

O USO DE ESCÓRIAS DE ACIARIA COMO AGREGADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Alexandre Teixeira Machado (1); Adailton de Oliveira Gomes (2); Roberto J. C. Cardoso (3); Edmundo Burgos Cruz (4)

(1)Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais (DCTM). Escola Politécnica da UFBA. machado@ufba.br

(2)Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais (DCTM). Escola Politécnica da UFBA. adailton@ufba.br.

(3)Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais (DCTM). Escola Politécnica da UFBA. rcj@ufba.br

(4) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. EDMUNDO@cbmm.com.br

RESUMO

As escórias de aciaria são um dos subprodutos de maior volume gerado nas usinas siderúrgicas integradas e semi-integradas. Estima-se que no Brasil para uma produção de aço de 26 Mt foram geradas cerca de 4 Mt de escória de aciaria em 1998. Contudo a sua utilização como materiais de construção civil é inviabilizada devido a sua elevada expansibilidade, decorrente principalmente da hidratação do CaO e MgO livres e da corrosão do ferro metálico (Fe°). O presente trabalho mostra os resultados preliminares da avaliação deste fenômeno em escórias de aciaria a oxigênio (LD ou BOF) e faz uma abordagem crítica do efeito do tamanho da partícula na expansão dessas escórias. Para a avaliação da expansibilidade, adotou-se como referência o método de determinação da expansão pelas agulhas de Le Chatelier — NBR 11.582/91. Os resultados preliminares das avaliações mostram que a escória, quando utilizada com dimensões que variam de 4,75 mm a 150 μm , apresentou uma expansibilidade de aproximadamente 11,8 %, enquanto que com granulometria menor que 150 μm apresentou expansão de apenas 0,41 %. A partir desses resultados conclui-se que o tamanho da partícula influenciou diretamente no potencial de expansão da escória de aciaria, através do menor tempo de estabilização desse material.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, existem dois processos principais de refino do aço: em conversor a oxigênio (LD ou BOF) e em forno de arco elétrico (EAF). Estes processos de refino têm por objetivo a remoção de elementos como C, Mn, P e Si até os teores exigidos para cada aplicação. No processo de refino do aço, o oxigênio funciona como agente oxidante e o CaO como escorificante. O processo LD gera escórias oxidantes (alto “ FeO ”); enquanto que, o processo EAF gera uma escória oxidante e uma escória redutora. Tanto nas usinas integradas que usam o conversor a oxigênio, como nas usinas semi-integradas que usam forno de arco elétrico, são geradas entre 100 e 150 kg de escória por tonelada de aço líquido. Atualmente, no Brasil, cerca de 44 % da escória de aciaria é destinada à sub-base de rodovias e 56 % é estocada em aterros (IBS, 1998). Dessa maneira, estima-se que aproximadamente 1,8 Mt anuais de escória tenham àquela aplicação e aproximadamente 2,2 Mt sejam estocadas sem destinação imediata.

As escórias de aciaria obtidas em fornos elétricos e conversores a oxigênio apresentam utilização em diversos países como fertilizante, uma vez que se apresentam como fonte de fosfato para o solo. Porém, essa utilização em alguns casos tem sido limitada pela presença de metais pesados (INDUSTRY AND ENVIRONMENT, 1996). Na construção civil, onde houve um maior grau de aceitação, as aplicações mais comuns ficam limitadas a fins não estruturais, como agregados para concreto asfáltico, base e sub-base de estradas, estabilização de solos e como matéria-prima para produção de cimentos (PIRET, J.; DRALANTS, 1984; MACHADO, 2000).

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da granulometria das escórias de aciaria no potencial de expansão desse material.

2 TRABALHO EXPERIMENTAL

A caracterização e determinação da expansibilidade das escórias de aciaria foram realizadas de acordo com o fluxograma mostrado na Figura 1.

