

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Use of waste in the steel industry in the manufacture of concrete block paving

Mateus Justino Silva¹, Augusto Cesar da Silva Bezerra², Viviane de Jesus Gomes Alves³, Tatiana Nunes¹, Sandro Almada¹, Ricardo Andre Fiorotti Peixoto⁴

(1) *Mestrando em Engenharia Civil, DEC, CEFET-MG*

mateusengenheiro@yahoo.com.br; clefimalo@yahoo.com.br; sandro.almada@arcelormittal.com.br

(2) *Professor Mestre, Campus Araxá, CEFET-MG, augustobezerra@araxa.cefetmg.br;*

(3) *Professora Mestre, Universidade do Estado de Minas Gerais, gomesviviane@yahoo.com.br;*

(4) *Professor Doutor, Universidade Federal de Ouro Preto, ricardofiorotti@em.ufop.br*

Resumo

A siderurgia no Brasil apresenta-se como importante atividade econômica. No entanto, a atividade siderúrgica gera significativa quantidade de resíduos e ainda consome muitos recursos naturais, o que conjuntamente afetam o meio ambiente de forma severa. A preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, tem levado à busca por soluções de reutilização e incorporação dos resíduos como alternativas para o desenvolvimento de produtos de base tecnológica ou ainda como fonte alternativa de matéria-prima na construção civil. Este trabalho apresenta resultados relativos a produção de blocos de concreto para pavimentação fabricados integralmente com agregados reciclados (escória de aciaria) obtidos em planta especializada com aplicação de metodologias e processamentos específicos de pós-tratamento. Os agregados reciclados, ou pós-processados, geram matéria prima (metálicos) que retornam ao processo siderúrgico e garantem a sustentabilidade da atividade de pós-processamento. Por outro lado, geram uma rejeito não metálico que pode ser aplicado como agregado em matrizes cimentícias. Assim sendo, foram produzidas diferentes séries de corpos de prova, submetidos a análises mecânicas e de durabilidade em diferentes idades, segundo planejamento experimental. Estes corpos de prova foram ainda submetidos a análises ambientais para determinação de suas interações com o meio. A análise dos resultados indicou potencial viabilidade para o emprego de agregados reciclados (escória de aciaria) na fabricação de blocos de concreto para pavimentação.

Palavra-Chave: concreto, pavimentação, tecnologia de materiais, escoria de aciaria, sustentabilidade

Abstract

The steel industry in Brazil presents itself as an important economic activity. However, industrial activity generates a significant amount of steel waste and still consumes many natural resources that together would severely affect the environment. Concern for the environment and scarcity of natural resources has led to the search for alternatives and incorporation of reuse of waste as alternatives in the development of technological base products or as an alternative source of raw material in construction. This paper presents results on the production of concrete block paving produced entirely with recycled aggregates (steel slag) obtained in specialized plant with application of specific processing methods and post-treatment. In this process, together with the aggregates, or post-processed, are also generated raw material (metal) that return to the steelmaking process and ensure the sustainability of the activity of post-processing. On the other hand, a non-metallic product is generated that can be used as aggregate in cementitious matrices. Thus, they produced different series of specimens subjected to mechanical and durability tests at different ages, according to experimental design. These samples were also subjected to environmental analysis to determine their interactions with the environment. The results indicated the potential feasibility for the use of recycled aggregates (steel slag) in the manufacture of concrete block paving.

Keywords: concrete, pavers, steel slag

1 Introdução

A preservação do meio ambiente é uma realidade integrada ao cotidiano de todos os setores da sociedade. As atividades industriais, de maneira geral, cada vez mais se aliam às soluções tecnológicas que visam minimizar os impactos ambientais relacionados com a disposição dos resíduos gerados. Uma política organizacional integrada às tendências gerenciais modernas reconhece o dano ambiental, adotando uma postura pró-ativa em relação à reciclagem, ao tratamento, ao manejo e à destinação adequada destes resíduos.

A indústria da construção civil é responsável por 50% do consumo dos recursos naturais do planeta (JOHN, 2000). A aplicação de resíduos na construção civil é um fato consagrado, tendo em vista as tendências de sustentabilidade idealizada mundialmente (HENDRIKS et al., 2000).

Segundo LEITE (1997) apud BALTAZAR (2001), a escória de aciaria é resultante da transformação do ferro gusa líquido e/ou sucata em aço. Em essência, trata-se de uma oxidação seletiva de várias impurezas. Essa transformação é resultante de fundentes, principalmente óxido de cálcio e fluorita, à carga metálica (gusa líquido e/ou sucata) para a formação da escória. A fusão e o refino da carga se processam através das reações de oxidação das impurezas do aço, tais como silício, fósforo, enxofre, manganês e através da redução do teor de carbono.

Segundo DINIZ (2009), no Brasil a geração de escória de aciaria foi de 3,2 milhões de toneladas no ano de 2007, sendo 68% deste total provenientes do processo LD e 32% oriundos do processo das aciarias elétricas. Estes dados não incluem os programas de expansão das siderúrgicas brasileiras, iniciados em 2008, e caso fossem considerados este valor estimado seria de 6,8 milhões de toneladas em 2009, de acordo com o Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS, 2007). Atualmente, parte dessa produção é utilizada na construção civil, mas, para isso ocorrer a escória de aciaria precisa passar por um processo de estabilização de no mínimo seis meses, com o objetivo de transformá-la menos reativa quimicamente.

BALTAZAR (2001) ressalta que 44% da geração de escória de aciaria são estabilizadas nos pátios de disposição das siderúrgicas e são aplicadas como agregados na construção de infra-estrutura rodoviária, estabilização granulométrica de bases e sub-bases e como lastro em vias de transporte ferroviário; e 56% de toda a geração são estocadas, formando um passivo ambiental de 1,8 milhões de toneladas a cada ano.

