

# AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE EXPANSÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA LD COM ALTO TEOR DE MgO<sup>1</sup>

*Marina de Oliveira Polese<sup>2</sup>  
Gisele Lopes Carreiro Rodrigues<sup>3</sup>*

*Maristela Gomes da Silva<sup>4</sup>*

*Moema Ribas Silva<sup>5</sup>*

*Fernando Lordello dos Santos Souza<sup>6</sup>*

## Resumo

A escória de aciaria que é considerada um co-produto da siderurgia devido a sua utilização como agregado para aplicações na construção civil, no entanto sua natureza expansiva e a insuficiência de critérios técnicos para detectar sua estabilização têm causado vários problemas de durabilidade e desempenho. O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de expansão de escória de aciaria brasileira LD não tratada com teor de MgO acima de 5%, utilizando o método europeu à vapor EN 1744-1:98 por 168 horas. Os resultados do potencial de expansão do ensaio com 168 horas são muito maiores em relação ao ensaio com 24 horas de duração, confirmando a necessidade de prolongar o tempo de ensaio, na ocorrência de teores elevados de MgO (maiores que 5%).

**Palavras-chave:** Escória de aciaria LD; Expansibilidade; Ensaio à vapor.

## POTENTIAL OF EXPANSION OF A LD STEEL SLAG WITH HIGH MGO CONTENT

### Abstract

The steel slag is considered a by-product from the steel industry since it has been used as an aggregate for civil engineering applications although its expansive nature has caused many durability and performance problems. The objective of this paper is to measure the potential of expansion of a non treated LD steel slag with a MgO content above 5%, using the steam test procedure for 168 hours. The results for the 168 hours test show that the expansion has a significant increase confirming the need of a longer test for steel slag with high MgO content.

**Key words:** LD Steel slag; Expansibility; Steam test.

---

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

<sup>2</sup> *Mestre em Engenharia Civil e pesquisadora do NEXES - Núcleo de Excelência em Escórias Siderúrgicas da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: marinapolese@terra.com.br.*

<sup>3</sup> *Mestre em Engenharia Civil e pesquisadora do E-mail: giselelcr@gmail.com.*

<sup>4</sup> *Doutora em Engenharia Civil e professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: margomes@npd.ufes.br.*

<sup>5</sup> *Doutora em Engenharia Civil e professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: mribasilva@gmail.com.*

<sup>6</sup> *Mestre em Engenharia Civil e professor aposentado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: fernalor@npd.ufes.br.*

## 1 INTRODUÇÃO

Em 2006 foram produzidas  $30.910,1 \times 10^3$  toneladas de aço, aproximadamente 75% pelo processo LD.<sup>(1)</sup> Considerando a média de 120 kg de escória de aciaria por tonelada de aço bruto,<sup>(2)</sup> foi gerado um total de 3 milhões de toneladas de escória LD.

A construção civil, por ser um grande consumidor de recursos minerais e de seus próprios resíduos, também constitui um potencial consumidor de resíduos provenientes de outras indústrias.

O uso mais expressivo das escórias de aciaria é como base e sub-base para pavimentação e a sua maior limitação é a expansibilidade, devido à presença, principalmente, de óxidos de cálcio e de magnésio (periclásio) livres.

Os principais métodos para avaliação do potencial de expansão das escórias de aciaria são: o método de ensaio da JIS - *JAPANESE INDUSTRIAL STANDARDS*, Escória siderúrgica para construção de estradas;<sup>(3)</sup> o método de ensaio da ASTM - *American Society for Testing and Materials*, Potencial de expansão de agregados devido a reações de hidratação;<sup>(4)</sup> no Brasil, o método de ensaio do Departamento de Transportes da Pensilvânia,<sup>(5)</sup> adaptado pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais, Método de ensaio para avaliação do potencial de expansão da escória de aciaria - Adaptação do PTM 130;<sup>(6)</sup> e o método desenvolvido na Alemanha e normalizado na União Européia, Testes para propriedades químicas de agregados – análises químicas.<sup>(7)</sup>

