

REVISTA

ABRV

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO



PAVIMENTAÇÃO

ANO X • N° 35 • JAN-MAR • 2015 • WWW.ABPV.ORG.BR • ISSN 1809-1865

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA
DO FÍLER MINERAL NA
ENERGIA DE FRATURA DE
MÁSTIQUES ASFÁLTICOS**

*Vivian Silveira dos Santos Bardini
Luis Miguel Gutiérrez Klinsky
José Leomar Fernandes Júnior
Reynaldo Roque*



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
2015 Hotel Bourbon
Foz do Iguaçu . PR

**TRABALHOS
TÉCNICOS**

CALENDÁRIO

- 06.03.2015 | Prazo final para submissão de resumo através de sistema "on-line".
- 16.03.2015 | Prazo final para comunicação de aceite do resumo.
- 10.04.2015 | Prazo final para submissão de trabalho completo através de sistema "on-line".
- 10.05.2015 | Prazo final para comunicação de aceite do trabalho completo.
- 05.06.2015 | Prazo final para reenvio de trabalho completo com as revisões incorporadas.
- 30.06.2015 | Organização, pelos Coordenadores Técnicos, dos trabalhos para a composição de CD (anais) e Programação Técnica.

www.rapvenacor2015.com.br

Reserva de Hotel

M.LEAL Agência de Viagens
Tel. 41 3343-4300
mleal@mleal.com.br

Secretaria Executiva

EKIPE DE EVENTOS
Tel. 55 (41) 3022-1247
ekipe@ekipedeeventos.com.br

Apoio



Realização



EXPEDIENTE

REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano X • N° 35 • Jan - Mar 2015
ISSN 1809 - 1865

Rua Miguel Couto, 105 • Sobrelojas 204 e 205
CEP 20070-030 • Rio de Janeiro • RJ
Tel • (21) 2233-2020 | 2263-5794 Fax • (21) 2233-0709



CONSELHO EDITORIAL

Diretoria da ABPv

EDITORA CHEFE

Georgina Libório Azevedo
georgina@abpv.org.br
MTb 31365-RJ

JORNALISTA RESPONSÁVEL

Jean Pierre M. Santiago
jpierrems@abpv.org.br
MTb 27170-RJ

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

Presidente • Eng° José Pedro dos Santos Vieira Costa
Vice-Presidente • Eng° Eduardo Alberto Ricci
Diretora Financeira • Arqtª Georgina Libório Azevedo
Diretor Administrativo • Eng° Fernando Augusto Júnior
Diretora Técnica • Engª Luciana Nogueira Dantas
Diretora de Divulgação • Engª Michéle Dal Toé Casagrande

COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

Eng° Alfredo Monteiro de Castro Neto • Eng° Antônio Fortunato Marcon • Eng° Armando Morilha Junior • Eng° Atahualpa Schmitz da S. Prego • Eng° Carlos Yukio Suzuki • Eng° Cassio Eduardo Lima de Paiva • Engª Consuelo Alves da Frota • Eng° Cristiano da Costa Moreira • Eng° Djalma Rocha A. M. Pereira • Eng° Douglas Fadul Villibor • Eng° Dultevir Guerreiro Vilar de Melo • Eng° Edinaldo Afonso Marques de Mélo • Eng° Eduardo Alberto Ricci • Eng° Fernando Augusto Jr. • Eng° Genésio Almeida da Silva • Arqtª Gilda Collet Bruna • Eng° Glicério Trichês • Eng° Heitor Roberto Giampaglia • Eng° Jacques de Medina • Eng° João Vicente Falabella Fabrício • Eng° João Virgílio Merighi • Eng° Jorge Augusto Pereira Ceratti • Eng° José Pedro dos Santos Vieira Costa • Eng° José Leomar Fernandes Junior • Eng° José Tadeu Balbo • Eng° José Vidal Nardi • Engª Laura Mª Goretti da Motta • Engª Leni F. M. Leite • Eng° Leto Momm • Eng° Liedi Legi B. Bernucci • Engª Luciana Nogueira Dantas • Eng° Luiz Miguel de Miranda • Eng° Marcello Roberto Rangel Pestana • Eng° Márcio Muniz de Farias • Eng° Marcílio Augusto Neves • Engª Maria da Conceição M. Azevedo • Engª Michéle Dal Toé Casagrande • Eng° Nilton de Souza Campelo • Eng° Paulo Romeu Assunção Gontijo • Eng° Prepedigna D. E. Almeida da Silva • Engª Rita Moura Fortes • Eng° Rui José da Silva Nabais • Eng° Silvio Rodrigues Filho • Eng° Saul Birman • Eng° Walter Canales Sant'ana • Eng° Washington Pérez Nuñez.

Projeto Gráfico e Produção Digital • Luciana Costa Leite
Impressão • WalPrint Gráfica e Editora
Tiragem • 10.000 exemplares
Periodicidade • Trimestral

NOSSA CAPA



Imagem do trecho da Rodovia dos Inconfidentes (BR- 356), entre Itabirito e Ouro Preto (MG). No detalhe uma obra de arte, a linha férrea da Ferrovia do Aço por onde circulam os trens da Vale. Fotografia enviada por Rauli Kind, de Belo Horizonte. Envie sua foto para: abpv@abpv.org.br

SUMÁRIO

EDITORIAL	4
SEÇÃO DE NOTAS	5
ESPAÇO JURÍDICO	14
ARTIGOS TÉCNICOS.	19

ARTIGO 1

Estudo da influência do fíler mineral na energia de fratura de mástiques asfálticos . . . 19

Vivian Silveira Dossantos Bardini
Luis Miguel Gutiérrez Klinsky
José Leomar Fernandes Júnior
Reynaldo Roque

ARTIGO 2

Tecnologia experimental de alta durabilidade com pavimento de concreto continuamente armado para corredores e terminais urbanos . . . 31

José Tadeu Balbo
Lucio Salles de Salles

ARTIGO 3

Metodologia de adequação química e ambiental do agregado siderúrgico para uso em lastro ferroviário. 45

Daniel Pinto Fernandes
Gilberto Fernandes

ARTIGO 4

Comportamento da retrorrefletividade em função da textura do pavimento 55

Mauro Moreira de Castro

EDITORIAL

O Ministro do Planejamento, Nelson Barbosa, afirmou que o governo federal pretende realizar neste ano de 2015 mais 4 leilões de concessão de rodovia. A afirmação do ministro se deu no anúncio do resultado do leilão da Ponte Rio-Niterói, no dia 18 de março passado, quando a Ecorodovias arrematou o trecho da BR-101 sobre a Baía da Guanabara, passando a ser a nova administradora pelos próximos 30 anos.

Por certo, o governo já havia decidido priorizar a licitação de vias por onde é feito o escoamento da safra agrícola do País. Dentre os trechos listados estão a BR-163/230/MT/PA, da BR-364/060/MT/GO, da BR-364/GO/MG e da BR-476/153/282/480/PR/SC, num total de mais de 2.600 quilômetros de vias. Estima-se investimentos da ordem de R\$ 18,3 bilhões.

A “relicitação” da Ponte Rio-Niterói foi a primeira dessa nova fase do programa de licitações. O estudo para o caso foi elaborado por meio de Procedimento de Manifestação de Interesse (PMI), em que as empresas interessadas são autorizadas a realizar estudos e análises complementares que podem ser utilizadas para a elaboração do edital.

Tais acontecimentos sinalizam novo marco nas comunicações rodoviárias do Brasil, cujo debate vem se aperfeiçoando entre estudiosos, acadêmicos, profissionais e agentes políticos governamentais. Notadamente, o tema já abarcou calorosas discussões ideológicas. No entanto, os tempos parecem bastante diferentes. Na seção Em Foco, mostramos que o assunto já chegou à tribuna do Senado Federal.

Nesta edição de número 35, o primeiro artigo técnico traz um estudo da influência do filer mineral na energia de fratura de mástiques asfálticos, de autoria de Vivian Silveira dos Santos, Luis Miguel Gutiérrez Klinsky, José Leomar Fernandes Júnior e Reynaldo Roque.

O segundo trabalho, de autoria de José Tadeu Balbo e Lucio Salles de Salles, versa sobre a tecnologia experimental de alta durabilidade com pavimento de concreto continuamente armado (PCCA) para corredores e terminais urbanos.

Já o terceiro artigo apresenta uma metodologia de adequação química e ambiental do agregado siderúrgico para uso me lastro ferroviário. Os responsáveis pelo estudo são Daniel Pinto Fernandes e Gilberto Fernandes.

Finalizando esta edição, Mauro Moreira de Castro aborda o comportamento da retrorrefletividade em função da textura do pavimento. Trata-se de uma síntese do trabalho de monografia do autor apresentado ao Curso de Especialização em Pavimentação da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

Espaço Jurídico traz uma temática envolvendo políticas públicas de cunho amplamente social: direito à moradia como um mínimo existencial. O assunto perpassa por diversas vertentes, inclusive obras públicas. O objetivo é mostrar que a infraestrutura de um país vai muito além da questão de uso pelos cidadãos, existindo um contexto que permeia a própria condição de vida com dignidade destes mesmos cidadãos. Moradia é um direito constitucional, e não significa apenas ter uma casa, mas também ter condições de se viver bem, com saneamento básico, acesso a serviços públicos e infraestrutura urbana completa.

Por fim, chamamos nossos leitores à participação na 44ª RAPv e no 18º ENACOR, que acontecem conjuntamente de 18 a 21 de agosto em Foz do Iguaçu, no Paraná. Paralelo aos eventos, também acontecerá a 4ª ExpoPavimentação, importante exposição de máquinas, produtos e insumos do setor. Trata-se do maior evento rodoviário do País, favorecendo os caminhos da integração.



SEÇÃO DE NOTAS

revistapavimentacao@abpv.org.br

SEÇÃO DE NOTAS

Brazil Road Expo 2015



Foto da abertura

Entre os dias 24 a 26 de março aconteceu no Transamérica Expo Center em São Paulo a BRAZIL ROAD EXPO 2015. Este que um dos principais eventos de infraestrutura viária e rodoviária da América Latina trouxe em sua 5ª edição os principais players da cadeia da infraestrutura nacional e internacional, tais como: fabricantes e distribuidores de equipamentos e produtos para manutenção e construção de estradas e vias urbanas, pontes, viadutos e túneis, pavimentação em asfalto e concreto, soluções para drenagem contenção de encostas, segurança, sinalização e gestão de vias e rodovias. Também apresentou uma visão mais aprofundada da logística de transportes e do atual estado em que estão nossas rodovias ainda carentes de investimento apesar do aporte recebido no ano anterior, visto que o país ainda é dependente deste modal para o escoamento de sua produção.

Neste ano houve um congresso de nível gerencial com discussão de temas estratégicos e presença de autoridades e público decisor.

Estavam presente na abertura da Brazil Road Expo 2015, da esq. para a dir.: Eng. José Pedro dos Santos Vieira Costa, presidente da ABPv, Marcus Welbi, presidente da APELMAT, Sérgio Jardim, diretor da Clarion Events, Eng. Roberto Portella, presidente da ANETRANS, General Márcio Velloso Guimarães, Departamento de Engenharia e Construção do Exército Brasileiro (DEC), Esteban Salinas, diretor da IRE, Dr. Adailton Cardoso Dias, Diretor Geral interino do DNIT, Antônio Tadeu de Oliveira, da Secretaria Municipal de Transportes (SP), que representou o prefeito de São Paulo, Fernando Haddad, e José Alberto Ribeiro, presidente da ANEOR.



Gerência em Pavimentos

A 9ª Conferência Internacional sobre Gerência de Pavimentos acontece de 18 a 21 de maio em Washington, nos Estados Unidos. Renomados engenheiros rodoviários estarão presentes contando suas experiências e discutindo as novas tecnologias. Serão tratados ainda temas concernentes ao desenvolvimento de programas de obras públicas.

Como linha de orientação, o evento destaca a gerência de pavimentos com inovação, sustentabilidade, responsabilidade e melhor desempenho.

Informações • www.icmpa9.org



Palestra sobre Sistemas de Transportes Sustentáveis

No dia 28 de maio, em Eindhoven, nos Países Baixos, acontece a palestra do Professor Jonas Eliasson, com o tema “Rumo a um sistema de transportes eficiente e sustentável: o papel da análise política dos transportes”. Professor Eliasson é o diretor do Centro de Estudos de Transporte de Estocolmo, e tem atuação na concepção pragmática dos meios de transportes urbanos, com grande contribuição no plano de investimentos em transportes na Suécia. A palestra será realizada no endereço Den Dolech 2, 5612 AZ Eindhoven.

Inscrições • oke.dewaele@ugent.be



M&T EXPO 2015

A Feira Internacional de Equipamentos para Mineração e Construção completa 20 anos, e realizará sua edição de 2015, de 9 a 13 de junho, em São Paulo. Considerado o maior evento de negócios do setor na América Latina e uma das principais exposições do segmento em nível mundial, a feira, promovida a cada três anos, tem sua trajetória bem-sucedida ligada diretamente à evolução da área de máquinas no Brasil.

Informações • www.mtexpo.com.br



Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia

Entre 23 e 25 de junho de 2015, a ABEP, o SINABEP, a ABMS, a ABEG e o DFI realizarão o SEFE8 - 8º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia e a 2ª Feira da Indústria de Fundações e Geotecnia, nos pavilhões D e E do Transamérica Expo Center, em São Paulo, SP.

O Seminário contará com a presença de renomados especialistas, brasileiros e estrangeiros, que ministrarão palestras sobre o tema de engenharia de fundações e geotecnia, apresentando técnicas inovadoras, pesquisas acadêmicas, experiências e casos reais de obras, abrindo-se oportunidades imperdíveis para exposições de produtos e serviços, bem como realização de *business e networking*.

Informações • www.sefe8.com.br



20º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito

O Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito é um evento promovido bienalmente pela Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP, desde 1977. O evento reúne, a cada edição, a maior comunidade técnica do setor da mobilidade urbana do País. A cada encontro uma cidade se coloca como anfitriã do evento. Nesta 20ª edição, o Congresso ocorrerá em Santos, importante cidade litorânea no Estado de São Paulo. Paralelamente ao Congresso, acontecerá a IX INTRANS - Exposição Internacional de Transporte e Trânsito. Trata-se de uma excelente oportunidade para exposição de produtos, serviços, tecnologias e sistemas direta ou indiretamente relacionados com todos os aspectos da mobilidade urbana. Os eventos serão entre os dias 23 e 25 de junho.

Informações • www.antp.org.br



Saneamento e Meio Ambiente

Promovida há 25 anos consecutivos pela AESabesp - Associação dos Engenheiros da Sabesp, a Fenasan - Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente é hoje conso-

lidada e reconhecida como uma das mais importantes feiras do setor de saneamento realizadas no Brasil e no exterior. E em caráter simultâneo com o Encontro Técnico da AESabesp - Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente é considerada como o maior evento do setor na América Latina.

Entre visitantes da Feira e congressistas, o evento recebe em torno de 17.000 pessoas em cada edição anual. Seu público é formado por executivos, técnicos, empresários, estudantes, gestores e pesquisadores de órgãos públicos e privados, acadêmicos e demais interessados no avanço da aplicação dos conhecimentos em saneamento ambiental, resultando numa das visitas mais qualificadas das realizações do setor.

Os eventos acontecem, simultaneamente, entre os dias 4 e 6 de agosto, em São Paulo.

Informações • www.fenasan.com.br



Congresso sobre MND – Métodos Não Destrutivos

A ABRATT - Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva, com o apoio da ISTT - International Society for Trenchless Technology, promoverá o V Congresso Brasileiro de MND – Métodos Não Destrutivos. O evento será em São Paulo entre os dias 04 e 06 de agosto de 2015 no Pavilhão Vermelho do Expo Center Norte em conjunto com a FENASAN 2015 – Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente.

Estarão presentes profissionais de empresas públicas e privadas de serviço de água e esgoto, energia, petróleo e gás e telecomunicações, projetistas, executores, empreiteiros, fabricantes de máquinas e suprimentos, empresas de sondagens e geotecnia além dos professores e estudantes de universidades brasileiras.

Informações • www.acquacon.com.br/nodig2015



Concrete Show South America 2015

O evento reúne anualmente empresários e profissionais de toda a cadeia produtiva do concreto e da construção civil. O Concrete Show South America traz inovações e tendências mundiais em sistemas e métodos construtivos à base de concreto e soluções que aumentam a produtividade, a qualidade e a velocidade na execução da obra. Nesta edição de 2015, estarão reunidos em São Paulo, entre os dias 26 e 28 agosto, no Centro de Exposições Imigrantes, os principais players do universo da cadeia do concreto na construção civil mundial para a pavimentação, edificação e infraestrutura.

