



ESTUDO PRELIMINAR DE COMPÓSITOS AUTORREDUTORES COM CAREPAS E PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA PARA UTILIZAÇÃO EM FORNOS ELÉTRICOS A ARCO ¹

Pedro Jorge Walburga Keglevich de Buzin ²
Júlio César Bonin Kirichenco ³
Ivo André Homrich Schneider ⁴
Rejane Maria Candiota Tubino ⁵
Antonio Cezar Faria Vilela ⁶

Resumo

A produção siderúrgica em usinas semi-integradas gera resíduos dentre os quais pó de aciaria elétrica (PAE) e carepas. No presente trabalho estuda-se o comportamento de compósitos autorredutores constituídos destes resíduos e finos de carvão vegetal produzidos no Rio Grande do Sul, visando sua reintrodução no processo produtivo de aços. Ensaios preliminares de redução de briquetes autorredutores constituídos de PAE e carepas, na temperatura de 1200°C, evidenciam a diminuição do teor de zinco e o alto grau de metalização, indicando a potencialidade de utilização desses compósitos em processos siderúrgicos, via forno elétrico a arco (FEA).

Palavras-chave: Compósitos autorredutores; PAE; Carepas.

PRELIMINARY STUDY OF SELF-REDUCING COMPOSITES WITH MILL SCALE AND EAF DUST FOR USE IN ELETRIC ARC FURNACE

Abstract

The Steelmaking production in semi-integrated plants generate wastes among them electric arc furnace dust (EAFD) and mill scale. In this paper it was studied the self-reducing composites behaviour consisting of these wastes and charcoal fines produced in Rio Grande do Sul State, aiming its return to the steel production process. Preliminary reduction tests of self-reducing briquettes consisting of EAFD and mill scale, in temperature of 1200°C, show the decline in zinc rate and the high degree of metallization, indicating the potential use of these composites in steelmaking processes, through electric arc furnace (EAF).

Key words: Self-reducing composites; EAFD; Mill scale.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Eng. Quim., M.Sc, aluno do Programa de Pós-Graduação em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM; LEAmet; UFRGS, (Porto Alegre-RS). pedrobuzin@terra.com.br

³ Eng. Metalúrgico, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM; LASID; UFRGS, (Porto Alegre-RS). juliodametal@gmail.com

⁴ Dr., professor, Laboratório de Estudos Ambientais para Metalurgia, LEAmet; Depto. de Metalurgia, UFRGS, (Porto Alegre-RS).ivo.andre@ufrgs.br

⁵ Dra., professora, Laboratório de Estudos Ambientais para Metalurgia, LEAmet; Depto. de Metalurgia, UFRGS, (Porto Alegre-RS).rejane.tubino@ufrgs.br

⁶ Dr.-Ing., professor, Laboratório de Siderurgia, LASID; Depto. de Metalurgia, UFRGS, (Porto Alegre-RS). vilela@ufrgs.br

1 INTRODUÇÃO

A produção siderúrgica da maioria das usinas semi-integradas ou “mini-mills”, cujo principal equipamento de fusão é o forno elétrico a arco⁽¹⁾ implica na geração de resíduos decorrentes desta atividade, tais como escória, carepas e pó de aciaria elétrica (PAE). O custo da destinação adequada e a questão do seu possível valor agregado têm levado à pesquisa e implementação de novas formas de recuperação ou aproveitamento destes resíduos siderúrgicos.

Dentre os resíduos gerados com maior conteúdo metálico têm-se o PAE e a carepa. O pó de aciaria elétrica é gerado principalmente por ocasião do funcionamento do FEA e seus principais constituintes metálicos são o ferro e o zinco. Este resíduo é considerado perigoso tendo em vista seu conteúdo de metais pesados como chumbo e cádmio.⁽²⁾ A carepa é majoritariamente gerada nas operações de lingotamento e laminação e se constitui principalmente de óxidos de ferro. O montante de geração destes dois resíduos pode atingir de 3% a 4% da produção da usina, o que em função da tonelagem produzida de aço pode alcançar quantidades significativas.

