



ICTR 2004 – CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Costão do Santinho – Florianópolis – Santa Catarina

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA PAVIMENTAÇÃO

Verônica Teixeira Franco Castelo Branco

Kamilla Lima Vasconcelos

Heberton Souto Moreira

Jorge Henrique Magalhães Pinheiro

Jorge Barbosa Soares

PRÓXIMA

Realização:



ICTR – Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável
NISAM - USP – Núcleo de Informações em Saúde Ambiental da USP



UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA PAVIMENTAÇÃO

*Verônica Teixeira Franco Castelo Branco², Kamilla Lima Vasconcelos³, Heberton Souto Moreira⁴,
Jorge Henrique Magalhães Pinheiro⁵, Jorge Barbosa Soares⁶*

RESUMO

Com a escassez de recursos financeiros e a necessidade de proteção ambiental, o uso de resíduos na pavimentação torna-se imprescindível. Este estudo trata da utilização de rejeitos como agregados e/ou ligantes em misturas asfálticas. O trabalho visa verificar a aplicação de alguns resíduos à área de pavimentação, quais sejam: areia de fundição, escória de aciaria, borracha de pneu e misturas asfálticas recicladas. As empresas de fundição de metais do Brasil geram cerca de 170 mil toneladas por mês de areias contaminadas por metais pesados. A areia de fundição é o resíduo de maior produção, contendo betonita e pó de carvão mineral. A contaminação da areia por metais pode classificá-la como resíduo classe I ou II (NBR 10.004). Este material é principalmente reutilizado como agregado em concreto de baixo custo e agregado fino em misturas asfálticas. O Brasil possui um passivo ambiental de mais de 900 milhões de pneus e produz por ano mais de 45 milhões de pneus inservíveis. Atualmente estes pneus são descartados em locais não apropriados, sendo agentes na proliferação de doenças, ou queimados a céu aberto, produzindo poluentes devido à constituição da borracha. A resolução 258 (CONAMA) regulamentou a reciclagem dos pneumáticos inservíveis, obrigando os produtores e importadores a darem um destino ecologicamente correto a estes resíduos. A principal reutilização deste material é como combustível em caldeiras e como material de pavimentação, ainda trazendo o benefício da redução do ruído nas vias. A escória de aciaria é um resíduo da produção do aço que vem sendo utilizado desde a produção de fertilizantes agrícolas até na construção rodoviária. O Ceará produz cerca de 18.000 toneladas deste rejeito. A utilização deste material na pavimentação traz benefícios ambientais porque a questão da deposição deste rejeito (classe II) é minimizada e diminui-se a degradação ambiental provocada pela extração de agregados pétreos. A reciclagem de revestimentos asfálticos é um processo pelo qual uma mistura asfáltica existente é retirada e misturada a novos materiais, possibilitando seu reaproveitamento. Como vantagens do uso dessa técnica destacam-se, o reaproveitamento de material, a redução nos custos, um menor impacto ambiental antes causado pelo despejo inadequado de materiais e a diminuição da exploração de jazidas.

PALAVRAS-CHAVE: Areia de Fundição, Escória de Aciaria, Asfalto Borracha, Misturas Asfálticas Recicladas e Pavimentação

² M. Sc., (COPPE/UFRJ), Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici s/ nº, Centro de Tecnologia, Bl. 703, CEP: 60455.760, veronica@det.ufc.br;

³ Mestranda em Infra-estrutura de Transportes (PETRAN/UFC), idem, kamilla@det.ufc.br;

⁴ Mestrando em Infra-estrutura de Transportes (PETRAN/UFC), idem, moreira@det.ufc.br;

⁵ Mestrando em Infra-estrutura de Transportes (PETRAN/UFC), idem, jorge@det.ufc.br;

⁶ Ph.D., Professor Adjunto (UFC), idem, jsoares@det.ufc.br.

