



EFEITO DA ADIÇÃO DA POEIRA DE ACIARIA ELÉTRICA NA PERMEABILIDADE DO LEITO DE SINTERIZAÇÃO¹

Victor Bridi Telles²

Denise Croce Romano Espinosa³

Jorge Alberto Soares Tenório⁴

Resumo

Este trabalho teve por objetivo estudar o efeito da adição da poeira de aciaria elétrica (PAE) na permeabilidade do leito de sinterização de minério de ferro. A PAE foi caracterizada através de análises granulométricas, químicas e morfológicas. Para adicionar a poeira de aciaria elétrica no processo de sinterização, o material foi submetido a uma pré-aglomeração junto com moinha de coque. O processo de sinterização foi feito utilizando um sinterizador intermitente, de modo que, misturas com e sem adição de resíduo (PAE) foram sinterizadas. A influência da adição da PAE na permeabilidade da mistura de sinterização foi medida indiretamente através da tomada da depressão dos gases, utilizando um manômetro de coluna de água. Os resultados mostraram que, nos primeiros instantes, a adição da poeira de aciaria elétrica diminui a permeabilidade do leito de sinterização. Contudo, no decorrer do processo, a reação da moinha de coque com o resíduo aumenta o índice de vazios da mistura, aumentando a permeabilidade do leito em comparação com o ensaio de referência.

Palavras-chave: Permeabilidade; Sinterização; PAE; Aciaria.

EFFECT OF ELECTRIC ARC FURNACE DUST ADDITION ON PERMEABILITY OF SINTER BED

Abstract

This work aims to study the effect of the addition of the electric arc furnace dust in the permeability of the bed of iron ore sintering. The EAF dust was characterized through size, chemical and morphological analysis. To add the EAF dust in the sintering process the material was submitted to a pre-agglomeration together with a coke breeze. The influence of the addition of the EAF dust into the permeability of the sintering mixture was measured indirectly through the gases depression using a manometer. The results showed at the first moments that the addition of the electric arc furnace dust decreased the bed sintering permeability. However throughout the process, the reaction of the coke breeze with the waste increases the quantity of the porous in the mix, increasing the permeability of the bed comparing to a reference test.

Keywords: Permeability; Sintering; Electric arc furnace (EAF); Steelmaking.

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Doutorando, Universidade de São Paulo (USP).

³ Professora associada, Universidade de São Paulo (USP), Doutora em Eng. Metalúrgica

⁴ Professor titular, Universidade de São Paulo (USP), Doutor em Eng. Metalúrgica.

1 INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica gera resíduos tais como lamas, pós, escória, borras e carepa. Para minimizar os impactos ambientais e econômicos causados pelo acúmulo desses rejeitos, as empresas buscam alternativas viáveis para a reutilização desses materiais.

Estima-se que pós e finos representam cerca de 13% do total de resíduos gerados pela siderurgia,⁽¹⁾ dentre estes se encontra a poeira de aciaria elétrica (PAE).

Este trabalho tem por objetivo caracterizar a PAE e verificar o efeito da adição do resíduo na forma de aglomerados, compostos pela PAE (70%) e moinha de coque (30%), na permeabilidade do leito de sinterização de minério de ferro.

A PAE é um resíduo considerado perigoso⁽²⁾ obtido nas indústrias siderúrgicas que utilizam forno elétrico a arco (FEA). Este pó é composto por diferentes óxidos metálicos, tais como ZnO, Fe₂O₃, Cr₂O₃ e PbO. Em muitos países, a recuperação desses óxidos é adotada como forma de reutilização do resíduo em processos hidro e pirometalúrgicos, dentre estes o Waelz e o Primus. Porém, no Brasil essa prática ainda não é aplicada, pois os teores dos óxidos de alto valor comercial não são suficientes para tornar a recuperação do rejeito viável.

