

UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS TIPO TRATAMENTO SUPERFICIAL TRIPLO ¹

Ricardo F.A. Lanzellotti ²

Maurício Leonardo Torem ²

Adão Benvindo da Luz ³

Resumo

A reciclagem de escoria de aciaria visando sua redução nos pátios de estocagem, tem sido objeto de diversas pesquisas, sejam por interesses ambientais ou por motivações econômicas e industriais. A utilização como substituição de agregados naturais na construção civil apresenta-se como alternativa factível, principalmente quando observa-se as características e propriedades mecânicas destes materiais. Nesta linha de pesquisa, o uso da escoria como agregado em pavimentos flexíveis mostrou-se promissora, principalmente em pavimentos aplicados a frio (utilização de ligante asfáltico na temperatura ambiente). Este estudo propõe a produção de revestimentos asfáltico com tratamento superficial triplo onde utiliza-se como agregado a escoria de aciaria. O material utilizado nos ensaios, cedido pela Gerdau-Cosigua produzido na unidade industrial de Santa Cruz – RJ, encontrava-se no pátio de estocagem, em pilhas com tempo de cura superior a seis meses. Após a realização de ensaios laboratoriais e teste em situações de exposição ao tráfego os resultados obtidos indicam a eficiência da técnica na pavimentação de logradouros com trânsito local, situação onde encontram-se grande parte da malha viária do país.

Palavras-chave: Escória de aciaria; Resíduos; Pavimentação; Reciclagem.

(1) 60º Congresso Anual da ABM, Julho de 2005, Belo Horizonte - MG.

(2) Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia / Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

(3) Centro de Tecnologia Mineral – CETEM-MCT

INTRODUÇÃO

Estima-se que a produção de aço no ano de 2005 estará num patamar próximo a 33,6 milhões de toneladas e crescimento das vendas internas para 19,6 milhões de toneladas, mais 9,5% sobre o corrente ano. As exportações deverão atingir 11,6 milhões de toneladas, menos 3,4% sobre 2004. O consumo aparente deverá manter trajetória ascendente e ultrapassar a barreira dos 20 milhões de toneladas.

Desta forma, o montante de escória de aciaria nos pátios de estocagem, estarão na ordem de seis milhões de toneladas que somadas as pilhas existentes ocuparão áreas significativas nas usinas podendo interferir na eficiência da produção.

A experiência nos Estados Unidos, Bélgica, Japão, Países Baixos, e Alemanha, mostraram que a escória, selecionada corretamente, processada e curada, pode ser usado como a base granulométricamente estabilizada para estradas obtendo-se um alto nível de compactação apresentando CBR 50% acima do obtido em serviços executados com materiais convencionais.

O Brasil, país que possui a segunda maior rede rodoviária do mundo, convive com discrepância de 98% das vias municipais não possuem pavimentação.

Como é um país continental, onde os bens de produção são escoados por meio rodoviário, as vias pavimentadas têm papel preponderante na integração nacional proporcionando o desenvolvimento industrial, gerando desenvolvimento urbano através da atividade comercial.

O expressivo aumento dos preços do petróleo, impulsiona a engenharia na busca de soluções alternativas para pavimentação, tais como a maior utilização de revestimentos asfálticos delgados.

Os agregados siderúrgicos, por exibirem propriedades mecânicas bastante favoráveis para a utilização em bases e pavimentos, possibilitam o desenvolvimento de técnicas que visem sua utilização como agregados na finalidade de se preservar as jazidas naturais e concomitantemente oferecer ao pavimento maior durabilidade com custos reduzidos.

A pavimentação utilizando tratamento superficial pode ser aplicada sobre qualquer tipo superfície, que não apresente irregularidades significativas e não possua sinais de problemas estruturais, a esbeltez do pavimento sugere que os materiais envolvidos na composição possuam resistência a esforços mecânicos que atendam as solicitações requeridas pelo volume de tráfego.

As principais funções de um revestimento asfáltico delgado são as de proporcionar uma camada de rolamento de pequena espessura, porém, de alta resistência ao desgaste, impermeabilizar o pavimento, preservar a estrutura do mesmo e proporcionar a superfície características antiderrapante.