Informações • www.concreteshow.com.br

Serão abordadas as seguintes áreas temáticas: teste de pavimento acelerado; práticas modernas para criar, manter e reabilitar asfalto e pavimentos de concreto; aeroportos, estradas de baixo volume; nova estabilização e tecnologias de pavimentação; avaliação não destrutiva; testes de caracterização e de material; ciclo de vida, análise e gerência de pavimentos; práticas de sustentabilidade; e aplicações inovadoras de avançada modelagem computacional e tecnologias de sensoriamento remoto. Este será um excelente fórum para profissionais, acadêmicos, pesquisadores, engenheiros de transporte, e funcionários de agências envolvidas na educação, pesquisa, construção e conservação de infraestruturas de transporte em todo o mundo.

Informações • www.ijpavement.com



Congresso sobre Rodovias e Concessões e exposição de produtos para rodovias

O Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões – CBR&C e a Exposição Internacional de Produtos para Rodovias – BRASVIAS compõem importante evento promovido pela iniciativa privada para discutir aspectos relevantes da infraestrutura rodoviária brasileira.

Em 2015, a nona edição do evento será realizada em Brasília (DF), no período de 14 a 16 de setembro, no CICB - Centro Internacional de Convenções do Brasil, um espaço novo, completo e versátil, que reúne em um só lugar centro de convenções, alojamento, alimentação e serviços. O CBR&C e BRASVIAS 2015 ocorrerá em um mesmo andar, com fácil acesso aos auditórios e à Exposição, permitindo total integração e encontro durante todo período de realização do evento.

Informações • www.cbrbrasvias.com.br



1ª Conferência do Internacional Journal of Pavements

A publicação IJP - International Journal of Pavements comemora seu 14º ano de publicação em 2015 com a realização do 1º Conferência do IJP, que será realizada de 07 a 09 de setembro, em Weimar, Alemanha.



SOEA – Semana da Engenharia e Agronomia

A 72ª Semana da Engenharia e Agronomia, juntamente com o Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, serão realizados entre os dias 15 e 18 de setembro no Centro de Eventos do Ceará, em Fortaleza. O evento é promovido pela CONFEA.

Informações • www.soea.org.br



Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas realizará o IV Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, um evento técnico-científico de alta qualidade que indica tendências futuras nas áreas técnicas, legais e acadêmicas ligadas ao meio ambiente subterrâneo. Será realizado nos dias 5 e 6 de outubro, em São Paulo. Estarão reunidos, portanto, os maiores “experts” do setor em palestras e mesas redondas voltadas às apresentações e otimização de tecnologia.

Paralelamente será realizada a FENÁGUA - Feira Nacional de Águas, onde os visitantes terão a oportunidade de conhecer as novidades em produtos e serviços do setor de águas e meio ambiente subterrâneo.

Informações • www.abas.org/cimas



CONEXPO Latin America

A CONEXPO Latin America está dirigida a profissionais do setor em toda a América Latina envolvidos em todos os segmentos da indústria da construção, com foco no mercado latino-americano de grandes e pequenas empresas, incluindo empreiteiros, produtores de materiais, órgãos governamentais, fabricantes e prestadores de serviços. O evento acontecerá em Santiago do Chile, de 21 a 24 de outubro.

Informações • www.conexplotinamerica.com



GEOSUDESTE 2015

No período de 26 a 29 de outubro de 2015 os núcleos São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro/Espírito Santo da Sociedade Brasileira de Geologia – SBG, promoverão o GEOSUDESTE 2015 – 14º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE e 8º SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, no Centro de Convenções Campos do Jordão, na cidade de Campos do Jordão, São Paulo, tendo como Tema Central: A Importância dos Recursos Naturais na Economia Brasileira.

O Simpósio de Geologia do Sudeste é hoje o segundo maior evento nacional da área de Geociências, tanto em participantes quanto em número de trabalhos técnicos encaminhados, e conta com a participação de universidades, empresas e grandes centros de pesquisa. O evento é realizado desde 1989 com periodicidade bianual e de forma itinerante entre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

Informações • www.acquacon.com.br/geosudeste



Melhor Execução para Pavimentos de Concreto

A 3ª Conferência Internacional para Melhor Execução de Pavimentos de Concreto será realizada com o lema “Desafios para o futuro da construção com pavimento de concreto sustentável”, dentro do 57º Congresso Brasileiro do Concreto, entre os dias 27 e 30 de outubro, na cidade de Bonito, no Mato Grosso. Trata-se de um dos eventos internacionais mais importantes dedicado à discussão e intercâmbio sobre tecnologias ligadas a questão de pavimentos de concreto. A organização é da Universidade de São Paulo (USP) e do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON).

Informações • www.site.ibracon.org.br



CILA 2015

O Congresso Ibero-Americano de Asfalto será realizado este ano na cidade de Bariloche, na Argentina, de 16 a 20 de novembro. O evento será oportunidade para troca de informações e experiências sobre novas tecnologias, equipamentos e especificações que permitirão aproveitar a experiência coletiva e otimizar o investimento na pavimentação e uso de ligantes betuminosos. Além disso, o evento visa incentivar a pesquisa em universidades, centros especializados e outras entidades ligadas ao sector. Desta forma, os laços que permitem o desenvolvimento sustentável nos países Ibero Latino-Americana serão reforçados.

Informações • www.cila2015.com.ar



18ª NT Expo – Negócios sobre Trilhos

Trata-se do único evento de equipamentos, infraestrutura, serviços e manutenção ferroviária da América do Sul, onde são apresentadas inúmeras oportunidades de negócios, parcerias, intercâmbio e troca de experiências entre profissionais e empresários do setor ferroviário.

O evento acontece em São Paulo, entre os dias 03 e 05 de novembro.

Informações • www.ntexpo.com.br



Evento mundial do concreto

Em 2016, entre os dias 1 e 5 de fevereiro, a cidade americana de Las Vegas sediará o “World of Concrete”. Trata-se do maior evento anual da construção civil voltado para a indústria do concreto e da alvenaria. Estarão presentes os principais fornecedores da indústria com produtos inovadores, máquinas e equipamentos de construção, cursos de formação em segurança, diversos seminários e inovações tecnológicas.

O evento também objetiva proporcionar muitas oportunidades de “networking” para aqueles que buscam maneiras de sustentar e fazer crescer o seu negócio.

Informações • www.worldofconcrete.com

EVENTOS NO MUNDO • 2015

2 - 6 | Fevereiro

World of Concrete
Las Vegas - Nevada.

10 - 14 | Março

Feicon Batimat - Pavilhão
de Exposições do Anhembi
São Paulo - SP.

11 - 12 | Fevereiro

ICSMGE 2015 - International
Conference on Soil Mechanics
and Geotechnical Engineering
Rio de Janeiro - RJ.

17 - 19 | Março

World of Asphalt 2015 Show and
Conference - Baltimore - Maryland.

24 - 25 | Março

Airport Infra Expo Centro de Eventos
Brasil - Brasília - DF.

24 - 26 | Março

Brazil Road Expo 2015
São Paulo - SP.

26 | Março

2º Aviação em Debate - Centro
de Eventos Brasil - Brasília - DF.



INFORMAÇÕES:
www.cbrcbrasvias.com.br
contato@cbrcbrasvias.com.br

9º Congresso Brasileiro de Rodovias & Concessões
9ª Exposição Internacional de Produtos para Rodovias

CBR&C BRASVIAS

Brasília • 2015

14 a 16 de setembro

ABCR
Associação Brasileira de
Concessionárias de Rodovias

EVENTOS NO MUNDO • 2015

7 - 9 | Abril

Encontro dos Municípios com o Desenvolvimento Sustentável (EMDS) - Centro de Convenções Ulysses Guimarães - Brasília - DF.

12 - 17 | Abril

1ª PrefTech - Joinville - SC.

15 - 17 | Abril

IV WORKSHOP RODOVIÁRIO 2015
Goiânia - GO.

20 - 25 | Abril

World of Concrete Europe/Intermat
Paris - Nord Villepinte - Paris.

18 - 21 | Maio

9th International Conference on Managing Pavement Assets (ICMPA9)
Alexandria - USA.

26 - 29 | Abril

ICPPP2015 - International Conference on Public-Private Partnership
Austin - Texas.

29 - 30 | Abril

GEORS 2015 - VIII Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul - Universidade do Vale dos Sinos (UNISINOS)
São Leopoldo - RS

4 - 5 | Junho

ICSMGE 2015 - International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
Nova York - Nova York.

4 - 5 | Junho

Congresso da Organização Européia de Misturas Prontas de Concreto (ERMCO 2015) - Museu Militar de Istambul - Turquia.

9 - 13 | Junho

M&T EXPO 2015 - 9ª Feira e Congresso Internacionais de Equipamentos para Construção e 7ª Feira e Congresso Internacionais de Equipamentos para Mineração - São Paulo - SP.

15 - 18 | Junho

Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos - 12ª COTEQ
Cabo de Santo Agostinho - PE.

23 - 25 | Junho

SEFE - 8º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia e 2ª Feira da Indústria de Fundações e Geotecnia - São Paulo - SP.

23 - 25 | Junho

20º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito IX INTRANS - Santos - SP.

EVENTOS NO MUNDO • 2015

4 - 6 | Agosto

Fenasan - Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente - Pavilhão Vermelho Expo Center Norte São Paulo - SP.

4 - 6 | Agosto

V Congresso Brasileiro de MND - Métodos Não Destrutivos e o No Dig Brasil 2015 Pavilhão Vermelho do Expo Center Norte em conjunto com a FENASAN 2015 - Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente São Paulo - SP.

18 - 21 | Agosto

44ª RAPv /18º ENACOR
44ª Reunião Anual de Pavimentação e 18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária - 4ª Expopavimentação Foz do Iguaçu - PR.

26 - 28 | Agosto

Concrete Show South America Brazil São Paulo - SP.

7 - 9 | Setembro

IJPC - International Journal of Pavements Conference Weimar - Alemanha.

14 - 16 | Outubro

CBR&C Brasvias - 9º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões - CBR&C e da Exposição Internacional de Produtos para Rodovias.

BRASVIAS - Centro Internacional de Convenções do Brasil (CICB) Brasília - DF.

15 - 18 | Setembro

72ª SOEA - Semana de Engenharia e Agronomia - Fortaleza - CE.

5 - 6 | Outubro

IV Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo São Paulo - SP.

21 - 24 | Outubro

CONEXPO LATIN AMERICA Santiago - Chile.

26 - 29 | Outubro

14º Simpósio de Geologia do Sudeste/ 8º Simpósio do Cretáceo do Brasil Campos do Jordão - SP.

28 - 30 | Outubro

3rd International Conference on Best Practices for Concrete Pavements Bonito - MS.

3 - 5 | Novembro

NT Expo - Negócios nos Trilhos Expocenter Norte São Paulo - SP.

16 - 20 | Novembro

CILA (XVIII) Bariloche - Argentina. 📍

ESPAÇO JURÍDICO



DIREITO À MORADIA: UM MÍNIMO EXISTENCIAL

*Jean Pierre M. Santiago**

Na paisagem das médias e grandes cidades brasileiras figura a perplexa realidade de famílias menos favorecidas cada vez mais habitando ocupações irregulares e loteamentos clandestinos, quase sempre sem a menor condição de serem resididos. São nesses locais que elas acabam por encontrar um preço acessível capaz de cobrir as suas carências habitacionais e as omissões do Estado.

Esse baixo preço, no entanto, gera um valor social muito alto, que acaba sendo suportado por esses grupos. Nessas habitações irregulares encontram-se uma gama diversificada de problemas, como carência de infraestrutura mínima (água, luz e esgoto, ruas pavimentadas). Há casos em que o Estado constrói tão somente as moradias, e deixa permanecer a ausência total ou parcial de serviço de transporte coletivo; o difícil acesso ao emprego; a distância entre essas ocupações e hospitais, escolas, delegacias, corpo de bombeiros.

Estudos do Ipea consolidados a partir de dados a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD/IBGE/2011) apontam que há no Brasil uma carência de mais de 5,4 milhões de domicílios, com 80% localizados em áreas urbanas. Na Região Metropolitana de Belo Horizonte, por exemplo, o déficit é de 147.467 mil domicílios. O déficit habitacional revela o quantitativo de famílias em condições inadequadas de moradia, o que compreende favelas, aglomerados, coabitação e adensamento excessivo.

A Constituição brasileira prevê em seu art.23, Inciso IX, que a União, Estados, Distrito Federal e Municípios promoverão programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico. Com o surgimento do Estatuto da Cidade, Lei n. 10.257, de 2001, a política urbana brasileira passou a ser regulamentada com importantes intervenções na

* Jean Pierre M. Santiago é advogado e jornalista responsável da Revista PAVIMENTAÇÃO. Mestre em Ciência Política pela Universidade Federal Fluminense; sócio do escritório Santiago & Lacerda Advogados e membro Instituto dos Advogados de Minas Gerais (jean@santiagoolacerda.com.br).

propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, inclusive equilíbrio ambiental.

Toda a ação urbanística prevista no Estatuto da Cidade está fundada na função social da propriedade urbana, que tem vínculo direto com o direito à habitação, funcionando também como um dos mais importantes instrumentos de efetivação desse direito.

E com a Emenda Constitucional n. 26, de 2000, o direito à moradia passou a figurar dentre os direitos sociais, integrando o mínimo existencial previsto no art. 6º da Constituição Federal de 1988. Isto ressalta ainda mais a importância das políticas públicas para a efetivação de uma sociedade mais justa e igualitária, tendo em vista que o direito à moradia ultrapassa a simples ideia de habitar uma casa, abrangendo, também, a qualidade de vida, onde se pode obter condições adequadas de higiene, lazer, conforto, e que seja capaz de preservar a intimidade pessoal e a privacidade familiar.

Ora, a noção de mínimo existencial está diretamente ligada à concepção de dignidade da pessoa humana, pois um é pressuposto existencial do outro. Sem o mínimo existencial, pode-se deduzir, não é possível se efetivar a dignidade da pessoa humana.

E não se pode ainda esquecer que os direitos sociais se apresentam como manifestação da segunda dimensão dos direitos humanos, revelando-se como aqueles que exigem do Estado uma prestação, um dever de agir, isto é, uma política pública eficaz voltada à sua execução.

Diversos programas vêm sendo implementados, com destaque para a Minha Casa Minha Vida, do governo federal, o Programa Nacional de Habitação Urbana e o Programa Nacional de Habitação Rural, além de programas específicos de Estados e Municípios. Mas é preciso advertir: o resultado almejado virá tão somente da conjugação de políticas públicas instrumentalizadas e eficazes, despojadas do aspecto político eleitoral e focadas na modificação da realidade habitacional do Brasil. 📌

O ARTIGO CIENTÍFICO

A Revista PAVIMENTAÇÃO ao longo de todas as suas edições veiculou mais de uma centena de artigos científicos de pesquisadores, professores e profissionais de todo o País, incluindo de colaboradores estrangeiros.

Existem várias razões para se publicar um artigo técnico. Dentre elas, elencamos algumas:

- **Divulgação científica**
- **Aumento do prestígio do autor e sua instituição ou empresa**
- **Apresentação do seu trabalho**
- **Posicionamento no mercado de trabalho**

A ABPv orgulha-se em contribuir com a produção científica nacional, atendendo ao que reza em seu estatuto, na

qualidade de uma associação técnico-cultural, promovendo o aprimoramento e o desenvolvimento da técnica da pavimentação no País através de diversas ações congêneres.

Queremos lembrar a todos que queiram participar da nossa publicação que os ARTIGOS TÉCNICOS devem ser enviados para **redacao@revistapavimentacao.org.br** de acordo com as normas vigentes no sítio **www.revistapavimentacao.org.br**, também aceitamos Casos de obras que são relatos de muita importância, mas sem o rigor da apresentação de um artigo. Redigir e publicar um artigo técnico lhe trará uma boa experiência profissional. Aprovado o artigo pelo Comitê Técnico-Científico, este será publicado gratuitamente. Os trabalhos são apresentados na íntegra, sendo de responsabilidade do autor todas as informações neles contidas. 📌

EM FOCO

ESPECIALISTAS ATRIBUEM BAIXA QUALIDADE DE PROJETOS E OBRAS À FALTA DE ENGENHEIROS E DE PLANEJAMENTO



Na sessão plenária do dia 22 de abril, o senador pelo Estado do Mato Grosso, Blairo Maggi (PR) discursou na tribuna sobre a concessão de rodovias, um tema recorrente no País quando o assunto é comunicação rodoviária. O senador disse esperar que vire realidade a ideia do ministro da Fazenda, Joaquim Levy, de apresentar ao país e ao mundo um programa de concessões no Brasil.

Para ele, transferir para a iniciativa privada a exploração de rodovias, por exemplo, vai ajudar o País a superar as dificuldades hoje presentes na manutenção e ampliação desse tipo de modelo de transporte.

Para ilustrar, ele comparou duas obras, na BR-163. Numa delas, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (Dnit), órgão do governo, contratou três empreiteiras que trabalham num trecho de 212 quilômetros, entre Rondonópolis e Cuiabá.

