

Agregados de escória de aciaria na fabricação de blocos estruturais para pavimentação



Dayse H. Diniz¹



**Ricardo A.
F. Peixoto²**



**Flávio R. de Góes
Padula³**



**Marcela B.
B. França⁴**

RESUMO

Este trabalho apresenta um comparativo das características mecânicas e avaliação da expansibilidade entre três concretos fabricados com escória de aciaria para a fabricação de blocos estruturais para pavimentação urbana. Para a produção dos concretos foram consideradas três relações água-cimento 0,40; 0,45; 0,50 e a substituição total de agregados naturais graúdos e miúdos por agregados de escória de aciaria. Foram produzidos para cada relação a/c, corpos-de-prova compactados na energia do Proctor Modificado, com dimensões 10 x 15cm, para determinação da resistência à compressão simples e resistência à tração por compressão diametral, para as idades de 7, 14 e 28 dias. Também foram determinadas a expansão dos corpos-de-prova, nas mesmas idades. Os resultados mostram que os corpos-de-prova não apresentam expansão e apontam propriedades mecânicas apropriadas para a utilização da escória de aciaria na fabricação de blocos estruturais para aplicação em pavimentação urbana.

PALAVRAS CHAVE: Escória de aciaria, construção civil, blocos estruturais, pavimentação urbana.

¹ CEFET-MG Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil, Av. Amazonas, 7675, CEP.:30.510-000, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, ddiniz@civil.cefetmg.br, +55 31-3319-6823, 9120-0875.

² CEFET-MG Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil, Av. Amazonas, 7675, CEP.:30.510-000, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, fiorotti@civil.cefetmg.br, +55 31-3319-6822, 9195-1275.

³ CEFET-MG Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil, Av. Amazonas, 7675, CEP.:30.510-000, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, padula@civil.cefetmg.br, +55 31-3319-6825 86851059.

⁴ CEFET-MG Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil, Av. Amazonas, 7675, CEP.:30.510-000, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, marcelinhabrana@gmail.com, +55 31- 96710971.

1. INTRODUÇÃO

Em agosto de 2007, no Brasil, realizou-se um seminário sobre “Uso da Escória de Aciaria na Pavimentação Rodoviária”, onde tratou dos benefícios ambientais e redução do custo das obras com o aproveitamento dos resíduos de indústrias siderúrgicas. O evento apresentou o resíduo da produção de aço como uma das novas alternativas para a construção de rodovias, principalmente em locais próximos as indústrias siderúrgicas. O uso deste resíduo, além de redução de custos para a estabilização de misturas, abre espaço para pesquisas no campo da sustentabilidade possibilitando o tratamento de dois passivos ambientais importantes: o aproveitamento dos resíduos da siderurgia e diminuição da necessidade de exploração de jazidas, pelas construtoras de rodovias. Importante ressaltar que a utilização da escória de aciaria deve seguir os padrões ambientais e estruturais estabelecidos internacionalmente, possibilitando assim o seu aproveitamento na construção.

Relata [1], que entre 14% a 50% dos recursos naturais que a construção civil consome são extraídos do meio ambiente e que o consumo de agregados naturais em concretos e argamassas, é de milhões de toneladas/ano na maioria dos países. Com o crescimento dos grandes centros e o controle ambiental mais rígido, o processo de produção de agregados naturais onera cada vez mais o processo construtivo. Sendo, os resíduos de escória de aciaria gerados no mundo da ordem de 84 milhões de toneladas/ano [2]. Importa ressaltar que 44% dessa geração são estabilizados nos pátios de disposição das siderúrgicas e aplicados como agregados para a construção de infra-estrutura rodoviária, estabilização granulométrica de bases e sub-bases e como lastro em vias de transporte ferroviário; e que, 56% de toda a geração são estocados, formando um passivo ambiental de 2,1 milhões de toneladas a cada ano [3]. O estudo da viabilidade técnica e econômica da utilização do resíduo de siderurgia, escória de aciaria, como subproduto, ou ainda, como matéria prima em processos de construção civil, está condicionada, também, ao custo de reciclagem, que deve ser igual ou inferior ao custo total para descartá-lo adequadamente.