O estudo da viabilidade para utilização do resíduo sólido de siderurgia, em especial, a escória de aciaria, como agregados para construção civil ou ainda como matéria prima em processos de engenharia, está condicionada à qualidade do material, à suas características físicas, químicas e ambientais, além do custo de reciclagem, que deve ser igual ou inferior ao passivo total para descartá-lo adequadamente.

Segundo PADULA, PEIXOTO et al. (2007) é na Engenharia Rodoviária que a escória de aciaria encontra sua mais relevante aplicação. Para cada quilometro de rodovia pavimentada podem ser gastos até 4.000m³ deste agregado. Desta forma, pavimentar 1% do total da malha rodoviária mineira não pavimentada representa aproximadamente 900 km de rodovias. Considerando um consumo médio de agregado de 4.000m³/km, o consumo total necessário para esta construção será de 3,6x10⁶ toneladas de escória (agregado) de aciaria, ponderando sua massa unitária média 1,70t/m³. Deve-se, ainda,

analisar que da atual malha rodoviária estadual, cerca de 40% estão classificados como ruim e péssimo em relação ao estado de conservação, necessitando de restauração urgente, o que acresce a demanda de mais uma quantidade considerável de toneladas de escória de aciaria.

Na concepção de SILVA e MENDONÇA (2001), desde 1979, a escória de aciaria é utilizada na infraestrutura de estradas em países como Estados Unidos da América (EUA), Inglaterra, Japão e Canadá. Complementa BALTAZAR (2001), no Brasil, este uso teve início em 1986 com a execução de 100 km de base e sub-base no Estado do Espírito Santo (ES).

Países como Grã-Bretanha, Alemanha, Polônia, França, Japão, EUA e Rússia utilizam escória de aciaria, sozinha ou combinada, como agregado em revestimentos asfálticos. SILVA e MENDONÇA (2001) relatam que pavimentos construídos com este material suportaram tráfego pesado.

O estudo da viabilidade técnico-econômica da reciclagem de um determinado resíduo pressupõe, basicamente, as etapas de levantamento de dados sobre a disponibilidade do resíduo; caracterização quanto à composição química; identificação das propriedades físicas, químicas e mecânicas, microestrutura e reatividade ambiental; seleção de possíveis aplicações; e identificação das propriedades do produto final, informações de grande relevância, que pode indicar aspectos de interesse tanto para geradores quanto para consumidores. Evidenciou-se, nos últimos anos, que uma conservação dos recursos minerais, energéticos e ambientais é imprescindível.

2 Materiais e métodos

Neste trabalho foram utilizadas escórias de aciaria provenientes de quatro usinas siderúrgicas, sendo coletadas uma tonelada de amostra em cada uma das quatro indústrias, localizadas na região Sudeste do Brasil, como indicado na tabela 1.

Tabela 1 – Localização das indústrias siderúrgicas, 2010.

Usina	Tipos de escória	Estado
A1	AE	SP
A2	AE	MG
A3	LD	MG
A4	LD	MG

As escórias utilizadas foram encaminhadas para planta industrial especializada em pós-processamento e recuperação de materiais metálicos das escórias de aciaria geradas pelas usinas estudadas (CICLOMETAL-MG). As escórias brutas foram segregadas e classificadas segundo faixas indicadas pela normalização para agregados graúdos e miúdos. O objetivo deste processo foi a retirada dos constituintes metálicos das amostras. Estas amostras passaram por um método de segregação magnética especializada e foram submetidas aos processos de estabilização e inertização, que tem por finalidade neutralizar os efeitos prejudiciais da expansão de elementos como o óxido de cálcio (CaO) e o óxido de magnésio (MgO).

A escória produzida, após este processo, recebeu o nome de escória de aciaria pós-processada (EAPP), a qual foi encaminhada para outra planta especializada para a

fabricação de blocos de concreto para pavimentação (UNISTEIN-MG), onde foram fabricadas as peças pré-moldada de concreto (PPC).

Para a confecção das PPC foi utilizadas duas proporções de materiais. A primeira mistura foi utilizada para fabricar PPC, chamados neste trabalho de PPC de referência. Esta mistura foi realizada para parâmetro de comparação, sendo confeccionada com cimento, água e agregados naturais, comumente consumidos pelo processo convencional de fabricação. Na segunda mistura, os agregados naturais grãos e miúdos foram substituídos por agregados reciclados de EAPP. Estes agregados foram classificados segundo a sua distribuição granulométrica. O agregado reciclado de escória de aciaria pós-processada na faixa granulométrica passante na peneira com abertura 4,8mm e retida na peneira com abertura 2,0mm foi denominado AR-EAPP 1 e o agregado reciclado de escória de aciaria pós-processada na faixa granulométrica passante na peneira com abertura 6,3mm e retida na peneira com abertura 4,8mm foi denominado AR-EAPP 2. O AR-EAPP 2 foi obtido através de um mix entre os agregados classificados com a denominação de pedrisco (AR-EAPP 2 A) e brita 0 (AR-EAPP 2 B). As proporções utilizadas (traços) nas moldagens podem ser observadas na tabela 2

Tabela 2 – Proporções de materiais utilizados para a moldagem de PPC

Materiais	Quantidades (Kg)	
	Proporção de referência	Proporção com EAPP
Cimento	78	78
Agregado miúdo convencional	295	295
Agregado grão convencional	135	-
AR-EAPP 1	-	88
AR-EAPP 2	-	88
Água		

A água utilizada na pesquisa proveniente da Companhia de Saneamento de Minas Gerais S.A. (COPASA), responsável pelo tratamento e distribuição de água potável na cidade de Belo Horizonte e Região Metropolitana.