O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de expansão de escória de aciaria LD brasileira não tratada com teor de MgO acima de 5%, utilizando o método a vapor (*Steam Test*) da norma europeia BS EN 1744-1:98.<sup>(7)</sup>

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi estudada uma amostra de escória de aciaria LD (*Linz-Donawitz*) proveniente de uma usina siderúrgica brasileira. No processo de fabricação do aço em um conversor a oxigênio (LD), a sucata e o gusa líquido são adicionados e, em seguida, é introduzida uma lança injetando oxigênio gasoso a alta velocidade.<sup>(8)</sup> Após a fusão do metal, adiciona-se a cal virgem e a cal dolomítica. O oxigênio e a cal virgem são usados para a eliminação de elementos indesejáveis no aço, como carbono, silício e fósforo. A cal dolomítica é usada na proteção do revestimento refratário. Por fim, é gerado o aço e a escória de aciaria, que ficam separados devido à diferença de densidade.

Para este estudo, foi gerado um lote específico de escória de aciaria LD, amostrado logo após a sua geração, segundo procedimento com base nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 26:2000,<sup>(9)</sup> NBR 10007:2004,<sup>(10)</sup> e levando em consideração um critério estatístico. A partir da amostra de campo, foram coletadas amostras parciais, atendendo ao procedimento da NBR NM 27:2000.<sup>(11)</sup>

Para obtenção da amostra destinada à análise química, foram colhidos grãos, da amostra reduzida, que apresentavam diferenças visíveis (coloração, porosidade aparente etc.) seguindo-se a moagem em um moinho pulverizador, até uma graduação menor que  $75\mu\text{m}$ .

As técnicas de análise química utilizadas foram a complexometria (para determinação dos teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3^{--}$ ,  $\text{S}^{--}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), a

colorimetria (para teores de  $P_2O_5$ ), o processo do etileno-glicol (para determinação do teor de CaO livre) e absorção atômica (para determinação do ferro metálico). Para o ensaio à vapor, são preparados dois corpos-de-prova, de acordo com o número mínimo sugerido pela norma, com granulometria definida. São utilizadas porções de 0 mm a 22 mm de escória de aciaria combinadas segundo a parábola de Fuller.

**Tabela 1.** Proporção de massa por classe de granulométrica

Faixa granulométrica (mm)	Porcentagem em massa (%)
0 a 0,5	15
0,5 a 2	15
2 a 5,6	19
5,6 a 8	10
8 a 11,2	11
11,2 a 16	15
16 a 22	15
Total	100

Fonte: BS EN 1744-1/98<sup>(7)</sup>

Os corpos-de-prova são submetidos a um fluxo de vapor a 100 °C, em uma unidade de vapor submetida à pressão ambiente. Dessa forma, a umidade necessária para reação da cal livre e do óxido de magnésio livre é continuamente cedida à amostra do teste. Qualquer mudança no volume causada por essa reação é lida a partir de um indicador digital, instalado diretamente no topo da amostra, que transfere os dados de deslocamento vertical para o computador. O programa computacional registra esses dados e calcula o aumento de volume, que é dado, como resultado, através da porcentagem em relação ao volume inicial da amostra compactada de escória de aciaria.

O tempo de ensaio do *Steam Test*, na sua norma de origem, é de 24h para a escória LD, porém, a norma BS EN 13242/2002,<sup>(12)</sup> para escórias de aciaria utilizadas em bases e sub-bases, cita o tempo de ensaio, para as amostras com teor de MgO acima de 5%, de 7 dias (168 horas). O limite de aceitação adotado, de acordo com a norma EN 13242/2002,<sup>(12)</sup> é de 5% para a categoria de aceitação mais rigorosa em utilização em camadas granulares de pavimentos

Nesse estudo, a amostra de escória de aciaria LD é avaliada por um período de 168 horas.

