

A UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO FORNO BRUTA COMO CAMADA DRENANTE E DE BASE PARA PAVIMENTOS ALFÁLTICOS¹

Eudier Antonio da Silva²
Maria Antonina Magalhães Coelho³
Eudier Antonio da Silva Júnior⁴

Resumo

Este trabalho relata a utilização de escória de alto-forno bruta como camada drenante e base para pavimentos asfálticos numa extensão de 5,6 km, localizado em Linhares-ES. A escória de alto-forno pesquisada advém da produção de ferro gusa em altos-fornos a carvão vegetal em siderúrgica localizada na BR 101, no estado do Espírito Santo. Após sua produção, é retirada as partes metálicas e o restante, com granulometria de 0 à 50 mm, é depositado em pátios como “bota fora”. A sua caracterização como agregado é apresentada neste estudo. A utilização da escória de alto-forno estudada foi feita em seu estado “in natura” e aplicada em trechos de solos moles se mostrando viável como camada drenante e como base de pavimentos asfálticos devido a não apresentar expansão volumétrica e alcançando estabilização e capacidade de suporte especificados pelas normas do setor. Devido à localização da siderúrgica fornecedora da escória, do custo do material e do valor do transporte o custo total se apresentou mais reduzido em relação aos agregados pétreos encontrados na região onde foi executada a obra.

Palavras-chave: Pavimentação; Escória de alto-forno; Agregados.

THE USE OF AIR-COOLED BLAST FURNACE SLAG AS DRAIN LAYER AND BASE LAYER FOR ROADS

Abstract

The aim of this paper is to present the air-cooled slag use as drain layer and base layer for pavement in a 5,6 km of extension, located in Linhares-ES. The blast furnace slag used in this work is originated of a steel plant located in BR 101, state of Espírito Santo. After its production, metallic parts of the slag is taken out and the remained part, with diameter sizes ranging from 0 to 50 mm, is disposed in patios as residues. Its characterization as aggregates is presented in this study. The blast furnace slag was used in soft ground and the study shows viable as drain layer and as base layer of asphalt pavements because it does not present volumetric expansion and reaches stabilization and support capacity specified by the standards of the sector. Due to localization of the steel supplier of the slag, the total cost of the material and its transportation presented a reduction in relation to common aggregates found in the region where the road was executed.

Key words: Pavement; Air cooled blast-furnace slag; Aggregates.

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

² *Eng. Civil, Prof. da UCL, Consultor Técnico, Membro do The Pan American Institute Of Highways,*

³ *MCs, Profa. no curso de Arquitetura da UNIVIX e Profa. no curso de Eng. de Produção Civil da UCL-Faculdade do Centro Leste,*

⁴ *Graduando do curso de Engenharia de Produção Civil da UCL, Estagiário Consulpavi Projetos e Consultoria LTDA.*

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta estudos da utilização da escória de alto-forno a carvão, produzido pela Companhia Brasileira de Ferro Gusa localizada em João Neiva/ES.

A escória produzida é da ordem de 110,0kg/ton de ferro gusa que, ainda *in natura*, passa por uma central de peneiramento para definir sua granulometria (Pó de Escória, Escória 0 e Escória 1), bem como retirar toda a parte metálica, que retorna ao processo produtivo do ferro gusa.

A finalidade deste estudo foi verificar a qualidade desta escória para utilização como parte granular da camada de base, como aterro sobre solos moles com escória bruta de Φ 2" a 8", e na pré-mistura a frio com emulsão RL – 1C para tapa buracos. Foi verificado que, com sua utilização, o custo apresentou redução quando comparado com o uso dos agregados pétreos naturais apresentando, também, a vantagem com relação à sua localização próxima da obra a ser pavimentada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise química da escória de alto-forno está apresentada na Tabela 1 apresentando-se adequada ao uso como agregado, sendo já retirada a parte metálica anteriormente.

Tabela 1 - Análise química da escória de alto-forno.

	Teor (%)	Elemento	Teor (%)
Fe	1,30	SiO ₂	42,0%
Cão	31,8	Al ₂ O ₃	12,5
MgO	10,8	MnO	0,9

Fonte: Laboratório da Companhia Brasileira de Ferro Gusa, João Neiva, ES, 2006.