As escórias coletadas nas unidades geradoras foram britadas e separadas em faixas granulométricas com material passante na peneira malha 3/8" e abertura de 9,5mm. Após o peneiramento, a escória passou por um processo de recuperação das partículas metálicas por meio de sistema gravimétrico-magnético. Para estabilização e inertização, as escórias foram espalhadas em pátio, onde foram revolvidas e receberam umectação até a saturação, durante 90 dias. A escória recebeu o nome de Escória de Aciaria de Pós Processada (EAPP).

A caracterização da EAPP contou com diversos procedimentos. A primeira análise realizada foi a determinação do teor de constituintes metálicos ferrosos. Para esta análise, o material foi secado em estufa na temperatura de (105°C - 110°C), até constância de massa. Medida a massa de 2.500 g do material e passado três vezes por um cone magnético com o objetivo de reter as partículas ferrosas. Após a passagem de todo material, as partículas retidas no cone teve a massa medida e foi possível calcular o teor de metálicos ferrosos, este processo foi repetido três vezes, segundo protocolo estabelecido, PEIXOTO (2008)

O ensaio para a determinação do Teor de Umidade das amostras foi realizado de acordo com a NBR 9939 (ABNT, 1987). As amostras foram secas em estufa (105°C - 110°C), até constância de massa.

A análise granulométrica foi realizada para definir o tamanho das partículas do material, esta definição foi realizada através do peneiramento a seco de uma amostra da escória e da pesagem dos grãos retidos em cada uma das peneiras da série normal de peneiras NBR 7217 (ABNT, 1987). As amostras foram quarteadas e pesadas em balança de precisão com capacidade mínima de 2 kg e sensibilidade de 1 g. A amostra de 500g foi homogeneizada e previamente seca em estufa na temperatura de (105°C - 110°C), até constância de massa. O material seco foi colocado no conjunto de peneiras de 4,8mm a 0,075mm sob agitador, e o material retido em cada peneira foi pesado.

Em função das porcentagens retidas e acumuladas foi calculado o módulo de finura e a dimensão máxima dos agregados. O módulo de finura é a soma das porcentagens acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100, não sendo considerado o fundo e as peneiras intermediárias. Já a dimensão máxima característica foi definida pela abertura da peneira, em mm, que reteve uma porcentagem acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%.

Para a determinação da massa unitária (MU) foi realizado o ensaio de acordo com NBR 7251 (ABNT, 1982). Foi utilizado um recipiente previamente limpo, seco e de volume conhecido, a amostra foi quarteada, homogeneizada e colocado no recipiente, e em seguida a superfície foi arrasada com uma régua. Após esse procedimento foi pesado o recipiente contendo o resíduo e calculada a massa unitária.

Para a determinação da massa específica dos agregados miúdos, foi realizado o procedimento de acordo com a NBR 9776 (ABNT, 1987). Utilizou-se o frasco Chapman e balança de precisão com capacidade mínima de 1 kg e sensibilidade de 1 g. Para o ensaio de massa específica a amostra foi previamente secada em estufa na temperatura de (105°C - 110°C), até constância de massa. Foi colocada a água no frasco até marca de 200 cm³, deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas escorresse totalmente. Em seguida foi introduzida cuidadosamente, 500 g de agregado miúdo seco no frasco, o qual foi devidamente agitado para eliminação das bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indicou o volume, em cm³, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo

Para a determinação do teor de material pulverulento foi coletado do lote uma amostra previamente seca em estufa. A amostra foi coberta com água e vertida em peneiras superpostas, sendo lavada até a completa limpeza, com a eliminação das partículas passantes. O material retido foi recolhido, seco e depois pesado.

Os agregados naturais utilizados nas dosagens, que serviram como testemunhos ao modelo experimental, foram adquiridos no mercado local, frente às faixas granulométricas indicadas pela NBR 7211 (ABNT, 1983).

Os traços dimensionados foram realizados para atender as demandas do processo produtivo e de aplicação dos blocos para pavimentação. Foram considerados como parâmetros de dosagem as tensões normativas de 35 MPa para vias com tráfego de veículos comerciais e de linha e 50 MPa para vias com tráfego de veículos especiais ou com significativas solicitações à abrasão, em conformidade com a NBR 9781 (ABNT, 1987).

Os blocos para pavimentação foram produzidos da mistura cimentícia em processo industrial. A adição de materiais foi conduzida por processo gravimétrico e os elementos moldados em uma vibroprensa. A vibroprensa utilizada foi do tipo de desforma automática sobre paletes. Os blocos com idade zero foram acondicionados sobre paletes, envelopados por lonas de PVC e transportados para o pátio onde permaneceram até a data para a realização dos ensaios mecânicos de compressão e flexão, nas idades de 3, 7, 14, 56 dias. No laboratório de materiais do CEFET-MG, onde passaram por processamento e análise.

Para caracterização dos blocos foi realizada a determinação do teor de umidade de acordo com a NBR 9939 (ABNT, 1987). Obteve-se o peso de três amostras de cada traço e, em seguida, as amostras foram submetidas à secagem em estufa a 105°C até a estabilização durante 24 horas. As amostras foram retiradas da estufa e resfriadas à temperatura ambiente e, em seguida, as amostras foram pesadas, obtendo-se seu peso seco.

A determinação da expansibilidade para blocos foi procedida a partir da análise da estabilidade dimensional para as peças fabricadas em concreto convencional e escória de aciaria, segundo ciclos de molhagem e secagem. A peça foi seccionada em três partes e no centro geométrico dos terços exteriores foram fixados, com graute, pinos de referência. A colocação dos pinos serviu como orientação para as tomadas de medidas durante o processo de ensaio. Utilizaram-se para cada uma das determinações três CP. Após fixação dos pinos de referência (24 horas) foram determinadas as medidas iniciais (e0). Determinada a medida inicial, os CP foram colocados em estufa à temperatura de 105°C por um período de 24 horas. Após o período de aquecimento na estufa (24 horas), os CPs foram retirados e depositados sobre a bancada para a determinação da medida (e24). Depois da estabilização da temperatura do CP e a determinação das medidas entre os pinos de referência, os CP foram colocados em um tanque sob a condição de submersão por um período de 24 horas. Esse procedimento foi repetido para os intervalos de tempo relativo aos três dias (e3 – 72 horas) e sete dias (e7 – 168 horas) e 28 dias (e28 – 672 horas).

