



44ª RAPv | **18º ENACOR**
44ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO | 18º ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
4ª Expopavimentação
Os caminhos da integração . O maior evento rodoviário do País.
18 a 21 de agosto de 2015 . Hotel Bourbon . Foz do Iguaçu . PR

44ª RAPv – REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO E 18º ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA

Foz do Iguaçu, PR – 18 a 21 de agosto de 2015

REVISÃO DE ESTUDOS SOBRE A APLICAÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

José Ciro Pinheiro Neto¹; Francisco Heber Lacerda de Oliveira²; Marcos Fábio Porto de Aguiar³

RESUMO

O Brasil detém uma pequena malha viária para atender a necessidade de movimentação de pessoas e mercadorias contrastadas pela grande área geográfica do país. O presente trabalho visa entender conceitos da pavimentação rodoviária, motivado pela importância das rodovias para o país. Será estudada a escória de aciaria, um material alternativo gerado em grande escala e que, de acordo com as referências bibliográficas e os resultados encontrados neste estudo, apresenta um grande potencial de aplicação na pavimentação rodoviária, tomando-se a precaução de realizar a cura prévia do material. Os estudos de caso trabalhados apresentaram resultados da avaliação da escória de aciaria propondo sua aplicação tanto para camadas granulares, em materiais gerados em Sapucaia do Sul (RS), Rio de Janeiro (RJ), Pindamonhangaba (SP) e Maracanaú (CE), como para a camada de revestimento asfáltico de pavimentos flexíveis, em escória gerada em Maracanaú (CE), inclusive em misturas de concreto asfáltico do tipo *Stone Matrix Asphalt* (SMA), concreto asfáltico com maior resistência à deformação permanente em escória gerada em Volta Redonda (RJ), encontrando resultados satisfatórios para o uso da escória de aciaria na pavimentação rodoviária.

PALAVRAS-CHAVE: Escória de Aciaria, Pavimentos Alternativos, Pavimentação Rodoviária.

ABSTRACT

Brazil has a small road network, to meet the need for movement of people and goods contrasted by the large geographic area of the country. This study aims to understand concepts of road paving, motivated by the importance of roads for the country. Will study the steel slag, an alternative material generated on a large scale and it holds, according to the references and the results of this study, a large potential application in road paving taking the precaution prior to accomplish curing of the material. Case studies worked, had steel slag evaluation results proposing its application both in granular layers dross generated in Sapucaia do Sul (RS), Rio de Janeiro (RJ), Pindamonhangaba (SP) and Maracanaú (CE) and for the layer asphalt coating flexible flooring studied in slag generated in Maracanaú (CE), including of asphalt concrete concrete mixes of stone matrix asphalt type (SMA) asphalt concrete dosing with greater resistance to permanent deformation steel slag generated in the Volta Redonda (RJ) finding satisfactory results for the use of Steel Slag in Road Paving.

KEY WORDS: Steel Slag, Alternative Pavement, Road Paving.

¹ Aluno de Mestrado em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará - UFC. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes - PETRAN. Av. Mister Hull, 2977 – Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: ciropinheiro1992@gmail.com.

^{2, 3} Professores Assistentes da Universidade de Fortaleza – UNIFOR e do Instituto Federal do Ceará – IFCE. Fortaleza. Ceará E-mails: heberoliveira@unifor.br; marcosporto@unifor.br.



INTRODUÇÃO

No processo de pavimentação rodoviária, os técnicos da área deparam-se rotineiramente com a ascendente dificuldade no encontro de jazidas de exploração com boas características técnicas para esse fim, somando-se ao apelo ambiental que causa a extração do material natural, a qualidade, dos materiais presentes para a aplicação são motivadores para a constante busca por materiais alternativos à utilização desses agregados naturais.

De acordo com Tavares *et al.* (2011), a pavimentação consome um volume elevado de materiais, sendo a maior parte composta por agregados. Alguns resíduos como a escória de aciaria podem ser reutilizados, reprocessados ou reciclados para constituírem material para construção de pavimentos. Segundo Castelo Branco (2004) a construção de estradas representa um terço da demanda por agregados.