INTRODUÇÃO

O levantamento de 2002 da Confederação Nacional de Transporte (CNT) considerou 69% dos pavimentos como de má qualidade ao rolamento, incluindo muitos trechos concessionados. A CNT estima ainda que seriam necessários R\$ 1 bilhão, por ano, para manter as rodovias, e R\$ 10 bilhões para recuperação de toda a malha viária. Atualmente, na malha de 1,6 milhões de quilômetros de rodovias (em que apenas 10% são pavimentadas) circulam cerca de 61% do transporte de cargas no país e 96,2% dos passageiros. A CNT faz ainda um *ranking* das piores e melhores rodovias. Pelo segundo ano consecutivo, as rodovias Anhangüera e Dutra foram eleitas as mais conservadas e seguras do país. Cerca de 75% das rodovias nestas condições estão nas regiões sul e sudeste. Entre as piores, 85% estão na região nordeste.

O estado insuficiente de conservação dos pavimentos ocasiona aumento em custos operacionais, repassados aos custos dos produtos. Torna-se atrativa a possibilidade de solucionar o problema financeiro nacional da pavimentação com a reutilização de resíduos e subprodutos das indústrias nacionais, pois o uso destes como matéria prima possibilita: a redução de uso de recursos naturais, a redução de demanda de energia para sua extração, a redução de transporte dos mesmos, a redução do volume utilizado nos aterros sanitários e industriais (USP, 1997 *apud* BINA *et al.*, 2003).

O crescimento do volume gerado de resíduos e dos custos para a correta disposição, assim como a conscientização ecológica da sociedade torna imprescindível a pesquisa por reciclagem ou reuso destes materiais.

A indústria de pavimentação pode incorporar os materiais nos usos como agregado para misturas asfálticas ou de concreto de Cimento Portland, modificadores de cimento asfáltico, fíleres minerais, bases granulares e como cimentantes em bases estabilizadas. Os materiais reutilizados que serão discutidos são areia de fundição, escória de aciaria, borracha de pneu, material reciclado de revestimento asfáltico, porém existe um universo de outros materiais que podem ser reaproveitados tais como: escória de alto forno, cal, rejeito de construção civil, escórias não-ferrosas, vidros inservíveis, perdas de processamento mineral, fuligem, entre outros.

AREIA DE FUNDIÇÃO

A areia-asfalto é uma mistura betuminosa usada para construção de bases ou revestimentos, produzida com uso de agregado miúdo e asfalto, com ou sem fíler, que é um material finamente dividido com a função de preencher os vazios da mistura. Como outras misturas asfálticas, pode ser produzida a quente, utilizando cimento asfáltico, ou a frio, com a utilização de emulsões asfálticas ou asfaltos diluídos (SILVEIRA, 1999).

Os revestimentos de areia-asfalto são descritos como misturas menos duráveis, pois a falta de agregados graúdos e o volume de vazios elevado tornam este tipo de revestimento menos resistente às exigências do tráfego e clima. No entanto, em locais onde existe dificuldade na obtenção de agregados pétreos para a construção de revestimentos asfálticos, como a planície costeira do Rio Grande do Sul, a quase

totalidade do Estado do Maranhão e o interior do Ceará, o uso de areia-asfalto torna-se uma solução importante para a pavimentação de rodovias (MOREIRA *et al.*, 2004).

A utilização de produtos utilizados ou expurgados na produção de indústrias na pavimentação tem-se firmado internacionalmente (KANDHAL, 1993). As empresas brasileiras de fundição de metais - responsáveis por uma vasta gama de produtos que vão de peças decorativas milimétricas a blocos de motor - geram um volume da ordem de 170 mil toneladas por mês de areias contaminadas por metais pesados como cobre e chumbo. A areia de fundição é o resíduo do processo de moldagem de peças de metais. Neste processo a forma é construída a partir de uma mistura de betonita e pó de carvão mineral, onde se adiciona água para torná-la moldável.