Foram realizados ensaios de caracterização da escória de alto-forno como agregado de acordo com o que preconiza o DNER-ES-P 303/94⁽¹⁾ e DNER ES 301/97⁽²⁾ para definição da mistura adequada para a camada de Base e para Pré Mistura a Frio de acordo com a norma do DNER-ES-P 317/97.⁽³⁾

A escória de alto-forno bruta, para sua utilização em sub-base e base, foi peneirada nas granulometrias da Brita 1, Brita 2 e parte em pó como apresentado na Tabela 2

Tabela 2 – Percentual passante nas peneira de aberturas de 25,4 mm a 0,074 mm.

Peneiras	Nº 2	Nº. 1	Pó
1 ½" –	100	100	100
1"	100	100	100
¾"	85	100	100
½"	30	100	100
3/8"	10	97	100
¼"	6	58	100
4	1	43	100
10	0	7	72
40	0	1	28
80	0	0	11
200	0	0	3

Fonte: Consulpavi.

A caracterização da escória de alto-forno para utilização em asfalto Pré-Misturado a Frio (PMF) como a densidade real e aparente, o ensaio de abrasão Los Angeles e de adesividade estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização da escória de alto-forno.

Característica da escória	Escória Nº 02	Escória Nº 01	Pó de Escória
Densidade real (g /cm ³)	2,558	2,567	2,600
Densidade aparente (g/cm ³)	1,221	1,269	1,331
Abrasão Los Angeles (%)	40,6		
Adesividade RL – 1C	Satisfatória	Satisfatória	Boa

Fonte: Consulpavi.

A análise petrográfica da escória de alto-forno foi feita primeiramente ao microscópio estereoscópico, sendo complementada por observações de lâminas delgadas ao microscópio óptico de luz transmitida. A Tabela 4 apresenta as principais características da escória e a Figura 1 apresenta a imagem obtida com o microscópio estereoscópico.

Tabela 4 – Síntese das características petrográficas da escória.

Mineralogia	Principal	Víttria, silicática de cálcio e magnésio
	Deletéria	Cal livre
Cor	Cinza amarronzada	
Estrutura	Levemente orientada	
Textura	Granolepidoblástica	
Granulação	Média a fina	
Estado de alteração	Sã	
Deformação do agregado	Deformado	
Propriedades físico-mecânicas	Muito coerente	
Forma dos fragmentos	Eqüidimensionais	
Classificação petrográfica	Magmática resfriada que sofreu metamorfismo hidrotermal	
Reatividade potencial	Agregado não reativo	

Fonte: Consulpavi.



Fonte: Consulpavi.

Figura 1 – Micrografia obtida com microscópio estereoscópico.

Metodologia

Para verificar o comportamento frente à reatividade álcali-agregado foi realizado ensaio segundo a ASTM C 1260/05⁽⁴⁾ e com base no teste acelerado do NBRI, África do Sul.

A reação álcali-agregados pétreos ou siderúrgicos é uma reação lenta, que ocorre entre os álcalis do cimento e alguns agregados reativos resultando em um gel expansivo que, dispondo-se em vazios do concreto e na interface pasta-agregado, pode promover fissurações generalizadas, com conseqüente comprometimento da qualidade da estrutura.

Segundo Mehta e Monteiro,⁽⁵⁾ alguns agregados compostos de sílica e minerais silicosos não permanecem estáveis sob exposição prolongada em água fortemente alcalina, como é o caso da água dos poros de concretos tradicionais. A forma de ataque no concreto envolve a despolimerização ou quebra da estrutura da sílica do agregado, por íons hidroxila, seguida pela adsorção de íons metálico-alcalinos na superfície recém criada dos produtos da reação.

Como esta reação requer a atuação conjunta de água, do agregado reativo e dos álcalis do cimento, sua prevenção pode ser feita a partir da eliminação de um dos fatores, ou seja, a partir do emprego de agregados inertes ou de cimentos com baixos teores de álcalis ou ainda por meio do uso de adições que inibam o processo expansivo. Dentre estas, destacam-se as escórias e as pozolanas, encontradas principalmente nos cimentos de alto-forno e pozolânicos.

O fato dos cimentos com escória e com pozolanas apresentarem teores mais baixos de Ca(OH)_2 livre é uma das causas de minimização da expansão provocada pelas reações álcali-agregado, já que os álcalis são incorporados aos produtos da hidratação da escória de alto-forno.⁽⁶⁾

O método é utilizado para avaliar a reatividade de agregados frente a uma solução alcalina de hidróxido de sódio, através da monitorização das expansões dimensionais de barras de argamassa. A expansão média aos 14 dias com cura em solução alcalina é tomada como valor de referência para a estimativa da reatividade potencial do agregado com os álcalis. Expansões superiores a 0,20% aos 14 dias indicam que o agregado é reativo e que entre 0,10% e 0,20% o agregado é potencialmente reativo, necessitando de ensaios complementares para a decisão quanto a seu uso. Expansões abaixo de 0,10% indicam que o agregado é inócuo.