O uso de escória de aciaria como substituto de materiais naturais como rochas britadas, areias e cascalhos, minimizando os impactos ambientais e possibilitando a viabilização de obras de engenharia de baixo custo por apresentar grande versatilidade de aplicações [4]. O déficit de pavimentação urbana no Brasil é muito grave, por isto há grande necessidade e importância de desenvolvimento de novas tecnologias de pavimentação que melhore a qualidade e minimize os custos de implantação [5].

Desta forma; propomos estudar a influência da utilização de agregados de escória de aciaria em concretos para produção de blocos estruturais para pavimentação.

2. MATERIAIS

2.1 Escória de aciaria

Passa por um processo de estabilização e inertização, que tem por finalidade neutralizar os efeitos deletérios da expansão de elementos como o óxido de cálcio (CaO) e o óxido de magnésio (MgO). A escória produzida no processo de obtenção do aço ainda contém uma porcentagem elevada de óxido de ferro (FeO), o que a leva a processos de beneficiamento visando retirar economicamente o metal. O beneficiamento utilizado é normalmente um processo industrial de britagem e peneiramento, durante o qual se separa a fração metálica por meio de eletromagnetismo. A fração metálica é segregada, sendo constituída essencialmente por ferro, e é reconduzida ao processo siderúrgico de fabricação do aço. A sobra de escoria, rejeito deste processamento e agora britada, é graduada por processo de peneiramento, segundo as faixas: 32 – 19 mm; 19 – 10 mm; 10 – 4 mm; 4 – 0 mm e < 0,075 mm que é o pó retido no filtro de manga nos processos de desempoeiramento. As certificações ambientais do processamento da escória, foram obtidas em conformidade com as normas ambientais brasileiras [6], [7] e [8]. As amostras foram acondicionadas em bombonas plásticas devidamente tampadas e etiquetadas, para o LabEst do CEFETMG em Belo Horizonte – MG, onde se realizou a pesquisa. Foram realizados ensaios de caracterização seguindo as normas técnicas da ABNT. Como matéria-

prima nesta pesquisa usou como agregado miúdo a fração de 0 – 4 mm e como agregado graúdo a fração de 4 – 10 mm.

2.2 Cimento

O cimento utilizado na pesquisa para a confecção do traço de concreto para a moldagem dos corpos-de-prova, foi um CP III 40 – RS, adquirido no circuito comercial de Belo Horizonte.

3. MÉTODOS

Foram realizados três traços de concreto com o cimento CP III-RS e agregados de escória de aciaria com fator água-cimento 0,40 – 0,45 e 0,50. Na primeira etapa, utilizou-se os moldes cilíndricos do ensaio de CBR, compactando o concreto de modo a simular a energia de vibrocompactação utilizada na indústria, com a energia do *Proctor modificado*, para a determinação da expansão, utilizando extensômetros de resolução de 0,01mm. Na segunda etapa, utilizando a mesma energia de compactação, moldou-se 20 corpos-de-prova de 10 cm de diâmetro, como os corpos-de-prova de concreto convencional, para cada fator água-cimento objetivando a determinação da resistência mecânica após cura ao ar por 7, 14 e 28 dias.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESCÓRIA

3.1.1 Caracterização química

A escória de aciaria utilizada apresenta composição química conforme apresentado na quadro 1 a seguir, obtida por meio de fluorecência de raio-x.

Quadro 1 - Composição química típica da escória de aciaria.

Composição química	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
Concentração (%)	19,24	4,68	18,44	8,25	26,49	17,62	0,21	0,59	3,50	0,98

3.2 Caracterização física

Para a caracterização dos materiais, foram realizados ensaios com o agregado graúdo, o agregado miúdo e o cimento de acordo com as normas da ABNT [9], [10], [11] e [12].

3.2.1 Agregado graúdo

O quadro 2, mostra os valores da massa específica determinada nas condições seca e saturada e a massa unitária do agregado em estado solto, para a amostra 37.

Quadro 2 – Caracterização da amostra 37

Massa específica - AC (4 – 10mm)	2,720
Massa unitária - AC (4 – 10mm)	1,477

3.2.2 Agregado miúdo

O quadro 3, mostra os valores da massa específica determinada por meio do frasco de Chapman e a massa unitária do agregado em estado solto, para a amostra 35.

Quadro 3 – Caracterização da amostra 35

Massa específica - AC (0 – 4mm)	2,810
Massa unitária - AC (0 – 4mm)	1,978

3.2.3 Cimento

O quadro 4, mostra os valores da massa específica e a massa unitária do cimento, fornecidos pelo fabricante.