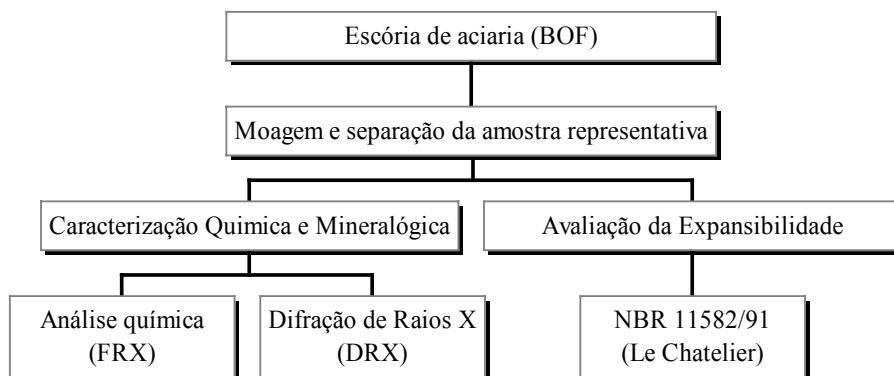


Figura 1. Fluxograma do trabalho experimental

2.1 Materiais

No presente trabalho foi utilizada uma amostra de escória de aciaria a oxigênio (LD ou BOF), a qual foi moída, submetida a caracterização química e mineralógica e ao ensaio de avaliação da expansibilidade, adaptado da determinação da expansão em cimentos (NBR 11582/91 — método das agulhas de Le Chatelier). Nas avaliações a escória foi utilizada como agregado na argamassa composta por cimento tipo CP II-F 32 e escória de aciaria.

O tratamento das amostras seguiu o procedimento adotado por GOLDRING e JUCKES (1997) e consistiu na moagem e classificação do material. A moagem do material foi realizada em britador de mandíbulas e um moinho de bolas. Após a cominuição, fez-se a separação de uma amostra representativa do lote.

A escória de aciaria a oxigênio com idade de aproximadamente 225 dias permaneceu durante os primeiros três dias na pilha de estocagem na siderúrgica e, o restante do tempo, (222 dias) foi mantida em tambor de PVC, contendo um elevado teor de umidade.

2.2 Métodos

A caracterização química da escória estudada consistiu na análise química global através do método de fluorescência de raios X (FRX) e na análise do teor de cal livre pelo método do etilenoglicol (NBR 7227/89). A caracterização mineralógica qualitativa foi realizada pelo método de difração de raios X (DRX).

A caracterização física da escória consistiu na determinação da distribuição granulométrica e da massa específica do material. Na determinação da densidade da escória de aciaria, foi utilizado como referência o método proposto na NBR 6474/84 — de determinação da massa específica do cimento Portland e de outros materiais em pó em frasco volumétrico de Le Chatelier.

A expansibilidade das escórias de aciaria foi determinada pelo método NBR 11582/91 ou das agulhas de Le Chatelier, que consiste na medição do afastamento das extremidades de corpos-de-prova moldados em forma de cilindros, de 30 mm de diâmetro e 30 mm de altura, conforme mostrado na Figura 4, quando submersos em água a $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Na confecção dos corpos-de-prova, utilizou-se uma argamassa dosada de acordo com o método ASTM C 1260/94. Após a moldagem e antes do ensaio de expansibilidade os corpos-de-prova permaneceram em cura durante

24 horas submersos em água a $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Embora o método de ensaio NBR 11582/91 recomende para cura a quente ciclos de três horas, no presente trabalho as agulhas foram submersas permanentemente na temperatura de $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização física

A distribuição granulométrica determinada pelo método de ensaio ASTM C 1260/94 é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Graduação do agregado de escória de aciaria

| Abertura da peneira # | | Massa (%) |
|---------------------------|----------------------------|-----------|
| Passa | Retido | |
| 4,75 mm (Nº 4) | 2,36 mm (Nº 8) | 10 |
| 2,36 mm (Nº 8) | 1,18 mm (Nº 16) | 25 |
| 1,18 mm (Nº 16) | 600 μm (Nº 30) | 25 |
| 600 μm (Nº 30) | 300 μm (Nº 50) | 25 |
| 300 μm (Nº 50) | 150 μm (Nº 100) | 15 |

A distribuição granulométrica do pó de escória utilizado nos ensaios de expansão das agulhas de Le Chatelier é mostrada na Figura 2.