O ensaio de uniformidade foi realizado de acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2006). Em que os blocos produzidos apresentaram grau de uniformidade em suas dimensões. Essa uniformidade foi determinada em relação às dimensões principais do elemento pré-moldado.

As amostras foram extraídas de forma representativa, sendo coletadas 6 peças para cada 300m² do lote, e adicionada mais uma peça à amostra a cada 50m², até o limite máximo de 32 peças. Cada lote tinha que conter no máximo 1600m², em conformidade com a NBR9781 (ABNT, 1987).

Aceitaram-se variações máximas de 3 mm para as dimensões relativas à largura e ao comprimento dos blocos e 5mm na dimensão altura.

A resistência à compressão simples (σ_c) expressa em MPa, é determinada individualmente para cada corpo-de-prova, através da razão entre sua carga de ruptura (N) e a área de sua seção transversal (mm²), e expressa pela média de suas repetições. Sua determinação é especificada pela NBR 9780 (ABNT, 1987) que descreve o procedimento de ensaio de determinação da resistência à compressão de peças pré-

moldadas de concreto destinadas à pavimentação de vias urbanas, pátios de estacionamento ou similares.

O carregamento foi conduzido continuamente, com velocidade de aplicação entre 300 kPa/s e 800 kPa/s. A resistência à compressão (em MPa) da peça foi obtida a partir da aplicação dos resultados pelo fator “p”, função da altura da peça, conforme ilustrado na Tabela 3.3.

Tabela 2 – Fator multiplicativo “p”. (ABNT, 1987)

Altura nominal Da peça (mm)	Fator Multiplicativo “p”
60	0,95
80	1,00
100	1,05

O equipamento foi equipado com dois pratos de aço, sendo fixo o inferior e articulado o superior, com espessuras suficientes para evitar deformação durante o ensaio. Deve ser capaz de transmitir a carga de modo progressivo e sem choques, contendo duas placas auxiliares, que devem ser circulares, com diâmetro de $(90 \pm 0,5)$ mm, confeccionadas de aço, com dureza superficial maior que 60 RC. Suas superfícies não apresentavam afastamento com relação a uma superfície plana de contato, tomada como referência, de mais de 0,01 mm em 90.

As placas auxiliares foram acopladas à máquina de ensaio de compressão, uma fixa no prato inferior e outra articulada no superior, de maneira que seus eixos verticais centrais fiquem perfeitamente alinhados.

Para a realização do ensaio as superfícies de carregamento das peças foram capeadas com argamassa de enxofre, com espessura inferior a 3 mm.

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado segundo especificações da NBR 13279 (ABNT, 2005). Os corpos-de-prova foram posicionados nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio, distantes entre si $(120,0 \pm 0,5)$ mm, e, a carga foi aplicada centralizadamente entre os apoios de modo que a face rasada não entrou em contato com os dispositivos de apoio, nem com o dispositivo de carga. Aplicou-se então uma carga de (50 ± 10) N/s até a ruptura do corpo-de-prova.

3 Resultados

Na Figura 1 são apresentados os resultados de umidade para os agregados naturais, e, artificiais para escórias de aciaria utilizadas nas distintas granulometrias. Os resultados apresentados estão dentro dos parâmetros aceitáveis para agregado naturais e artificiais, foi realizado nas mesmas condições, para todas as amostras utilizadas na produção dos blocos para pavimentação descritos na NBR 9939 (ABNT, 1987).