Assim este trabalho tem como objetivo desenvolver um projeto de pavimento flexível betuminoso que utilize a escória de aciaria, tratada e beneficiada, como agregado siderúrgico na substituição do natural no revestimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o projeto utilizou-se a escória de aciaria curada, com tempo de deposição no pátio superior a seis meses, produzida pela Gerdau – Cosigua na usina de Santa Cruz – RJ.

Como ligante utilizou-se emulsão asfáltica modificada com SBS (estireno-butadieno-estireno) e outros polímeros.

As emulsões são dispersões de cimento asfáltico (CAP) em fase aquosa estabilizada com tensoativos. O tempo de ruptura depende, dentre outros fatores, da quantidade e do tipo do agente emulsificante e a viscosidade depende principalmente da qualidade do ligante residual. A quantidade de asfalto pode variar entre 60 a 70%.

A cor, normalmente é marrom, esta característica se transforma em elemento auxiliar para inspeção visual e constatação rápida das boas condições do produto. Após a ruptura prevalece a cor preta do CAP.

São utilizadas a frio, proporcionando ganhos de logística e redução de custos de estocagem, aplicação e transporte. Sua utilização é compatível com praticamente todos os tipos de agregados, obtendo ótimos resultados.

Todas as orientações de projeto foram baseadas nas normas DNIT 031/2004, DNER-PRO 263/94, DNER-PRO 262/94, DNER-ES 385/99, DNER-ES 310/99, DNER-ES 393/99, que definem o serviço de pavimentação no país.

Além dos ensaios laboratoriais, foram executados pequenos trechos de pavimento na região oceânica do Município de Niterói, afim de se avaliar a durabilidade do pavimento ao longo do tempo em situações de trânsito e clima reais

RESULTADOS E DICUSSÕES

As escórias de aciaria possuem características expansivas devido a hidratação da cal livre (CaO) e do óxido de magnésio (MgO), porém o material utilizado encontrava-se no pátio de cura por um período superior a um ano, encontrando-se curado, avaliou-se a o material, conforme recomenda o manual do DNIT, em função do índice físico e em seguida realizou-se o projeto para a definição dos teores de agregado e ligante, por camadas.

Observa-se na Tabela 1 e com base nas prerrogativas da norma DNER-PRO 263/94, que define o emprego de escórias de aciaria em pavimentos rodoviários, conclui-se que o material pode ser utilizado como agregado em pavimentação, porém não se pode deixar de observar que a massa aparente, a massa unitária e a expansão, encontram-se muito próximas ao limite máximo sendo necessário um controle eficiente do material utilizado.

Avaliou-se o índice de forma das partículas de acordo com a recomendação do Manual de Pavimentação do DNER que considera o Índice de Forma (IR) como a relação entre os tamanhos máximo e mínimo, aonde o $IR < 3$ é considerado como cúbico e rugoso.

Desta forma conclui-se que as partículas beneficiadas a partir da escória, em etapas de cominuição e classificação granulométrica, podem ser consideradas cúbicas e de textura rugosa.

Estes dados são de significativa relevância uma vez que a cubicidade proporciona um melhor encaixe entre as partículas e a rugosidade aumenta a área de contato entre o agregado e o ligante.

Tabela 1. Propriedades da escória

PROPRIEDADES	Limites Máximos da Norma DNER – EM 262/94	VALORES MÉDIOS
Massa Aparente	3,5 g/cm ³	3,47 g/cm ³
Massa Unitária	1,7 g/cm ³	1,42 g/cm ³
Absorção d'água	2%	0,65%
Umidade Ótima	-	6,00%
Expansão média	3%	2,85%
Abrasão Los Angeles	< 25%	20%
Granulometria	-	> 19 mm

DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

Em 1950, na África do Sul, foi pela primeira vez empregado um processo de aplicação de pré-misturado a quente com pó de pedra e asfalto sobre uma camada de TSS (tratamento superficial simples) com agregado de 19 mm, buscando proporcionar uma maior durabilidade do tratamento superficial.

Inicialmente este tipo de revestimento foi utilizado somente em construções novas, com VDM (fluxo de tráfego) de até 300 veículos pesados por dia.

Na Austrália o revestimento *cape seal* (capa selante) data do início dos anos 60, sendo a lama asfáltica (emulsão adicionada a agregado com granulometria menor que 0,5cm) aplicada sobre uma camada de Tratamento Superficial Simples para melhorar o rolamento e incrementar a durabilidade em construções novas.

