

ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA (EAF): AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE EXPANSÃO PELO *STEAM TEST*¹

Gisele Lopes Carreiro Rodrigues²

Marina de Oliveira Polese³

Maristela Gomes da Silva⁴

Fernando Lordêllo dos Santos Souza⁵

Resumo

O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de expansão de escórias de aciaria EAF não tratada e tratada ao tempo por 6 meses, com molhagem ocasional sujeita a intempéries, pelo método a vapor e comparar com resultados do PTM130 adaptado pelo DER-MG. A amostragem das escórias de aciaria é criteriosa, adotando-se o método elaborado por professores da Universidade Federal do Espírito Santo, com base na amostragem de agregados e de resíduos. Para determinação do potencial de expansão das escórias de aciaria é realizado o teste a vapor *Steam Test*, conforme norma EN 1744-1:98, e comparado com os resultados do PTM130, nas mesmas amostras. O potencial de expansão das escórias de aciaria EAF pelo método *Steam Test* é superior ao resultado encontrado pelo método PTM130, podendo ser explicado pelo fato do método *Steam Test* proporcionar maior aceleração das reações de hidratação dos óxidos de cálcio e de magnésio. O método PTM130 adaptado pelo DER-MG pode não ser adequado para medir a expansão das escórias de aciaria EAF, pois não consegue medir o potencial de expansão deste tipo de escória de aciaria, particularmente aquele decorrente da hidratação do óxido de magnésio.

Palavras-chave: Escória de aciaria EAF; Expansibilidade; PTM 130; *Steam Test*.

EAF STEEL SLAG: EVALUATION OF THE EXPANSIBILITY BY STEAM TEST

Abstract

The objective of this paper is evaluate the expansibility of EAF steel slag (non-treated and treated) using the *Steam Test*, and compare the results with those obtained using the PTM130 method (adapted by DER-MG). The treated sample has been into weathering process for 6 months. It's an exposition to the weather with occasional wet by raining. The adopted sampling method is very rigid and has been developed by professors of the UFES. The results about expansibility from the *Steam Test* (EN 1744-1:98) are compared with the results of the PTM130 in the same samples. The *Steam Test* results are higher than PTM 130 results. This can be explained by the aggressiveness of the *Steam Test* method when compared to the PTM130, therefore the *Steam Test* can measure the reactions of hydration of CaO and MgO. The Method PTM130 adapted for the DER-MG can not be adjusted to measure the expansion of EAF steel slags, because can not measure the expansibility of this type of steel slag, mainly by the hidratation of MgO.

Key words: EAF Steel slag; Expansibility; PTM130;, *Steam test*.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Mestre em Engenharia Civil. E-mail: giselelcr@gmail.com; marinapolese@terra.com.br.*

³ *Doutora em Engenharia Civil e professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: margomes@npd.ufes.br.*

⁴ *Mestre em Engenharia Civil e professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: fernalor@npd.ufes.br.*

1 INTRODUÇÃO

A escória de aciaria é um co-produto da indústria siderúrgica que possui excelentes características físicas e mecânicas. Possui comprovada aplicação na engenharia civil, desde que devidamente observado e reduzido o seu potencial expansivo.⁽¹⁾

Os três principais processos de fabricação de aço são caracterizados pelo emprego de diferentes fornos de refino: o *Siemens-Martin* (OH – *Open Hearth*), o conversor a oxigênio (LD – *Linz-Donawitz* ou BOF – *Blast Oxygen Furnace*) e o forno de arco elétrico (EAF – *Electric Arc Furnace*).⁽²⁾

O processo de produção de aço em forno elétrico (EAF) gera calor por meio de um arco elétrico para a fusão de sucata de aço. Após a fusão da sucata, injeta-se oxigênio, por meio de uma lança, a fim de promover as reações de carbono, silício e fósforo. A adição de CaO e MgO promove as reações de refino que conduzem à formação de escória de aciaria. Outros óxidos também podem ser encontrados, devido ao alto teor dos elementos de liga presentes na sucata de aço.⁽²⁾ Após gerada, a escória de aciaria elétrica é separada do aço por diferença de densidade, então são vazadas, transportadas e descarregadas em local onde sofrerão resfriamento lento, solidificando na forma cristalina. A partir desta etapa, a escória de aciaria elétrica segue para o processo de beneficiamento, que consiste na fragmentação, britagem e moagem, separação magnética e granulométrica.