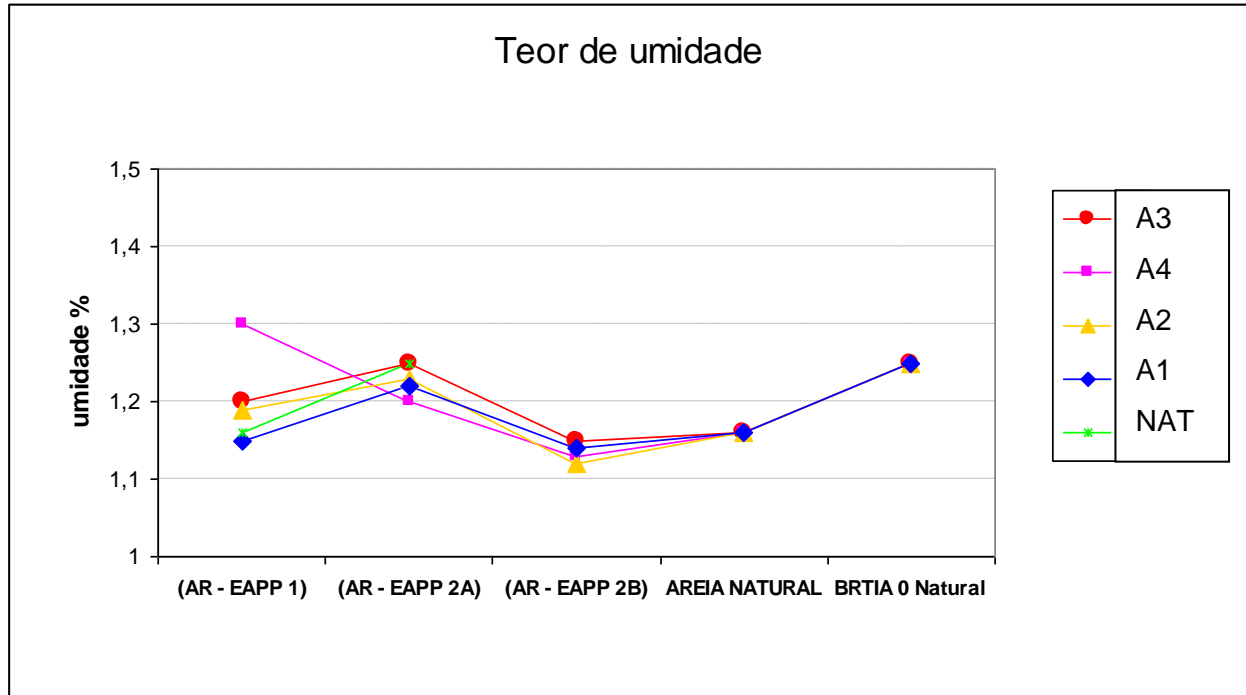


Figura 1 - Resultado do teor de umidade dos agregados naturais e reciclados da escória de aciaria.

Na figura 2 são apresentados os resultados do teor de materiais metálicos ferrosos das amostras de escórias de aciaria utilizadas, das quatro usinas. Os resultados apresentados estão dentro dos parâmetros aceitáveis para os agregados reciclados utilizados na produção de blocos para pavimentação que são no máximo de 3% de metais. A amostra que apresentou menor teor de metais foi a de Juiz de Fora com 2%, e o máximo foi de Ipatinga com 2,5%, portanto todas estão aceitáveis para utilização.

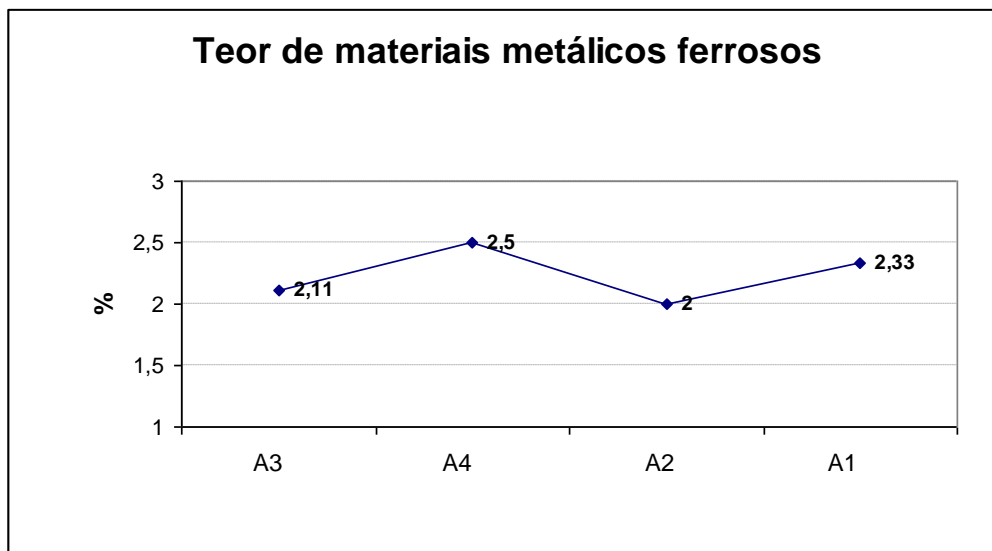


Figura 2 - Resultados do teor de materiais metálicos ferrosos dos agregados reciclados escória de aciaria.

Na figura 3 são apresentados os resultados da massa unitária dos agregados naturais e reciclados de escória.

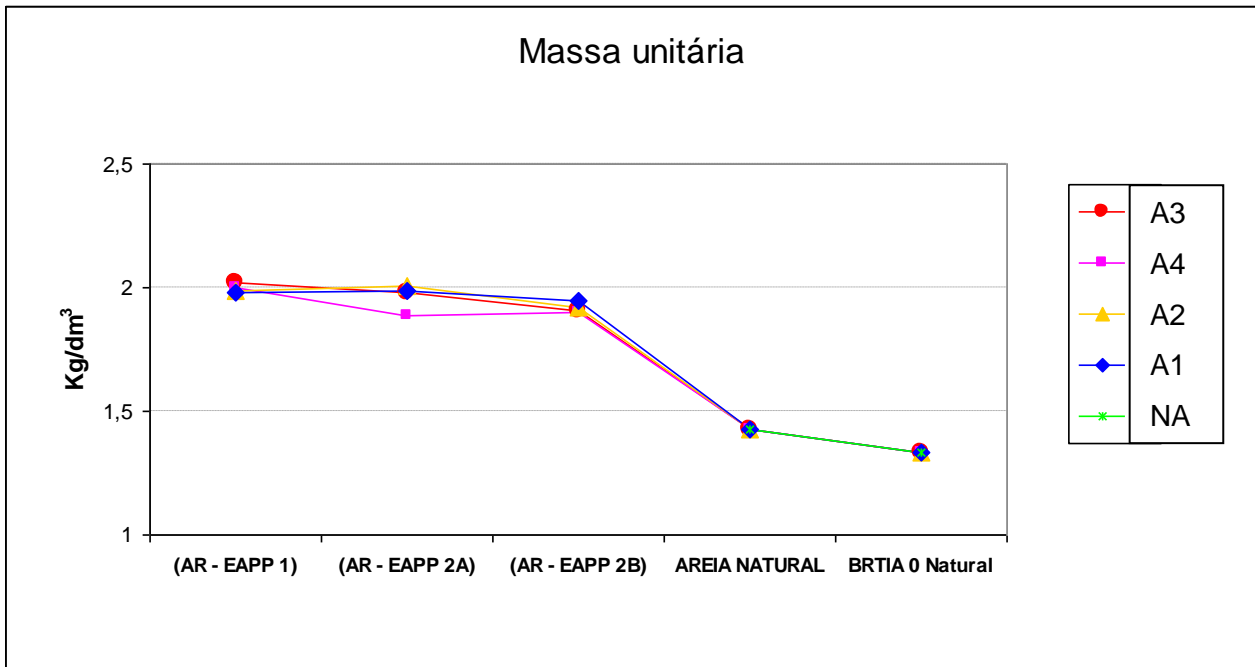


Figura 3 - Resultado da massa unitária dos agregados naturais e reciclados da escória de aciaria.