Para o presente artigo, foram utilizados 4 estudos sobre a escória de aciaria, dois que enfocam a utilização da escória para aplicação em camadas granulares de pavimento e dois que estudam a aplicação da escória como agregado na mistura betuminosa de revestimento.

Os trabalhos que avaliam a aplicação da escória em camadas granulares são a caracterização geomecânica e química da escória de aciaria para utilização como base e sub-base em pavimento (Caliman *et al.*, 2013) e o estudo do comportamento mecânico de misturas de solo escória de aciaria para aplicação na construção rodoviária na região metropolitana de Fortaleza (Parente *et al.*, 2003).

Para a avaliação da aplicação de escória em misturas de revestimentos asfálticos serão estudados os trabalhos, a utilização do agregado siderúrgico (escória de aciaria) em pavimentação asfáltica (Tavares *et al.*, 2011) e a caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado (Castelo Branco, 2004).

A ESCÓRIA DE ACIARIA

De acordo com Senço (2001), as escórias são subprodutos da fabricação do aço. Conforme a maneira de obtenção as escórias podem ser classificadas em:

- a) escória de alto forno: são obtidas em alto-forno, a uma temperatura da ordem de 1500°C, quando a escória flutua na superfície do ferro em fusão;
- b) escória de aciaria: pode ser considerada uma mistura por fusão de óxidos e silicatos, que se forma na produção e beneficiamento do aço.

Segundo Machado (2000) *apud* Tavares *et al.* (2011), no Brasil são utilizados para a produção e refino do aço os seguintes processos: OH (*Open Heart*) com o forno Siemens-Martin, elétrico ou EAF (*Electric Arc Furnace*) que utiliza o forno de arco elétrico e o LD (*Linz-Donawitz*) ou BOF (*Blast Oxygen Furnace*) com o conversor a oxigênio, responsáveis na década de 1990 por cerca de: 1,9%, 20,2% e 77,9% da produção de aço no país, respectivamente.

Para Senço (2001), a escória de aciaria é uma mistura por fusão dos óxidos e silicatos que se forma na produção do aço. E, assim, um resíduo da fabricação do aço. Após o resfriamento, apresenta-se sob a forma de blocos porosos de grandes dimensões, que podem perder a forma quando trabalhados por causa dessa estrutura porosa ou celular, que retém os gases nos vazios, ficando sujeita a pressões internas após o resfriamento.



A Figura 1 apresenta amostras de escória de aciaria, oriundas de diferentes formas de refino do aço.



Figura 1. Exemplo de agregados britados de dois tipos de escória de aciaria (Tavares *et al.*, 2011).

Para Senço (2001), a escória de aciaria tem uso diversificado. Por exemplo:

- Agregado para bases estabilizadas;
- Agregado para misturas betuminosas;
- Agregado para concreto de cimento Portland;
- Material para formação do clínquer, na fabricação de cimento.

Para Castelo Branco (2004), um exemplo de utilização da escória de aciaria é na infra e superestruturas rodoviárias, bem como em forma de cascalho em vias não pavimentadas para evitar a formação de poeira. Este material tanto pode ser utilizado em base e sub-base de pavimentos quanto como agregado na confecção de misturas asfálticas. A escória é mais utilizada em camadas inferiores do que como agregado em revestimentos, ilustração na Figura 2.



Figura 2. Escória de aciaria (Bernucci *et al.*, 2007)

Para Machado (2000) *apud* Castelo Branco (2004), outro exemplo de utilização de escória de aciaria é na estabilização de solos, por apresentar maior rugosidade superficial, excelente índice de forma,



maior angulosidade, maior resistência ao desgaste e aumento da resistência dos solos. Esta utilização é limitada pelo alto potencial expansivo deste rejeito.