Quadro 4 - Caracterização do cimento	
Massa específica – CP III RS	3,150
Massa unitária – CP III RS	1,500

3.2.4 Distribuição granulométrica

A figura 1, ilustra as amostras 35 e 37 e a figura 2, mostra os resultados dos ensaios de granulometria executados de acordo com a norma [13].



Figura 1 – Amostra 35 e 37 de escória de aciaria.

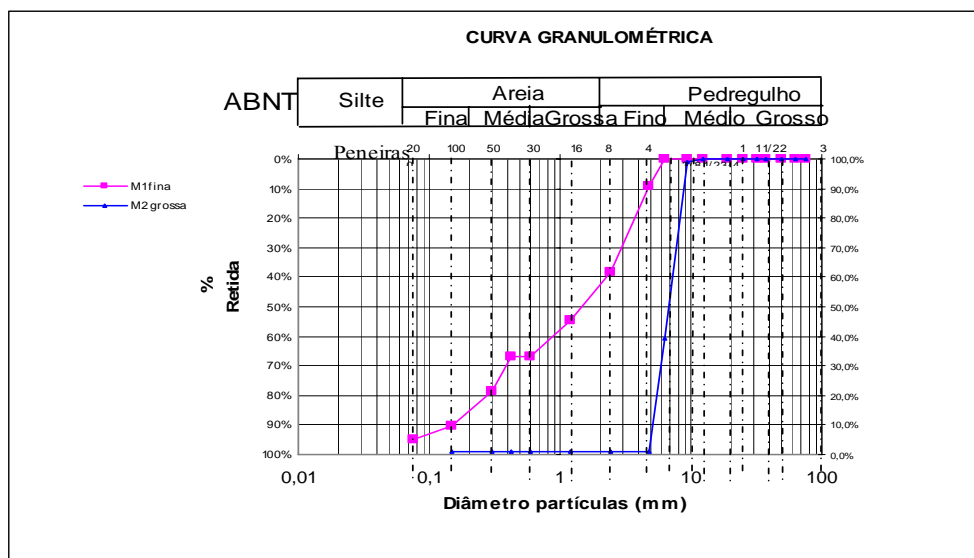


Figura 2 – Distribuição granulométrica das amostras 35 e 37.

3.3 DOSAGEM

Tomou-se como referência o traço fornecido por uma empresa fabricante de blocos estruturais para pavimentação com concreto convencional de agregado natural que foram substituídos por agregados de escória de aciaria na mesma quantidade e granulometria. Repetiu-se o traço com variações do fator água-cimento de 0,40 – 0,45 e 0,50, como mostra o quadro 5. Moldou-se 20 corpos-de-prova para

cada fator água-cimento, que foram submetidos à cura ao ar durante o período de 7, 14 e 28 dias. O processo de moldagem está ilustrado na figura 3.

Quadro 5 – Traço do intertravado.				
Traço do bloco intertravado (kg)				
A/C	Cimento	Areia Amostra 35	Pedrisco Amostra 37	Água
0,40	10,00	71,208	5,912	4,00
0,45	10,00	71,208	5,912	4,50
0,50	10,00	71,208	5,912	5,00



Mistura



Compactação



Moldagem

Figura 3 – Moldagem dos corpos-de-prova.

3.3. EXPANSÃO

3.3.1 Expansão axial de corpos-de-prova com sobrecarga

Adotou-se o traço referência para a realização do ensaio de expansão. Foi medida a expansão axial de corpos-de-prova compactados com a energia do *Proctor modificado* e com cura úmida, dentro do tanque de saturação por 4 dias, com um par de sobrecargas de 10 libras, como num ensaio de CBR [14], conforme ilustrado na figura 4. As medidas de expansão foram obtidas através de extensômetros de resolução de 0,01 mm.