Conforme Sobrinho et al.,⁽³⁾ no Brasil ainda não existe um método ou processo tecnicamente viável que possa usar o PAE no processo ou tratá-lo para sua disposição adequada, evitando-se impactos ambientais. Nos últimos anos, várias alternativas têm sido propostas para a destinação tanto das carepas, quanto do PAE. As dificuldades que se apresentam na viabilização de projetos situam-se em aspectos operacionais relacionadas à implementação ou de ordem econômica, sendo muitas vezes exigida uma escala mínima de produção. Entretanto, uma alternativa possível para o reprocessamento destes resíduos, visando sua reintrodução no processo produtivo do aço, é viabilizar mediante um agente redutor adequado e aporte de energia, a redução dos óxidos metálicos neles presentes.

Nas usinas integradas, que possuem plantas de redução de minério e convertedores a oxigênio, a reintrodução de resíduos siderúrgicos no processo de produção tem maiores possibilidades. Entretanto, em usinas semi-integradas em que o FEA é utilizado na função primordial de fusão da carga metálica, torna-se necessário que este equipamento tenha sua carga e operação flexibilizada para receber estes resíduos.

Uma das alternativas de preparação dos resíduos é o processo de briquetagem. As qualidades mais importantes geradas pela aglomeração dos óxidos com o redutor, sob a forma de briquete formando compósitos, são a manutenção da proximidade física entre os constituintes, condição esta essencial à cinética química da redução, bem como a formação de um aglomerado resistente e compacto dos materiais que o compõe, o que possibilita sua melhor manipulação.

Para viabilidade do conceito de reaproveitamento destes resíduos na forma de compósitos autorredutores para utilização como matéria-prima no FEA é necessário considerar a dinâmica de funcionamento deste equipamento. Os fornos elétricos a arco tem sofrido constantes aperfeiçoamentos na sua operação em busca de maior produtividade e eficiência energética.⁽⁴⁾

Com tempos menores de fusão da carga e otimização do consumo energético, compósitos autorredutores poderão vir a ter aplicabilidade como componentes da carga do FEA desde que possam reduzir um percentual razoável do seu conteúdo de óxidos num curto espaço de tempo. Em paralelo, o percentual de adição projetado deve manter o equilíbrio do funcionamento do forno, evitando perdas de produtividade e eficiência. O custo maior, desta forma, seria energético, ou seja, a



maior quantidade de energia a ser incluída em cada corrida para reduzir os óxidos metálicos contidos nos resíduos.

O resultado esperado, caso se demonstre a viabilidade da introdução de compósitos autorredutores de PAE e carepa como parte da carga do FEA é não só efetuar a recuperação do ferro dos resíduos, mas promover a diminuição do volume total do PAE, bem como seu progressivo enriquecimento no teor de zinco, tornando possível a futura recuperação econômica deste metal.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho é efetuar um estudo preliminar, em nível de laboratório, do comportamento de compósitos autorredutores de PAE e carepa, submetidos a aquecimento repentino à alta temperatura com vista à utilização destes elementos como parte da carga do FEA.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Matérias-primas Utilizadas, Caracterização e Preparação

No presente trabalho foram empregadas como matérias-primas principais carepa e pó de aciaria elétrica provenientes de uma usina siderúrgica. Baseado em estudo anterior,⁽⁵⁾ utilizou-se como agente de redução carbotérmica finos de carvão vegetal originários do processamento do carvão vegetal no Estado do Rio Grande do Sul. Foram ainda utilizados cal hidratada e melaço como agentes ligantes na confecção dos compósitos autorredutores.

A carepa empregada no presente estudo já foi caracterizada em trabalho anterior,⁽⁶⁾ onde apresentou teor de ferro total de 70,2 %. A preparação das carepas consistiu num peneiramento da mistura homogeneizada em peneira de 5,0 mm, aproveitando-se a fração passante.