Para Tavares *et al.* (2011), a utilização da escória sem o devido tratamento acarreta em danos ao pavimento, como o “pé de galinha”, figura 3. Portanto, para viabilizar a aplicação da escória de aciaria em pavimentos rodoviários, é necessário um tratamento para estabilizar a expansão a níveis aceitáveis, transformando os óxidos de magnésio e cálcio livres em compostos estáveis.



Figura 3. Exemplo de danos ao pavimento (“pé de galinha”) com escória utilizada na mistura do revestimento (Rodrigues, 2007 *apud* Tavares *et al.*, 201).

ANÁLISE DOS MATERIAIS PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS GRANULARES

Os estudos utilizados no presente item para a avaliação da aplicação de escória de aciaria em camadas granulares de pavimentos serão a caracterização geomecânica e química da escória de aciaria para utilização como base e sub-base em pavimento (Caliman *et al.*, 2013), e o estudo do comportamento mecânico de misturas de solo escória de aciaria para aplicação na construção rodoviária na região metropolitana de Fortaleza (Parente *et al.*, 2003).

Localização dos Estudos de Caso

No primeiro trabalho foram analisadas escórias de aciaria oriundas de três siderúrgicas diferentes, da cidade de Sapucaia do Sul pertencente à Região Metropolitana de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, da cidade do Rio de Janeiro capital do estado do Rio de Janeiro e da cidade de Pindamonhangaba cidade pertencente à Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte estado de São Paulo.

No segundo trabalho a escória de aciaria utilizada é oriunda da Gerdau S/A, localizada em Maracanaú/CE, a brita utilizada é oriunda de uma pedreira localizada em Itaitinga/CE e o solo utilizado é o mesmo que foi utilizado na execução do subleito da BR-116 no trecho entre Itaitinga e Fortaleza/CE.

Durabilidade

De acordo com Caliman *et al.* (2013) as três escórias de aciaria analisadas, quando submetidas ao ensaio de durabilidade com o sulfato de sódio, obtiveram resultados de durabilidade menores que a máxima permitida de 5%. Logo a mesma está dentro do recomendado para o uso. Segundo Parente



et al. (2003), a amostra de escória utilizada na pesquisa foi ainda submetida aos ensaios de durabilidade ao sulfato de sódio (DNER, 1994a) apresentando uma perda em massa de 4,7%.

Abrasão

Para Caliman *et al.* (2013) as escórias de aciaria em questão apresentaram uma abrasão inferior ao valor máximo permitido para o desgaste *Los Angeles*, que é de 55% para base granular, segundo as Normas Técnicas (DNER, 1997), se enquadrando nos padrões permitidos. De acordo com Parente *et al.* (2003), os resultados encontrados para este ensaio são superiores ao limite estabelecido pelo DNER. Para agregados tradicionais o Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes (DERT-CE) estabelece um limite de até 55% (DERT, 1994) e o DNER estabelece um limite de 40% para agregados graúdos, inclusive escórias (DNER, 1994b).

Expansibilidade

A expansibilidade observada nas escórias do primeiro estudo está acima do valor limite recomendado pelas normas técnicas que é 0,5%, logo está desconforme com a faixa permitida demonstrando porém como a expansibilidade é uma característica que pode ser trabalhada com a cura, conclui-se que o material para esse requisito também está conforme, porém necessitando de uma cura prévia à aplicação. Para o estudo da expansibilidade da escória de Maracanaú foi encontrado o valor de 0,34% portanto condizente com o limite da norma.

Índice de Suporte Califórnia

De acordo com Caliman *et al.* (2013) os valores mínimos de ISC para utilização em base e sub-base é de 60% para tráfego menor ou igual a $5,0 \times 10^6$ e, de 80% para tráfego maior que $5,0 \times 10^6$, logo, todas as análises se encontram dentro do permitido, segundo DNIT (DNER, 1997). No segundo trabalho foram trabalhadas diferentes misturas de solo com brita e solo com escória, em que o solo puro apresentou um ISC de 17% a mistura solo-brita 30/70 apresentou ISC de 35% e a mistura solo-escória 30/70 apresentou ISC de 70%.