### 3 RESULTADOS

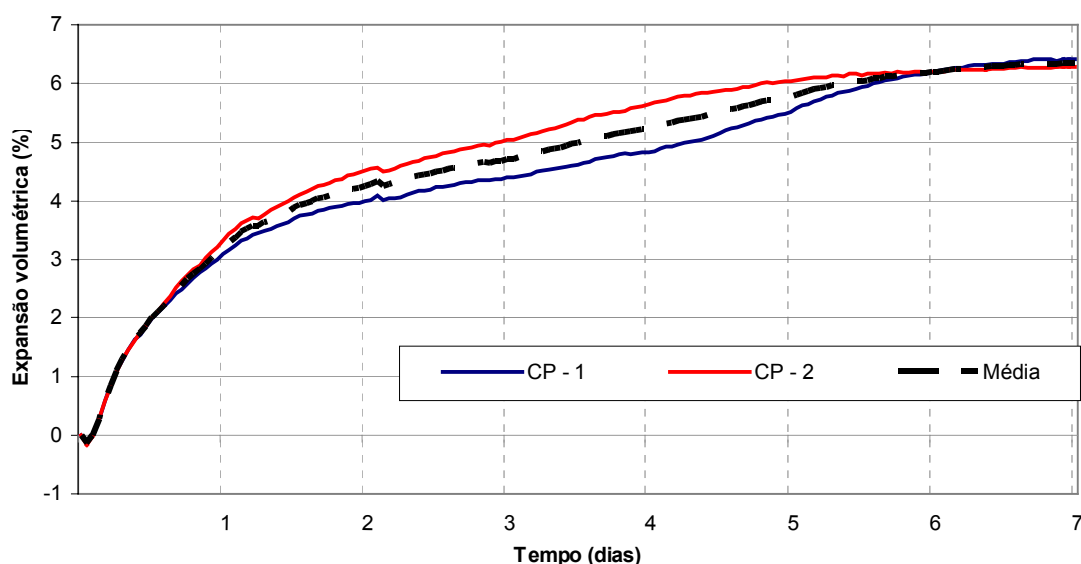
Os resultados das análises químicas das escórias estão dispostos na Tabela 2. Os resultados da escória LD estão dentro das faixas descritas por Polese,<sup>(13)</sup> relativas aos resultados obtidos em diversos países.

**Tabela 2.** Análise química da escória de aciaria LD

Elementos determinados		Resultados em massa (%)
Perda ao Fogo	PF	não detectado
Dióxido de silício	SiO <sub>2</sub>	9,52
Óxido de alumínio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,70
Óxido de ferro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,95
Óxido de cálcio	CaO	39,32
Óxido de magnésio	MgO	9,62
Anidrido sulfúrico	SO <sub>3</sub>	0,08
Óxido de sódio	Na <sub>2</sub> O	0,02
Óxido de potássio	K <sub>2</sub> O	não detectado
Anidrido Fosfórico*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,20
Ferro Metálico	Fe	n.d.
Óxido de Cálcio livre	CaO I	4,81

Fonte: POLESE<sup>(13)</sup>

A Figura 1 mostra o resultado de potencial de expansão volumétrica da amostra escória de aciaria LD segundo o método BS EN 1744-1:1998<sup>(7)</sup> realizado por período de 7 dias.



Fonte: POLESE<sup>(13)</sup>

**Figura 1.** Expansão volumétrica da amostra de escória de aciaria LD

## 4 DISCUSSÃO

Pode-se observar que o resultado da análise química mostra que o teor de MgO da amostra estudada é superior a 5%, confirmando a necessidade de realização do *Steam Test* por 168 horas. Analisando o gráfico dos resultados de potencial de expansão das amostras de escória de aciaria LD, segundo o método á vapor, observa-se que, após as 24 horas iniciais, a expansão acumulada continua em ascensão. Os resultados do potencial de expansão do ensaio com 168 horas são maiores em relação ao ensaio com 24 horas de duração e superiores ao limite de 5%, confirmando a necessidade de prolongar o tempo de ensaio, conforme sugerido também por Motz e Geiseler,<sup>(14)</sup> na ocorrência de teores elevados de MgO (maiores que 5%).