A escória de aciaria possui um alto potencial expansivo, que, muitas vezes, limita sua utilização. Entretanto, existem tratamentos que são aplicados à escória de aciaria que reduzem o efeito destas reações expansivas. Os tratamentos utilizados no Brasil são exposição prolongada da escória de aciaria ao tempo e ao tempo com molhagem e aeração periódica.

No Brasil, o método de determinação do potencial de expansão da escória de aciaria adotado é o PTM 130, adaptado pelo DER/MG. Na Alemanha, foi desenvolvido um método de ensaio a vapor, denominado *Steam Test* (EN 1744-1:98), considerando a necessidade de um ensaio rápido e eficiente para a determinação da expansibilidade das escórias de aciaria. Este método é normalizado na Europa (parte da norma prEN 1744-1 – Testes para propriedades químicas de agregados – análises químicas).⁽³⁾ A premissa do *Steam Test* é promover a reação entre o vapor d'água e o CaO livre e/ou o MgO livre e, com isso, medir a expansão volumétrica.⁽⁴⁾

Os resultados de testes de laboratório do ensaio *Steam Test* (EN 1744-1:98) comparados com os resultados de expansibilidade obtidos com escórias de aciaria sob condições de utilização em pavimentação sugerem que há coerência entre os resultados obtidos no laboratório, em curto prazo, e o desempenho do material no campo, em longo prazo.⁽⁴⁾

Este trabalho apresenta a avaliação do potencial de expansão, com a utilização do *Steam Test* (EN 1744-1:98), de escória de aciaria brasileira EAF antes e após tratamento ao tempo por seis meses e compara estes resultados com os resultados do PTM130, adaptado pelo DER/MG, de ensaios realizados por Oliveira⁽⁵⁾ nas mesmas amostras.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

São utilizadas duas determinações de escórias de aciaria elétrica para cada tipo, sendo uma não tratada e outra tratada ao tempo por 6 meses.

A amostragem dessas escórias é realizada seguindo um procedimento de amostragem, elaborado por professores da Universidade Federal do Espírito Santo,⁽⁶⁾ com base em norma de amostragem de agregados (NBR NM 26:2000), amostragem de resíduo (NBR 10007:1987), e considerações estatísticas.

A escória de aciaria elétrica tratada é exposta ao tempo por período de 6 meses, com molhagem ocasional e sujeita a intempéries.

A avaliação do potencial de expansão é feita pelo método a vapor *Steam Test* (EN 1744-1:98), realizado no LEMAC – Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção Civil, na Universidade Federal do Espírito Santo, com o equipamento da Figura 1.



Figura 1 – Equipamento *Steam Test*.

Para a realização do ensaio *Steam Test* (EN 1744-1:98), a amostra seca de escória de aciaria elétrica é peneirada para se obter a granulometria especificada na norma (de 0 mm a 22 mm). Após o peneiramento, a amostra é pesada e compactada no cilindro de ensaio. Depois de preparados, os corpos-de-prova são acoplados ao equipamento e submetidos a um fluxo de vapor a 100°C. Para acelerar as reações de hidratação dos óxidos de cálcio e de magnésio livres, a umidade é cedida continuamente aos corpos-de-prova. As diferenças no volume são lidas com o auxílio de um extensômetro digital que é conectado a um sistema de aquisição de dados do computador. O período de ensaio é de 168 horas para as escórias de aciaria elétrica. O limite de aceitação adotado, de acordo com a norma EN 13242/2002⁽⁷⁾, é de 5% para a categoria de aceitação mais rigorosa.