ANÁLISE DOS MATERIAIS PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS DE REVESTIMENTO

Propondo a aplicação de escória de aciaria na mistura de revestimento asfáltico foram estudados os seguintes trabalhos, Utilização do agregado siderúrgico (escória de aciaria) em pavimentação asfáltica (Tavares *et al.*, 2011) e Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado (Castelo Branco, 2004).

Localização dos Estudos de Caso

Para o primeiro trabalho foram realizados ensaios técnicos em busca de verificar a viabilidade do uso de escória de aciaria na mistura asfáltica do tipo SMA, visto que essa mistura demanda dos agregados alta resistência à abrasão *Los Angeles*, característica presente nas escórias de aciaria. A escória utilizada é proveniente da *Harsco Metals*, localizada no município de Volta Redonda – RJ e o fino de agregado natural é oriundo da Pedreira Pedra Sul, de Juiz de Fora – MG.

No segundo trabalho a escória de aciaria estudada foi a mesma escória estudada no segundo trabalho da aplicação em camadas granulares, oriunda da Gerdau Cearense S.A. localizada em Maracanaú/CE.



Processo de Refino do Aço

A escória de Volta Redonda/RJ do primeiro trabalho é gerada através do forno LD, já a escória de Maracanaú/CE do segundo trabalho é produto do forno elétrico EAF.

Abrasão

De acordo com Tavares *et al.* (2011) a abrasão *Los Angeles* atende ao critério previsto para SMA (AASHTO MP 325-08). A escória do segundo trabalho apresentou abrasão em torno de 37%.

Expansibilidade

Para Tavares *et al.* (2011), a expansão está abaixo dos limites (DNER, 1997). A expansibilidade da escória de Maracanaú, como avaliado anteriormente, apresentou 0,34% de expansão.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados será realizada separadamente para o fim de aplicação da escória de aciaria.

Escória de Aciaria para Aplicação em Camadas Granulares

A Tabela 1 apresenta uma junção comparativa dos dados levantados nos estudos de caso realizados para a utilização de escória em camadas granulares de pavimentos.

Tabela 1. Estudos de caso para aplicação de Escória de Aciaria em camadas granulares.

Estudos de Caso	Estudo de Caso 1			Estudo de Caso 2						Norma
	Caracterização geomecânica e química da escória de aciaria para utilização como base e sub-base em pavimento (Caliman <i>et al.</i> , 2013)			Estudo do comportamento mecânico de misturas de solo escória de aciaria para aplicação na construção rodoviária na região metropolitana de Fortaleza (Parente <i>et al.</i> , 2003).						
Origem da Escória	Sapucaia do Sul	Rio de Janeiro	Pindamonhangaba	Maracanaú						
Durabilidade	0,82%	0,60%	0,59%	4,70%						DNER-ME 089/94 < 5%
Treton	12,87%	18,6%	12,13%							DNER-ME 399/99 < 40%
Abrasão	20,70%	24,2%	19,40%	37%						DNER-ES 303/97 < 55%
Cal Livre	0,30%	0,24%	0,31%	Solo Puro	50/50 Solo / Brita	30/70 Solo / Brita	50/50 Solo / Escória	30/70 Solo / Escória	Escória Pura	
Expansibilidade	0,67%	0,54%	1,31%	0,7%	0,4%	0,5%	0%	0%	0,34%	DNER-ES 303/97 < 0,5%
ISC	64%	73%	87%	17%	30%	35%	50%	70%		DNER-ES 303/97 > 20%

Para Caliman *et al.* (2013), foi possível concluir que as escórias de aciaria fornecidas pelas siderúrgicas de Pindamonhangaba (SP), Sapucaia do Sul (RS) e Rio de Janeiro (RJ) são materiais que estão em conformidade com os padrões normativos estabelecidos para utilização como base e sub-base de pavimento rodoviário.