A contaminação da areia por metais pode classificá-la como Resíduo “perigoso” (classe I), entretanto em sua maioria os resíduos são “não-inertes” (classe II), segundo a NBR 10.004. Com o aumento das restrições ambientais e o esgotamento dos aterros, a reciclagem é motivação atual das empresas. A reutilização da areia de fundição em obras de engenharia é ainda incipiente no Brasil (PABLOS, 1995) e internacionalmente (JAVED e LOVELL, 1995), onde seus principais usos são em concreto de baixo custo com fins não estruturais e como agregado fino em misturas asfálticas (FHWA, 1994). Com subsídio do Governo Federal dos EUA e dos setores industriais envolvidos na cadeia produtiva, desenvolvem-se opções sustentáveis para reutilização externa dos subprodutos da indústria de fundição em vastas áreas, incluindo a pavimentação.

O material em questão apresenta características técnicas satisfatórias nos trechos construídos, onde com a aquisição de agregado a custo zero, tornou o custo da obra reduzido, aliando assim vantagens técnico-econômicas a vantagens ambientais da reutilização do resíduo da indústria de fundição (BINA *et al.*, 2003). Moreira *et al.* (2004) analisaram as propriedades mecânicas de misturas asfálticas do tipo areia-asfalto com diferentes teores de areia de fundição a fim de verificar a viabilidade de revestimentos com um ganho ambiental significativo. A areia de fundição utilizada neste estudo pode ser visualizada na Figura 1.



Figura 1: Areia de fundição proveniente da Durametal

ESCÓRIA DE ACIARIA

A escória de aciaria gerada é cerca de 15% da produção de aço mundial. Por ano são produzidas, no Brasil, cerca de quatro milhões de toneladas deste rejeito (IBS, 2003). Sendo que 20% são reciclados no próprio processo siderúrgico e o restante é armazenado. Cerca de 60% da geração de resíduos pela indústria siderúrgica é de escórias (GEYER, 2001). A escória de aciaria é composta pelos óxidos de cálcio, magnésio, silício, dentre outros (IBS, 1998).

Este rejeito já vem sendo utilizado de várias formas: matéria-prima na indústria de vidro, produção de fertilizantes agrícolas, estabilização de solos, produção de cimento, reciclagem nos próprios processos siderúrgicos, agregado na produção de concreto, construção de lastros ferroviários, drenagem de ácidos, execução de aterros, construção de peças de quebra-mar, contenção e na infra e superestrutura rodoviárias (objeto deste estudo) (BRANCO, 2004).

Como agregado em revestimentos asfálticos, este material vem sendo utilizado no mundo desde a década de 70 e no Brasil desde 1986, sendo o estado do Espírito Santo o pioneiro. Este resíduo é normatizado pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) quanto a sua utilização em pavimentação (ME 262/94).

O estado do Ceará produz cerca de 18.000 toneladas de escória por ano. A única siderúrgica do Estado é a Gerdau Cearense S.A. Esta siderúrgica utiliza o processo elétrico em seu refino, sendo que 90% da matéria-prima utilizada são sucatas ferrosas (ADERALDO, 2003). Depois de vazada, a escória é transportada para a empresa que a comercializada (Sobremetal Recuperação de Metais Ltda). Atualmente, este material é principalmente vendido para a execução de aterros. O material apresenta cor acinzentada, forma cúbica e é britado em 1", 3" e 8". O aspecto, bem como a disposição deste rejeito, podem ser vistos na Figura 2.



(a) Aspecto da escória de aciaria



(b) Disposição na Sobremetal Recuperação de Metais Ltda.