Como o pagamento às empreiteiras atrasa, nos últimos dois anos, apenas 30 quilômetros da obra foram entregues, o que prejudica o tráfego de doze a quinze mil caminhões por dia, lamentou o senador.

No outro trecho, de cem quilômetros, que vai de Rondonópolis à divisa de Mato Grosso com Mato Grosso do Sul, a empresa concessionária duplica a rodovia e deve concluir a obra em dezembro, disse Blairo Maggi.

Essa diferença mostra que falta ao governo dinheiro e capacidade de gerenciamento de toda essa infraestrutura de transporte. Mas isso pode ser resolvido se esse patrimônio for concedido aos investidores capazes de agilizar as melhorias, acrescentou o senador.

— A rodovia vai estar aí, não interessa se o dinheiro é alemão, francês, americano. Ninguém vai levar uma rodovia embora. Ela está aí, está feita. É só cumprir o contrato, fazer os pagamentos necessários dos pedágios e tudo vai em frente e o país vai em frente. Eu sempre digo: é nas crises que aparecem as grandes oportunidades. E essa grande crise que nós temos será a grande geradora de oportunidades para o Brasil e para todos nós — afirmou. 📌

Fonte: Agência Senado



NORMAS

Submissão de Trabalhos Técnicos para Revista PAVIMENTAÇÃO Normas básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas

1 • A Revista PAVIMENTAÇÃO é uma publicação técnica e científica de divulgação da ABPv. As contribuições para a revista devem ser de caráter exclusivamente técnico e estão abertas aos sócios e aos profissionais da Engenharia Rodoviária, Ferroviária e Aeroportuária nacional e internacional.

2 • A Revista pode também apresentar, eventualmente, matérias especiais redigidas pelo seu corpo técnico editorial e pela diretoria da ABPv, como forma de divulgação de opiniões ou comentários considerados relevantes como “voz” da ABPv.

3 • Os artigos e contribuições como nota técnica, inéditos, podem ser enviados em qualquer época do ano para serem publicados em uma das quatro edições anuais ou até no ano seguinte, dependendo do número de matérias selecionadas.

4 • Os trabalhos, sejam científicos, sejam técnicos ou de outra natureza encaminhados para eventual publicação, serão submetidos a avaliação de três profissionais que compõem o Comitê Técnico-Científico da Revista, escolhidos de acordo com o perfil do material a ser julgado. Aos avaliadores não será dado a conhecer os autores do artigo ou trabalho antes da avaliação e também é vedada a divulgação para os autores da identidade dos avaliadores.

5 • Os avaliadores recebem da ABPv um questionário indicativo dos itens a serem avaliados em cada contribuição para Revista PAVIMENTAÇÃO, podendo sugerir três opções de encaminhamento:

- O trabalho é aceito para publicação;
- O trabalho não é aceito para publicação e será então devolvido aos autores;
- O trabalho poderá vir a ser aceito caso os autores concordem em fazer algumas modificações sugeridas por um ou mais avaliadores.

6 • Cabe à Diretoria da ABPv julgar os casos omissos e autorizar a publicação de contribuições de caráter não técnico, eventualmente, em função dos assuntos abordados e da disponibilidade de espaço.

7 • O resultado da avaliação de qualquer material encaminhado à Revista PAVIMENTAÇÃO será levado ao conhecimento dos autores dos mesmos informando o destino que será dado à sua contribuição que pode ser: publicação imediata no próximo número a ser lançado, publicação em número subsequente devido ao excesso de contribuições ou não publicação.

8 • O Autor ou autores das contribuições aceitas para publicação devem concordar com a reprodução de seu material sem nenhum direito a qualquer custo de direitos autorais já que a ABPv é uma entidade sem fins lucrativos e a Revista PAVIMENTAÇÃO destina-se preferencialmente aos sócios e não será utilizada para venda com fins lucrativos.

9 • As contribuições para a Revista PAVIMENTAÇÃO devem ser encaminhadas de preferência por meio digital, podendo estar em formato PDF somente na fase de julgamento pelo Comitê. Os originais deverão ser produzidos em programa Microsoft Word. As figuras deverão ser fornecidas em separado, com resolução mínima de 300dpi. Caso a foto seja digital, a resolução deverá ser de no mínimo de 3.2 mega pixels. Não sendo as fotos do(s) autor(es), este(s) será(ão) responsável(eis) por declarar os créditos das mesmas e obter a autorização para publicação. Nos gráficos, evitar utilizar cores e dar preferência a símbolos que possam distinguir claramente as informações relevantes da figura. Nas tabelas não devem ser utilizadas formatações, bordas ou sombreamentos. As tabelas devem ser bem nítidas, identificadas com numeração própria e título. As equações podem ser criadas por um aplicativo externo, podem ser feitas com fontes de símbolos ou com o editor de equações do próprio programa usado para o trabalho. Em qualquer caso, elas devem ser numeradas consecutivamente ao longo do documento. As unidades deverão ser expressas no SI.

10 • As contribuições podem ser de no mínimo 2 e de no máximo 15 páginas em formato A4, editoradas em fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. Número maior de páginas poderá ser aceito em casos excepcionais a critério da Editoria da Revista.

11 • Os textos deverão ser escritos em português, em linguagem adequada e correta, sendo de responsabilidade do(s) autor(res) a revisão ortográfica, as referências bibliográficas devem seguir o padrão ABNT, tipo por citação de sobrenome e ano (ex. MATHEUS, 1994) e preferencialmente os artigos devem apresentar um resumo de 200 a 300 palavras, resumo em inglês de igual conteúdo do resumo em português (ABSTRACT) e indicar de 3 a 5 palavras-chaves. Artigos em outros idiomas podem eventualmente serem aceitos a critério da Editoria da revista.

12 • Essas especificações podem ser eventualmente revistas a critério da Editoria da Revista e da Diretoria da ABPv a qualquer tempo, cabendo aos artigos e contribuições já submetidos se adequarem seguindo as regras existentes à época da submissão do seu material. Associe-se e acesse todas as edições da revista na íntegra. Colabore para a manutenção da Revista Pavimentação enviando seu artigo para abpv@abpv.org.br, sugestões e se associando à ABPv.



ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO FÍLER MINERAL NA ENERGIA DE FRATURA DE MÁSTIQUES ASFÁLTICOS

Vivian Silveira dos Santos Bardini¹
Luis Miguel Gutiérrez Klinsky²
José Leomar Fernandes Júnior³
Reynaldo Roque⁴

¹ Universidade Estadual Paulista • Instituto de Ciência e Tecnologia
vibardini@yahoo.com.br

² Centro de Pesquisas Rodoviárias • CCR
luisgk@outlook.com

³ Universidade de São Paulo • Escola de Engenharia de São Carlos
leomar@sc.usp.br

⁴ University of Florida • College of Engineering
rroqu@ce.ufl.edu

RESUMO

As propriedades mecânicas de mástiques asfálticos influenciam significativamente o desempenho geral das misturas asfálticas densas, incluindo o projeto e a construção. O dano e fratura por fadiga em misturas asfálticas densas estão fortemente relacionados com as características do ligante asfáltico, as propriedades do fíler e a interação fíler-asfalto, e é um fenômeno afetado pelo surgimento e desenvolvimento de microfissuras em mástiques. O estudo do comportamento do mástique é importante para avaliação dos efeitos do teor de fíler mineral e das propriedades mecânicas das misturas asfálticas, assim como o efeito dos diferentes tipos e natureza de fileres, e a avaliação da sua influência na rigidez e elasticidade do ligante asfáltico promovido pela adição do fíler a diferentes razões fíler/asfalto. O desempenho das misturas pode ser melhorado se o mástique é construído para resistir à fratura e à fadiga. A energia de fratura é uma importante propriedade relacionada à resistência a fadiga de ligantes asfálticos e tem grande influência no desempenho ao trincamento de pavimentos flexíveis. Um novo ensaio de energia de fratura foi desenvolvido por Roque et al. (2012) baseado na análise de elementos finitos tridimensional para determinar as tensões e deformações no plano de fratura, o que assegura a determinação precisa da energia de fratura. O objetivo geral desse estudo foi determinar as características do dano por fadiga de ligantes e mástiques asfálticos avaliando a energia de fratura. Em relação aos resultados de energia de fratura quanto ao tipo de fíler, os mástiques que apresentaram maiores valores de energia de fratura foram os compostos pelo fíler de pó calcário, enquanto o que apresentou o menor valor foram os compostos com cal hidratada. Porém, o efeito benéfico da presença do fíler mineral após o envelhecimento é muito mais notório para os mástiques compostos pelos fileres de cimento Portland e cal hidratada.

Palavras-chave: pavimento de concreto; armadura contínua; fissuração de retração; eficiência de transferência de carga.

ABSTRACT

The mechanical properties of asphalt mastic influence significantly the overall performance of hot mix asphalt, including design, construction, and performance. The fatigue damage and fracture in the hot mix asphalt are strongly related to binder characteristics, filler properties, interaction between the binder and filler, and is a phenomenon affected by microcrack development and growth in the mastic such as crack pinning. The mixture performance can be improved if the mastic is engineered to resist fracture and fatigue. Fracture energy is an important property related to fatigue resistance of binders and have a strong influence on the cracking performance of flexible pavement. A new binder fracture energy test was developed by Roque et al (2012) based on nonlinear 3-D Finite Element Analysis (FEA) to determination of stress and strain on the fracture plane, which in turn assures accurate determination of fracture energy.

The mastic behavior study is important to evaluate the effects of the filler mineral amount and the asphalt mixture mechanical properties, as well as the effect of different filler types and nature, and evaluate its influence on the asphalt binder stiffness and elasticity provided by the filler addition at different ratio filler/binder. The overall objective of this study was to determine the fatigue damage characteristics of asphalt binders and mastics by measuring the fracture energy. Regarding the fracture energy results about the filler type, mastics with highest fracture energy values were composed by limestone powder fillers, while the one with the lowest value being the composed with hydrated lime. However, the beneficial effect of the presence of mineral fillers after aging is more notorious for mastics composed of Portland cement fillers and hydrated lime.

Keywords: pavements; soil stabilization; rice husk ash; soil+cement; soil+lime.

1 • INTRODUÇÃO

A importância do papel do fíler mineral no comportamento das misturas asfálticas é reconhecida há muito tempo. O fíler mineral preenche os vazios entre as partículas dos agregados maiores das misturas asfálticas, e modifica as propriedades do ligante asfáltico, pois age como uma porção ativa no mástique (combinação de ligante asfáltico, fíler mineral e ar).

A qualidade do mástique influencia todas as respostas mecânicas das misturas asfálticas, assim como sua trabalhabilidade. O desempenho a fadiga, afetada pelo surgimento e desenvolvimento de microfissuras, está altamente relacionado com as características do ligante asfáltico, as propriedades do fíler mineral e a interação físico-químico entre eles, que é afetado, principalmente, pelas características de superfície e de finura do fíler mineral (KIM et al., 2003).

A rigidez do mástique asfáltico influencia nas tensões desenvolvidas e na resistência a fadiga a temperaturas intermediárias; afeta a susceptibilidade de deformação permanente das misturas asfálticas a altas temperaturas, e nas tensões desenvolvidas e na resistência ao trincamento a baixas temperaturas.

O dano e fratura por fadiga, um dos principais defeitos em misturas asfálticas, inicia-se com o microfissuramento coesivo e/ou adesivo e se propagam com o crescimento e aglutinamento das microfissuras. Uma vez que o fenômeno de trincamento é governado substancialmente pelas propriedades do mástique, o desempenho da mistura pode ser melhorado se o mástique é projetado para resistir a fratura e a fadiga.

Muitos pesquisadores, incluindo Bahia et al. (1999) e Smith e Hesp (2000) realizaram estudos sobre fadiga em ligantes e mástiques asfálticos. As principais conclusões desses estudos são que o dano por fadiga está fortemente relacionado com as características do ligante asfáltico, propriedades do fíler, interação entre ligante e fíler, e fenômeno que afeta o surgimento e desenvolvimento de microfissuras no mástique (KIM et al., 2003).

Castelo Branco et al. (2006) afirmam que o modo e frequência de carregamento e a temperatura são fatores que influenciam o desempenho de fadiga em misturas asfálticas; porém, análise realizadas pelos autores através de ensaios de tensão e deformação controlada para mástiques mostraram que as propriedades viscoelásticas lineares do material podem ser consideradas independentes do modo de carregamento utilizado.

Sabe-se que a energia de fratura de misturas asfálticas tem forte influência no desempenho ao trincamento de pavimentos flexíveis. A determinação precisa da energia de fratura em amostras em laboratório requer determinação precisa da deformação até a fratura, no instante da fratura, no plano que a fratura ocorre.

Acredita-se que a energia de fratura é um dos fatores limitantes de defeitos mais importantes para descrever e modelar o comportamento a fratura de misturas asfálticas. É definida como a energia necessária para iniciar a fratura na mistura. Estudos anteriores determinaram que a energia de fratura é um indicador real da resistência ao trincamento da mistura quando outras condições como estrutura de pavimento e tráfego são similares (SEDWICK, 1998).

A determinação da energia de fratura das propriedades dos componentes da mistura asfáltica (ou seja, propriedades dos agregados e ligantes asfálticos) pode ser utilizada no projeto de pavimentos. Baseado na energia de fratura de ligantes asfálticos é possível prever a energia de fratura das misturas asfálticas.

A energia de fratura é uma importante propriedade, relacionada com o dano por fadiga e a fratura do ligante asfáltico. A determinação da energia acumulada até a fratura no ligante asfáltico pode melhorar a habilidade de prever o desempenho ao trincamento nas temperaturas intermediárias. Assim, um ensaio que seja capaz de determinar a energia de fratura do ligante asfáltico pode prever melhor os parâmetros relacionados com a resistência a fadiga do ligante asfáltico.

Também é uma necessidade a determinação da energia de fratura da mistura a partir das propriedades dos seus constituintes (ou seja, propriedades dos agregados e do ligante asfáltico) para o propósito do projeto estrutural de pavimentos. Baseado na energia de fratura de ligantes asfálticos deve ser possível prever a resistência a fratura da mistura.

Atualmente, a maior parte das pesquisas realiza a caracterização de ligantes asfálticos através de métodos de ensaio tradicionais, como o Reômetro de Cisalhamento Direto (*Dynamic Shear Rheometer* - DSR), Reômetro de Viga a Flexão (*Bending Beam Rheometer* - BBR), Recuperação Elástica, Ductilidade, etc, com parâmetros tradicionais como o módulo de cisalhamento complexo (G^*), ângulo de fase (δ), etc., ou alguns parâmetros derivados desses ensaios, como a energia produzida e deformação na tensão máxima.

Um estudo recentemente realizado para o FDOT (*Florida Department of Transportation*) por ROQUE et al. (2009) mostrou que os métodos de ensaio existentes nas especificações atuais não prevê precisamente o desempenho ao trincamento a temperaturas intermediárias. De acordo com pesquisas anteriores, a análise da energia de fratura baseada no ensaio de tração direta pode prever o desempenho ao trincamento a temperaturas intermediárias de uma maneira melhor quando comparado aos outros ensaios para ligantes asfálticos. Porém, de acordo com Roque et al. (2012), o ensaio de tração direta tradicional apresenta deficiências cruciais em termos de obtenção de energia de fratura precisamente.

Um novo ensaio de energia de fratura para ligantes asfálticos foi desenvolvido por Roque et al. (2012) baseado na análise de elementos finitos tridimensional para a determinação das tensões e deformações no plano de fratura, que assegura a determinação precisa da energia de fratura. O uso da mecânica das fraturas é necessário para considerar fundamentalmente e precisamente os diferentes fatores que afetam o aparecimento e propagação das trincas em pavimentos asfálticos.

2 • OBJETIVOS

O objetivo geral desse estudo foi determinar as características do dano por fadiga de ligantes e mástiques asfálticos através da avaliação da energia de fratura.

3 • MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção dos mástiques asfálticos, dois ligantes asfálticos, com penetração 50/70 (0,1 mm) e 85/100 (0,1 mm), e três fileres minerais, cimento Portland, pó de calcário e cal hidratada foram selecionados para o estudo. As características dos ligantes asfálticos e dos fileres estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. As características reológicas do ligante e dos mástiques asfálticos pode ser consultado em Bardini et al. (2012)

TABELA 1 - Propriedades Físicas dos Ligantes Asfálticos

Ensaio	Método	50/70	85/100	Unidade
Penetração	D 5	50	102	0,1 mm
Ponto de Amolecimento	D 36	48,6	43,5	°C
Viscosidade Brookfield 135 °C	D 4402	377	252,5	cP
Viscosidade Brookfield 150 °C	D 4403	187	130	cP
Viscosidade Brookfield 177 °C	D 4404	69	52,5	cP

TABELA 2 - Propriedades dos Fileres Minerais

Filer	Massa específica	Superfície Específica
Mineral	(kg/m ³)	(m ² /kg)
Pó calcário	2749	280 – 350
Cal hidratada	2350	500 – 1500
Cimento Portland	3030	220 – 275

A energia de fratura foi determinada para ligantes e mástique asfálticos não envelhecidos e envelhecidos na Estufa de Vaso Pressurizado (*Pressure Aging Vessel – PAV*). Devido à falta de informação e pesquisas sobre qual método de envelhecimento é mais adequado para mástiques, o envelhecimento foi realizado de duas maneiras: (1) o convencional (ASTM D 6521-03a), aplicando 100 °C por 20 horas e; (2) um modificado, aplicando 60 °C por 100 horas, revolvendo a amostra a cada 20 horas.