De acordo com Parente, Boavista e Soares (2003), as misturas solo-escória apresentaram maiores valores de massa específica seca máxima e menores valores de umidade ótima, quando comparadas com as misturas solo-brita e o solo sem adição de agregado. O valor de ISC para a mistura solo-escória é, em média, 3 vezes maior que o do solo puro e, em média, o dobro dos valores de ISC das misturas solo-brita. Os valores de MR das misturas solo-escória foram, superiores aos MR's obtidos para as misturas solo-brita e solo sem agregado. Este comportamento pode ser justificado pela porosidade da escória proporcionar maior intertravamento na mistura. A escória de aciaria, desde que seja submetida ao processo de cura por hidratação e seu potencial expansivo seja reduzido aos limites aceitáveis, poderá ser empregada como agregado para as camadas de base e sub-base de pavimentos.

As escórias de aciaria estudadas no presente item apresentaram características positivas para a sua aplicação em camadas granulares de pavimentos rodoviários, o estudo da escória em comparação com as normas provou que a escória é um potencial material para a pavimentação, na maioria das vezes apresentando características melhores do que os materiais comumente utilizados extraídos da natureza.

Há de se observar para a necessidade da cura prévia do material, pois as escórias apresentam comportamento expansivo característica indesejada para os materiais de pavimentação, portanto necessitando da cura para estabilizar a expansão. Chama-se a atenção para a expansão das escórias do primeiro estudo que apresentaram expansão acima do aceito pela norma, portanto indica-se que para a aplicação, essas escórias passem por um tempo de cura que no estudo não foi informado se o material passou ou não por esse importante processo.

Escória de Aciaria para Aplicação em Camadas de Revestimento

A Tabela 2 apresenta uma junção comparativa dos dados levantados nos estudos de caso realizados para as misturas asfálticas.

Para Tavares *et al.* (2011), os resultados preliminares da utilização deste agregado siderúrgico testado em misturas do tipo SMA mostram que pode ser utilizado como agregado para mistura asfáltica tipo SMA. No entanto, o uso de ligante convencional CAP30/45 fez com que o Módulo de Resiliência ficasse muito elevado. A expansão do agregado siderúrgico ensaiado ficou abaixo de 0,5% em 14 dias de ensaio o que garante a aplicabilidade deste agregado em misturas SMA. O agregado siderúrgico apresenta valores satisfatórios de abrasão *Los Angeles*, fator fundamental em misturas do tipo SMA, tendo em vista que é necessária alta interação grão-grão e boa resistência para os grãos não quebrarem. O módulo de resiliência (MR) e a resistência à tração (RT) são superiores aos valores encontrados para outras misturas SMA que utilizam agregados naturais.



Tabela 2. Estudos de Caso para aplicação de Escória de Aciaria em camadas de revestimento.

Estudos de Caso	Estudo de Caso 1						Estudo de Caso 2			Norma
	Utilização do agregado siderúrgico (escória de aciaria) em pavimentação asfáltica (Tavares <i>et al.</i> , 2011)						Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado (Castelo Branco, 2004)			
Origem da Escória	Volta Redonda						Maracanaú			DNER-ES 303/97 < 55%
Forno	Oxigênio (LD/BOF)						Elétrico (EAF)			
Abrasão	22%						37%			DNER-ES 303/97 < 0,5%
Expansibilidade	0,31%						0,34%			
Dosagem da Mistura	Fíler de Escória			Fíler Natural			Mistura Comparativa	Mistura 6 UFC	Mistura 6 UFRJ	Mistura Comparativa
CAP	CAP 30/45			CAP 30/45			CAP 50/60	CAP 50/60	CAP 50/60	CAP 50/60
Teor de Ligante	7%	7,5%	8%	6%	6,5%	7,0%	6,7%	-	-	-
Resistência a Tração	1,38	1,55	1,68	0,95	1,06	0,86	0,98	1,42	1,29	0,75
Módulo de Resiliência	11276	17750	10494	16595	10679	10792	4747	4715	4626	2051

Segundo Castelo Branco (2004), apesar dos valores de MR para as misturas em questão serem altos, não é correto afirmar que quanto maior o valor do MR melhor será esta mistura. O ideal é que a mistura tenha flexibilidade para suportar as solicitações do tráfego e resistência para combater o trincamento precoce.