Preparação das Amostras

As barras de argamassa foram preparadas de acordo com ASTM C 227⁽⁷⁾, utilizando-se um traço de 1:2,25 (cimento:agregado) com relação a/c fixa igual a 0,47. Após 24 horas, foram desformadas e colocadas em um recipiente para cura em água, que é gradualmente aquecida desde a temperatura ambiente até atingir 75° A 80° C. As barras foram conservadas nestas condições por 24 horas.

Após este período de estabilização, as barras são removidas do recipiente de cura, uma de cada vez e, rapidamente, medidos seus comprimentos em sala climatizada ($23\pm 2^\circ \text{C}$) para estabelecer a leitura inicial a 80° C. Cada medida, com precisão de 0,002mm, deve ser feita dentro de 15 ± 5 segundos com o objetivo de não resfriar significativamente a argamassa, conforme preconiza o método.

Após a leitura inicial, as barras são colocadas em cura em solução aquosa de NaOH a $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, sendo medidos seus comprimentos periodicamente no mínimo por 14 dias e calculadas suas expansões lineares.

A metodologia estabelece que a expansão média de 3 prismas deve ser calculada por pelo menos três idades intermediárias antes dos 14 dias de cura agressiva, sendo que a repetibilidade é considerada satisfatória quando dois resultados, dentro do mesmo laboratório, com os mesmos operadores e agregados, não diferir mais que 8,3% da expansão média, para expansões acima de 0,1% aos 14 dias.

A reprodutibilidade é considerada satisfatória quando a diferença de resultados entre dois laboratórios com a mesma mostra não diferir mais que 43% da expansão média entre eles, para expansões acima de 0,1% aos 14 dias de cura agressiva.

Segunda a norma, os resultados devem ser expressos pela média de leituras de 3 barras, sendo os valores individuais com aproximação de 0,001% e a média com aproximação de 0,01%.

A tabela 5 apresenta a quantidade dos materiais utilizados na preparação das barras de argamassa. A amostra de agregado foi previamente britada e pulverizada para obtenção da granulometria adequada.

Tabela 5 – Quantidade dos materiais para o preparo da argamassa para as barras.

Materiais		Quantidade (g)
Agregado	4,8 a 2,4 (mm)	99,0
	2,4 a 1,2 (mm)	247,5
	1,2 a 0,6 (mm)	247,5
	0,6 a 0,3 (mm)	247,5
	0,3 a 0,15 (mm)	148,5
Cimento		440,0
Água destilada (A/C = 0,47)		206,8

Fonte: Consulpavi.

Para a camada de sub-base o agregado deve estar de acordo com a norma DNER ES 301/97⁽²⁾ e para a base de acordo com a norma DENIT-ES-303/97.⁽¹⁾ Assim, a escória foi peneirada e preparada em misturas para atender às granulometrias especificadas por estas normas.

Para a execução da sub-base, a escória, com granulometria entre 2” e 8”, foi descarregada sobre o solo mole existente, sendo compactada com máquina de esteira D-6, e à medida que a camada foi se estabilizando, foi possível diminuir a granulometria até chegar ao final da terraplenagem, bem acima do Nível de Água (NA) existente. Sobre este aterro foi executada a camada de base.