Os finos de carvão vegetal empregados foram provenientes do Município de Brochier, Estado do RS, classificados na fração de 8 a 15 mm e submetidos à análise imediata que consiste na determinação dos teores de umidade, cinzas, matéria volátil e carbono fixo, sendo os resultados expressos em base seca NBR 8112.⁽⁷⁾ A preparação dos finos de carvão vegetal consistiu numa cominuição abaixo de 0,25 mm.

O pó de aciaria elétrica empregado foi submetido, após quarteamento e homogeneização, às análises de ferro total por via úmida e teor de zinco. A execução da análise por via úmida de ferro total, seguiu o procedimento previsto na NBR 8577.⁽⁸⁾

A análise do teor de zinco, tanto do pó de aciaria como das amostras provenientes dos ensaios de redução, foi executada mediante digestão de 1g de amostra previamente cominuída abaixo de 0,149 mm em 30 mL de ácido clorídrico p.a. e submetida à aquecimento durante uma hora em chapa térmica. Após este tempo, seguiu-se da adição de 10 mL de ácido nítrico p.a., totalizando-se a digestão em 3 horas. Após a digestão o extrato foi submetido à filtração com papel filtro de baixa porosidade e avolumado para 250 mL, seguido de retirada de alíquota de 0,25 mL avolumada para 100 mL, com objetivo de situar a concentração de zinco no extrato na faixa de 0,01 µg/L a 2 µg/L. O zinco foi analisado no extrato pela técnica de espectrometria de absorção atômica de chama, no equipamento marca VARIAN, modelo AA240FS. As leituras foram efetuadas com auxílio do software AA240FS, versão 5.1 pro, no comprimento de onda de 213,9 nm, com chama de acetileno suportada por ar. A corrente de lâmpada utilizada foi de 5 mA, com ganho de 54%.

2.2 Confeção dos Compósitos Autorredutores de PAE e Carepa

Considerando-se a geração média de carepas e pó de aciaria elétrica em usinas semi-integradas, optou-se neste estudo preliminar pela utilização da proporção de 40% de PAE e 60% de carepa no conjunto referente à parte de óxidos metálicos dos compósitos autorredutores. Este conjunto de matérias-primas constituídas de óxidos metálicos representou 68% da massa dos compósitos, sendo o restante da massa formada pelo agente de redução e pelos ligantes.

Os compósitos autorredutores foram confeccionados com auxílio de molde de formato cilíndrico vazado com diâmetro interno de 34 mm. A conformação foi efetuada com auxílio de prensa hidráulica, na pressão de 2 t, resultando em briquetes com diâmetro de 34 mm e altura de 20 mm aproximadamente. A massa média dos briquetes foi de 55 g cada.

2.3 Ensaios de Redução

Ensaios exploratórios de redução foram executados em forno de mufla, mediante a utilização de um cadinho de grafita tipo A10 revestido internamente com refratário de sílica-alumina, atuando como reservatório inerte de calor e apresentando o conjunto massa aproximada de 5,5 kg. Em cada ensaio três compósitos por vez foram carregados no cadinho previamente aquecido a 1.200°C e mantidos nessa temperatura nos tempos de 10 minutos, 15 minutos, 20 minutos e 30 minutos, resultando respectivamente nas amostras A, B, C e D. Os ensaios foram efetuados sob pressão e atmosfera ambiente. Efetuou-se também uma comparação referente ao grau de metalização do ferro dos compósitos ensaiados com briquetes autorredutores confeccionados exclusivamente com carepa, submetidos às mesmas condições de redução, conforme trabalho anterior.⁽⁶⁾