No Brasil, a produção de aço também está aumentando, e a cada tonelada de aço produzido é gerado cerca de 15kg a 20kg de PAE (1,5% a 2,0%). Este valor é próximo aos atingidos em países como EUA (1,7%), Canadá (1,5%), Japão (1,8%) e Itália (1,0% a 1,4%).^(3,4)

A siderurgia produz cada vez mais aço através do FEA. Nos anos 70 a produção era de 14% via FEA. Já em 2003, de uma produção mundial de 964 milhões de toneladas de aço, a produção neste processo atingiu 34%.⁽³⁾ Dessa maneira, a tendência é que a geração da PAE aumente.

A reciclagem é uma forma alternativa de destinação dos resíduos, porém antes do estudo das novas tecnologias de processamento do material a ser reciclado, é de fundamental importância que os rejeitos sejam submetidos à etapa de caracterização. Através desta, é possível avaliar a composição química do resíduo, fases constituintes, aspecto microestrutural, granulometria, e outros fatores que podem influenciar em uma futura aplicação do material.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta das Matérias-primas

A PAE estudada neste trabalho foi fornecida por uma empresa semi-integrada produtora de aço carbono, situada no estado do Espírito Santo. O resíduo foi coletado no sistema de despoeiramento do forno elétrico a arco da usina e, posteriormente, submetido a análises químicas, granulométrica e morfológica.

O minério de ferro (*sinter feed*) utilizado nos experimentos é proveniente de uma mina localizada em Itabira-MG. A composição química do minério foi fornecida pela empresa que cedeu o material e pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química do minério de ferro (*sinter feed*)

Substâncias	Composição (%)
Fe _{total}	66,1
SiO ₂	3,99
Al ₂ O ₃	0,57
CaO	0,03
MgO	0,02
TiO ₂	0,03
Mn	0,15
P	0,015
S	0,004

2.2 Caracterização das Matérias-primas

A PAE foi caracterizada através das seguintes técnicas:

- análise química;
- análise granulométrica;
- microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A composição química da amostra foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios-X (óxidos normalizados a 100%). O teor de ferro metálico da amostra foi obtido através de titulometria, em triplicata.

A distribuição do tamanho das partículas foi obtida através do Malvern Mastersizer 2000. O equipamento utiliza difração de raio *laser* para medir o tamanho das partículas. A amostra foi exposta a ultra-som durante 5 minutos utilizando álcool isopropílico como meio de dispersão. Após a análise, foram obtidas curvas granulométricas do resíduo e os diâmetros d_{10} , d_{50} e d_{90} (diâmetros no qual, respectivamente, 10%, 50% e 90% das partículas estão abaixo).

Para estudar a estrutura e a morfologia das partículas do resíduo, foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) modelo XL-30 Philips. Nesta etapa, a amostra foi recoberta com ouro para condução de corrente.

O minério de ferro foi caracterizado através de análise granulométrica por peneiramento, *via seca*.⁽⁵⁾ Para esta análise, uma amostra de 2,5kg de *sinter feed* foi previamente seca em uma estufa durante 24 horas a 60°C. O material foi peneirado através de um agitador de peneiras da marca Bertel, durante 15 min. A sequência de abertura das peneiras utilizadas foi de: 6,35 mm; 2,83 mm; 1,0 mm; 0,3 mm; 0,150 mm e 0,106 mm.

2.3 Preparação das Misturas e Sinterização

A PAE foi adicionada no processo de sinterização na forma de aglomerados compostos por 70% de PAE e 30% de moinha de coque. A utilização da moinha de coque na composição dos aglomerados teve por objetivo favorecer as reações de redução dos óxidos de zinco presentes no resíduo, quanto maior a quantidade de carbono mais rápida ocorre a reação.⁽⁶⁾

Foram produzidos os seguintes tipos de aglomerados:

- micropelotas (3 mm – 5 mm de diâmetro);
- *undersize* (1 mm – 2 mm de diâmetro);
- finos (<1 mm).

