico

Em função da reduzida granulometria do gusa granulado, foram necessárias diversas modificações na estação de adição de metálicos em carros torpedo. Estas adaptações consistiram em:

- a- Redução do volume interno do silo
- b- Alteração da inclinação das laterais do silo para facilitar o escoamento.
- c- Remoção da comporta de abertura do silo
- d- Instalação de calha vibratória para permitir a adição controlada
- e- Instalação de comporta frontal para evitar derramamentos

\* *Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*



**Figura 6** – Carregamento de Carro-Torpedo na estação de adição após modificações



**Figura 7** – Gusa adicionado no Carro-Torpedo na estação de adição



**Figura 8** – gusa granulado sendo incorporado ao gusa do carro torpedo

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



## 4 CONCLUSÃO

A competitividade econômica e a tecnologia de reciclagem devem ter custo e complexidade no máximo igual ao do beneficiamento do produto primário. O Projeto desenvolvido demonstra que os custos envolvidos, tanto na implantação quanto na operação são inferiores às matérias primas primárias.

A redução do consumo de energia é outro argumento para a reciclagem de resíduos, neste contexto, as Indústrias Siderúrgicas tem aumentado o interesse pela reciclagem devido à necessidade de diminuição de consumos energéticos e da consciência ambiental. Devido ao resíduo já estar reduzido, ou seja, na forma de ferro metálico, não existe consumo de energia para sua redução, apenas para sua fusão.

O ferro metálico contido no resíduo ao entrar em contato com o gusa líquido contido no Carro-Torpedo sofre fusão e é incorporado ao metal líquido.

Não há alteração nos balanços térmicos e de escória no carro torpedo, se adicionados de 2 a 3% da carga.

O processo desenvolvido demonstrou a viabilidade da utilização de metálicos de pequena granulometria pela adição em carros-torpedo, o qual pode aumentar a oferta de gusa líquida, para abastecimento dos convertedores LD da CSN.

O resultado econômico com a adição de metálicos de pequena granulometria mostrou-se viável em relação aos investimentos necessários.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Della VP, Junkes JA, Kuhn I, Hiella HG, Hotza D - 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 AGS; Rocha ESM, Ribeiro LD; Brandão I. Monografia, Escola Politécnica 1999 – Recuperação de manganês, ferro eletrolítico, magnésia e escória silicata provenientes de escórias siderúrgicas
- 3 Vieira ATO, Nascimento FAZ, Echternacht JH, Oliveira JR, Bentes MAG, Fusco PR; CRWL. Reciclagem Industrial de Resíduos Siderúrgicos através do processamento de pelotas auto-redutoras – XXXVIII Seminário de Redução da ABM. Salvador, Setembro de 2007.
- 4 Vieira ATO, Longo E, Echternacht JH, Oliveira JR, Costa RWL. 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 ER, 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 JH, D'Abreu JC, Martins KMM, Rodrigues F. Cinética de Redução de Briquetes Auto-Redutores – Seminário de Auto-Redução e Aglomeração a Frio do 58<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM. Julho de 2003.
- 7 Nascimento RC., et al. – The Self-Reduction Technology For Recycling of Solid Wastes In An Integrated Steelmaking Plant : A Sustainable Alternative. – Materials Transactions – 2002; 42(12): 2506-2510.
- 8 Takano C, 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 MP., et al – An Overview of Steel Mill Waste Oxide Recycling by Cold Bonded Roll Briquetting, Ironmaking Conference, ISS, 1998.

\* *Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*