As amostras de mástique foram submetidas ao ensaio de tração “*dog bone*”, desenvolvido por Roque et al. (2012), com e sem envelhecimento, nas relações filer/asfalto (f/a) de 0,6 e 1,2 para os fileres de cimento Portland e pó calcário, e para o filer de cal hidratada, na relação f/a de 0,3 e 0,6.

A preparação das amostras foi realizada de acordo com a norma “*Standard Method of Test for Determining the Fracture Properties of Asphalt Binder in Direct Tension (DT)*”, AASHTO Designation: T 314-02”.

O ensaio para a determinação da energia de fratura foi realizado na prensa universal MTS 810, que é um sistema de carregamento hidráulico de capacidade máxima de aplicação de carga de 100 kN, com uma célula de carga que realiza a medida e controle da força aplicada na amostra.

O procedimento consiste em aquecer o ligante ou mástique asfáltico, os moldes devem ser aquecidos aproximadamente na mesma temperatura do ligante, por três minutos. O molde deve ser colocado sobre uma base de moldagem não aderente, e na seção interna do molde de metal um agente antiaderente, como a glicerina, assim o corpo de prova pode ser retirado do molde sem deformação (Figura 1a). O molde deve ser preenchido com excesso com a amostra; depois se deixa o corpo de prova resfriar por, pelo menos, 30 minutos, e aparar a amostra com uma espátula aquecida. O formato final do corpo de prova está mostrado na Figura 1b.



FIGURA 1 - (a) Molde para o corpo de prova do ensaio de tração direta “dog bone”, e (b) Configuração final do corpo de prova preparado com o molde

A seguir, os corpos de prova, ainda dentro dos moldes, devem ser colocados na câmara de temperatura controlada dentro da prensa universal. Os corpos de prova devem permanecer na temperatura de ensaio por, no mínimo, 4 horas, para a estabilização da temperatura.

O corpo de prova deve ser retirado da câmara e cuidadosamente desmoldado. Se o corpo de prova ficar deformado, mesmo que muito pouco durante a desmoldagem, ou a desmoldagem não ocorrer de forma suave devido a falta de material antiaderente no molde, o corpo de prova deve ser descartado. A configuração da geometria final do corpo de prova está mostrada na Figura 2.



FIGURA 2 - Configuração da geometria final do corpo de prova do ensaio tração direta “dog bone”.

O corpo de prova deve ser colocado verticalmente e ficar livremente suspenso na prensa, pois qualquer pequeno desvio deformará o corpo de prova e o tornará inadequado para o ensaio. Colocar a abertura da parte superior do corpo de prova na prensa e inserir uma pequena barra de aço através dos orifícios. O dispositivo de aplicação da carga deve ser abaixado lentamente, colocando-se o orifício do corpo de prova suavemente na abertura do dispositivo do equipamento, inserindo-se, em seguida, uma barra de aço através dos orifícios das cabeças de carregamento, como mostrado na Figura 3a.

Após o corpo de prova alcançar a temperatura de ensaio, a taxa de carregamento deve ser escolhida de acordo ao tipo de material a ser ensaiado. Roque et al. (2012) realizaram ensaios em ligantes asfálticos puros e modificados, com polímero e SBS, e a taxa de carregamento inicial foi de 500 mm/

min. A configuração final do corpo de prova após o ensaio de fadiga está mostrado na Figura 3b.

Se os resultados do ensaio apresentam uma curva completa de tensão-deformação (ou seja, aumento da deformação com o aumento da tensão, até uma tensão máxima, que indica a ruptura da amostra, seguida do decréscimo de tensão com o aumento da deformação) então os resultados são aceitáveis e o procedimento de ensaio deve ser repetido em um corpo de prova diferente a taxas de carregamento maiores. Assim, os ensaios com os mástiques asfálticos mostraram que a taxa de carregamento de 100 mm/min é a mais adequada.

Para cada taxa de carregamento, o ensaio deve ser realizado em dois corpos de prova, e a diferença da energia de fratura entre as duas réplicas deve ser, no máximo, de 15%, e o valor médio deve ser considerado a de energia de fratura a esse nível de taxa de carregamento.

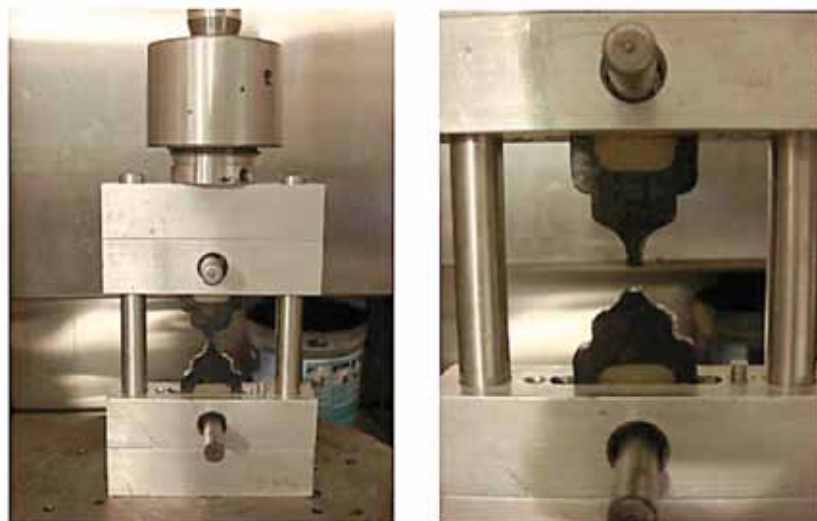


FIGURE 3 - (a) Disposição do corpo de prova na MTS, e (b) Configuração final após o carregamento.

Se ocorrer fratura prematura (ou seja, a curva incompleta de tensão-deformação, quando a deformação cresce com o aumento da tensão, e após o pico de tensão a deformação cessa), a amostra deve ser ensaiada a taxas de carregamento menores, até que o resultado do nível da taxa de carregamento não seja prematura. Se a fratura prematura ainda ocorrer, então a temperatura de ensaio deve ser alterada. A pesquisa de Roque et al. (2012) indica as características da curva tensão-deformação para cada tipo de ligante asfáltico ensaiado.

Para o cálculo preciso da energia de fratura do ligante asfáltico, a força medida deve ser transformada em tensão média e o deslocamento medido deve ser transformado em defor-

mação média na área da seção transversal central do corpo de prova, onde a fratura se inicia e se propaga. A Análise de Elementos Finitos Não-Linear pode ser utilizada para realizar esse procedimento de cálculo até certo nível de deformação, pois a fratura dúctil exibe um estreitamento devido à grande deformação até a ruptura, por isso, a análise de elementos finitos não é adequada para simular esse tipo de ruptura precisamente, mesmo com a formulação para grandes deformações (ROQUE et al., 2012).

A Figura 4 (a) e (b) mostram exemplos de fratura apropriada e fratura prematura do ensaio de energia de fratura, em que esse tipo de ruptura não é adequado para o cálculo da propriedade.



Figura 4 - Exemplo de fratura do corpo de prova no ensaio de tração direta "dog bone": (a) fratura apropriada; (b) fratura prematura

Um novo procedimento de análise dos dados de ensaio foi desenvolvido por Roque et al. (2012) para ajustar a menor deformação da solução por elementos finitos, considerando a estricção que ocorre em grandes deformações. Maiores detalhes dos passos de cálculo da energia de fratura utilizando esse procedimento pode ser consultado em Bardini (2013).

Como mostrado na Figura 5, após a aplicação desse método de cálculo o ponto inicial de trincamento fica bem claro. A energia após o ponto de fratura inicial não deve ser considerada no cálculo da energia de fratura, pois é a energia necessária para separar o corpo de prova ao meio, e não a energia necessária para iniciar o trincamento no ligante asfáltico. A energia de fratura deve ser calculada desde o começo da curva tensão-deformação até o último pico, que é o ponto de fratura.

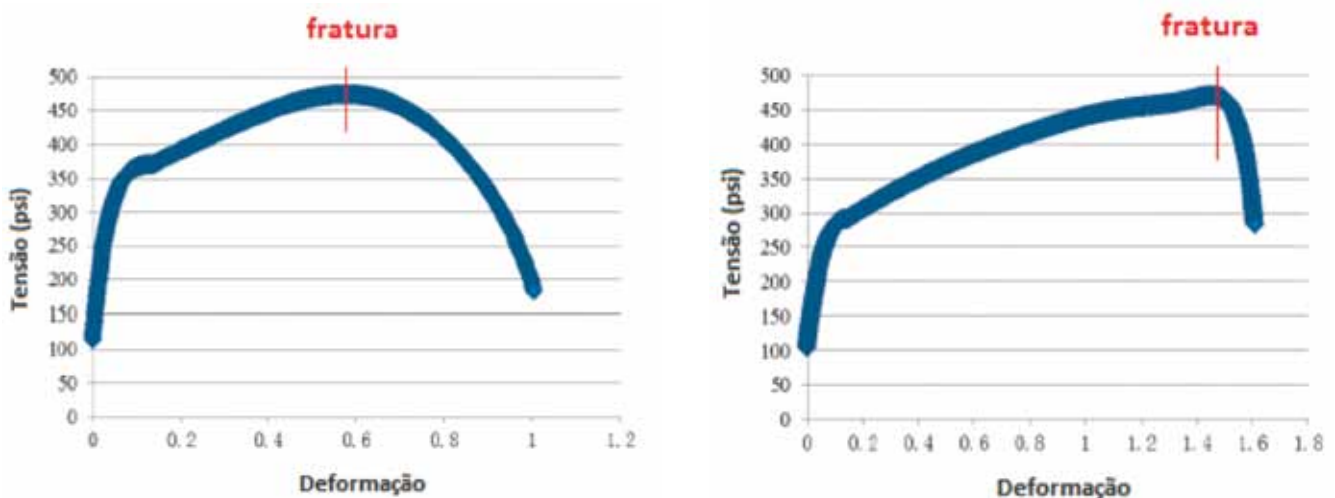


FIGURA 5 - Curva tensão-deformação pelo método de cálculo proposto por Roque et al. (2012)

Alguns pesquisadores calculam a energia de fratura com base na área total sob a curva tensão-deformação, do começo ao fim. Teoricamente, pode estar correto, porém, no ensaio desenvolvido na Universidade da Flórida, em parceria com o FDOT, isso pode não ser adequado. Durante a extensão até a ruptura, fraturas localizadas ocorrem primeiro no centro da seção transversal, antes da ruptura completa do corpo de prova ou sua divisão em duas partes. Assim, a energia além do ponto de fratura, que geralmente ocorre no pico de tensão no corpo de prova de tração direta, é a energia associada à quebra da área transversal restante do corpo de prova, após a fratura já ter ocorrido. Assim, não tem sentido incluir a energia além da fratura como parte da energia necessária para induzir a fratura (ou seja, a energia de fratura).

4 • RESULTADOS DE ENERGIA DE FRATURA

Primeiramente, o ensaio para determinação da energia de fratura foi realizado para os ligantes asfálticos puros, o CAP 50/70 e o CAP 85/100. Como já foi apresentado por Roque et al. (2012), a energia de fratura é independente da taxa de carregamento e da temperatura, e recomenda-se uma temperatura inicial de ensaio de 15 °C. Os ligantes asfálticos utilizados nesta pesquisa apresentaram ruptura dúctil, ou seja, um alongamento muito grande na seção transversal central, o que leva à determinação incorreta da energia de fratura. Assim, nesse estudo optou-se por realizar os ensaios na temperatura de 10 °C.

Em seguida, foi realizado o ensaio em amostras de ligantes asfálticos puros submetidos ao envelhecimento no PAV, com o procedimento convencional, ou seja, na temperatura de 100 °C por 20 horas; o ensaio foi realizado em várias taxas de carregamento e para a temperatura de ensaio de 15 °C. Finalmente, as amostras dos ligantes asfálticos puros, envelhecidos no PAV modificado (60 °C por 100 horas) foram submetidas ao ensaio, realizado em várias taxas de carregamento e para a temperatura de ensaio de 15 °C.

Os resultados de Roque et al. (2012) são referentes apenas a ligantes asfálticos puros e modificados, porém, para mástiques asfálticos, foi necessário validar se a energia de fratura é independente da temperatura e da taxa de carregamento.

Primeiramente, foi realizado o ensaio para os mástiques compostos com o cimento Portland e pó calcário ($f/a=0,6$ e $1,2$) e cal hidratada ($f/a=0,3$ e $0,6$), pois a mistura do ligante asfáltico com a cal hidratada na relação f/a de $1,2$ foi impraticável, devido à baixa massa específica do fíler, e conseqüentemente, o grande volume a ser incorporado nessa relação. Foram utilizadas duas temperaturas (15 e 20 °C) e várias taxas de carregamento. Em seguida, o ensaio foi realizado em amostras de mástiques, submetidos ao envelhecimento convencional na Estufa de Vaso Pressurizado (PAV) no procedimento usual, por 60 horas a 100 °C e o procedimento modificado, por 100 horas, na temperatura de 60 °C.

A Figura 6 apresenta o resumo das médias da energia de fratura para os mástiques compostos pelo CAP 50/70 e com os fileres de cimento Portland, pó calcário e cal hidratada. Pode-se perceber que a adição de fíler diminui o valor da energia de fratura quando comparado com o ligante asfáltico puro e

que maiores concentrações de fíler diminuem ainda mais esse valor, exceto para o fíler de cimento Portland.

A Figura 7 apresenta o resumo das médias da energia de fratura para os mástiques sem envelhecimento e com envelhecimento no PAV convencional (20h a 100°C), compostos pelo CAP 50/70 e com os fileres de cimento Portland, pó calcário e cal hidratada. Pode-se perceber que o envelhecimento diminui o valor da energia de fratura para o ligante asfáltico puro, porém, aumenta os valores de energia de fratura para os mástiques, exceto para o fíler de pó calcário na relação f/a de $1,2$. Pode-se perceber, também, que para os fileres de cimento Portland e cal hidratada o aumento da energia de fratura é maior em misturas com menor concentração de fíler.

A Figura 8 apresenta o resumo das médias da energia de fratura para os mástiques sem envelhecimento, com envelhecimento no PAV convencional (20h a 100°C) e com envelhecimento no PAV modificado (100h a 60°C), compostos pelo CAP 50/70 e com os fileres de cimento Portland, pó calcário e cal hidratada. Pode-se perceber que ambos os tipos de envelhecimento diminuem o valor da energia de fratura para o ligante asfáltico puro e que o PAV modificado apresenta uma menor diminuição da energia de fratura que o PAV convencional. Para os mástiques com menor concentração de fíler o envelhecimento aumenta consideravelmente o valor da energia de fratura, porém o tipo de envelhecimento parece não influenciar nos valores de energia de fratura. Para os mástiques com maior concentração de fíler, os diferentes tipos de envelhecimento apresentaram diferentes comportamentos, como por exemplo, para o fíler de cimento Portland, na relação f/a de $1,2$, em que o PAV convencional aumenta o valor da energia de fratura, porém o PAV modificado não altera o valor da energia de fratura.