Após o término do tempo determinado para cada ensaio, o material remanescente foi descarregado em cadinho frio e submetido a resfriamento rápido em atmosfera de nitrogênio. O grau de metalização dos compósitos submetidos aos testes de redução foi obtido mediante análise via úmida, obtendo-se o quociente entre o ferro metálico presente nas amostras e o ferro total - NBR 8577⁽⁸⁾. A análise do ferro metálico por via úmida, por não se encontrar normatizada, seguiu procedimento via sulfato de cobre.⁽⁹⁾ Os teores de zinco remanescentes foram obtidos mediante o procedimento constante no item 2.1. O grau de remoção de zinco foi calculado através da expressão (1):

$$GR (Zn) = \frac{\% Zn_{inicial} - \% Zn_{final}}{\% Zn_{inicial}} \times 100 \quad (1)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados, a seguir, os dados referentes à caracterização das matérias-primas, nos aspectos de interesse para o presente estudo, bem como os resultados dos ensaios exploratórios de autorredução dos compósitos confeccionados com carepa e pó de aciaria como constituintes principais.

3.1 Dados das Matérias-primas Principais

Na Tabela 1 encontram-se os resultados da análise imediata dos finos de carvão vegetal utilizados, selecionados na faixa de 8 mm a 15 mm. Verifica-se o baixo teor de cinzas desta faixa de granulometria de aproveitamento dos finos, próximo ao de carvão vegetal, bem como teor razoável de carbono fixo o que, juntamente com sua reatividade,⁽⁵⁾ torna este resíduo indicado para utilização como agente de redução em aglomerados autorredutores.

Tabela 1 – Análise imediata dos finos de carvão vegetal. U = umidade; MV_{bs} = matéria volátil em base seca; CZ_{bs} = cinzas em base seca; Cfixo_{bs} = carbono fixo em base seca, % em massa

Amostra	U (%)	MV _{bs} (%)	Cz _{bs} (%)	Cfixo _{bs} (%)
Finos 8 a 15 mm	4,98	23,37	5,86	70,77

Na Tabela 2, estão os resultados referentes aos valores de ferro total e zinco do PAE, da carepa e referente à caracterização do compósito autorredutor utilizado nos ensaios. Pode-se observar, pelo teor de zinco, que o PAE empregado no presente estudo situa-se na faixa considerada de baixo teor (abaixo de 15%) e que apresenta maiores dificuldades econômicas de reaproveitamento.

Tabela 2 – Teores de ferro e zinco da carepa, PAE e compósito autorredutor utilizados.

Constituinte	Fe (%)	Zn (%)
Carepa	70,2	–
PAE	40,1	13,6
Compósito	39,3	3,7

3.2 Ensaios de Redução

Na Tabela 3 pode-se visualizar os resultados referentes ao grau de metalização de ferro e grau de remoção de zinco nas amostras A,B,C e D na temperatura de 1.200°C em função do tempo.

Tabela 3 – Grau de Metalização (GM) e Grau de Remoção de Zn (GR) a 1200°C das amostras

Amostra	GM Fe° (%)	GR Zn (%)
A (10 min)	47,6	16,2
B (15 min)	86,7	40,5
C (20 min)	90,1	96,5
D (30 min)	93,4	98,6

A curva representativa do resultado do ensaio de redução, referente ao grau de metalização do ferro das amostras está apresentada na Figura 1.

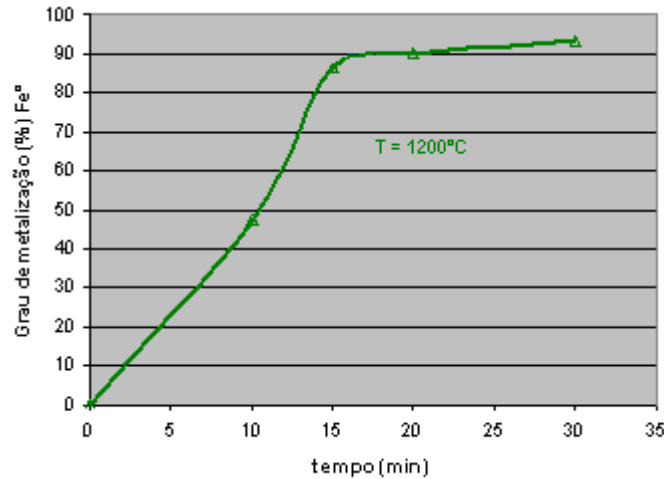


Figura 1 – Grau de metalização em função do tempo.