## 5 CONCLUSÃO

O óxido de magnésio detectado pela análise química corresponde ao teor total de MgO (livre e combinado). De qualquer forma, na ausência de um método confiável para análise do óxido de magnésio livre, Samaris<sup>(15)</sup> recomenda que o teor de MgO total deve ser considerado para análise do tempo de ensaio.

A amostra LD ensaiada por 168 horas apresentou acréscimo no valor da expansão total em relação às primeiras 24 horas, sugerindo que escórias LD com teores de óxido de magnésio elevados devem ser ensaiadas por um período maior que 24 horas.

Além de identificar a expansão devido a hidratação do CaO, o Steam Test é capaz de identificar o potencial de expansão decorrente da hidratação do MgO, que pode ser extremamente lenta nas utilizações das escórias de aciaria como base e sub-base, e que também pode comprometer o desempenho em serviço do pavimento. Deve-se considerar que, em várias situações, os problemas oriundos da expansão da escória de aciaria utilizada em base e sub-base ocorreram após alguns anos de utilização. Além disso, experiências europeias, iniciadas desde 1980, mostram que os resultados do potencial de expansão de escórias de aciaria determinados pelo método Steam Test são compatíveis com resultados de campo sob condições de utilização em pavimentação a longo prazo.<sup>(14)</sup>

Além disso, os resultados de potencial de expansão da amostra de escória de aciaria LD mostram que, para utilização em camadas granulares de pavimentos (base e sub-base), a expansibilidade é elevada, superior a 5% ao final do período de 168 horas. Dessa forma a escória de aciaria deve receber tratamento preliminar para redução da expansão.

## Agradecimentos

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

## REFERÊNCIAS

- 1 IBS, INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. Produção Siderúrgica Brasileira de 2006 – Dados Preliminares. Versão digital. 2007.
- 2 SILVA, M.G. Utilização de escória de aciaria na produção de cimentos - Relatório de pesquisa. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, s.d.
- 3 JAPANESE INDUSTRIAL STANDARDS - JIS A 5015 - Escória siderúrgica para construção de estradas. 1992.
- 4 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 4792 – Potencial de expansão de agregados em reações de hidratação. 1995.
- 5 PENNSYLVANIA TESTING METHOD – PTM 130. Método de ensaio para avaliação do potencial de expansão da escória de aciaria – Departamento de Transportes da Pensilvânia. 1978.
- 6 DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS. DMA-1/DER-MG/92 - Método de ensaio para avaliação do potencial de expansão da escória de aciaria – Adaptação do PTM 130. 1992.

- 7 BRITISH STANDARD – BS. BS EN 1744-1 - Test for chemical properties of aggregates - Chemical analysis. 1998.
- 8 ARAUJO, A. L.; Manual de Siderurgia – Produção. São Paulo, Editora Arte & Ciência, 1997 V.1.
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 26 - Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro. 2001.
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007 - Amostragem de resíduos. 2004
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 27 - Agregados – Redução de amostra de campo para ensaios de laboratório. 2000.
- 12 BRITISH STANDARD – BS. BS EN 13242 - Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction. 2002.
- 13 POLESE, M.O. Estudo da expansibilidade e da microestrutura de escórias de aciaria LD e EAF. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES, 2007.
- 14 MOTZ, H; GEISELER, J. Products of steel slag an opportunity to save natural resources. In: \_\_\_\_\_. Waste Management. 21. p. 285-293. Duisburg, Alemanha. 2001.
- 15 SAMARIS - SUSTAINABLE AND ADVANCED MATERIALS FOR ROAD INFRASTRUCTURE. Guide on techniques for recycling in pavement structures - Deliverable 29. 2006.