Na figura 4 são apresentados os resultados da massa específica dos agregados naturais e reciclados de escória. Observa-se que os valores encontrados dentro dos limites estabelecidos pela NBR 9939 (ABNT, 1987).

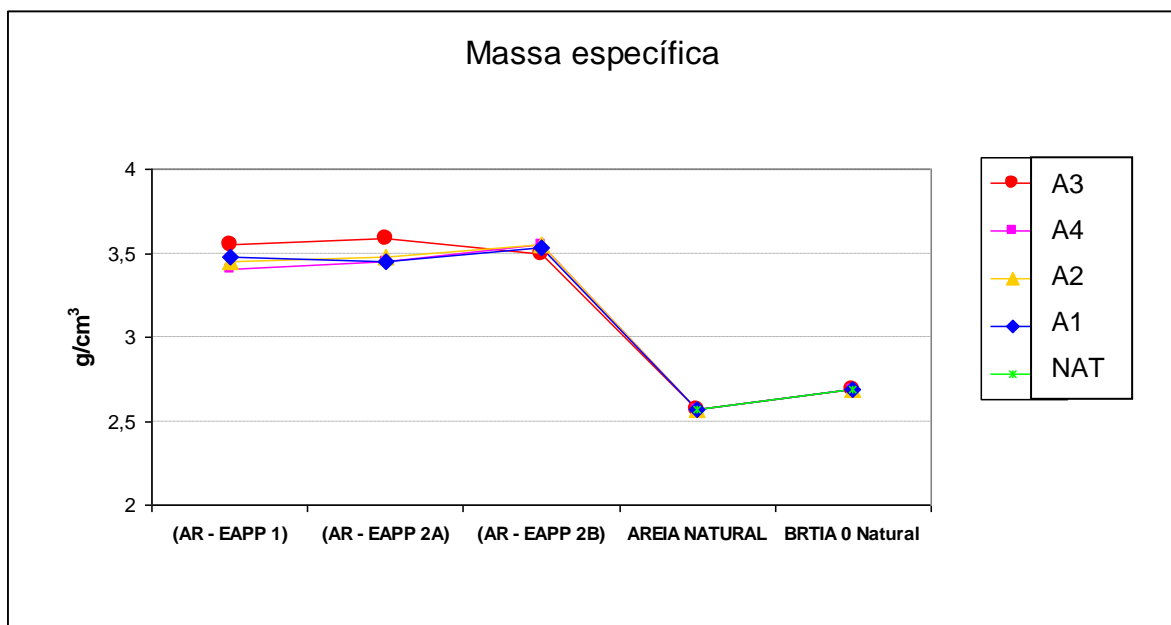


Figura 4 - Resultado da massa específica do agregado natural e reciclado escória de aciaria.

Na figura 5 estão apresentados os resultados do material pulverulento dos agregados naturais e reciclados de escória. Observa-se que os valores encontrados estão dentro dos limites estabelecidos pela norma NBR 9939 (ABNT, 1987), os valores dos agregados reciclados e naturais utilizados na fabricação dos blocos para pavimentação.

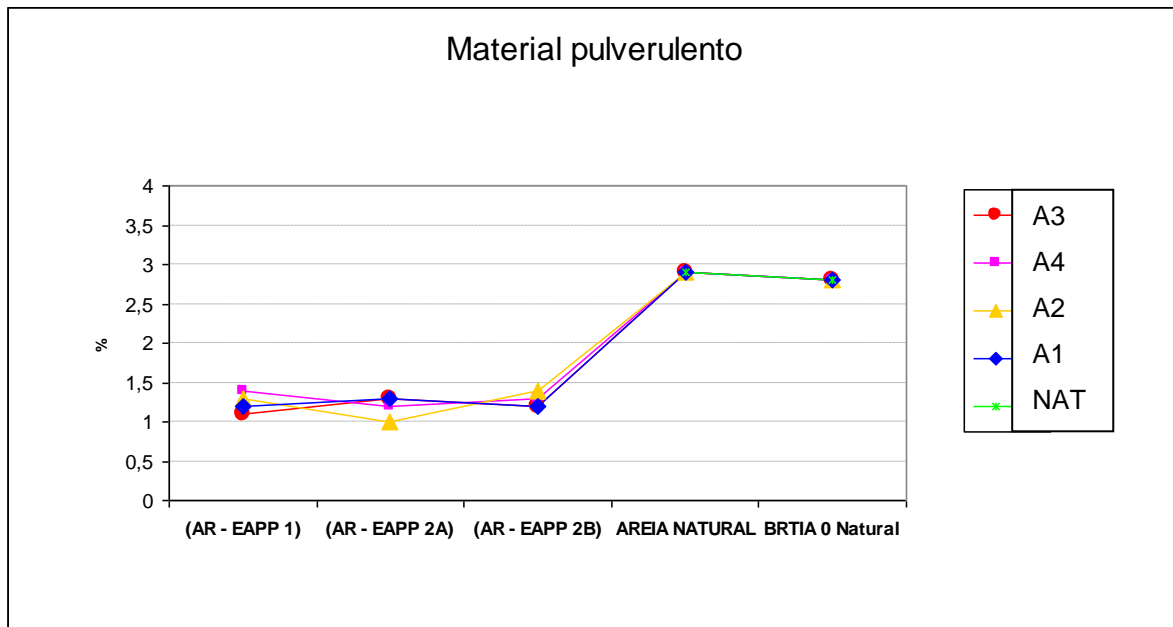


Figura 5 – Resultado da massa específica do agregado natural e reciclado escória de aciaria.