3 RESULTADOS

As Figura 2 e Figura 3 mostram os resultados do potencial de expansão das amostras não tratada e tratada ao tempo por seis meses, segundo o método EN 1744-1:1998, em ensaio realizado por período de sete dias.

Figura 3 **Figura 2** - Resultados da expansão acumulada da amostra não tratada, segundo o método *Steam Test* (EN 1744-1:98), por período de 7 dias.

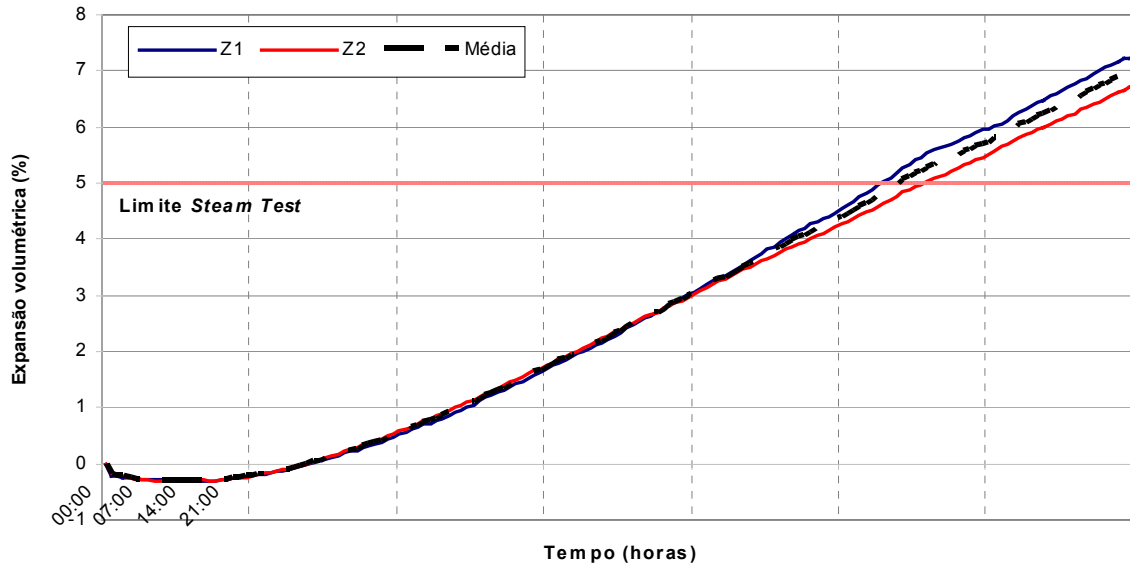


Figura 3 - Resultados da expansão acumulada da amostra tratada ao tempo, por 6 meses, segundo o método *Steam Test* (EN 1744-1:98), por período de 7 dias.

A Tabela 1 mostra a análise estatística dos resultados do *Steam Test* das amostras de escória de aciaria elétrica não tratada e tratada por 6 meses.

Tabela 1 – Análise estatística dos resultados do ensaio *Steam Test* (EN 1744-1:98) das amostras de escória de aciaria elétrica não tratada e tratada por 6 meses.

Análise estatística	Amostras	
	Não tratada	Tratada
Média	4,48	6,99
Desvio padrão	1,34	0,37
Máximo	5,59	7,26
Mínimo	2,69	6,73
Variância	1,79	0,14
Coef. de variação (%)	29,82	5,35

4 DISCUSSÃO

Comparando-se os resultados do *Steam Test* (EN 1744-1:98) entre as amostras não tratadas e tratadas de escória de aciaria elétrica pode-se verificar que, adotando-se o valor máximo e o limite de 5% de aceitação, o *tratamento ao tempo não é eficiente*. Além disso, observa-se que ocorreu um aumento do potencial de expansão com o tempo de tratamento. Isto pode ser justificado, tanto pela própria heterogeneidade da escória de aciaria, quanto pela ausência de requisitos e critérios de desempenho para

melhor controle do tratamento, tais como altura de pilha, granulometria e controle pluviométrico.