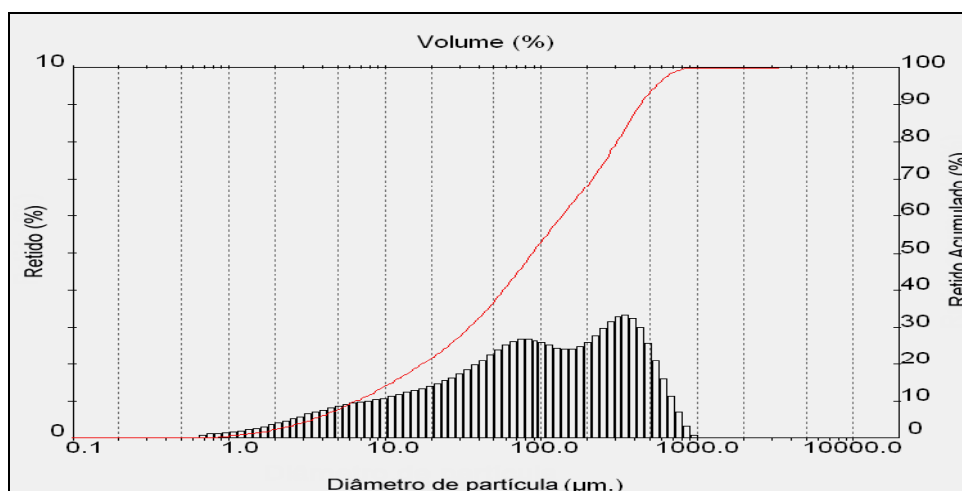


Figura 2. Classificação granulométrica do pó de escória utilizado nos ensaios de expansão

A escória de aciaria estudada no presente trabalho apresentou uma massa específica igual a $3,51 \text{ g/cm}^3$. A elevada massa específica pode ser explicada pelo teor de ferro metálico e não metálico que permanece impregnado na escória no processo de refino do aço.

3.2 Caracterização química

A caracterização química global da escória foi feita por fluorescência de raios X e por análise química em etilenoglicol (NBR 7227/82). A determinação por fluorescência de raios X foi feita em aparelho modelo PHILIPS PW-2404. Estas análises são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química das escórias de aciaria estudadas no presente trabalho

| Escória LD(BOF) | Espécies químicas (% massa) | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----|-----|---|--------------|
| | Fe _{total} | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | MgO | MnO | S | Cal livre |
| | 23,0 | 37,5 | 12,0 | 3,2 | 1,2 | 9,3 | 5,6 | - | 4,7 |

3.3 Caracterização mineralógica

Na Figura 3 é mostrada a composição mineralógica da escória de aciaria a oxigênio anidra ou antes dos ensaios de expansibilidade. Os principais compostos determinados por difração de raios X na escória estudada foram: larnita (Ca_2SiO_4); hematita (Fe_2O_3); wüstita (FeO); silicato de cálcio, ferro e magnésio ($\text{Ca}_2\text{Fe}_{1,2}\text{MgO}_{0,4}\text{Si}_{0,4}\text{O}_5$ —CMIS); gismondina ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$); óxido de cálcio (CaO).