3 RESULTADOS

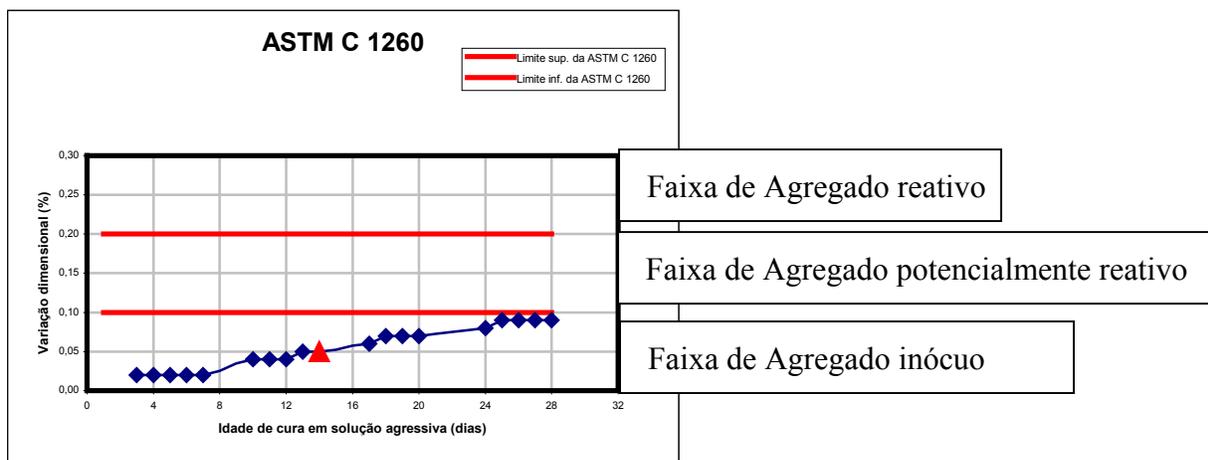
A Tabela 6 apresenta os resultados do ensaio de expansão álcali-agregado realizado, destacando-se os valores aos 14 dias. A Figura 2 mostra a variação das expansões médias das barras de argamassa.

Tabela 6 – Variação dimensional das barras de argamassa em solução alcalina.

Idade de leitura (dias) ^(*)	Variações dimensionais Médias (%)
1	nl
2	nl
3	0,02
4	0,02
5	0,02
6	0,02
7	0,02
8	nl
9	nl
10	0,04
11	0,04
12	0,04
13	0,05
14	0,05
15	nl
16	nl
17	0,06
18	0,07
19	0,07
20	0,07
21	nl
22	nl
23	nl
24	0,08
25	0,09
26	0,09
27	0,09
28	0,09

nl = leitura não realizada; (*) As leituras foram iniciadas no 3º. dia após a moldagem.

Fonte: Consulpavi.



Fonte: Consulpavi.

Figura 2 - Variação das expansões médias das barras de argamassa.

Os teores dos materiais utilizados nas misturas escória de alto-forno e argila para utilização em camada de sub-base e base estão mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Teores das misturas escória de alto-forno e argila.

Escória de granulometria 0,075mm a 1 ¼" (%)	Argila do sub-leito tipo A-7-6 (%)	Ensaio com Registro no.
0	100	401/2006
100	0	402/2006
70	30	403/2006
50	50	404/2006

Fonte: Consulpavi.

As análises das características destas misturas estão mostradas na Tabela 8 como o Limite de Liquidez (LL), o Índice de Plasticidade (IP), a granulometria, a classificação do material (HRB), a umidade, a densidade e o CBR de cada mistura.

Tabela 8 – Resultados dos Ensaios de Limite de Liquidez (LL), Índice de Plasticidade (IP), granulometria, classificação do material (HBR), umidade, densidade e CBR de cada mistura.

Mistura /Características	100% de argila	100% escória com granulometria 0,075mm a 1 ¼"	70% escória com granulometria 0,075mm a 1 ¼" + 30% de argila	50% escória com granulometria 0,075mm a 1 ¼" + 50% de argila
Limite de Liquidez	42,0	NP	25,0	37,0
Índice de Plasticidade	17,0	NP	6,8	10,9
Peneira 200	46,0	3,0	25,1	33,0
Peneira 40	74,0	16,0	56,6	55,0
Peneira 10	95,0	30,5	81,7	69,8
Peneira 4	99,0	47,0	91,5	76,2
3/8"	100,0	70,0	98,0	85,3
Faixa granulométrica do DNIT	-	D	E	E
Índice de grupo	5	0	0	0
Classificação do material	A-7-6	A-3	A1-B	A-4
Umidade	16,4	9,8	10,1	11,3
Densidade	1778	1918	1922	1891
CBR (Kgf/cm ²)	11,8	65,4	78,4	60,4
Equivalente de areia	-	65,8	-	-

Fonte: Consulpavi.

O resultado da dosagem da mistura betuminosa, segundo o ensaio Marshall, está apresentado na Tabela 9.

Agregado	Teor (%)
Escória de alto forno nº. 02	60
Escória de alto forno nº. 01	25
Escória de alto forno pó	15

Fonte: Consulpavi.

A Tabela 10 apresenta a granulometria dos materiais utilizados nas misturas betuminosas da Faixa granulométrica de trabalho especificada pela IPIRANGA e da Faixa granulométrica usada neste trabalho, a qual atende às faixas da IPIRANGA.