Estes aglomerados foram adicionados em 10% do total da mistura de sinterização de referência. A mistura de referência foi composta por:

- 67% de *sinter feed*;
- 24% de sínter de retorno;
- 6% de moinha de coque;
- 3% de calcário;
- 5,5% de água sobre a mistura seca.

A mistura de referência e as misturas com 10% de micropelotas, *undersize* e finos foram sinterizadas no equipamento mostrado na Figura 1.

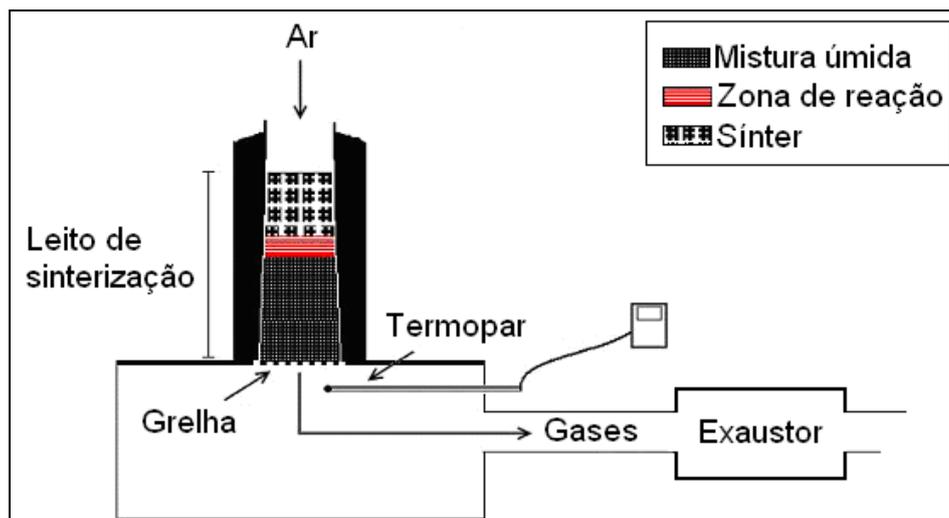


Figura 1: Aparato de sinterização.

A permeabilidade do leito de sinterização foi medida indiretamente através da tomada de pressão sob grelha (depressão), em um manômetro de coluna de água. Os valores de depressão foram medidos em intervalos de 1min desde o início da sinterização, até o momento em que a temperatura de saída de gases (indicado por um termopar) atingiu 60°C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise Química

A composição química da poeira de aciaria depende principalmente do tipo de sucata utilizada na fabricação do aço, além do tipo e quantidade de aditivos que fazem parte do processo siderúrgico.

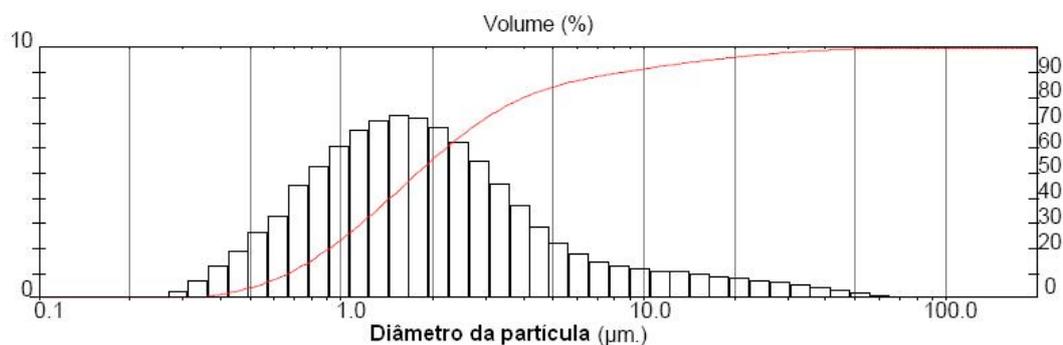
A Tabela 2 mostra os resultados das análises químicas da PAE. Pode-se afirmar que o resíduo é proveniente da fabricação de aços carbono comum, pois o particulado obtido na fabricação de aços inoxidáveis possui concentrações menores de zinco e maiores teores de cromo e níquel.⁽⁷⁾