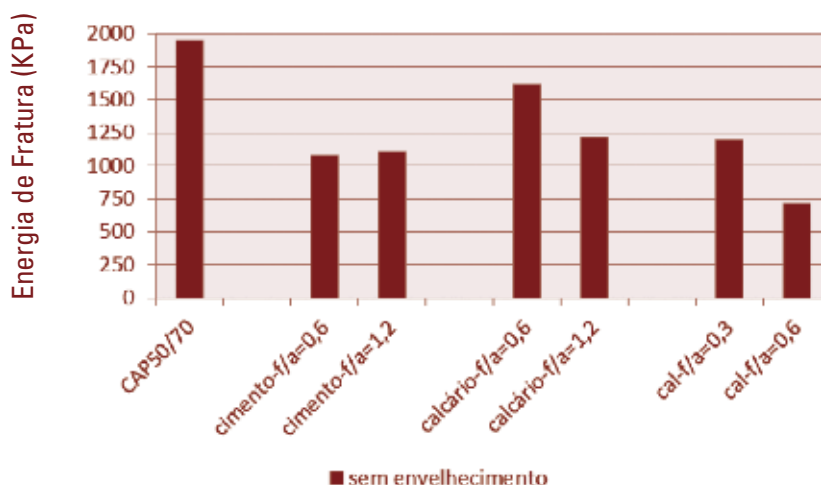


FIGURA 6 - Resumo das Médias da Energia de Fratura para mástiques compostos pelo CAP 50/70

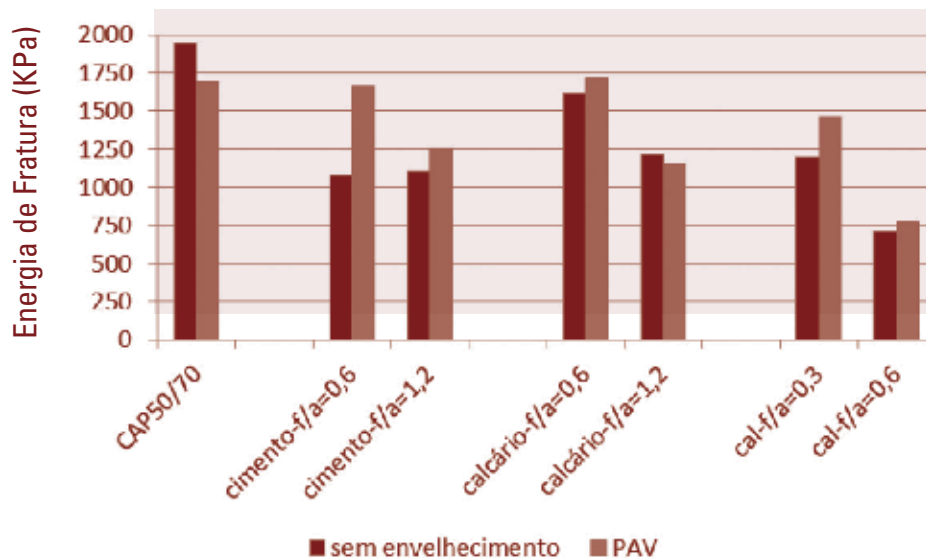


FIGURA 7 - Resumo das Médias da Energia de Fratura para mástiques compostos pelo CAP 50/70 sem envelhecimento e envelhecidos no PAV

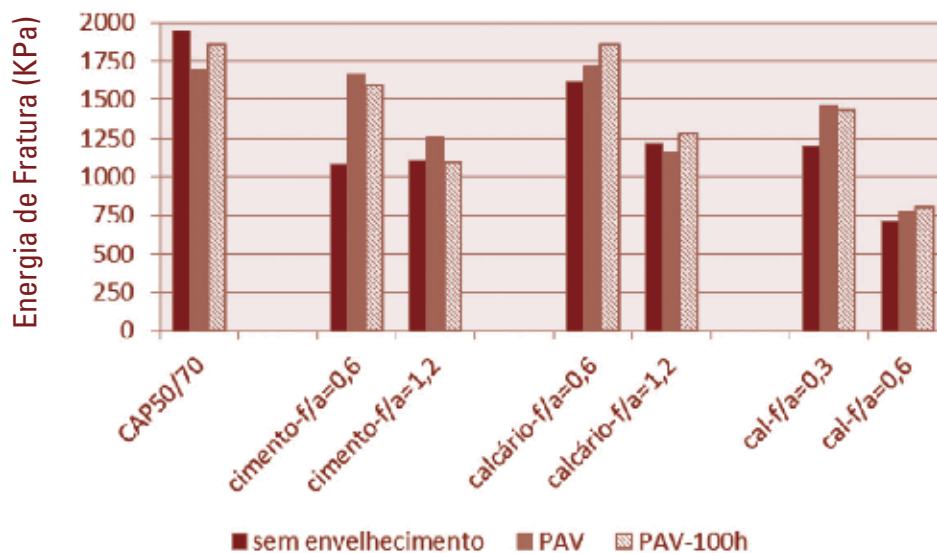


FIGURA 8 - Resumo das Médias da Energia de Fratura para mástiques compostos pelo CAP 50/70 sem envelhecimento, envelhecidos no PAV convencional e no PAV por 100 horas e a 60°C

A Figura 9 apresenta o resumo das médias da energia de fratura para os mástiques compostos pelo CAP 85/100 e com os fileres de cimento Portland, pó calcário e cal hidratada. Da mesma maneira que para os mástiques compostos pelo CAP 50/70, a

adição de fíler diminui o valor da energia de fratura quando comparado com o ligante asfáltico puro e que maiores concentrações de fíler diminuem ainda mais esse valor, inclusive para o fíler de cimento Portland.

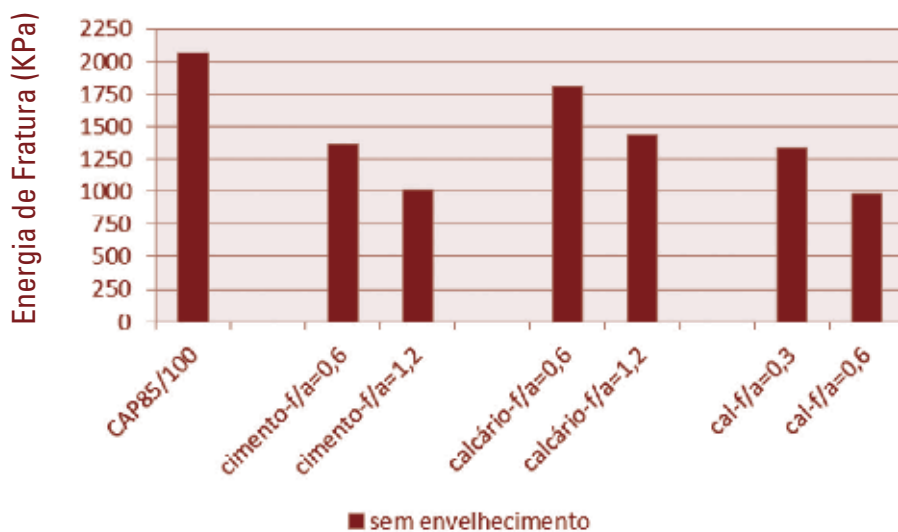


FIGURA 9 - Resumo das Médias da Energia de Fratura para mástiques compostos pelo CAP 85/100

A Figura 10 apresenta o resumo das médias da energia de fratura para os mástiques sem envelhecimento e com envelhecimento no PAV convencional (20h a 100°C), compos-

tos pelo CAP 85/100 e com os fileres de cimento Portland, pó calcário e cal hidratada.

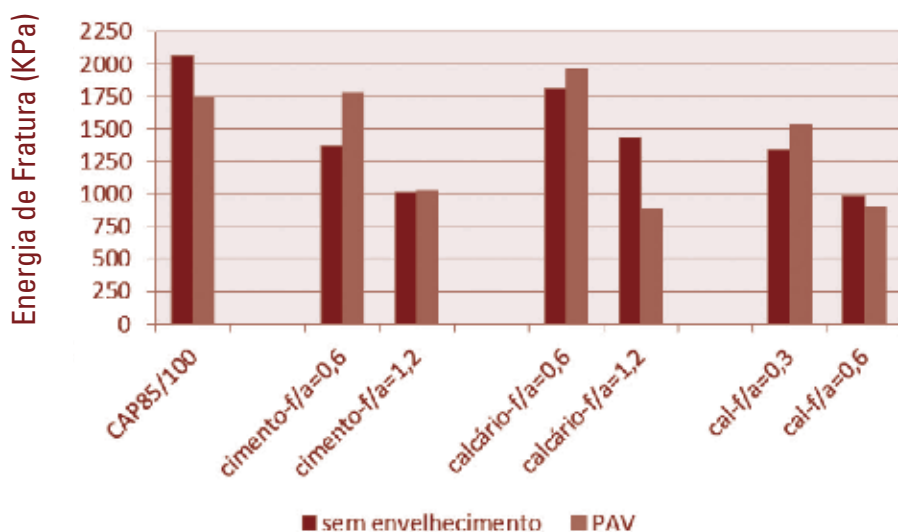


FIGURA 10 - Resumo das Médias da Energia de Fratura para mástiques compostos pelo CAP 85/100 sem envelhecimento e envelhecidos no PAV

Pode-se perceber que o envelhecimento diminui o valor da energia de fratura para o ligante asfáltico puro. Para os mástiques com menor concentração de fíler o envelhecimento aumenta consideravelmente o valor da energia de fratura. Para os mástique com maior concentração de fíler, o envelhecimento apresentara diferentes comportamentos: para o fíler de cimento Portland, na relação f/a de 1,2, e para o fíler de cal hidratada, na relação f/a de 0,6, o envelhecimento praticamente não altera o valor da energia de fratura, porém, para o fíler de pó calcário, na relação f/a de 1,2, o envelhecimento diminui o valor da energia de fratura.

A Figura 11 apresenta o resumo das médias da energia de fratura para os mástiques sem envelhecimento, com en-

velhecimento no PAV convencional (20h a 100°C) e com envelhecimento no PAV modificado (100h a 60°C), compostos pelo CAP 85/100 e com os fileres de cimento Portland, pó calcário e cal hidratada. Pode-se perceber que ambos os tipos de envelhecimento diminuem o valor da energia de fratura para o ligante asfáltico puro e que o PAV modificado apresenta uma menor diminuição da energia de fratura que o PAV convencional, da mesma maneira que ocorreu para os mástiques compostos pelo CAP 50/70. O envelhecimento no PAV modificado aumenta os valores da energia de fratura dos mástiques, exceto para o composto pela cal hidratada na relação f/a de 0,6.

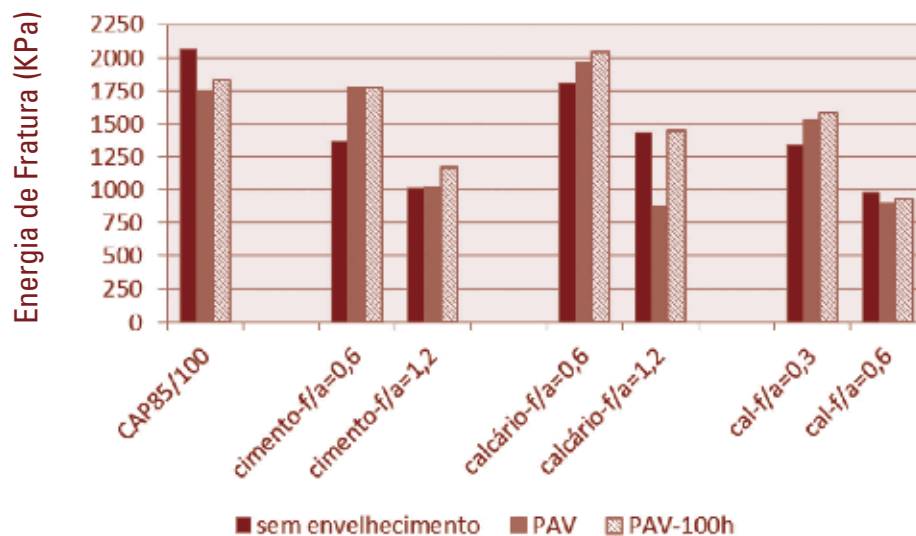


FIGURA 11. Resumo das Médias da Energia de Fratura para mástique compostos pelo CAP 85/100 sem envelhecimento, envelhecidos no PAV convencional e no PAV por 100 horas e 60°C

5 • CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados da energia de fratura dos ligantes (CAP 50/70 e CAP 85/100) e mástiques asfálticos não envelhecidos, a adição de fíler ao ligante puro diminuiu o valor da energia de fratura e, quanto maior o teor de fíler na mistura, menor o valor da energia de fratura. Como a energia de fratura é uma propriedade relacionada com a resistência à fadiga

de ligantes asfálticos, com a previsão do desempenho do trincamento nas temperaturas intermediárias, quanto menor a energia de fratura, menor a habilidade da mistura em resistir ao trincamento por fadiga. Conclui-se que a adição de fíler no mástique diminui a resistência ao trincamento por fadiga nas temperaturas intermediárias.

Em relação aos resultados da energia de fratura após o envelhecimento no PAV convencional (20 horas a 100 °C), quando com-


parados os valores do ligante asfáltico puro com os do mástique, a adição de fíler diminuiu o valor da energia de fratura, porém, essa diminuição é significativamente menor do que quando comparam-se o ligante puro e os mástiques sem envelhecimento. Assim, o envelhecimento aumenta a energia de fratura dos mástiques, o que aumenta a resistência ao trincamento por fadiga. Pode-se concluir que a presença de fíler na mistura durante o envelhecimento torna seus efeitos menos prejudiciais, porém, é necessário observar que isso ocorre apenas para teores baixos de fíler no mástique (relação f/a de 0,6 para o fíler de cimento Portland e pó calcário e 0,3 para o fíler de cal hidratada), pois para teores maiores de fíler a energia de fratura dos mástiques envelhecidos tem valores próximos aos sem envelhecimento.

Na análise dos resultados da energia de fratura após o envelhecimento no PAV modificado (100 horas a 60 °C), o efeito é o mesmo que o do PAV convencional, porém o aumento da energia de fratura dos mástiques envelhecidos no PAV modificado é maior, atingindo valores superiores, até mesmo ao do ligante asfáltico puro sem envelhecimento. Isso significa que o envelhecimento em temperatura menor e com a uniformização constante do mástique, visando simular da melhor forma a situação em campo, torna o mástique mais resistente aos efeitos do envelhecimento.

Em relação aos resultados de energia de fratura quanto ao tipo de fíler, os mástiques que apresentaram maiores valores de energia de fratura foram os compostos pelo fíler de pó calcário, enquanto o que apresentou o menor valor foram os compostos com cal hidratada. Porém, o efeito benéfico da presença do fíler mineral após o envelhecimento é muito mais notório para os mástiques compostos pelos fileres de cimento Portland e cal hidratada.

Recomenda-se a realização de ensaios na escala de matriz de agregado fino (mistura de ligante asfáltico, fíler e agregado fino) para avaliar a reologia e propriedades de fadiga, utilizando o “*Dynamic Mechanical Analyses*” (DMA), para complementar as avaliações para o mástique asfáltico e do próprio procedimento de ensaio de energia de fratura.

Referências Bibliográficas

- BARDINI, V.S.S.; KLINSKY, L.M.G.; FERNANDES JÚNIOR, J.L.; ROQUE, R. (2012) “Influência do fíler mineral no comportamento reológico de mástiques asfálticos”. *Revista Transportes*, v. 20, n. 3, pg. 19-26. DOI:10.4237/transportes.v20i4.603.
- BARDINI, V.S.S. (2013) “Influência do Fíler Mineral nas Propriedades de Misturas Asfálticas Densas” 337 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- BAHIA, H.U.; ZHAI, H., KOSE, S.; BONNETTI, K. (1999). “Non-linear viscoelastic and fatigue properties of asphalt binders.” *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 68, 1–34
- CASTELO BRANCO V.; MASAD E.; LITTLE D.; SOARES J. (2006) “Análise do dano por fadiga em amostras de mástique utilizando ensaios a tensão e a deformação controladas”. *Encontro de asfalto do IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás*.
- KIM, Y.R.; LITTLE, D.N.; SONG, I. (2003) *Effect of mineral fillers on fatigue resistance and fundamental material characteristics – mechanic evaluation. Transportation Research Record, Washington, n.1832, p1-8.*
- SEDWICK, S. C. (1998) “Effect of Asphalt Mixture Properties and Characteristics on Surface-Initiated Longitudinal Wheel Path Cracking”. *Dissertação (Mestrado). Department of Civil and Coastal Engineering, University of Florida, Gainesville*,
- SMITH, B.J.; HESP, S.A.M. (2000) *Crack Pinning in Asphalt Mastic and Concrete: Effect of Rest Periods and Polymer Modifiers on the Fatigue Life. 2nd Eurasphalt and Eurobitume Congress. Barcelona.*
- ROQUE, R., LOPP, G., LI, W., NIU, T. (2009) “Evaluation Of Hybrid Binder Use In Surface Mixtures In Florida” *Final report for FDOT BD-545 Contract, University of Florida, Gainesville, FL.*
- ROQUE, R.; NIU, T.; LOOP, G. (2012) *Development Of A Binder Fracture Test To Determine Fracture Energy Final report for FDOT BDK-75-977-27 Contract, University of Florida, Gainesville, FL.* 



TECNOLOGIA EXPERIMENTAL DE ALTA DURABILIDADE COM PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO PARA CORREDORES E TERMINAIS URBANOS

*Lucio Salles de Salles
José Tadeu Balbo*

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

O pavimento de concreto continuamente armado (PCCA) é caracterizado pela presença de uma alta taxa de armadura longitudinal localizada acima do meio da placa; essa armadura possibilita ao pavimento uma placa de concreto sem juntas. Diferentemente do pavimento de concreto simples (PCS), no PCCA não há uma indução da fissuração; as fissuras ocorrem de maneira aleatória, porém são mantidas fortemente apertadas pela armadura longitudinal proporcionando uma estrutura de alta durabilidade exigindo o mínimo de manutenção. Perante tais benefícios, decidiu-se construir quatro seções experimentais deste pavimento no campus da Universidade de São Paulo como uma solução alternativa à PCS para corredores urbanos. A maior diferença entre o PCCA experimental e aqueles encontrados na literatura técnica é a extensão; com o intuito de simular uma parada de ônibus, cada seção possui 50 metros de comprimento, curtas em comparação com os até 400 metros de comprimento encontrados em PCCA tradicionais. São apresentados dados de levantamentos de fissuras realizados durante quatro anos. A falta de ancoragem, aliada a presença de uma base asfáltica, fez com que a fissuração do PCCA curto fosse muito diferente daquela conceitual da estrutura. Uma das seções ainda não apresentou nenhuma fissura superficial. Entretanto, apesar do distinto padrão de fissuração, testes com *falling weight deflectometer* indicaram uma eficiência de transferência de carga (LTE) superior a 90% em todas as fissuras.