Já nos Estados Unidos, as primeiras aplicações do revestimento *cape seal* ocorreram no final da década de 70, como um procedimento de manutenção sobre o pavimento existente.

No Brasil, LARSEN (1985), em seu estudo sobre tratamentos superficiais, cita que a utilização sobre tratamento superficial possibilita um alto grau de fechamento e coesão do revestimento, evitando a rejeição de partículas.

Desta forma, utilizando o Manual de Pavimentação – DNER, que estabelece a utilização de pavimentos flexíveis com esbeltez menor que três centímetros para a renovação de pavimentos desgastados e em vias de em trânsito urbano local.

Tendo em vista a indicação de uso do pavimento e a busca de uma maior durabilidade, optou-se pelo dimensionamento de pavimento em tratamento superficial múltiplo, executado camadas sobrepostas com o ligante distribuído por penetração invertida.

Neste tipo de pavimento as camadas são executadas de forma seqüencial onde a primeira camada de aplicação é de ligante betuminoso, que tem a função de impermeabilizar a base, impedindo sua contaminação e conseqüente desestabilização por penetração de águas superficiais, além de ser responsável pela adesão da camada subseqüente a base.

A segunda camada é constituída do agregado de maior dimensão que dará sustentação as camadas seguintes.

A próxima camada é constituída de ligante na taxa dimensionada que objetiva preencher os vazios de pequena dimensão e dar aderência entre os

agregados.

A quarta camada executada com agregado intermediário, visando o preenchimento dos vazios permanentes entre os grãos do agregado de maior dimensão.

A quinta camada tem a mesma função que a terceira.

A sexta em agregados miúdos tem a função de preencher os vazios menores *fechando* o pavimento.

Sobre a sexta camada aplica-se a capa selante executada com ligante e agregado fino, que possui a função de diminuir a rugosidade do pavimento, tornando-o mais confortável, sem contudo diminuir a aderência das bandas de rolagem (pneus).

Este mosaico constituído pelas camadas oferece ao material condições de trabalhabilidade ideal as características expansivas da escória onde as tensões ocasionadas são absorvidas pelo espaço entre os grãos e pelo alto índice de elasticidade da emulsão, principalmente em temperaturas superiores a 50°C.

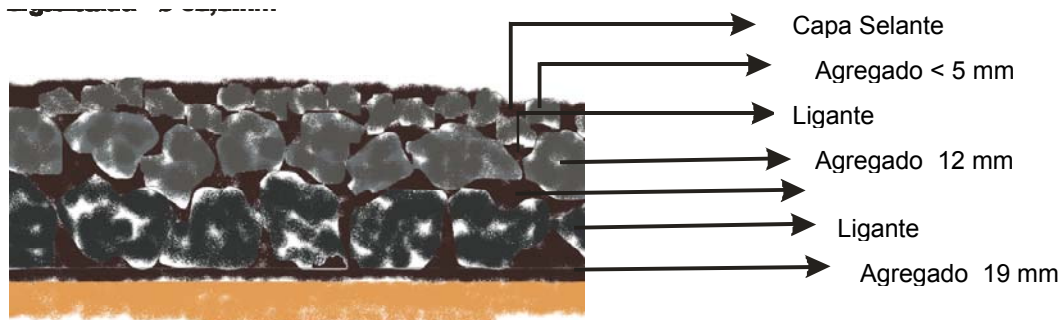


Figura 1. Distribuição de agregados e ligantes em pavimentos de TST.

A determinação do diâmetro máximo do agregado é em função da espessura total desejada.

Tendo em vista as características do tráfego das vias urbanas no país adotou-se como espessura média de pavimento 2cm, com isto, o agregado de maior dimensão a ser aplicado deverá possuir um tamanho aproximado de 19mm.

Como, por definição, aplicar-se-á três camadas de agregado estando dispostas nas seguintes granulometrias 19mm, 12mm, 4,8mm, aplicadas conforme a Figura 1.

Após a determinação do diâmetro nominal dos agregados, procede-se a dosagem e o teor de ligante a ser utilizado devendo-se considerar uma sobretaxa de agregado relativa à rejeição de algumas partículas pela ação do tráfego e as imperfeições na aplicação.