A Tabela 2 mostra a comparação de resultados dos ensaios *Steam Test* (EN 1744-1:98) e PTM 130, adaptado pelo DER/MG, sendo o último realizado por Oliveira.⁽⁵⁾

Tabela 2 – Comparação dos resultados do ensaio *Steam Test* (EN 1744-1:98) e PTM 130.

Ensaio	Expansão máxima (%)	
	Amostra não tratada	Amostra tratada
<i>Steam Test</i>	5,59	7,26
PTM 130	0,38	0,65

Observa-se que os resultados do ensaio *Steam Test* (EN 1744-1:98) são muito maiores que os resultados do PTM 130, adaptado pelo DER/MG. Considerando que o limite de aceitação do PTM 130 é de 3%, conforme norma do DNER 262/94,⁽⁸⁾ essas amostras poderiam ser utilizadas, enquanto que ao considerar o ensaio *Steam Test* (EN 1744-1:98), com limite de aceitação de 5%, elas não poderiam ser aplicadas. Pode-se sugerir com base nestes resultados que o ensaio *Steam Test* (EN 1744-1:98) é mais indicado para a determinação do potencial de expansão de amostras de escória de aciaria elétrica, para aplicações com confinamento, por conseguir acelerar as reações de hidratação dos compostos presentes neste tipo de escória, sobretudo o MgO.

5 CONCLUSÕES

A análise dos resultados permite concluir que o tratamento avaliado, ao tempo e por 6 meses, não reduz o potencial de expansão das escórias de aciaria elétrica de modo a atender ao limite de 5% do ensaio *Steam Test* (EN 1744-1:98), previsto na norma EN 13242/2002.

O método de ensaio *Steam Test* (EN 1744-1:98) expõe a amostra a condições de aceleração dos mecanismos de expansão e, conseqüentemente, favorece a heterogeneidade dos resultados de potencial de expansão das escórias de aciaria. Pode-se sugerir sua melhor aplicação para identificação da expansão de escórias de aciaria elétrica para aplicações com confinamento, já que o método PTM 130 adaptado pelo DER/MG não identifica a expansão decorrente da hidratação dos óxidos de magnésio, de forma significativa, neste tipo de escória.

Porém, é necessário revisar o limite de aceitação deste método, para as escórias de aciaria elétrica brasileiras, com monitoramento de trechos experimentais por pelo menos cinco anos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro, para a realização deste trabalho, das seguintes instituições: FINEP, CNPq, CAPES e IBS.

REFERÊNCIAS

- 1 RODRIGUES, G.L.C. Caracterização e avaliação da expansibilidade de escórias de aciaria LD não tratadas e tratadas. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, 147p, Vitória, 2007.
- 2 MACHADO, A. T. Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. 135p.
- 3 BRITISH STANDARD – BS. BS EN 1744-1 – Test for chemical properties of aggregates – chemical analysis. 1998.
- 4 MOTZ, H; GEISELER, J. – Products of steel slag an opportunity to save natural resources, In: Waste Management 21, Duisburg, Alemanha, 2001, p. 285-293.
- 5 OLIVEIRA, F.U. Avaliação de três métodos de ensaio para determinação do potencial de expansão de escórias de aciaria para uso em pavimentação. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, 140p, Vitória, 2006.
- 6 SOUZA, F.L.S.; PENA, D.C.; SILVA, M.G.; ZANDONADE, E.; BRAGA, F.S.; Procedimento de amostragem da escória de aciaria. Universidade Federal do Espírito Santo. 2003.
- 7 BRITISH STANDARD – BS. BS EN 13242 – Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction. 2002.
- 8 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. EM 262 – Escória de aciaria para pavimentos rodoviários – especificação de material – 1994.