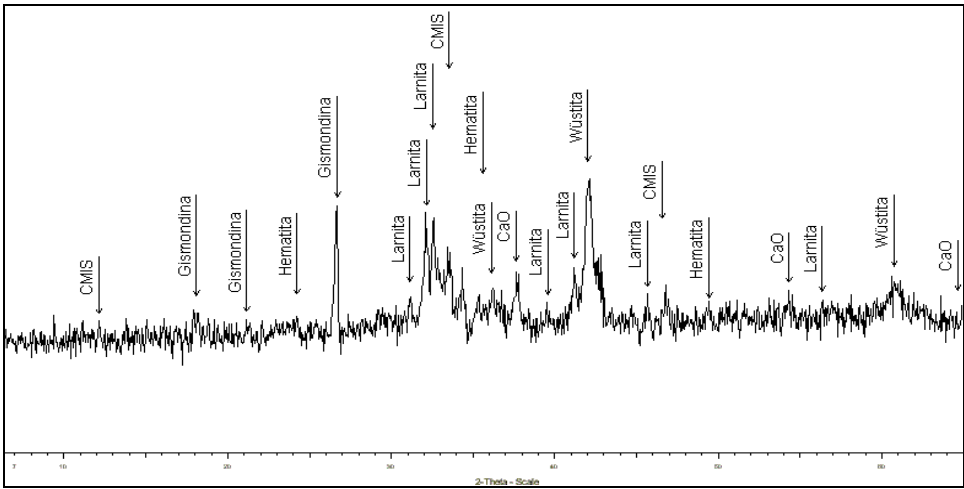


Figura 3. Difratoograma de raios X (DRX) da escória de aciaria do tipo LD

Os elevados teores de cal livre — determinados por análise química pelo etilenoglicol — que constitui a principal espécie química a sofrer alterações volumétricas por reação com a umidade ou gás carbônico do ar, foram confirmados no difratograma de raios X da Figura 3.

3.4 Avaliação da estabilidade volumétrica

3.4.1 Medida da expansibilidade pelo método das agulhas de Le Chatelier

Para o ensaio pelo método das agulhas de Le Chatelier foi utilizada uma argamassa dosada de acordo com o especificado no método ASTM C 1260/94. O aspecto das agulhas antes e após o ensaio de expansão é mostrado na Figura 4.

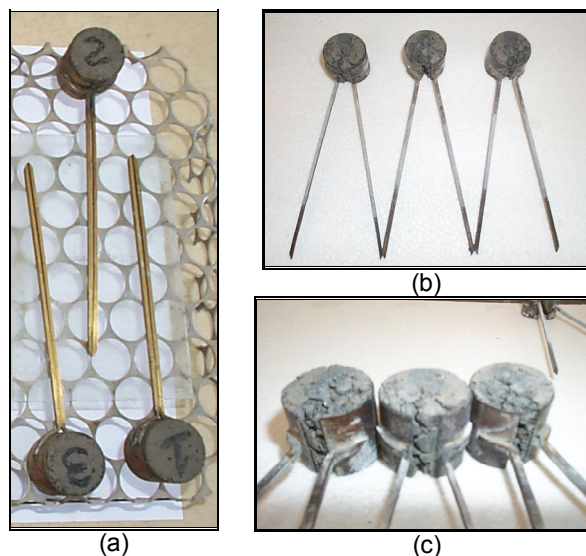


Figura 4. As agulhas de Le Chatelier: (a) antes do ensaio; (b) após o ensaio de expansibilidade; (c) detalhe da desagregação da argamassa após a expansão dos corpos-de-prova

Os resultados da variação da abertura das agulhas em função do tempo, em corpos-de-prova compostos com escória de aciaria com maior tamanho de grãos, são mostrados na Figura 5. Ao final do ensaio de 320 horas de ensaio, verificou-se um aumento na abertura das agulhas de Le Chatelier na faixa de 6,96 a 61,43 mm. Dessa forma, constatou-se que o aumento de volume, detectado no aumento da abertura das agulhas, foi muito superior à expansão de cimento Portland, onde limite de abertura das agulhas, prescrito na norma NBR 5732/91, não deve ser superior a 5 mm.