Figura 2: Aspecto e disposição da escória de aciaria

Este material apresenta vantagens técnicas, econômicas e ambientais:

- Técnicas: maior resistência à derrapagem e ao desgaste superficial, é 100% triturável, apresenta melhor trabalhabilidade e compacidade se comparado com grãos de outros agregados (MACHADO, 2000). Apresenta boa adesividade para emulsões e Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP), se comparada com

agregados pétreos (SILVA, 1991). Possui alto coeficiente de atrito, alto Índice de Suporte Califórnia, baixa abrasão *Los Angeles*, alto poder hidráulico, comparativamente com a brita apresenta maior peso próprio e menor equivalente de areia, comportamento tensão-deformação pouco dependente da umidade e da energia de compactação (ALVARENGA, 2001);

- Econômicas: possui alta produção e custo bem inferior ao da brita até uma certa distância média de transportes, ideal para utilização em zonas urbanas. Alvarenga (2001) mostrou que para a região de Volta Redonda, tanto a aquisição da escória quanto a execução de um pavimento utilizando este rejeito, seriam mais baratas do que a utilização de brita num raio de aproximadamente 120 km;
- Ambientais: diminui-se o problema da deposição deste rejeito que necessita de grandes áreas para descarte e ao mesmo tempo diminui-se a degradação ambiental provocada pela extração de agregados pétreos. A legislação ambiental exige a disposição em *contêiners* de concreto para evitar a contaminação do solo e a emissão de poeira (JOHN, 2003). A avaliação através dos processos de lixiviação e solubilização (ABNT, 1987) se faz necessária. Rohde (2002) classificou a escória de aciaria elétrica utilizada em seu estudo como resíduo de classe II (não inerte), capaz de causar danos ao meio ambiente e à saúde pública. A partir da análise do extrato solubilizado, a citada autora verificou concentrações de cádmio, chumbo, cromo e carbonato de cálcio superiores ao especificado pela norma, além de uma dureza acima do estabelecido pela NBR 10004 (ABNT, 1987). A escória utilizada neste estudo também é classificada como classe II (ADERALDO, 2003).

Cavalcante *et al.* (2003) e Branco (2004) avaliaram a utilização da escória de aciaria elétrica, proveniente da Gerdau Cearense S.A., como agregado em misturas asfálticas do tipo Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

O rejeito foi caracterizado através dos ensaios exigidos pela norma DNER – ME 262/94 e através de outros ensaios considerados relevantes pelos autores. As misturas experimentais foram dosadas com escória de aciaria, areia de campo, fíler natural, CAP 50/60 e DOPE. Os resultados (parâmetros volumétricos e mecânicos) foram comparados com os obtidos para uma mistura asfáltica dosada com agregados naturais (brita granítica, areia de campo, fíler natural e o mesmo CAP).

A escória de aciaria mostrou possibilidade de uso na construção rodoviária, porém as especificações precisam ser adaptadas diante da natureza do rejeito. Foi sugerida uma re-adequação do processo de vazamento e transporte da escória por parte da Gerdau Cearense S.A. e do processo de armazenagem e controle do envelhecimento do material por parte da Sobremetal Recuperação de Metais Ltda., para que a heterogeneidade e a expansão deste rejeito sejam contornadas. A avaliação da contaminação ambiental possivelmente causada por este rejeito deve ser melhor avaliada para que o seu uso na engenharia rodoviária não traga nenhum prejuízo ao meio ambiente.

BORRACHA DE PNEU MOÍDO

Recentemente o Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, regulamentou a resolução no 258, de 26 de agosto de 1999, que prevê, a partir de 2002, uma

reciclagem gradual de pneus inservíveis, pelos produtores de pneus novos fabricados no país ou importados, incluindo aqueles que acompanham os carros importados. Em 2005 a proporção de reciclagem terá que ser de 120%, ou seja, a cada quatro pneus produzidos ou importados, cinco terão que ser reciclados, contribuindo, assim, para a eliminação do passivo ambiental existente. Tal resolução estabelece ainda que a partir do quinto ano de vigência, 2006, após uma avaliação a ser procedida pelo IBAMA, haverá uma reavaliação das normas (CONAMA, 1999).