Tabela 2: Composição química da PAE

Componentes	%	Componentes	%
Fe _{total}	58,3	SO ₃	0,9
Zn	14,2	Al ₂ O ₃	0,68
CaO	4,70	P ₂ O ₅	0,50
SiO ₂	4,18	CuO	0,23
MnO	2,05	Cr ₂ O ₃	0,2
MgO	1,52	TiO ₂	0,09
Cl	1,43	Br	0,07
K ₂ O	1,34	SnO ₂	0,06
PbO	1,18	Fe _{metálico}	0,6

3.2 Distribuição do Tamanho das Partículas – Malvern

A Figura 2 apresenta a distribuição granulométrica da PAE. Através dos resultados, foi possível observar que a PAE é um material fino, no qual cerca de 10% da amostra possui diâmetro da partícula menor que 0,67 μm , e 90% do material apresenta granulometria inferior a 9,0 μm . Esta granulometria do resíduo favorece sua aplicação como matéria prima secundária na produção de alguns materiais, pois isso implica na vantagem da eliminação do estágio de moagem.⁽⁴⁾

**Figura 2:** Distribuição granulométrica do resíduo.

3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O aspecto morfológico das partículas da poeira de aciaria elétrica pode ser observado nas Figuras 3 e 4.

Na Figura 3, podem-se observar diversas partículas de PAE, algumas com formas irregulares e outras tendendo ao formato esférico. Na imagem aparecem várias partículas com tamanhos maiores que 10 μm .

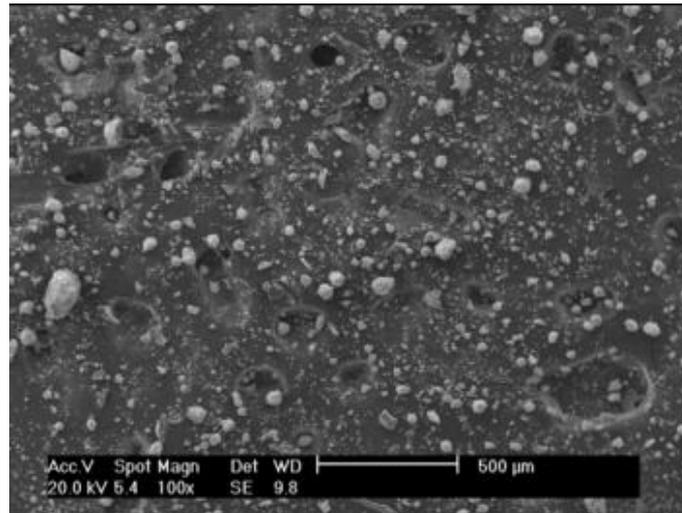


Figura 3: Imagem de elétrons secundários mostrando diversas partículas de PAE.

No entanto, analisando as Figuras 4(a) e 4(b) percebe-se que essas partículas são formadas pela aglomeração de particulados menores. A forma aglomerada da PAE também foi observada em outros trabalhos.^(8,9)