Palavras-chave: pavimento de concreto; armadura contínua; fissuração de retração; eficiência de transferência de carga.

ABSTRACT

The continuously reinforced concrete pavement (CRCP) is characterized by the presence of a high longitudinal reinforcement percentage located above the slab's middle; this steel allows a concrete slab without joints. Unlike jointed plain concrete pavements (JPCP), the CRCP has no cracking induction; the cracks occur randomly, but are held strongly tight by the longitudinal steel, thus, providing a highly durable structure that requires minimal maintenance. Given these benefits, it was decided to build four experimental sections of this pavement on the University of São Paulo's campus as a possible alternative to JPCP in buses corridors. The biggest difference between the experimental CRCP and those found in the technical literature is the length; in order to simulate a bus stop, each section is 50 meters long, short compared to traditional PCCA up to 400 meters long. Data from a four-year crack survey are presented. The lack of anchorage plus the presence of a hot-mix asphalt base made the short CRCP crack pattern to be very different from the traditional CRCP one. One of the sections did not present any surface crack yet. However, despite its diverse crack pattern, falling weight deflectometer tests disclosed a load transfer efficiency (LTE) above 90% for all cracks.

Keywords: concrete pavement; continuously reinforcement; shrinkage cracking; load transfer efficiency.

1 • INTRODUÇÃO

Devido a maior durabilidade e rigidez, o pavimento de concreto simples (PCS) tem sido executado com uma substituição ao pavimento asfáltico principalmente em rodovias de elevado número de tráfego ou vias de tráfego contínuo e canalizado como corredores urbanos. Neste tipo de via, os pavimentos asfálticos sofrem com as cargas lentas e pesadas principalmente em pontos de parada ou terminais em função da corriqueira ação de frenagem e aceleração do veículo, agravadas pelo clima tropical do país que em dias muito quentes diminui a rigidez da camada asfáltica.

Entretanto, problemas de escalonamento e esborcinamento nas juntas do PCS têm sido corriqueiros em idades muito jovens, abalando o conceito de maior durabilidade e menor manutenção de tal estruturas. Complementando a questão, dentre os seis principais motivos de danificação precoce de PCS citados por BALBO (2009), quatro fazem referência as juntas; sejam eles problemas no projeto ou na execução, os defeitos nas juntas de contração e em suas barras de transferência de carga são o principal resultado e indicador de uma falha jovem e anormal em um PCS no Brasil.

Devido à tendência natural e inexorável do concreto fissurar, tanto em estado fresco quanto endurecido, as juntas de

contração são típicas nos PCS. Neste tipo de pavimento, o mais importante aspecto no controle da execução é a indução de fissuras de retração hidráulica exatamente sob as juntas serradas. As fissuras descontroladas trazem além de prejuízo visual ao revestimento, sérios problemas estruturais que em geral reduzem bastante a expectativa de vida de serviço do pavimento.

O pavimento de concreto com armadura contínua ou continuamente armado (PCCA), diferentemente, possui como premissa a não indução de fissuras em juntas, pois essas são inexistentes, a menos quando frias ou de construção, o que muito os diferencia dos PCS. A fissuração aleatória nas longas placas de concreto em PCCA é controlada pela presença de armaduras contínuas dispostas acima da linha neutra da placa (Figura 1), que impede inclusive que essas fissuras se abram de maneira a se tornarem imperceptíveis ao rolamento dos veículos. Com isso, é possível a construção do pavimento sem corte (serragem) de juntas transversais. A diferença do PCCA com o pavimento de concreto armado (PCA) é que, não obstante o fato de a armadura no PCCA ser contínua em toda a extensão do pavimento, ela não tem nenhuma função estrutural, pois está disposta no banzo comprimido da seção transversal, acima da linha neutra, portanto, destinando-se somente ao controle da fissuração da placa (KÖHLER e ROESLER, 2004).





Figura 1 – Detalhe da armadura longitudinal nas seções experimentais

Na comparação financeira, para MUGA *et al.* (2009), o PCCA custa inicialmente 46% a mais do que o PCS; porém em estudos analisando os pavimentos num período de 35 anos, os custos com manutenção do PCS são 80% superiores aos do PCCA.

De acordo com KIM *et al.* (1998) a utilização do PCCA é preferível em áreas densamente urbanizadas onde o tráfego é intenso e paralisações em função de atividades de manutenção originam altos custos aos usuários das vias. Explicam os autores, que esta preferência é diretamente ligada à alta durabilidade e ao mínimo de manutenção requerido pelo PCCA. Diversos trabalhos apontam o PCCA como a estrutura de pavimento de maior durabilidade conhecida. Exemplares desse pavimento construídos nas décadas de 60 e 70 permaneceram em perfeito funcionamento por mais de 40 anos, suportando um tráfego muito maior do que para o qual foram dimensionados, recebendo as primeiras intervenções de manutenção pesada recentemente. (DOSSEY e HUDSON, 1994; TAYABJI *et al.*, 1995; MCCULLOUGH e DOSSEY, 1999; GHARAIBEH, *et al.*, 1999; STET *et al.*, 2001; WON, 2011).

Incentivado por anos de sucesso internacional comprovado foi executado o primeiro trecho experimental de PCCA do

Brasil no campus da Universidade de São Paulo (USP) em São Paulo no ano de 2010. São quatro seções de proposital curta extensão para simular o desempenho deste pavimento como uma parada de ônibus, situação crítica em infraestrutura viária. Devido ao surgimento da fissuração ser um processo aleatório, deve-se atentar na construção em climas quentes, como afirmam SCHINDLER e MCCULLOUGH (2002) e MCCULLOUGH e DOSSEY (1999). Estudos nacionais também chamam atenção para os efeitos do gradiente térmico em placas de concreto (PEREIRA e BALBO, 2001; RODOLFO e BALBO, 2009).

Este artigo traz o mapa de fissuras atualizado e discute suas principais diferenças em relação ao PCCA tradicional; e o resultado de testes com FWD para averiguar o funcionamento com base na transferência de carga das fissuras presentes nas placas.

1.1 • O PCCA experimental

Primeiramente apresentada por BALBO *et al.* (2012), as seções da pista experimental foram construídas entre julho e setembro de 2010, no período seco do inverno paulistano, com extensão de 50 m e largura de 5,05 m cada uma e sem ancoragem

em suas extremidades. O tráfego diário é composto de aproximadamente 800 ônibus urbanos junto com algumas dúzias de caminhonetes médias e 1,500 carros. As seções são compostas por camadas idênticas de sub-base com macadame seco (300 mm), base de concreto asfáltico (60mm) – relatórios de outros estudos apontam que bases asfálticas trabalham melhor do que granulares ou cimentadas (GHARAIBEH *et al.*, 1999; JOHNSTON e SURDAHL, 2006); o que também ocorre com PCS segundo BALBO (2014) - e de placas de concreto (240 mm); a única diferença entre as seções é a porcentagem de armadura longitudinal na seguinte forma: seção 1 (0,6%); seção 2 (0,7%); seção 3 (0,4%) ; e seção 4 (0,5%). A armadura transversal é composta de barras espaçadas 0.9 m entre si; todas as barras possuem diâmetro de 20 mm (aço CA-50). A resistência à tração na flexão de projeto do concreto foi fixada em 4,5 MPa (aos 28 dias). Não há ancoragem no final das seções, dando liberdade ao deslocamento longitudinal de placas de concreto, como seria no caso de construções em paradas de ônibus em corredores urbanos (sem laje de transição ou ancoragem). Nota-se que salvo a porcentagem de armadura longitudinal, as quatro seções possuem as mesmas características de projeto.

2 • PADRÃO DE FISSURAÇÃO

Primeiramente, a diferença mais notável entre a fissuração do PCCA de curta extensão e do PCCA tradicional é o tempo de fissuração. Como constatado por diversos estudos, espera-se que o PCCA comece a desenvolver fissuras, se não imediatamente após a construção, em no máximo dois meses após a concretagem; também era esperado que todo o processo de fissuração não durasse mais de dois anos (GHARAIBEH *et al.*, 1999; KOHLER e ROESLER, 2004; TAYABJI *et al.*, 1998a; TAYABJI *et al.*, 1998b). Para o PCCA de curta extensão, passou-se mais de um ano até que a primeira fissura fosse visível a olho nu na superfície da placa; e mesmo após dois anos da construção, a seção 2 apresenta apenas 2 fissuras e a seção 1 nenhuma. O mapa de fissuras conforme o seu aparecimento na superfície está representado na Figura 2 (setas horizontais mostram a direção em que o tráfego acessa a seção). O conhecimento básico da tecnologia de concreto convencional mostra que uma superfície de 50 m de concreto sem nenhuma fissura é de ocorrência bastante improvável; deve-se, então, considerar que as fissuras estão presentes em todas as placas desde a construção e o período de cura; entretanto, essas fissuras não estão visíveis na superfície em função de três principais razões: primeira, a curta extensão; segunda, não existe nenhum sistema de an-

coragem no final das placas, o que, por si próprio, permite o deslocamento horizontal do volume da placa; e terceira – e menos significativa – o concreto foi colocado sobre uma base de concreto asfáltico com 60 mm de espessura, o que criou uma forte quebra de ligação entre as interfaces, favorecendo também o descolamento da massa do concreto sobre a base durante a retração inicial. Essa combinação bastante particular combinação de não ancoragem e descolamento livre pode ajudar a esconder o mecanismo de retração, mas não o impede; as fissuras estão lá, somente impedidas de aparecer nos primeiros meses pelo elevado efeito de amarração da armadura longitudinal.

Outra discrepância significativa em relação aos conceitos clássicos do PCCA é o fato de que no PCCA de curta extensão, a porcentagem de armadura longitudinal tem um efeito contrário na fissuração; esperava-se que as placas com um maior percentual de armadura fissurassem mais; o que não ocorreu, as seções com menor taxa (3 e 4) apresentam um maior número de fissuras conforme mostram os estudos de GHARAIBEH *et al.* (1999) e NAM *et al.* (2007). Evidências do porquê isso ocorre podem ser encontradas ao analisar a temperatura ambiente durante o mês de agosto de 2010 na Figura 3. Todas as seções foram construídas em amenas temperaturas típicas das manhãs paulistanas (entre 10°C e 16°C). A grande diferença foi a variação da temperatura durante os dias seguintes; para a seção 1, houve uma grande queda de mais de 20°C na temperatura do dia seguinte à concretagem; entretanto, nos dias subsequentes, as variações de temperatura entre dia e noite foram mais amenas do que para as outras seções. As seções 3 e 4 claramente sofreram mudanças maiores. Variações na temperatura entre dia e noite impactam o gradiente térmico das placas que influente no empenamento; como o processo de cura (manta úmida) foi idêntico em todas as seções, é suposto que as seções 3 e 4 sofreram um empenamento mais severo durante os dias que seguiram da construção.

Em relação ao formato das fissuras, as seções 3 e 2 exibem fissuras divididas em um estágio inicial (Figura 4a), duas na seção 3 e uma na seção 2; como visto, este tipo de fissura é considerado como indesejável devido ao seu potencial de intersecção o que pode causar futuros *punchouts* (KOHLER e ROESLER, 2004); quanto ao formato serpenteado, todas as fissuras apresentam um estado bastante uniforme, mostrando pouco potencial para intersecções. Esborcinamentos pouco acentuados foram encontrados em duas fissuras na seção 3 (Figura 4b); futuros levantamentos indicaram se este problema evoluiu ou não.

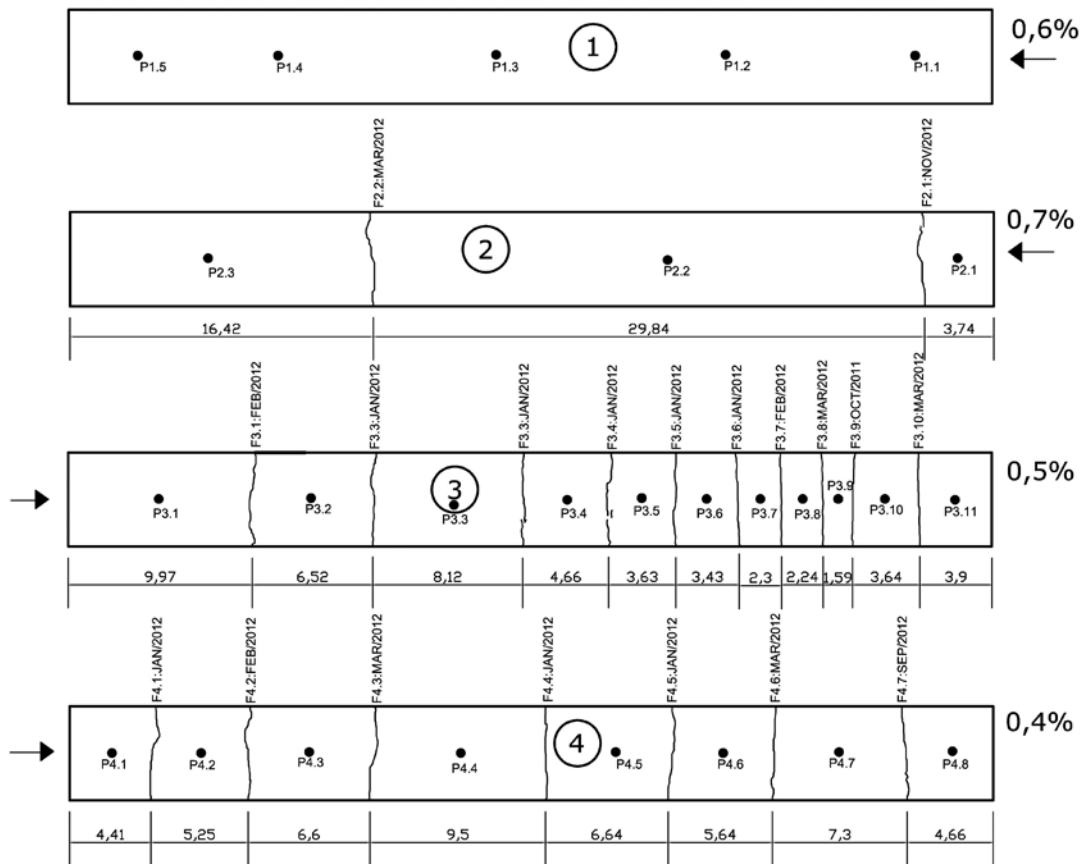


Figura 2 - Mapa de fissuras (atualizado: junho de 2014)