As escórias estudadas apresentaram valores satisfatórios para aplicação em misturas betuminosas em camadas de revestimento de pavimentos rodoviários, atenta-se para o primeiro estudo que obteve misturas muito resistentes, resgatando a necessidade de estudos com um ligante menos duro, para acompanhar o comportamento da mistura. Para o segundo estudo como encontrado no primeiro a escória apresentou um comportamento melhor do que a mistura comparativa, indicando que as escórias de aciaria apresentam grande potencial de aplicação em pavimentação.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A escória de aciaria como visto nas várias referências bibliográficas existentes sobre o assunto apresentam potencial de aplicação na pavimentação rodoviária, tanto em camadas granulares como na mistura de revestimentos asfálticos. Com a escassez de recursos para a pavimentação atualmente, é de suma importância um material como a escória que além de ter aplicação comprovada tende a ter resultados melhores do que os materiais comumente utilizados.

Com aplicação comprovada cabe aos pesquisadores e profissionais do ramo difundir a utilização da escória no ambiente da pavimentação, para a substituição ou mistura com os agregados atualmente



utilizados. Como a escória trata-se de um rejeito da Indústria Siderúrgica este material tende a ter um custo baixo de aquisição, sendo mais um fator de incentivo à sua utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*, 2008, MP 325 “*Standard Specification for Stone Matrix Asphalt*”.

BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATI, J. A. P; SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Petrobras/Abeda. Rio de Janeiro, 2007.

CALIMAN, R. R.; BARBOSA, M. R.; ALVES, H. C.; FERNANDES, G.; FERNANDES, D. P.; HILÁRIO, R. Q. Caracterização geomecânica e química da escória de aciaria para utilização como base e sub-base em pavimento. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 2013.

CASTELO BRANCO, V. T. F. Caracterização de Misturas Asfálticas com o uso de Escória de Aciaria como Agregado. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

DERT - Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes/CE, 1994, “Especificações gerais para serviços e obras rodoviárias (1a ed.)”

_____, DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994a, ME 089 “Agregados – avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio”.

_____, DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994b, ME 035 “Agregados – determinação da abrasão *Los Angeles*”.

_____, DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994d, ME 049 “Solos - Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas”.

_____, DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1997, ES 303 “Pavimentação – base estabilizada granulométricamente”.

MACHADO, A.T. Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria. Tese de M.Sc., POLI/USP, São Paulo, SP, 2000.

PARENTE, E. B.; BOAVISTA, A. H.; SOARES, J. B. Estudo do Comportamento Mecânico de Misturas de Solo e Escória de Aciaria para aplicação na Construção Rodoviária na Região Metropolitana De Fortaleza. XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET. 2003.

RODRIGUES, G. L. C. Caracterização e Avaliação da Expansibilidade de Escória de Aciaria LD Não Tratadas e Tratadas. Dissertação de M.Sc., UFES, Vitória, ES, 2007.

SENÇO, W. Manual de Técnicas de Pavimentação, volume II. Editora Pini. Segunda Edição. São Paulo, SP, 2001.



44ª RAPV | **18º ENACOR**
44ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO | 18º ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
4ª Expopavimentação
Os caminhos da integração . O maior evento rodoviário do País.
18 a 21 de agosto de 2015 . Hotel Bourbon . Foz do Iguaçu . PR

TAVARES, D. S.; ODA, S; MOTTA, L. M. G. Utilização do agregado siderúrgico (escória de aciaria) em pavimentação asfáltica. COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Ilha do Fundão – RJ, 2011.