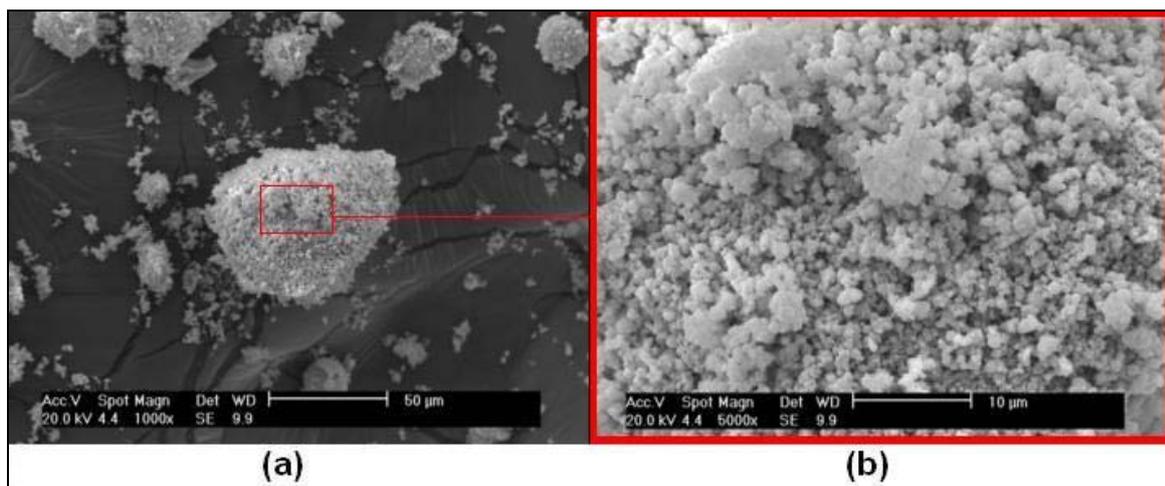


Figura 4: Imagem de elétrons secundários mostrando a aglomeração das partículas de PAE.

3.4 Permeabilidade do Leito de Sinterização

A evolução da depressão nos ensaios de sinterização pode ser vista na Figura 5. A pressão sob grelha consiste na pressão necessária para fazer com que o ar atravesse a camada de mistura. Desta forma, quanto menor a depressão, maior é a permeabilidade do leito de sinterização.

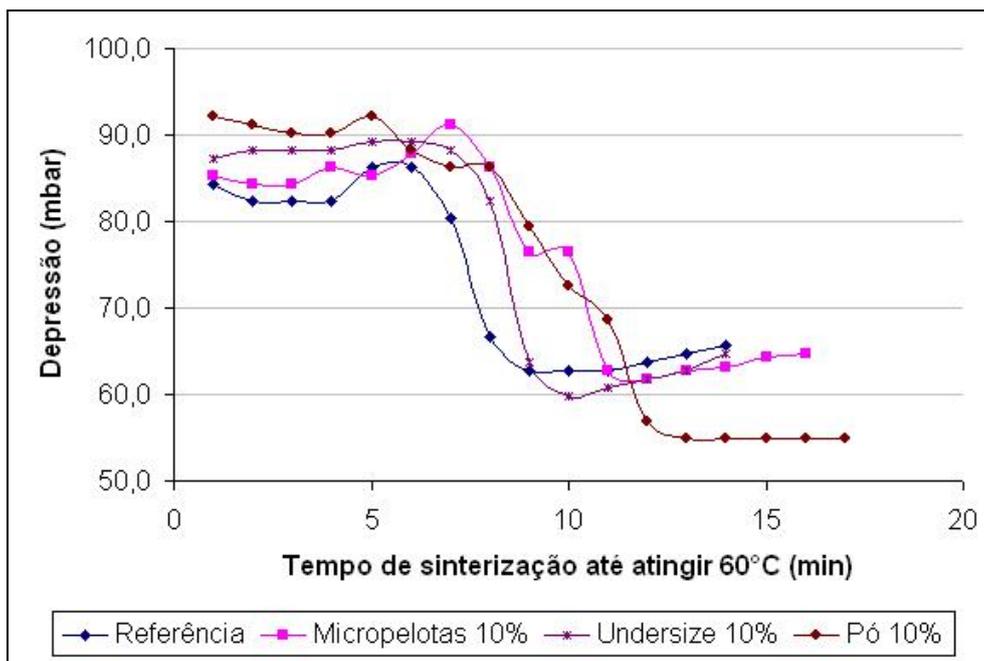


Figura 5: Depressão em função do tempo das sinterizações.