Por outro lado, a crescente demanda ao pavimento provocada pelo aumento do número de veículos ou pelo aumento de carga por eixo em veículos pesados, obrigou uma qualidade superior dos ligantes usados na pavimentação. Neste sentido, inúmeros polímeros vêm sendo incorporados ao CAP, buscando um melhor desempenho do pavimento. Apesar de ser uma prática nova no Brasil, desde 1873 há tentativas de adicionar látex ao ligante e em 1902, na França, foram construídas diversas estradas com material asfáltico modificado por borracha (LEWANDOWDKI, 1990). Já o uso de borracha oriunda de pneu em ligantes asfálticos teve impulso em 1963 com o Engenheiro Charles H. McDonald, considerado o precursor do asfalto-borracha nos Estados Unidos. No Arizona, esta experiência mostrou uma diminuição na susceptibilidade térmica e um aumento de ductibilidade, resiliência e ponto de amolecimento do ligante, acarretando pavimentos mais duráveis e de melhor qualidade (CHOUBANE *et al.*, 1999). Também foi mostrado no referido estudo que misturas com asfalto-borracha resistiam à propagação de trincas oriundas de outras camadas. Na Europa, a França começou a utilizar ligantes asfalto-borracha (*bitume-caoutchouc*) em 1982 e, em seis anos, mais de três milhões de metros quadrados foram aplicados em diferentes tipos de revestimentos, de auto-estrada a pistas de aeroportos (SAINTON, 1990).

A borracha de pneu é uma borracha vulcanizada e serve como elastômero para a modificação de ligantes asfálticos. A incorporação pode ser feita por dois processos. No primeiro, chamado de processo úmido, faz-se a adição da borracha moída ao CAP, a alta temperatura (e.g. 200 °C), tornando os dois uma única mistura chamada de ligante asfalto-borracha e com propriedades diferentes do ligante inicial. O segundo, processo seco, consiste em utilizar a borracha como mais um agregado da mistura asfáltica, quando a borracha passa a ser chamada de agregado-borracha. Ambos os processos, o primeiro em especial, tem a capacidade de aumentar a vida útil do pavimento, dando maior durabilidade e diminuindo a necessidade de manutenção devido a trincas por fadiga e a deformação permanente (GREEN, 1998; ODA, 2000; BERTOLLO *et al.*, 2002; FAXINA, 2002; PINHEIRO *et al.*, 2003; PINHEIRO e SOARES, 2003).

Algumas estimativas indicam que atualmente o Brasil possui um passivo ambiental de mais de 100 milhões de pneus e produz por ano mais de 46 milhões de pneus inservíveis, considerando esses como pneumáticos que não têm mais a possibilidade de reaproveitamento, como recauchutagem, recapagem e remoldagem (BRESSAN, 2003). Atualmente estes pneus são descartados em campos, terrenos baldios, aterros sanitários, beiras de estrada, córregos ou queimados a céu aberto, produzindo poluentes devido à constituição da borracha e poluindo lençóis freáticos (Figura 3). Em alguns locais, já existe o reaproveitamento de pneus como matéria prima na construção de arrecifes para criação de espécies marinhas ou na confecção de tatames e de tapetes de automóveis, ou ainda, como combustível na

produção de Cimento Portland. A quantidade de pneus consumidos no setor de pavimentação é de aproximadamente 2000 a 3000 pneus/km, a depender da quantidade de borracha a ser colocada, geralmente 20% em relação ao peso do ligante.



Figura 3: Passivo ambiental gerado por pneus

A utilização de borracha como modificador de ligante traz outra ação mitigadora de grande relevância, a diminuição do ruído pneu-pavimento provocado pelo tráfego de veículos automotores. Carlson *et al.* (2003) mostram que revestimentos com asfalto-borracha podem diminuir em até 50% o nível de ruído, o que representa uma significativa redução da poluição sonora para o usuário.

Quando a proliferação de vetores transmissores de doenças é levada em conta, estimativas nos Estados Unidos apontam um gasto de mais de 5,5 milhões de dólares por ano no combate às doenças causadas por estes vetores (CURRY *et al.*, 2003). E apesar de não existir ainda pesquisas semelhantes no Brasil, tal dado mostra a magnitude do valor gasto para remediar o problema e que uma ação preventiva poderia ser mais eficaz e barata.