Tabela 10 - Granulometria dos materiais utilizados nas misturas asfálticas da FAIXA DE TRABALHO ESPECIFICADA e da Faixa usada neste trabalho.

Aberturas das peneiras (mm)	FX B₃ da IPIRANGA (%)	Misturas asfálticas preparadas com 60% de esc. 2, 25% de esc. 1 e 15% de esc. em pó (%)
25,4	100	100
19,0	50-100	91,0
12,7	35 – 70	58,0
6,4	20 – 35	33,1
4,8	15 – 30	26,4
2,0	10 -20	12,6
0,42	4 – 12	4,2
0,18	-	1,7
0,074	0 – 3	0,5

Fonte: Consulpavi.

O resultado do ensaio Marshal para as misturas betuminosas está apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultado do ensaio MARSHALL.

Teor emulsão (RL – 1C) (%)	Água (%)	Estabilidade (kg)	Densidade aparente (g/cm³)
6,0	1,5	73,5	2030
7,0	1,5	79,2	2068
8,0	1,5	76J9	2075

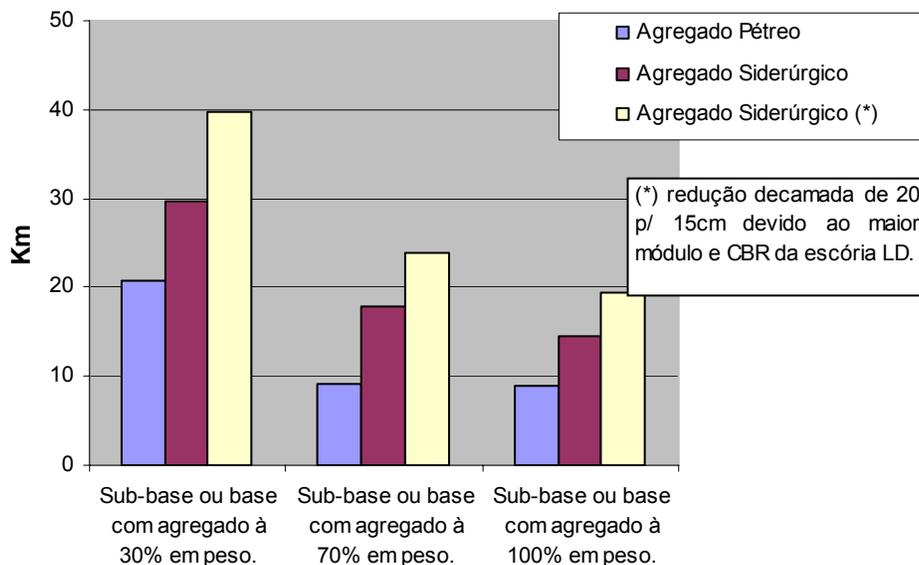
Fonte: Consulpavi.

A Tabela 12 apresenta os resultados do estudo do número de quilômetros de base ou sub-base compactada com 8 m de largura e 0,20 m de espessura, utilizando como agregados o agregado pétreo natural ou o agregado siderúrgico, construídos com R\$1,0 milhão de reais.

Tabela 12 – Número de km de base ou sub-base construídos com R\$1,0 milhão de reais para os diferentes agregados, para uma largura de 8m.

Teor de agregado utilizado na camada de Sub-base ou base (%) em massa	Espessura de 0,20 m		Espessura de 0,15m
	Agregado Pétreo	Agregado Siderúrgico	Agregado Siderúrgico
30	20,67	29,73	39,64
70	9,24	17,96	23,95
100	8,92	14,57	19,43