Utilizando-se o parâmetro de média de menor dimensão (MMD), calculou-se a taxa de agregado através da seguinte equação:

$$A = \frac{[MMD \times (1 - 0,40V_s) \times M_G]}{M_A}$$

Onde:

MMD = média de menor dimensão;

V_S = razão de vazios no agregado solto;

M_G = massa efetiva – g/cm³;

M_A = massa aparente – g/cm³;

Tabela 2. Faixa granulométrica.

Peneiras (mm)	% passante
25,4	100
19,1	90 - 100
12,7	20 - 25
9,5	0 - 15
4,8	0 - 5
0,07	0 - 2

Segundo a norma DNER-ES 393/99 as taxas de aplicação de agregados e ligantes para o TST, considerando o asfalto residual é demonstrada na Tabela 3.

Tabela 3. Taxa de aplicação.

CAMADA	LIGANTE	AGREGADO
1º	1,0 – 1,50 l/m ²	20 – 25 kg/m ²
2º	0,6 – 0,9 l/m ²	10 – 12 kg/m ²
3º	0,4 - 0,6 l/m ²	5 – 7 kg/m ²

Porém em função da rugosidade e do maior peso específico da escória, foi necessário a correção dos materiais, tendo em vista que o agregado utilizado possui maior peso específico que o agregado natural, desta forma sua taxa de ligante também será alterada uma vez que esta é calculada em função da quantidade de agregado, em peso, utilizado no traço.

Por possuir maior área superficial a ser coberta pelo ligante o agregado siderúrgico ocasionou um acréscimo de ligante por m² de pavimento, porém a taxa permanece a mesma, 0,06l/kg de agregado, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4. Taxa de aplicação – Corrigido.

CAMADA	LIGANTE	AGREGADO
1º	1,8 l/m ²	28 Kg/m ²
2º	1,2 l/m ²	13 Kg/m ²
3º	1,0 l/m ²	10 Kg/m ²

A aplicação da capa selante, executada com banho de emulsão na camada superficial por penetração direta tem por finalidade a redução de perda de agregado pela ação do trânsito de veículos e a diminuição dos vazios que permitem a passagem de água superficial impedindo a percolação desta às

camadas inferiores e, desta forma, reduzindo a possibilidade de contaminação da base estabilizada pela água evitando assim a deformação do revestimento.

O preenchimento dos vazios dos agregados no TST para melhorar as condições de rolamento e aumentar a sua vida útil é uma prática que tem sido utilizada em vários países do mundo.



Figura 2. TST sem capa selante.



Figura 3. TST com capa selante.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o uso da escória de aciaria em substituição do agregado natural na confecção de pavimentos em TST indica uma opção absolutamente viável, técnica e economicamente.

As características da técnica, onde a aplicação do agregado em faixas granulométricas, possibilita a formação de um mosaico com as partículas encaixando-se entre si, da maior para menor onde os espaços entre os grãos podem, nesta granulometria, chegar a 50%, são preenchidos pelo ligante.

Verificou-se que o módulo de elasticidade e deformação do ligante é alto suficiente para absorver as tensões de deslocamentos provocados pela expansão do agregado, sem contudo provocar fraturas no revestimento.

Desta forma, observa-se as seguintes vantagens na aplicação deste agregado:

- Durabilidade

Como a aplicação em situação de uso real é muito recente, impedindo uma avaliação de sua durabilidade, buscou-se formas alternativas que indicassem esta característica.

Uma vez que a durabilidade de pavimentos flexíveis esta relacionada diretamente a porosidade do pavimento, a espessura do filme de ligante e a resistência a abrasão dos agregados, as características do pavimento utilizado indicam uma tendência a uma boa resistência mecânica as solicitações.

A utilização da escória proporciona um significativo aumento na resistência a abrasão pois as partículas expostas resistem satisfatoriamente a este tipo de solicitação, ampliando de forma consistente a vida útil do pavimento.

Com a utilização do sistema em penetração invertida os interstícios entre as camadas foram ocupados por emulsão, proporcionando a formação de uma

barreira física, criando uma vedação densa da mistura, onde o índice de vazios passa a ser no máximo 2 a 3 %.

A baixa permeabilidade à água e ao ar do revestimento após a aplicação da capa selante proporcionam um aumento da durabilidade, especialmente se comparado com os pavimentos flexíveis executados em CBUQ, onde o índice de vazios é mais elevado.