Seguindo uma política de desenvolvimento sustentável e aprimoramento de novas tecnologias em que se tenha um melhor aproveitamento dos fartos recursos do país, a Universidade Federal do Ceará realizou, em parceria com os departamentos de transportes locais e a Petrobrás, dois trechos com ligante asfalto-borracha, que se mostra como opção para a diminuição do expressivo passivo ambiental acumulado pela indústria automobilística, bem como para a produção de pavimentos mais duráveis.

MISTURAS ASFALTICAS RECICLADAS

A reciclagem de revestimentos asfálticos é um processo pelo qual uma mistura asfáltica já existente, geralmente em condição deteriorada, é fresada e misturada a novos agregados e ligantes asfálticos, possibilitando seu reaproveitamento. A fresagem de revestimentos asfálticos deteriorados trata-se de técnica que, restritiva para a execução de reforços, encaminha para solução altamente interessante do ponto de vista de manutenção (BALBO, 1997). A reciclagem de revestimentos asfálticos vem sendo utilizada desde 1915, no entanto sua utilização em larga escala só teve início na década de 70 com o aumento dos custos de construção rodoviária decorrente da alta do preço do petróleo (ROBERTS *et al.*, 1996; KANDHAL, 1997).

As vantagens da utilização da técnica da reciclagem na conservação de vias vão desde a economia de materiais, até a preservação do meio ambiente. Com a diminuição do consumo dos materiais asfálticos, de alto valor comercial, e dos materiais agregados, há diminuição dos custos das obras. A reciclagem contribui para a preservação ambiental, uma vez que evita a exploração agressiva das áreas de exploração, ocasionada pela redução da área de exploração de jazidas. Segundo PETERSON *et al.* (1994) cerca de 27 milhões de toneladas de ligante asfáltico e meio bilhão de tonelada de agregados são consumidos a cada ano na construção e manutenção de rodovias nos Estados Unidos. O reuso de parte desse material pode eliminar grande quantidade de descarte do material removido proveniente do pavimento antigo, resolvendo um grande e antigo problema, que é a disposição final destes materiais em locais inadequados, conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 4: Disposição a céu aberto do material fresado na cidade de Fortaleza

Outras vantagens do uso da reciclagem de pavimentos estão relacionadas à economia de energia em relação as tradicionais técnicas de construção de pavimentos, à manutenção do perfil geométrico existente, evitando a sobreposição de revestimentos que alteram o greide da via, a preservação de boa parte dos dispositivos de drenagem superficial, a correção de defeitos superficiais no revestimento, e a possibilidade de correção do perfil transversal e/ou longitudinal de uma via sem a necessidade de intervenção nas camadas do pavimento. Da mesma forma, podem ser evitados problemas relacionados com a altura livre em passagens inferiores de túneis e viadutos devido os recapeamentos sucessivos.

O primeiro serviço bem sucedido de reciclagem de pavimento no Estado do Ceará foi a reciclagem do pavimento da CE-282, no trecho compreendido entre as cidades de Iço e Iguatu, realizado em 1999. Neste trabalho utilizou-se a técnica de reciclagem do revestimento incorporando-o a camada de base existente e adicionando novos materiais (SOARES *et al.*, 1999). Na cidade de Fortaleza, a realização da fresagem de vias urbanas ocorreu pela primeira vez no dia 19 de fevereiro de 2001, com a fresagem de três avenidas de grande movimento (SOARES *et al.*, 2002).