Na Figura 6 estão apresentados valores de expansibilidade determinadas para os blocos pavimentação, produzidos com agregados naturais e de escória de aciaria. Foram procedidas medidas nas amostras nas idades de 3, 7, 14 e 56 dias; as amostras não apresentaram expansibilidade para estas datas.

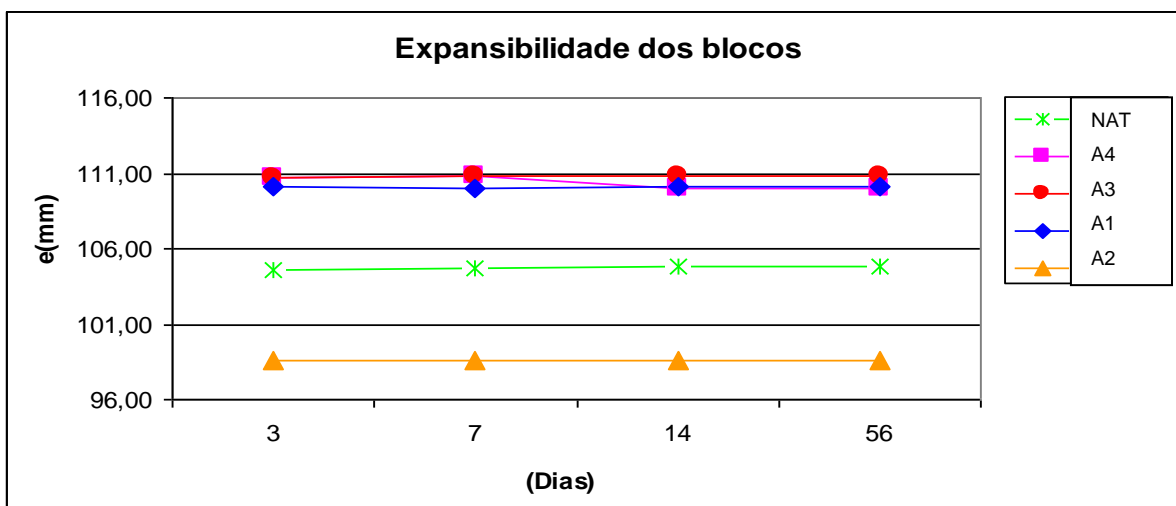


Figura 6 – Resultado da expansibilidade dos blocos para pavimentação, natural e reciclado escória de aciaria.

Na Figura 7 estão apresentados os resultados das resistências à compressão dos blocos para pavimentação, amostras de agregados naturais e reciclados escória de aciaria, nas idades de 3, 7, 14 e 56 dias. Todos tratamentos utilizados apresentam valores para resistência mecânica a compressão acima da resistência mínima esperada, 35 MPa para idade de 28 dias.

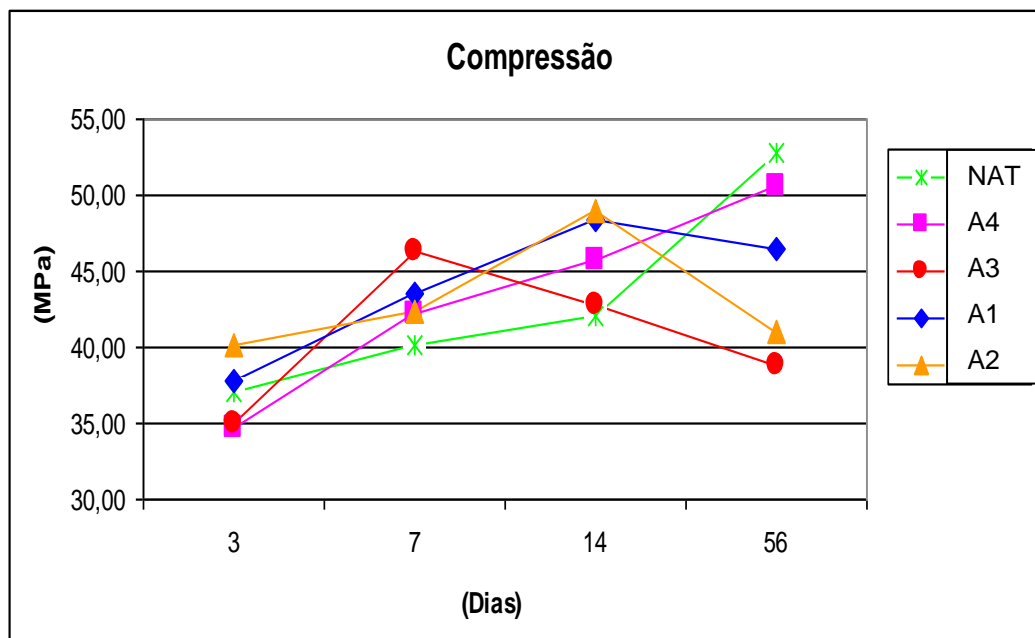


Figura 7 – Resultados da resistência à compressão dos blocos para pavimentação, de agregados naturais e escoria de aciaria.

Na Figura 8, apresentada a seguir, estão apresentados resultados das resistências à flexão dos blocos para pavimentação, produzidos com agregados naturais e de escória de aciaria, nas idades de 3, 7, 14 e 56 dias. Todos os tratamentos utilizados, comparativamente aos blocos produzidos com agregados naturais, apresentaram-se com valores acima das resistências a flexão para os testemunhos.