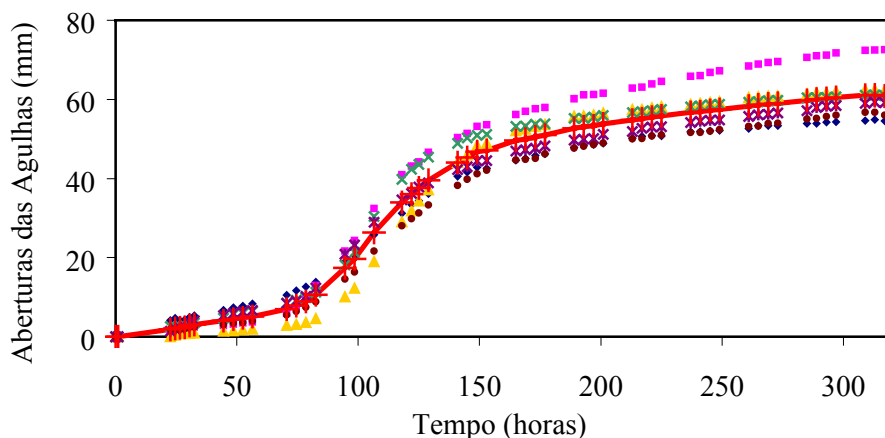


Figura 5. Resultados do ensaio de expansão pela agulha de Le Chatelier com agregado de dimensão máxima característica de 2,36 mm.

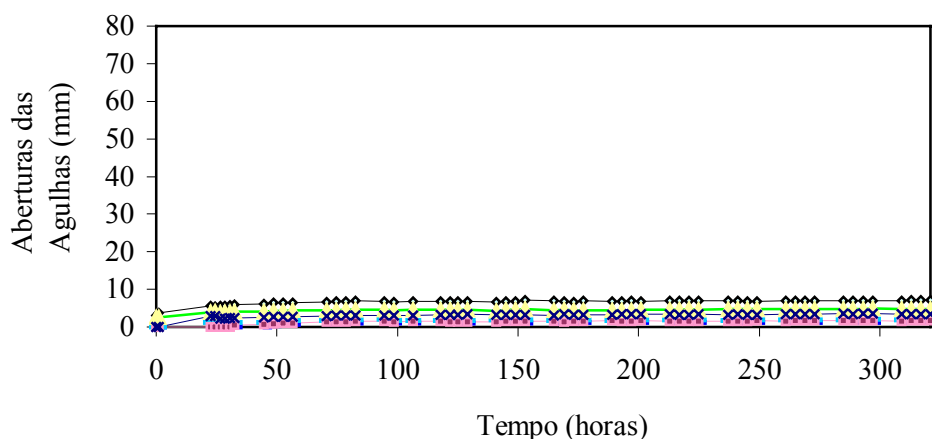
Na Figura 5, destaca-se basicamente quatro regiões principais que caracterizam a instabilidade volumétrica das escórias de aciaria. Os resultados da expansão do diâmetro dos corpos-de-prova em função da abertura das agulhas e do tempo são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Expansão dos corpos-de-prova em função da abertura das agulhas

| Tempo (horas) | Abertura média das agulhas (mm) | Diâmetro interno do cilindro (mm) | Expansão (%) |
|---------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 0 | 0,00 | 30,00 | 0,0 |
| 70 | 6,96 | 30,51 | 1,7 |
| 150 | 46,79 | 32,00 | 6,7 |
| 250 | 57,45 | 32,48 | 8,3 |
| 320 | 61,43 | 33,69 | 11,8 |

Na primeira região, de 0 a 70 horas, observou-se um pequeno grau de expansão, em torno de 1,7 % no diâmetro da agulha. Na segunda região, de 70 a 150 horas, onde começam a aparecer fissuras, registrou-se a maior expansão dos corpos-de-prova, cerca de 6,7 %. Na terceira região, entre 150 e 250 horas, onde as amostras começam a se estabilizar, constatou-se que o grau de expansão caiu para 1,6 %. Na quarta região, de 250 a 321 horas, onde os corpos-de-prova sofreram intensa fissuração, a expansão aumentou cerca de 3,5 %, resultando numa expansão total de 11,8 %. A partir deste estágio, as leituras tornaram-se imprecisas devido à elevada desagregação do material.

Os resultados do ensaio executado na escória moída (pó) são mostrados na Figura 6.