O resultado do grau de metalização das amostras indica a presença de teores de ferro metálico próximos a 90% dentro do tempo de ensaio de 15 minutos, o que considerando a dinâmica dos fornos elétricos a arco modernos, pode favorecer o emprego destes compósitos neste equipamento. Comparando-se este resultado com briquetes autorredutores de maiores dimensões, confeccionados exclusivamente com carepas e ensaiados em trabalho anterior,⁽⁶⁾ em condições similares, obtém-se o gráfico constante da Figura 2.

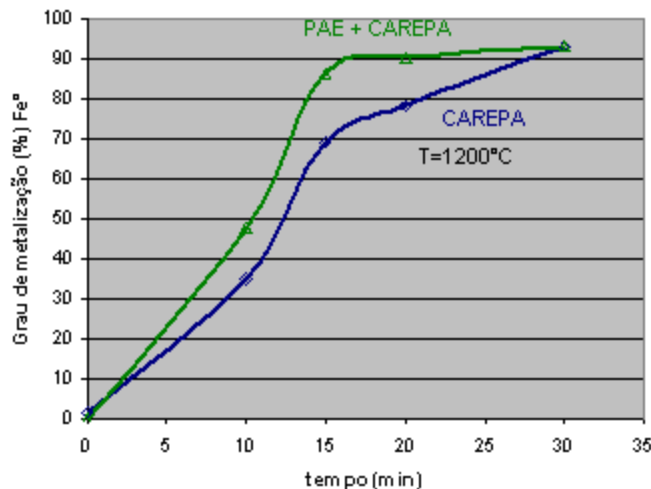


Figura 2 – Grau de metalização comparativo entre compósitos de PAE e carepa e briquetes autorredutores de carepa.

Pode-se verificar na Figura 2 o maior grau de metalização obtido pelos compósitos autorredutores de PAE e carepa, nos mesmos tempos de ensaio, em comparação com os briquetes somente de carepa. Apesar do controle exercido pela reação de gaseificação do carbono (reação de Boudouard) até temperaturas próximas de 1.100°C sobre a cinética global das reações de autorredução, a transferência de calor por condução é um fator importante a ser considerado. A reação de gaseificação do carbono é altamente endotérmica, tornando-se de fundamental importância o suprimento de energia térmica para que haja continuidade do processo de redução.⁽¹⁰⁾ Em vista disso, apesar da possível interferência da variação nos componentes, a diferença nos resultados também



pode ser sido influenciada pelas menores dimensões dos compósitos de PAE e carepa ensaiados.

Com referência à remoção do zinco das amostras nas condições do ensaio, pode-se entender este efeito como resultante de dois fenômenos distintos. O primeiro deles refere-se ao fenômeno químico da redução dos compostos de zinco existentes no compósito. Num segundo momento, o zinco formado é volatilizado, sendo este um fenômeno físico. Nas duas situações têm-se a influência da transferência de calor já que se tratam de fenômenos endotérmicos. Desta forma, os dados referentes ao Grau de Remoção de zinco, constantes da Tabela 3, representam o resultado global dos dois fenômenos citados em cada faixa de tempo, sendo a curva representativa observada na Figura 3.