- Resistência à derrapagem

A técnica apresentou-se com alta resistência à derrapagem, pois têm apresentado valores aceitáveis de macrotextura e atrito superficial ($VRD \geq 55$).

- Redução de ruído

O revestimento com capa selante apresenta menor nível de ruído que os pavimentos tradicionais.

- Acabamento uniforme

Esta característica é obtida através da uniformidade de granulometria dos agregados por camada e a diminuição dos vazios pelo ligante.

- Economia

Tendo em vista o valor do agregado siderúrgico estar substancialmente inferior ao da brita, chegando a 20% do valor desta, e somando-se ao ganho de durabilidade do pavimento, conclui-se que esta solução de revestimento rodoviário viabiliza de forma econômica, a pavimentação da maioria dos logradouros urbanos no país.

- Facilidade de aplicação

Como não se requer nenhum equipamento especial para execução do pavimento, podendo inclusive ser executado por motoniveladora, a técnica adapta-se de forma consistente a realidade dos municípios brasileiros.

Desta forma conclui-se que o TST executado com escória apresenta vantagens substanciais quando comparado a outros tipos de pavimentos flexíveis, principalmente no que se refere a durabilidade e facilidade de sua execução.

BIBLIOGRAFIA

- 1 **ABPv**. Informativo técnico sobre avaliação da resistência à derrapagem c/ aparelhagem portátil. Bol. téc. nº18,1999.
- 2 **DER – SP** – Manual de normas – São Paulo,1981.
- 3 **DNER** ESPECIFICAÇÕES DE SERVIÇO, Rio de Janeiro ,1997.
- 4 **DNIT** – DNER-ES 393/99 -Pavimentação – Tratamento superficial Triplo com asfalto polímero, Rio de Janeiro, 1999.
- 5 **DNIT** – DNER-ES 310/97 -Pavimentação – Tratamento superficial Triplo, Rio de Janeiro, 1997.
- 6 **DNIT** – DNER-PRO 263/94 –Emprego de escoria de aciaria em pavimentos rodoviários, Rio de Janeiro, 1994.
- 7 **DNIT** – Manual de pavimentação rodoviária – 2º edição, Rio de Janeiro, 1980.

- 8 **HOLLERAN**, G. *Cape Seals-History and Development, Design and Performance*. Valley Slurry Seal Company, 2000.
- 9 **LARSEN** J. Tratamento Superficial na Construção de Rodovias, ABEDA - TT nº 02, 1985.
- 10 **REVISTA ESTRADAS**. *Preço dos Materiais Asfálticos.*, p. 9-15 , jun., 2003.
- 11 **PASQUET**,A.Colloque Internat. sur la Glissance et la Sécurité de la Circulation sur Routes Mouillées, p.717-732,1968.
- 12 **TRRL** -Transport and Road Research Laboratory – Recommendations for road surface dressing – Inglaterra , 1981
- 13 **VALLEY SLURRY SEAL COMPANY**. *Standard Specifications for Cape Seal*, 2000.

USE OF SLAG IN PAVEMENTS FLEXIBLE TYPE TREATMENT SUPERFICIAL TRIPLE ¹

*Ricardo F.A. Lanzellotti*²
*Mauricio Leonardo Torem*²
*Adão Benvindo da Luz*³

Abstract

The recycling of slag aiming at reduction of material in the field stockage, has been object of various research, for ecological interests or economic and industrial motivations. The use as natural aggregate substitution in the civil construction it's presented as alternative feasible, mainly when it observes the feature and mechanical properties of these materials. In this research, the use of the slag in the flexible pavements revealed promising, mainly when it's applied cold (using bond asphalt in the ambient temperature). This study considers the covering production asphalt with triple superficial treatment where it is used as aggregate of slag. The material used in the tests, to give up for the Gerdau-Cosigua produced in the industrial unit of Santa Cruz - Rio de Janeiro, met in the field stockage, stacks with upon time of cure the six months. After the accomplishment of laboratory test and applied in the real situations of traffic exposition, the gotten results indicate the efficiency of the technique in the urban pavement with medium traffic, situation that's meet a great part of road mesh of the country.

Key-words: Slag; Waste; Pavements; Recovery.

¹ 60º Congresso Anual da ABM, Julho de 2005, Belo Horizonte - MG.

² Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia / Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

³ Centro de Tecnologia Mineral – CETEM-MCT