Em um primeiro instante, a depressão no ensaio de referência aumentou de 84,0 mbar em 1 min para 86,0 mbar em 5 min, isto ocorre devido à formação da zona de reação que diminui a permeabilidade do leito no início do processo de sinterização. Posteriormente, os valores de depressão caíram de 86,0 mbar em 6 min para 62,0 mbar em 9 min, indicando a transformação da mistura, menos permeável, em sinter, mais permeável. Por fim, os valores de depressão se mantiveram praticamente constantes devido ao fim da solidificação do sinter.

A depressão, permeabilidade, é alterada conforme a mistura úmida é sinterizada. No entanto, os diferentes ensaios podem ser comparados no início e fim da sinterização.

Nos momentos iniciais, a adição do resíduo na forma de micropelotas aumenta a altura do leito de sinterização, que por sua vez, influencia no aumento da depressão. Quando o resíduo é adicionado na forma de pó, os espaços vazios no leito de sinterização são ocupados, diminuindo a permeabilidade da mistura. No caso das adições de undersize, possivelmente estes dois fatores ocorreram em concomitância.

Analisando o final do processo, os valores de depressão nos ensaios em que houve incorporação do resíduo foram menores quando comparados com o sinter de referência, indicando que foram gerados espaços maiores nos bolos de sinterização produzidos nestes ensaios.

4 CONCLUSÕES

A adição dos aglomerados de PAE e moinha de coque, tanto na forma de micropelotas, *undersize* e finos, diminuíram a permeabilidade da mistura nos momentos iniciais da sinterização. Porém, a queima do combustível presente nos aglomerados aumentou os espaços vazios da camada, diminuindo os valores de depressão para níveis menores do que o ensaio de referência. Portanto, houve um aumento da permeabilidade durante o ensaio de sinterização com a adição dos aglomerados na mistura de referência.



Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e a USP.

REFERÊNCIAS

- 1 Instituto Brasileiro de Siderurgia. **Relatório de sustentabilidade 2008**. Disponível em: <http://www.ibs.org.br/publicacoes.asp>, Acesso em: 20/01/2009.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- 3 MACHADO, J, G, M, S. **Estudo da caracterização e avaliação da influência do tempo na redução carbotérmica do pó de aciaria elétrica**. 2004. 94p. Dissertação (Mestrado). PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- 4 SILVA, M, C da; BERNARDES, A, M; BERGMANN, C, P; TENÓRIO, J, A, S; ESPINOSA, D, C, R. Characterisation of electric arc furnace dust generated during plain carbon steel production. **Ironmaking and Steelmaking**, 2008, v. 35.
- 5 CHAVES, A. P; PERES, A. E. C.; **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios: Britagem, Peneiramento e Moagem**. São Paulo: Signus editora, 2006, v.3.
- 6 JYH-JEN LEE, CHUN-I LIN, and HSI-KUEI CHEN. Carbothermal Reduction of Zinc Ferrite. **Metallurgical and Materials Transactions B**. v.32B, p. 1033-1040, 2001. VARGAS, A, S; MASUERO, A, B; VILELA, A, C, F: **Ambient. Constr.**, 2004, 4, (2), 7 – 18.
- 7 NYRENDA, R. L. The processing of steelmaking flue-dust: a review. **Minerals Engineering**, v.4, n 7-11, p. 1003 – 1025, 1991.
- 8 MANTOVANI, M, C; TAKANO, C; BÜCHLER, P, M. EAF and secondary dust characterization. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 31, p. 325 – 332, 2004.
- 9 NOLASCO SOBRINHO, P. J.; ESPINOSA, D. C. R; TENÓRIO, J, A, S. Characterisation of dusts and sludges generated during stainless steel production in Brazilian industries. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 30, p.11 – 17, 2003.