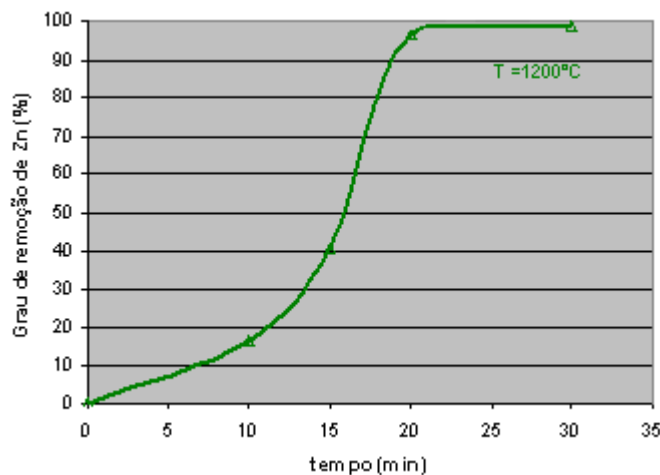


Figura 3 – Grau de remoção do zinco em função do tempo

Na Figura 3 pode-se visualizar a menor velocidade de remoção do zinco nos tempos de reação mais baixos, atingindo, porém remoções acima de 90% no tempo de 20 minutos de reação. A menor taxa de remoção do zinco nos tempos de reação de até 15 minutos possivelmente está vinculada à maior estabilidade dos compostos de zinco presentes no PAE em relação aos óxidos de ferro existentes na carepa, o que favorece a redução preferencial dos compostos de ferro naquelas condições.

Tendo em vista os resultados obtidos, busca-se na seqüência deste trabalho uma melhor compreensão dos fenômenos envolvidos na redução conjunta de PAE e outros resíduos siderúrgicos, bem como o aperfeiçoamento das qualidades destes compósitos de modo a possibilitar seu uso industrial.

4 CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que compósitos autorredutores de PAE e carepas possuem potencial de utilização em processos industriais de recuperação pirometalúrgica dos metais nele contidos. Entretanto, para o uso destes compósitos como integrantes de parte da carga em fornos elétricos a arco, tornam-se necessários estudos complementares referentes à adequação destes elementos à dinâmica de funcionamento deste equipamento.

REFERÊNCIAS

- 1 ANDRADE, M.L.; CUNHA, L.M.; GANDRA, G.A. A Ascensão das Mini-Mills no Cenário Siderúrgico Mundial – BNDES Setorial, Rio de Janeiro, nº 12 pg 51-76, set 2000.



- 2 MACHADO, J.G.M.S., Estudo de Caracterização e Avaliação de Influência do Tempo na Redução Carbotérmica do Pó de Aciaria Elétrica, Dissertação de mestrado, PPGEM, UFRGS, 2004.
- 3 SOBRINHO, P.J.N.; ESPINOSA, D.C.R.; TENORIO, J.A.S.; Caracterização de Poeira Gerada na Fabricação de Aço Inoxidável Visando a sua Reciclagem, Metalurgia & Materiais, 53 (4) 257-263, 2000.
- 4 NAKAMURA, J.; SILVA, M.J. – Forno Elétrico, novas tecnologias flexibilizam a
5 carga, in: Metalurgia & Materiais n°588, vol 64, mai 2008 pg 171-173.
- 6 BUZIN, P. J. W. K.; BAGATINI, M. C.; SCHNEIDER, I. A. H.; VILELA, A. C. F; OSÓRIO, E. Caracterização de Finos de Carvão Vegetal Produzidos no Estado do Rio Grande do Sul para uso em briquetes autorredutores, in Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 2009.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8112 - Carvão Vegetal- Análise Imediata, 05pg. Rio de Janeiro, 1986.
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8577 - Minério de Ferro- Determinação do Teor de Ferro Total por Dicromatometria, 8pg., Rio de Janeiro, 1984, confirmada em 2004.
- 9 BUZIN, P. J. W. K., Desenvolvimento de Briquetes Autorredutores a partir de Carepas de Processamento Siderúrgico para Utilização em Forno Elétrico a Arco, Dissertação de mestrado, PPGEM, UFRGS, 2009.
- 10 NOLDIN JUNIOR, J.H., Contribuição ao Estudo da Cinética de Redução de Briquetes, Auto-Redutores, Dissertação de mestrado, PUC-RJ, 2002.