Após a fresagem das vias na cidade de Fortaleza, iniciaram-se alguns trabalhos para avaliação da viabilidade técnica da aplicação do material fresado em misturas asfálticas recicladas. Já se sabe que misturas asfálticas recicladas, projetadas e produzidas com controle adequado, tem desempenho semelhante às misturas convencionais. VASCONCELOS e SOARES (2003) e LIMA (2003) concluíram que a

incorporação de material fresado em misturas asfálticas recicladas a quente não comprometem o comportamento mecânico das mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BINA, P., CASTRO, P.R.F.; ALVES, J.H., Utilização de Areia de Fundação Descartada em Pavimentação: Como Aprovar e Transformar Resíduo em Faturamento. 34ª Reunião Anual de Pavimentação, 2003.
2. SILVEIRA, M.A. Estudo sobre a Adição de Polímero em Areia-Asfalto a Frio. Dissertação de M.Sc., Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1999.
3. MOREIRA, H.S.; LUTIF, J.E.S.; SOARES, J.B., Caracterização mecânica de misturas AAUQ com diferentes teores de areia de fundição submetido à aprovação no 35º Reunião Anual de Pavimentação, 2004.
4. KANDHAL, P., Waste Materials in Hot Mix Asphalt – An Overview. Use of Waste Materials in Hot-Mix Asphalt. American Society for Testing Materials – ASTM – STP 1193, 1993.
5. PABLOS, J.M. Utilização do Resíduo Sólido Gerado pelo Descarte das Areias de Fundação Aglomeradas com Argila no Setor da Construção Civil. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1995.
6. JAVED, S. e LOVELL, C.W., Uses of Waste Foundry Sand in Civil Engineering. Transportation Research Record Nº 1486, 109-113, Washington D.C., 1995.
7. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, User Guideline for Waste and By-product Materials in Pavement Construction [web pag], 1994. Disponível em: <http://www.fhrc.gov.br/hnr20/recycle/waste>.
8. IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia, Disponível em: www.ibs.org.br - 16/12/2003
9. GEYER, R. M. T., Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto. Tese de D.Sc., UFRGS, Porto Alegre, RS, 2001.
10. IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia, Escórias Siderúrgicas Novas Tendências 9ª Reunião de Pavimentação Urbana, 1998.
11. BRANCO, V.T.F.C., Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
12. DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, ME 262 “Escórias de aciaria para pavimentos rodoviários”, 1994.
13. ADERALDO, P.S.G., Contato Pessoal, Gerdau Cearense S.A - 15/10/2003.
14. 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.
15. Silva, E.A., “Uso de escoria de acerias tratadas com emulsiones catiônicas em varias pavimentaciones”. 6º Congresso Ibero-Latino Americano Del Asfalto, Santiago, Tomo I, p. 01-18, 1991.
16. Alvarenga, J.C.A., Um estudo de avaliação estrutural e econômica de pavimentos flexíveis de escória de aciaria. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2001.
17. John, L. 2003 www.uerj.br/~ambiente/emrevista/clipping/agosto/csn.htm - 11/06/2003.
18. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10005 “Lixiviação de Resíduos”, 1987.
19. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10006 “Solubilização de Resíduos”, 1987.
20. Rohde, I., Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos – estudo laboratorial. Tese de M.Sc., UFRS, Porto Alegre, RS, 2002.
21. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10004 “Resíduos Sólidos”, 1987.
22. CAVALCANTE, V.T.F., J.B.SOARES, L.M.G. MOTTA, D.R. ALDIGUERI e E.B. PARENTE, “Caracterização mecânica de misturas asfálticas com utilização de escória de aciaria como agregado”. XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, v.I, 2003.
23. BALBO, J.T., Pavimentos asfálticos: patologias e manutenção, São Paulo.
24. ROBERTS, F.L.; KANDHAL, P.S; BROWN, R.E.; LEE, D. e KENNEDY, T. W., Hot mix asphalt materials, mixture design, and construction. NAPA. Maryland, 1996.
25. KANDHAL, P., Recycling of Asphalt Pavements – an Overview. Proceedings Association of asphalt Paving Technologists – AAPT, vol. 66, USA, 1997.