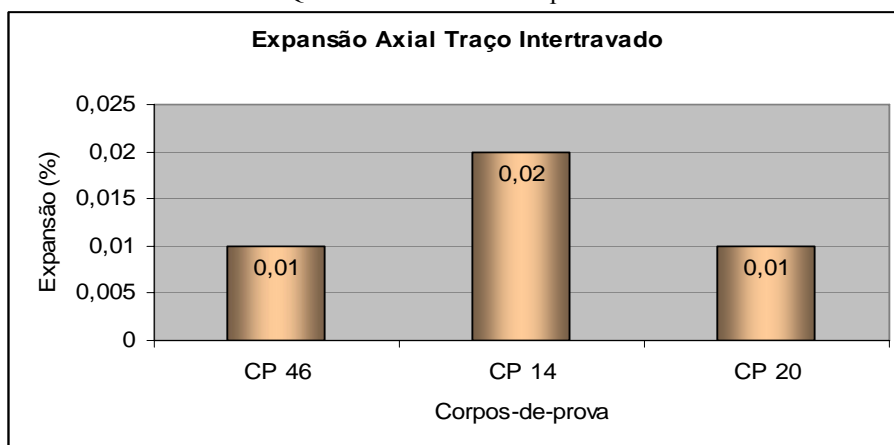
Figura 4 – Ensaio de expansão

3.3.2 Expansão axial de corpos-de-prova sem sobrecarga

Novamente, adotou-se o traço referência para a realização do ensaio de expansão. Mediu-se a expansão axial dos corpos-de-prova compactados com a energia do *Proctor modificado*, porém neste momento sem o uso de sobrecargas. Após a compactação colocou-se o prato perfurado com haste regulável e o tripé porta extensômetro, para a determinação da expansão axial dos corpos-de-prova.

Utilizamos extensômetros de resolução de 0,01mm. Foram feitas leituras de extensômetro por um período de 7 dias, em intervalos de 24h e as pequenas alterações ocorreram apenas nas primeiras 24 horas. O quadro 6, mostra que a expansão média dos corpos-de-prova foi de 0,01%.

Quadro 6 – Ensaio de expansão.



3.3.3. Resistência mecânica

3.3.3.1 Moldagem dos corpos-de-prova

Moldou-se três lotes de corpos-de-prova, sendo um lote para cada fator água-cimento. Os corpos-de-prova foram compactados em moldes de 10 cm de diâmetro, com a energia do *Proctor modificado*, de modo a simular em laboratório, uma energia de vibrocopactação bem próxima à moldagem de blocos industriais, conforme ilustra a figura 7.



Moldagem



Capeamento



Ruptura

Figura 7 – Moldagem dos corpos-de-prova

3.3.3.1 Resistência à compressão simples

Realizado para avaliar as variações de resistência em função do tempo de cura e da variação do fator água-cimento. O ensaio de compressão simples foi realizado, com três corpos-de-prova para cada idade, segundo a norma [15], conforme ilustrado na figura 8.



Figura 8 – Resistência à compressão simples.

3.3.3.3 Resistência à tração por compressão diametral

A determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos foi realizada com três corpos-de-prova para cada idade, segundo a norma [16], conforme ilustrado na figura 9.



Figura 9 – Resistência à tração por compressão diametral.

4. RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão simples, apresentados no figura 10, entre os 7 e os 28 dias, mostraram ganhos de resistência de 75%, 13% e 57% para o traço com fatores a/c de 0,40; 0,45 e 0,50 respectivamente. Sendo que apenas o traço com fator a/c de 0,50 apresentou resistência superior a 10MPa.

Os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, apresentados no figura 11, entre os 7 e os 28 dias, mostraram ganhos de resistência de 100%, 33% e 47% para o traço com fatores a/c de 0,40; 0,45 e 0,50 respectivamente.

A norma brasileira de blocos para pavimentação, estabelece limites de resistência à compressão simples para uso de blocos estruturais, podendo ser usados em rodovias de tráfego intenso os que apresentem $R_{cc} \geq 35$ MPa, para $35 < R_{cc} \leq 20$ MPa uso em vias de tráfego moderado e quando $R_{cc} \leq 20$ MPa usadas em vias urbanas de tráfego residencial.

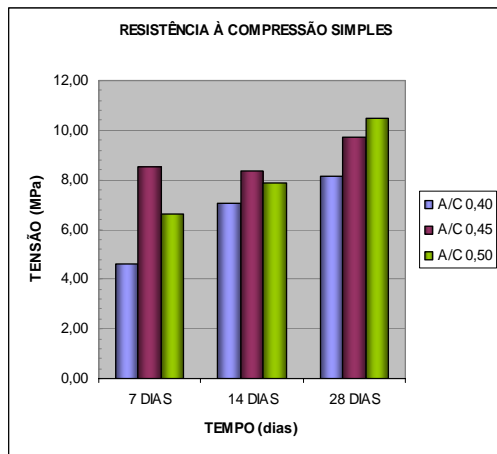


Figura 10 – Resistência à compressão simples.