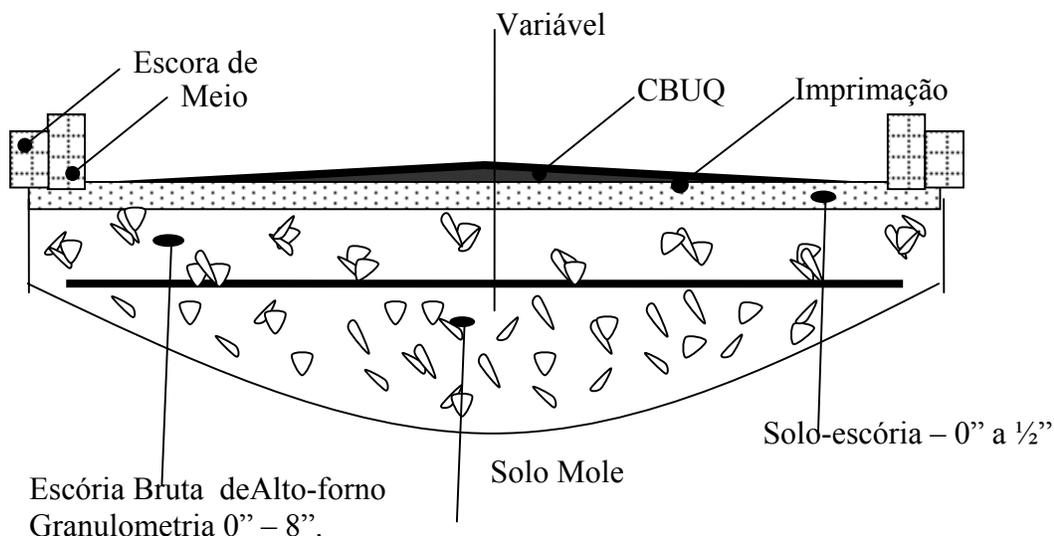
Fonte: Consulpavi.



Fonte: Consulpavi.

Figura 3 – Número de quilômetros de execução de base com R\$ 1,0 milhão de reais.

A seção transversal tipo do pavimento pode ser observada na Figura 4 onde se vê a escória de alto-forno utilizada na camada de base e como material drenante misturado ao solo mole na sub-base.



Fonte: Consulpavi.

Figura 4 - Seção transversal tipo do pavimento.

4 DISCUSSÃO

Pode-se observar pelos resultados apresentados na Tabela 6 e na Figura 1 que a expansão média das barras de argamassa aos 14 dias de cura em solução alcalina das amostras de Escória de Alto-Forno foi de 0,05%, indicando que o agregado é inócuo, segundo os critérios estabelecidos pela ASTM C 1260/05.

As análises das características das misturas escória de alto-forno e argila para utilização em camada de sub-base e base mostram que estão de acordo com as exigências das normas DNER-ES-P 303/94 e DNER ES 301/97 e que o resultado de estabilidade encontrado para as misturas asfálticas a frio estão de acordo com os requisitos na norma DNER-ES-P 317/97.

Com os dados da Tabela 12 pode-se verificar que, com o uso de escória de alto-forno, quando comparado com agregados pétreos naturais se consegue construir um maior número de quilômetros com o mesmo valor perfazendo um acréscimo de 14 % para uma substituição de 30%, de 94% para 70% de substituição e de 63% para 100% de substituição de agregado natural por escória de alto-forno bruta, para uma camada de 20cm e quantidades de quilômetros ainda maiores com espessura de 15 cm, ainda atendendo quanto ao CBR, com o mesmo comportamento resiliente, de acordo com as normas do setor.

5 CONCLUSÕES

As características da escória de alto-forno bruta estudada atende aos requisitos das normas do setor quanto à sua aplicação em camada drenante, sub-base e base de estradas, usado como material drenante em solos moles e como agregado em misturas asfálticas.

O uso da escória bruta em sub-base e base é importante em função de não se ter que fazer substituição dos solos moles existentes no local e também pelo fato de não ser necessário depositá-los em locais de descarte.

As vantagens do uso da escória de alto-forno bruta são devido a não ser um material plástico, apresentar excelente Suporte, ser possível executar o trabalho mesmo sob chuva, ser um material drenante e apresentar baixo custo.

Agradecimento

Ao DER-ES em nome do Engenheiro Cyro Alves Ramos que, em 1986, como diretor de operações e coordenador do projeto Transcol da Grande Vitória, apoiou os estudos e aplicação de escória de aciaria nos 106 km de estradas e avenidas urbanas.

REFERÊNCIAS

- 1 DNER-ES-P 303/94. Pavimentação – base estabilizada granulometricamente.
- 2 DNER ES 301/97. Pavimentação – sub-base estabilizada granulometricamente.
- 3 DNER-ES-P 317/97. Pré-misturados a frio.
- 4 ASTM C 1260/05 - Standard Test Method for Potential Reactivity of Aggregates.
- 5 MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.
- 6 DOUGLAS, E. Blast furnace cement mortar and concrete: durability aspects. In: Supplementary Cementing Materials for concrete. Ed. V. M. Malhotra. Proceedings, Ottawa, 1987. pp.291-333.
- 7 ASTM C 227- Standard Method for samples.