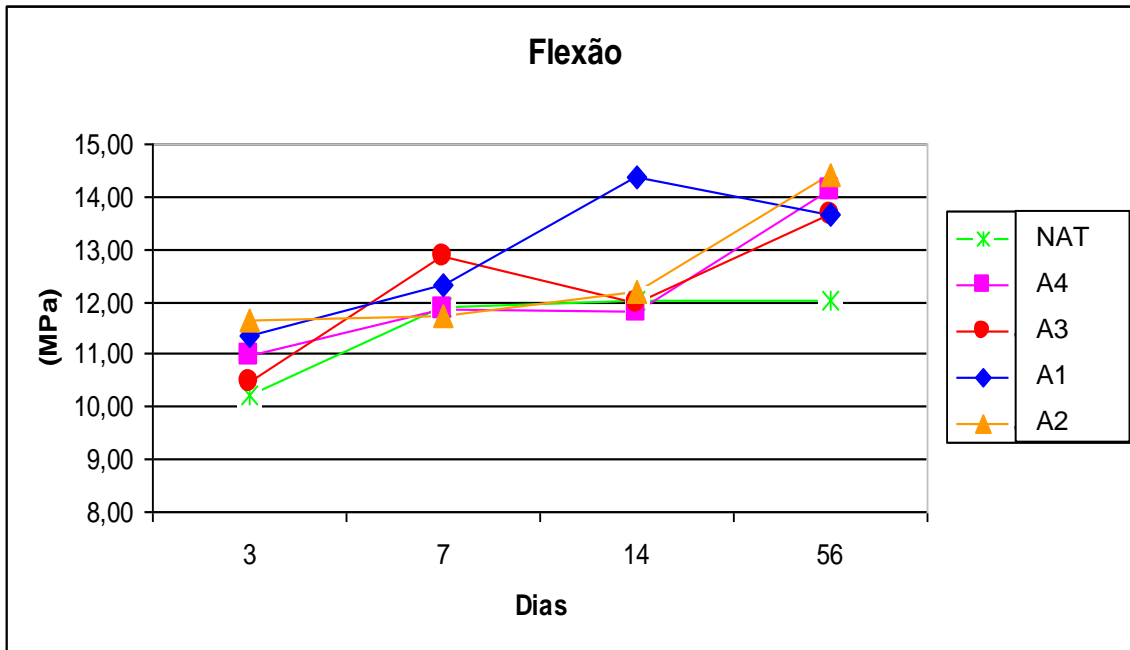


Figura 8 - Resultados da resistência à flexão dos blocos para pavimentação, de agregados naturais e escória de aciaria.

4 Conclusão

As escórias de aciaria pós-processadas, apresentam-se como alternativa viável para utilização como agregados na produção de blocos de concreto para pavimentação. A produção de agregados de escória de aciaria fisicamente idênticos aos agregados naturais e com teores de metálicos abaixo de 2,5% garantiram desempenho mecânico das peças produzidas com agregados de escória de aciaria, com competências mecânica a compressão superiores aos limites mínimos normativos para utilização em vias urbanas e valores para tração superiores às peças produzidas com agregados convencionais, o que garante maior durabilidade e desempenho relativamente às ações do tráfego.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem às agências FAPEMIG, CNPq e CAPES pelo auxílio financeiro, e bolsas disponibilizadas para a pesquisa.

6 Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211: 1983 – Agregado para concreto.
 _____. NBR 7221:1987 – Qualidade do agregado miúdo.
 _____. NBR 7251:1982 – Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária – Método de ensaio.
 _____. NBR 9776:1987 – Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapmann.

- _____. NBR 9780:1987 – Peça de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão.
- _____. NBR 9781:1987 – Peça de concreto para pavimentação – Especificação;
- _____. NBR 9939:1987 – Agregados – Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregados graúdos – Método de ensaio.
- _____. NBR NM 49:2001 – Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas.
- _____. NBR NM 51:2001 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”.
- _____. NBR NM 52:2003 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.
- _____. NBR NM 53:2003 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.
- _____. NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.
- BALTAZAR, R. P. Caracterização do fator expansão de uma escória de aciaria em diferentes processos de cura para uso em pavimentação. 2001. 93f. Dissertação (mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2001.
- DINIZ, D. H. A influencia dos finos de escória de aciaria como estabilizante para uso em pavimentos. 2009. 121f. Dissertação (mestrado) – Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Universidade Federal de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2009.
- HENDRIKS, C. F.; NIJKERK, A. A.; O ciclo da construção. Brasília: UnB, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA (IBS). Produção de aço bruto por processo de refino. 2007. Disponível em:<<http://www.ibs.org.br/estatísticas>>. Acesso em: 20 maio 2010.
- LIMA, L. Horminoges con escorias de horno eléctrico como aridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental. 1999. 243f. Tese (doutorado) – Engenharia, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, Espanha, 1999.
- PADULA, Flávio Renato de Góes¹; PEIXOTO, Ricardo²; MAIA, Nilton³; ZILLE, Hugo Resende Baêta; O uso de escória de aciaria em pavimento rígido ;14ª Reunião de pavimentação urbana, 4ª RPU, 82-92, Ribeirão Preto, 2007
- PEIXOTO, Ricardo André Fiorotti ; DUARTE, João Chiabi; OLIVEIRA, José Roberto; PADULA, Flavio Renato G.; KAMADA, Cristiane E. Proposal for application of steel slag in the production of cement portland concrete, XXXIX Steelmaking Seminar, ABM v1, p231-243, Curitiba , 2008.
- SILVA, E. A.; MENDONÇA, R. L. Utilização da escória de aciaria em todas as camadas do pavimento. Revista Engenharia Ciência e Tecnologia. v.4, n.2, p.7-20, 2001.

1 Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Belo Horizonte
e-mail: renato@dppg.cefetmg.br

2 Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Belo Horizonte
email: fiorotti@dppg.cefetmg.br

3 Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Belo Horizonte
email: niltonmaia@des.cefetmg.br

4 Mestrando em Engenharia Civil - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Belo Horizonte
e-mail: hugozille@yahoo.com.br