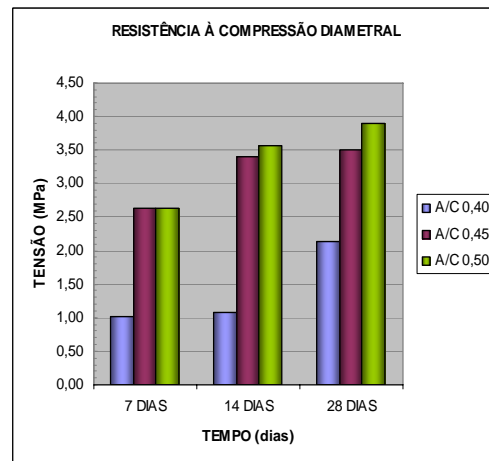


Figura 11– Resistência à tração por compressão diametral.

5. CONCLUSÕES

Estudou-se a influência da utilização de agregados de escória de aciaria em concretos para aplicação em produção de blocos estruturais para pavimentação urbana. A análise dos resultados do experimento conduz às seguintes conclusões:

- O concreto produzido com agregados de escória de aciaria, e fator $a/c = 0,50$ foi o que apresentou os maiores resultados de resistência à compressão simples e à tração por compressão diametral aos 28 dias.
- O concreto produzido com agregados de escória de aciaria não apresentou expansão significativa, sendo a média = 0,01%; quando medidas com e sem sobrecarga e para as idades de 3, 7 e 28 dias. A escória de aciaria apresentou-se como agregado capaz de substituir integralmente os agregados naturais em misturas concretos para fabricação de blocos estruturais para pavimentação urbana.
- O concreto produzido com escória de aciaria com o fator a/c 0,50 poderá ser utilizado como bloco estrutural para pavimentação urbana por apresentar resistência à compressão simples aos 28 dias \geq a 10 MPa.

Desta forma, a extrapolação destes resultados pode sugerir o potencial de uso do concreto com agregados de escória de aciaria em outras peças pré-moldadas de concreto.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de pós-graduação em engenharia civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFETMG; FAPEMIG; FCM e Grupo Reciclos CNPQ.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, USP.2000.
- [2] MASUERO, A. B.et. al. Estabilização e Viabilidade Técnica da Utilização de Escórias de Aciaria Elétrica. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 2, 2004.

- [3] JOHN, V.M. Construção e desenvolvimento sustentável. Revista Qualidade na Construção S.P., v. 23, n. 3, 2003.
- [4] PADULA, F. R. G. et al. Contribuição para a sustentabilidade na confecção de betão de cimento portland. In: Congresso de Construção – 3º Congresso Nacional, Coimbra, Portugal. 2007.
- [5] VILLIBOR, D. F. et al. Pavimentos de baixo custo para vias urbanas. São Paulo, Arte e Ciências, 172p. 2007.
- [6] NBR 10.004/04. Resíduos sólidos – Classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. Rio de Janeiro. 2004.
- [7] NBR 10.005/97. Lixiviação de resíduos – procedimento - classificação. Rio de Janeiro. 1997. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT.
- [8] NBR 10.006/97. Solubilização de resíduos – procedimento - classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. Rio de Janeiro. 1997.
- [9] NBR 9937/87. Agregado Graúdo - Determinação de massa específica. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. Rio de Janeiro. 1987.
- [10] NBR 9776/87. Massa específica do agregado miúdo por meio do frasco de Chapman. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. Rio de Janeiro. 1987.
- [11] NBR 7251/82. Agregado em estado solto- Determinação da massa unitária. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. Rio de Janeiro. 1982.
- [12] NBR 7217/87. Agregado – Análise granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. Rio de Janeiro. 1987.
- [13] NM 248/03. Determinação da composição granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. Rio de Janeiro. 2003.
- [14] NBR 9895/87. Solo: Expansão e Índice Suporte Califórnia - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1987.
- [15] NBR 5739/95. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. Rio de Janeiro. 1995.
- [16] NBR 7222/95. Argamassas e Concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. Rio de Janeiro. 1995.