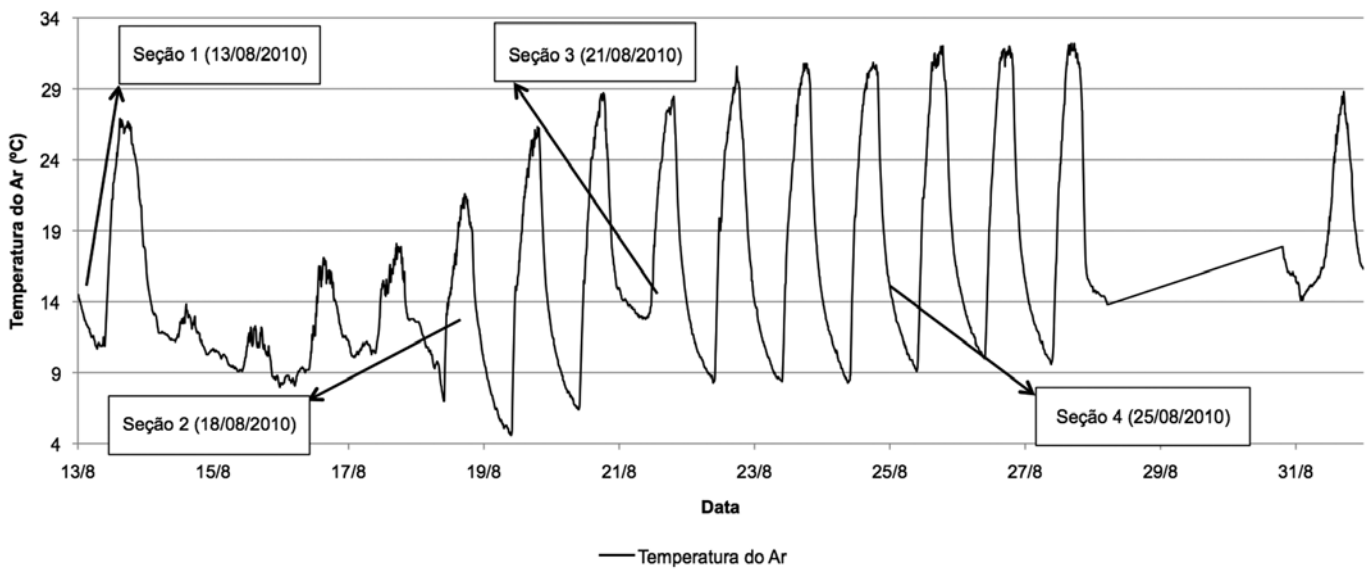


Figura 3 - Temperatura do ar durante o mês de construção

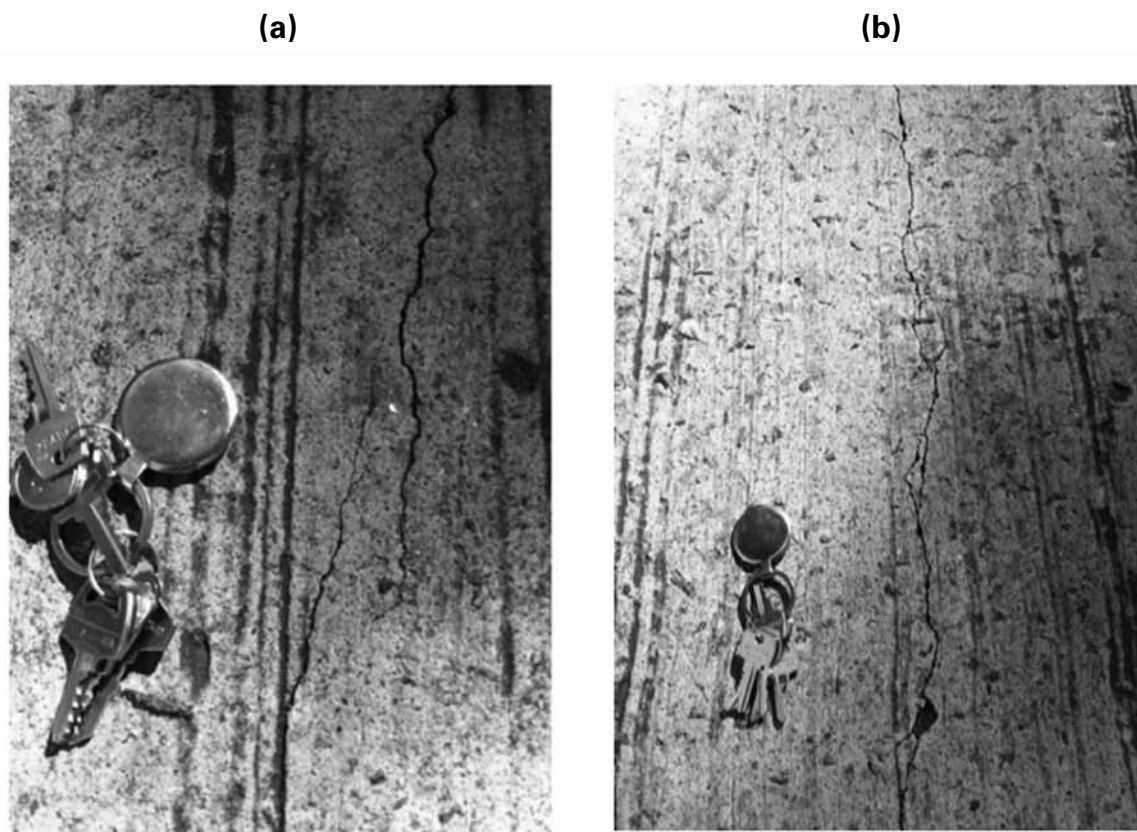


Figura 4 - Fissuras (a) divididas e (b) com início de esborcinamento

2.1 • Espaçamento e abertura de fissuras

As Figuras 5a e 5b mostram a evolução do espaçamento médio entre fissuras através do tempo e a distribuição percentual do espaçamento nas seções 3 e 4, respectivamente; na Figura 5a o comprimento total da seção (50 m) foi considerado como o espaçamento inicial; este valor só foi modificado com a visualização da primeira fissura em outubro de 2011 na seção 3, quase 400 dias após a construção. Com o aparecimento da primeira fissura, o espaçamento médio entre fissuras começou a diminuir mais rapidamente nas seções 3 e 4 até que alcançou um aparente patamar em dois anos. Na seção 2 a primeira fissura visível só foi identificada após 500 dias da construção e diferentemente das seções 3 e 4 o decréscimo do espaçamento tem sido mais lento. O espaçamento médio entre fissuras do PCCA curto (seções 3 e 4) é mais que o dobro daquele encon-

trado em PCCA tradicionais; uma diferença agravada pelo fato de que para o último o patamar de espaçamento é alcançado em menos de um ano. As linhas verticais na Figura 5b marcam o intervalo de espaçamento recomendado pelo guia de projeto da AASTHO (1993); o gráfico mostra que somente 27% do espaçamento da seção 3 pode ser considerado como ideal; também é visível que para ambas as seções não existem espaçamentos menores do que 1,5 m o que implica em uma pequena possibilidade de aglomeração de fissuras e consequentes *punchouts*; em relação aos *punchouts*, nenhum exemplo desde defeito foi encontrado em espaçamentos maiores do que 1,5 m na revisão técnica. A experiência com PCCA tradicionais mostra que a porcentagem cumulativa do espaçamento entre fissuras atinge 100% com um espaçamento menor que 3,0 m para pavimentos com dois anos de idade e que para pavimentos com um desempenho satisfatório, os limites recomendados pela AASTHO englobam de 50 a 90% do espaçamento (SCHINDLER e MCCULLOUGH, 2002; TAYABJI *et al.* 1998b).

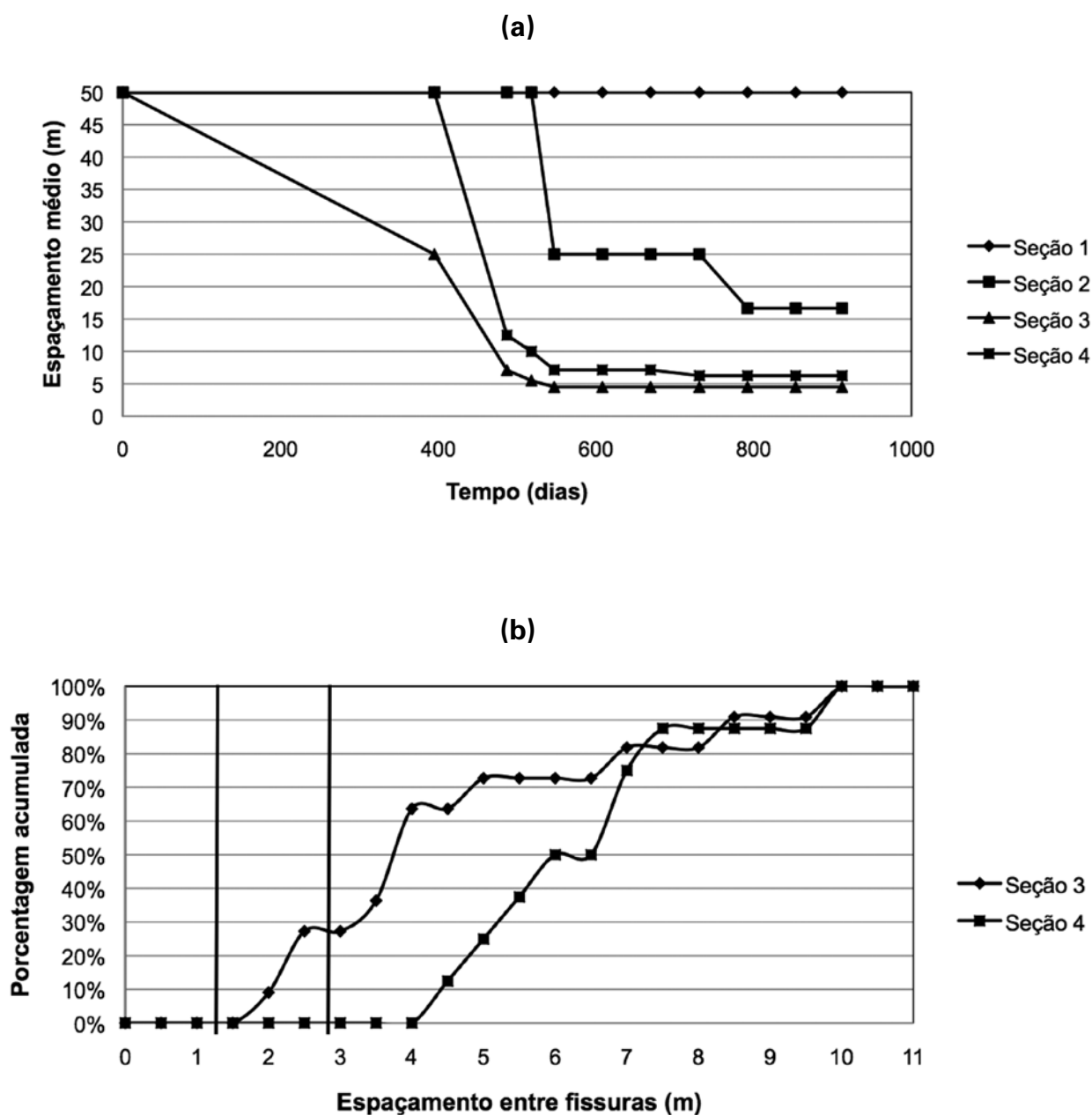


Figura 5 - Espaçamento entre fissuras: (a) Média *versus* tempo; (b) porcentagem acumulada

Por outro lado, de maneira análoga aos PCCA tradicionais, os levantamentos de abertura da fissura comprovaram a influência da porcentagem de armadura e principalmente da temperatura nesse parâmetro (TAYABJI et al., 1998a; TAYABJI et al., 1998b). A mensuração da abertura foi realizada com uma régua; este método, embora rápido, permite

somente a determinação da abertura na superfície do pavimento. A abertura média das fissuras no último levantamento, realizado em maio de 2013, foi de 0,17 mm para a seção 2, enquanto que as seções 3 e 4 apresentaram 0,55 e 0,33 mm, respectivamente; a temperatura média durante o levantamento foi de 16 °C.

Em contraste, em um dia quente de verão em janeiro de 2013, as médias foram de 0,1 mm (seção 2), 0,37 mm (seção 3) e 0,26 mm (seção 4). A temperatura alcançou os 27 °C naquele dia em particular; as duas fissuras na seção 2 estavam quase invisíveis. Um método mais preciso para a determinação da abertura da fissura em toda a espessura da placa está sendo estudado.

2.2 • Hipótese de fissuras não visíveis

A ideia original de que as fissuras estavam presentes em todas as placas, porém invisíveis, apresentada ganha força ao comparar a análise do teste de FWD realizado em novembro de 2011 e disposto na Figura 6. A placa de teste foi posicionada exatamente no meio das seções, ou seja,

a 25 m da junta transversal. Houve algumas dificuldades para a simulação correspondente das bacias de deformação reais, de campo, com as teóricas, obtidas com o programa EverFE (DAVIDS, 2004); estes problemas ocorreram proximidades no offset de 900 mm das seções 3 e 4; as seções 1 e 2 não apresentaram qualquer dificuldade no processo, o resultado para elas resultou em uma combinação de bacias quase perfeita. A Figura 2 comprova que as fissuras estavam na placa, entretanto seriam visíveis apenas no próximo levantamento; em janeiro de 2012 – data do levantamento seguinte – a seção 3 apresentou uma fissura visível a exatos 25,39 m do bordo da placa; o mesmo ocorreu com a seção 4, com uma fissura distanciada em 24,24 m da junta transversal. Como a seção 2 não apresentou problemas na equiparação de bacias, não era esperado que uma fissura fosse aparecer nos arredores do meio longitudinal da placa nos meses posteriores ao teste de FWD; a Figura 2 também atesta esta suposição.

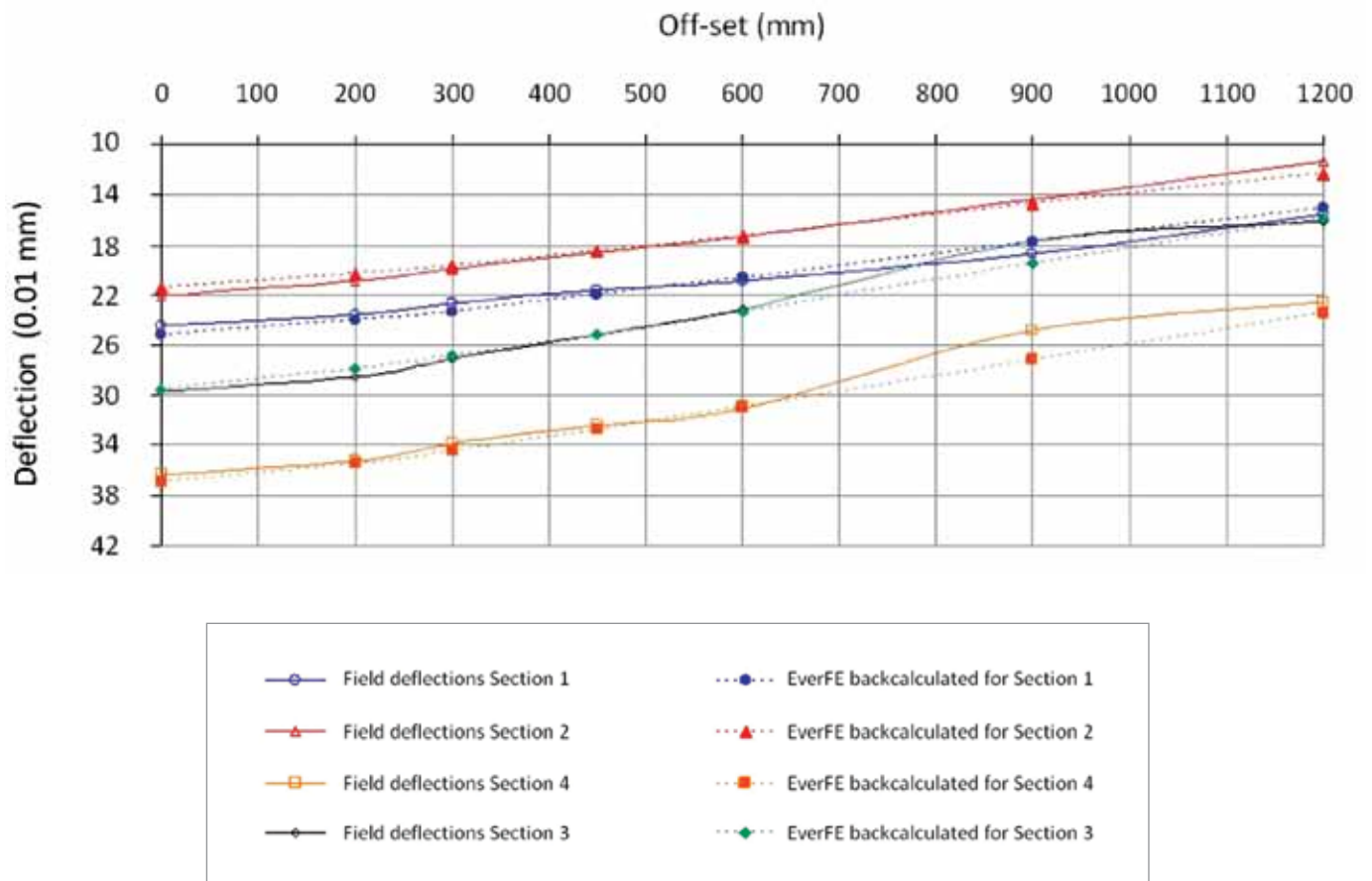


Figura 6 - Retroanálise de FWD realizado em outubro de 2011

3 • TESTE COM FWD

Através de aplicações de FWD no meio das placas, entre as fissuras nas seções 2, 3 e 4 e cada 10 m na seção 5 (pontos P na Figura 2) e aplicações tangenciais à fissura (Pontos F), foi possível traçar as bacias de deformação conforme mostram as Figura 7 e 8.