26. PETERSON, G.D.; DAVISON, R.R.; BURR, B.L.; GLOVER, C.J. e BULLIN, J.A., Effect of Composition on Asphalt Recycling Agent Performance. Transportation Research Record 1436, TRB. National Research Council, Washington, DC, 1994.
27. SOARES, J.B.; MOTTA, L.M.; LEITE, L.M. e BRANCO, J.V.C. O Efeito da Consistência do CAP no Teor Ótimo e nas Propriedades das Misturas Asfálticas. XIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, vol. 1, São Carlos, SP, 1999.
28. SOARES, J.B., ALDIGUERI, D.R. e LEITE, L.M. Métodos de Dosagem e Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente. Relatório Interno. Laboratório de Mecânica dos Pavimentos, UFC, CE, 2002.
29. VASCONCELOS, K.L. e SOARES, J.B. Projeto de Misturas de Concreto Betuminoso Reciclado a Quente com Diferentes Teores de Material Fresado. 12º Congresso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Quito, Equador, 2003.
30. LIMA, A.T., Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente. Dissertação de M.Sc., Petran/UFC, Fortaleza, CE, 2003.
31. CONAMA Resolução no 258, de 26 de Agosto de 1999. Ministério do Meio Ambiente, Governo Federal, Brasil, 1999.
32. LEWANDOWSKI L.H. Polymer Modification of Paving Asphalt Binders. In: Rubber Chemistry and Technology: Polymers in Asphalt, 1994, vol. 67.
33. CHOUBANE, B.; G.A. SHOLAR; J.A. MUSSELMAN; G.C. PAGE Ten-Year Performance Evaluation of Asphalt-Rubber Surface Mixes, Transportation Research Record, v. 1681, n. 0177, p. 10-18, 1999.
34. SAINTON, A. Les Avantages du Liant Bitume-Caoutchouc pour les Enrobés Drainants, Revue Générale des Routes et des Aérodomes, Spécial Printemps, p. 3-9, 1990.
35. GREEN, P.J. Binders. In: NICHOLLS, J.C. (Ed.) Asphalt Surfacing, Londres, Inglaterra, E&FN Spon 1998. cap. 3, p. 47-79.
36. ODA, S. Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação, Tese de D.Sc., EESC, São Carlos, SP, Brasil, 2000.
37. BERTOLLO, S.A.M.; FERNANDES JÚNIOR, J.L.; BERNUCCI, L.B.; MOURA, E. Avaliação Laboratorial de Mistura Asfáltica Densa Modificada com Adição de Borracha, Transportes, 2002, v. 10, n. 1, p. 65-83.
38. FAXINA, A.L. Estudo em Laboratório do Desempenho de Concreto Asfáltico Usinado a Quente Empregando Ligante Tipo Asfalto-Borracha. Dissertação de M.Sc., EESC, São Carlos, SP, Brasil, 2002.
39. PINHEIRO, J.H.M.; SOARES, J.B.; LEITE, L.F.M. Caracterização de Misturas Asfálticas com Borracha Produzidas pelos Processos Úmido e Seco. XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Rio de Janeiro, 2003.
40. PINHEIRO, J.H.M.; SOARES, J.B. The Effect of Crumb Rubber Gradation and Binder-Rubber Interaction Time on the Mechanical Properties of Asphalt-Rubber Mixtures (Dry Process). Proceedings of the Asphalt Rubber 2003 Conference. Brasil, 2003, p. 707-718, 2003.
41. BRESSAN, S. Brasil Pode Virar "Lixão" Mundial de Pneus. Informativos OnLine, Biodiversidade. Disponível em: http://www.anbio.org.br/bio/biodiver_inf216.htm - 30/10/ 2003.
42. CARLSON, D.D.; ZHU H.; XIAO C. Analysis of Traffic Noise Before and After Paving with Asphalt-Rubber. Proceedings of the Asphalt Rubber 2003 Conference. Brasil, 2003, p. 413-428.
43. CURRY, M.V.Q.; MURTA, A.L.S.; FIGUEIREDO, L.H.; MONTENEGRO, L.C.S. Analysis of Traffic Noise Before and After Paving with Asphalt-Rubber. Proceedings of the Asphalt Rubber 2003 Conference. Brasil, 2003, p. 501-511.