**Figura 6. Resultados do ensaio de expansão pela agulha de Le Chatelier com o pó de escória de aciaria.**

Já nos resultados obtidos com o pó de escória, conforme observamos na Figura 6, observou-se que a expansão do material foi notadamente inferior, cerca de 0,41 %, em relação a expansão das agulhas confeccionadas com agregados de maior tamanho (Figura 5). Os resultados de expansão da argamassa com escória em pó são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Expansão dos corpos-de-prova em função da abertura das agulhas

| Tempo (horas) | Abertura média das agulhas (mm) | Diâmetro interno do cilindro (mm) | Expansão (%) |
|---------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 0 | 0,93 | 30,67 | 0,00 |
| 70 | 2,96 | 30,78 | 0,35 |
| 150 | 3,17 | 30,79 | 0,38 |
| 250 | 3,25 | 30,79 | 0,39 |
| 320 | 3,35 | 30,80 | 0,41 |

Os resultados obtidos, em termos da grande diferença de expansão das escórias estudadas, foram atribuídos principalmente a uma possível pré-expansão da escória de menor granulometria devido a sua maior velocidade de hidratação, em virtude de sua maior superfície específica de reação.

4 CONCLUSÕES

1. A granulometria da escória de aciaria influencia diretamente na expansibilidade do material e, portanto, na determinação de suas possíveis aplicações na indústria da construção civil.
2. A redução no tamanho das partículas de escória de aciaria, diminuiu significativamente o seu potencial de expansão.
3. O tempo de estabilização da escória de aciaria está diretamente relacionado com o tamanho das partículas expostas à ação da umidade e do CO₂ na pilha de estocagem.

5 AGRADECIMENTOS

Aos técnicos, Emanuel do Nascimento e Paulo Santana do Laboratório de Ciência e Tecnologia dos Materiais da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia

Ao Grupo GEMAC-UFBA e em especial aos alunos de iniciação científica Daniel Veras, Cleber Dias, Aline Caires, Patrícia Massarutto, André Tachard, Lourdimine Santos e Andréia Borges.

Aos colegas do DIMET-IPT pela valiosa parceria.

6 REFERÊNCIAS

- ARAUJO, A. L. Manual de siderurgia — produção. São Paulo, Editora Arte & Ciência, 1997 V.1.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland; Determinação da expansibilidade de Le Chatelier** — NBR 11582. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland e Outros Materiais em Pó; Determinação da Massa Específica** — NBR 6474. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland; Determinação de Óxido de Cálcio livre pelo Etilenoglicol** — NBR 7227. Rio de Janeiro, 1982.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-Bar Method)** — ASTM C 1260. 1994.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for potential expansion of aggregates from hydration reactions** — ASTM D 4792. 1995.
- BURGOS, E.C. *et al.* Pyrometallurgical treatment of bof slags for the production of construction materials and refining fluxes. In: JAPAN-BRAZIL SYMPOSIUM DUST PROCESSING-ENERGY-ENVIRONMENT IN METALLURGICAL INDUSTRIES, 1. **Proceeding**. São Paulo, 1999.
- COOMARASAMY, A.; WALZAK, T.L. Effects of moisture on surface chemistry of steel slags and steel slag-asphalt paving mixes. **Transportation Research Record**. n.1492, p 85-95,Jul. 1995.
- EMERY, J. J. Utilization des scories d'aciérie dans la construction des autoroutes canadiennes. **Revue de Métallurgie**, p 303-10, mai, 1978.
- GUMIERI, A.G.; PAGNUSSAT, D.T.; DAL MOLIN, D. Estudo da expansibilidade de escórias de aciaria visando a utilização em concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO. s.l. **Anais**. 1999.
- INDUSTRY AND ENVIRONMENT. Construction and the environment: facts and figures. Paris, UNEP IE, v.19, n. 2 April-June, 1996. p. 4-9.
- THOMAS G. H. Expériences britanniques d'utilisation des scories LD comme revêtements routiers. **Revue de Métallurgie**, Paris, 329-334p, mai. 1978.