Primeiramente, nota-se que a menor deflexão máxima ocorre na maior placa formada entre fissuras, a P2.2 no meio da seção 2. Isso pode ser explicado pela maior taxa de armadura da seção o que lhe confere uma maior rigidez. Já as maiores deflexões máximas – valores acima de 25×10^{-2} mm incidiram justamente nas bordas transversais das seções. A falta de ancoragem nestes pontos elucidada o porquê deste fato; nestes locais a placa está mais livre para

deslocar-se e não incomum é a sensação de um deslocamento vertical quando um veículo pesado acessa ou sai da via. Apesar de sua maior taxa de armadura em relação às seções 3 e 4, a seção 1 apresenta o local (P1.1) com a maior deflexão máxima (38×10^{-2} mm) – bastante superior comparado ao segundo colocado, o ponto P4.1 (seção 4) com $31,4 \times 10^{-2}$ mm; isso ocorre porque há um afundamento no pavimento intertravado na junta com a pista experimental. Esse defeito já causou o escalonamento e a quebra do canto da placa. Também é interessante notar que os dois locais com os maiores deslocamentos são aqueles de acesso do veículo do pavimento intertravado para a pista experimental. Quanto ao formato, salvo a bacia P1.1, as bacias aparentam um contorno típico de pavimentos rígidos com uma diminuição de deflexões suave através dos leitores.

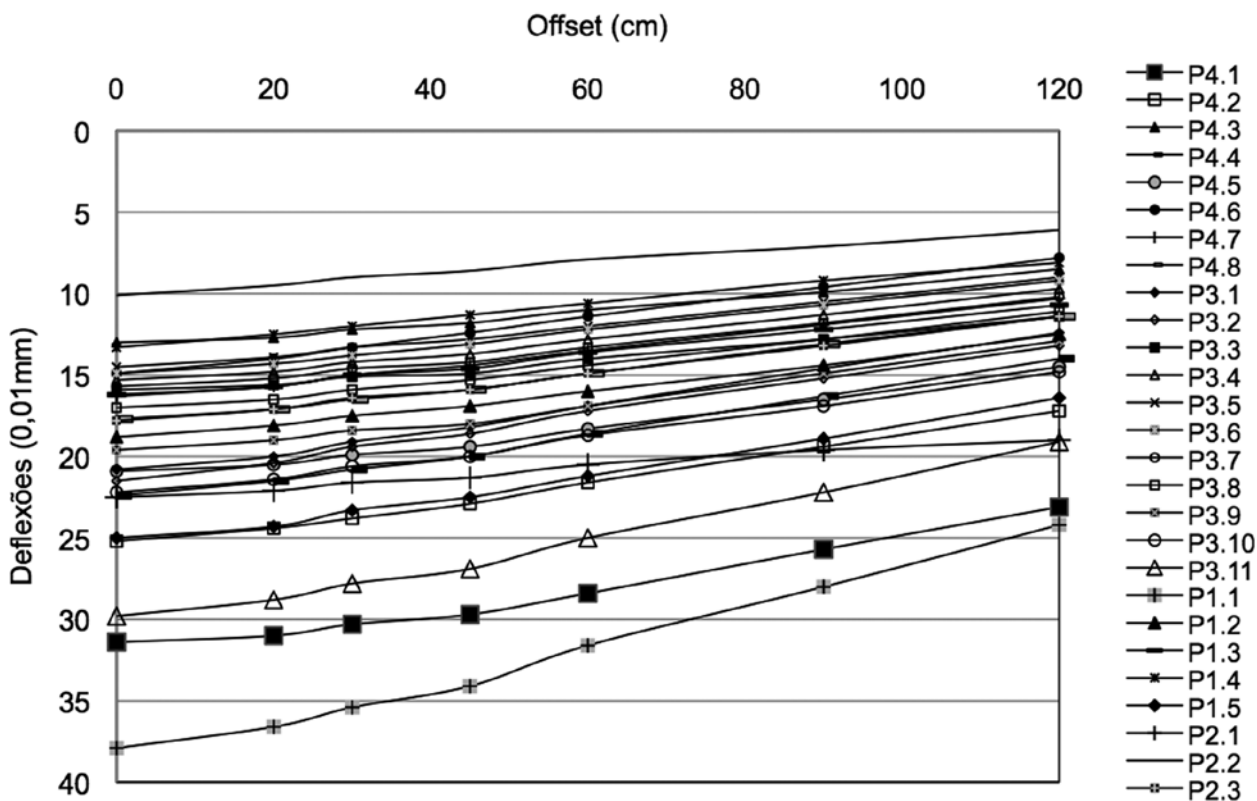


Figura 7 - Bacias de deflexão no meio de placa

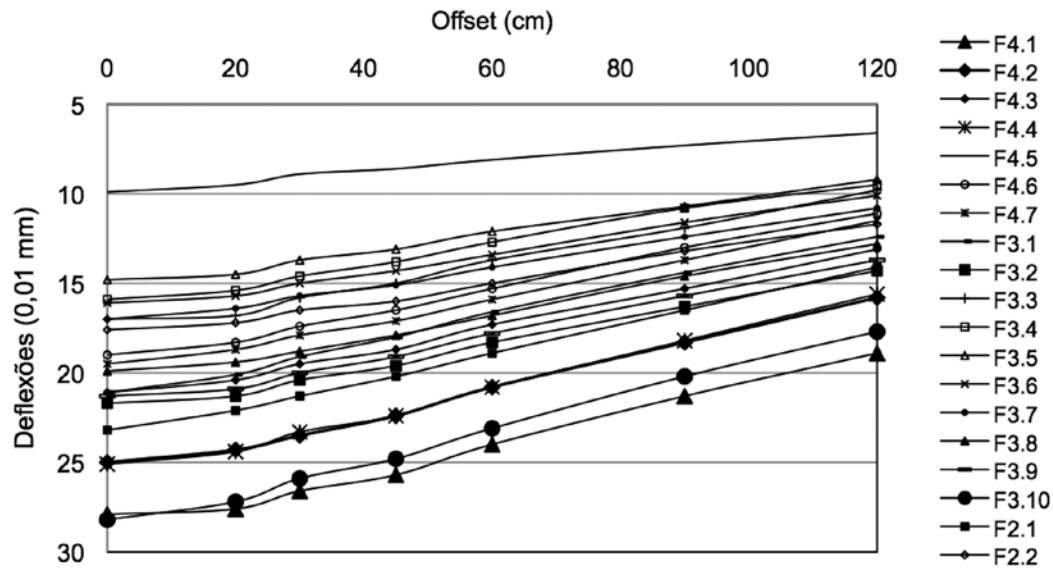


Figura 8 - Bacias de deflexão na fissura

Na Figura 7, observa-se a não ocorrência de valores muito elevados da deflexão máxima, conforme esperado, a maior distância da fissura em relação à borda livre da placa atenua os deslocamentos. Porém, novamente, as duas maiores deflexões máximas são de pontos próximos à borda (F3.10 e F4.1).

Não se notou um aumento significativo de deflexões quando se compara as medidas tomadas na fissura e no meio da placa em locais próximos – em alguns casos as deflexões medidas na fissura foram até inferiores. COLIM et al. (2011) evidenciou, em um PCS, que juntas sem a barra de transferência de carga sofriam deslocamentos muito superiores àqueles apresentados por juntas com o dispositivo. Apesar das juntas (fissuras) do PCCA não possuírem barras de transferência de carga, a pequena abertura das fissuras somada a força de ligação da armadura longitudinal mantém a placa íntegra, aumentando a rigidez e diminuindo as deflexões mesmo em uma descontinuidade física.

3.1 • Eficiência de transferência de carga (LTE) nas fissuras

Para determinar a LTE das fissuras, a maneira mais simples e mais corriqueiramente utilizada é aquela introduzida

por SHAHIN (1985); nela, a porcentagem de transferência de carga é determinada por meio de testes com aplicação de carga adjacente à fissura, sendo mensuradas a deflexão na placa sob a carga aplicada e a deflexão na placa sem o carregamento, ou seja, à mesma distância da fissura, sendo consideradas deflexões em simetria. O cálculo é realizado através da Equação 1.

$$LTE = \frac{\delta_2}{\delta_1} \times 100 \text{ [\%]} \quad (1)$$

Onde:

δ_1 = Deflexão na placa carregada;

δ_2 = Deflexão na placa sem carregamento.

A carga estipulada previamente no presente estudo foi de 60 kN em função da necessidade de um melhor detalhamento das leituras de deflexões, o que uma carga menor poderia não fornecer visto a elevada rigidez de um pavimento de concreto com altas taxas de armadura. A Figura 9 traz os resultados para cada fissura.

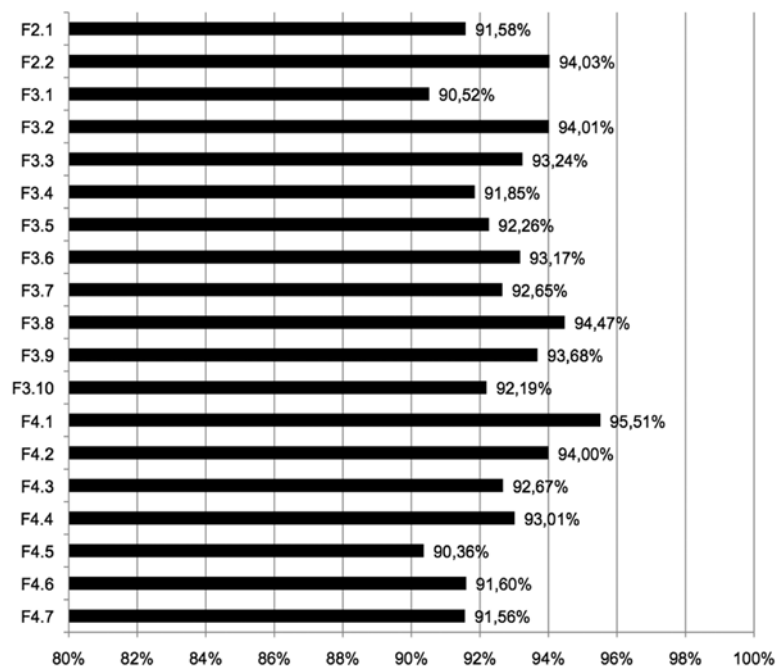


Figura 9 - LTE em cada fissura

A observação da Figura 9 permite as seguintes constatações:

- Todas as fissuras apresentaram um valor de LTE maior que 90% (média de 92,7%);
- Não foi possível observar qualquer influência da porcentagem de armadura longitudinal na LTE; esperava-se que as fissuras da seção 2 apresentassem os maiores valores, entretanto a média das três seções foi bastante similar;
- A fissura com o menor valor de LTE (90,52%) é a F3.1, posicionada no fim da seção 3; todavia, estranhamente, a fissura com o maior valor de LTE (95,51%) também encontra-se no limite de uma seção – seção 4 no caso. As deflexões nesta posição foram bastante altas conforme visto nas Figuras 7 e 8, entretanto, o maior ou menor deslocamento não parece influenciar no comportamento de transferência de carga na fissura;
- Conforme alguns pesquisadores confirmam, a influência do espaçamento também não foi observada nos valores do LTE. A Figura 10 mostra a relação entre o LTE e o espaçamento da placa carregada e da placa descarregada em cada fissura. Nota-se que nenhuma tendência é visível, ou seja, espaçamentos muito grandes como aqueles apresentados pela seção 2 não são prejudiciais à transferência de carga;

- Outro aspecto é que ao simular uma fissura nos pontos de aplicação no meio da placa e calcular a LTE resulta em valores de “transferência de carga” muito similares àqueles da Figura 9; isso significa que em relação à transferência de carga, a fissura do PCCA de curta extensão se comporta como um pavimento contínuo. Os dados da LTE simulada encontram-se na Tabela 1;

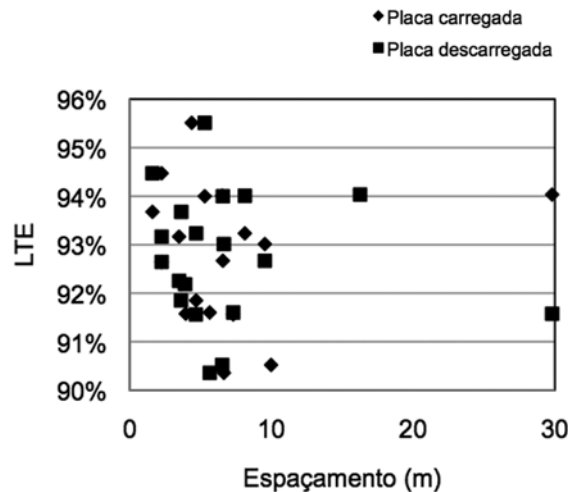


Figura 10 - Espaçamento versus LTE

Tabela 1 - Determinação da LTE fictícia

Ponto	Deflexões (0,01 mm)		LTE	Ponto	Deflexões (0,01 mm)		LTE
	0	30			0	30	
P4.1	31,4	30,3	96,50%	P3.7	15,7	14,6	92,99%
P4.2	25,2	23,8	94,44%	P3.8	17,0	15,9	93,53%
P4.3	13,0	12,2	93,85%	P3.9	19,6	18,4	93,88%
P4.4	22,4	20,8	92,86%	P3.10	22,2	20,6	92,79%
P4.5	20,9	19,9	95,22%	P3.11	29,8	27,8	93,29%
P4.6	14,9	13,3	89,26%	P1.1	37,9	35,4	93,40%
P4.7	16,3	15,0	92,02%	P1.2	18,8	17,5	93,09%
P4.8	17,7	16,5	93,22%	P1.3	16,2	15,0	92,59%
P3.1	20,8	19,1	91,83%	P1.4	13,3	12,0	90,23%
P3.2	21,5	19,4	90,23%	P1.5	25,0	23,3	93,20%
P3.3	15,9	15,1	94,97%	P2.1	22,5	21,6	96,00%
P3.4	15,3	14,2	92,81%	P2.2	10,1	9,0	89,11%
P3.5	14,5	13,3	91,72%	P2.3	17,8	16,4	92,13%
P3.6	14,9	13,8	92,62%				

8 • CONCLUSÕES

O padrão de fissuração das seções experimentais de PCCA de curta extensão foi bastante diferente do PCCA tradicional conforme consta na literatura técnica. Dessas dissimilaridades, a mais notável foi o anormal período de fissuração; levou mais de um ano para a primeira fissura aparecer na superfície da seção 3 e a seção 1 ainda não apresenta nenhuma fissura superficial. Além disso, a influência da porcentagem de armadura na fissuração foi inversa àquela dos PCCA tradicionais, seções com uma maior taxa de amadura apresentaram menos fissuras. Observações climáticas no dia de construção de cada seção apontaram que as seções 3 e 4 (menor taxa de armadura com maior número de fissuras) sofreram variações de temperatura dia/noite muito mais duras do que as seções 1 e 2. Apesar destas diferenças, os valores de abertura das fissuras foram similares àqueles encontrados em PCCA tradicionais; conforme esperado, o parâmetro diminuiu conforme a temperatura aumentava e também foi menor na seção com a maior taxa de armadura (seção 2). O processo de retroanálise de deflexões obtidas com FWD aplicado anteriormente ao surgimento da maioria das fissuras apontava dificuldades na equiparação de bacias reais e teóricas nas seções 3 e 4. Levantamentos de fissuras posteriores indicaram a presença de fissuras que na época do levantamento com FWD não estavam visíveis na placa. Esses indícios de fissuras não visíveis levam a crer que devido à curta extensão, à falta de sistema de ancoragem e à base rígida de material asfáltico, ocorreu uma livre movimentação da

massa de concreto nos primeiros dias durante a retração; esse fator retardou e/ou impediu as fissuras de alcançarem a superfície da placa, porém acredita-se que elas estejam na placa.

Novos testes com FWD na fissura e entre fissuras mostram deflexões compatíveis para um pavimento de concreto, salvo na região das bordas, onde em função da falta de ancoragem, os deslocamentos verticais são maiores. Na análise da eficiência de transferência de carga, todas as fissuras, inclusive aquelas próximas à borda, apresentaram um desempenho altamente satisfatório (LTE maior que 90%). O cálculo da LTE fictícia entre as fissuras (meio de placa) e a similaridade das deflexões na fissura e entre fissuras mostram que o PCCA se comporta como uma estrutura contínua mesmo em uma descontinuidade física como a fissura.

Perante tais resultados e a confiança internacional depositada no desempenho do PCCA, é esperado que a tecnologia ganhe espaço na pavimentação nacional para vias que necessitem estruturas de alta durabilidade e que requeiram um mínimo de manutenção como os corredores de ônibus.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte fornecido ao estudo por meio do processo # 98/11629-5 e a CAPES (Ministério de Educação) pela bolsa concedida ao primeiro autor.

Referências Bibliográficas

- AASHTO. (1993) *Guide for design of pavement structures*. AASHTO, Washington D.C.,
- BALBO, J. T. (2014). *Bases asfálticas para pavimentos de concreto: To build or not to build?*. *Revista Pavimentação, ABPv*, 31, p. 25 – 39.
- BALBO, J. T. (2009). *Pavimentos de concreto. Oficina de Textos*, São Paulo.
- BALBO, J. T.; MASSOLA, A.; PEREIRA, D. (2012). *Structural aspects of the experimental CRCP in São Paulo. Proceedings of the 10th International Conference on Concrete Pavements, International Society for Concrete Pavements, Quebec*.
- COLIM, G. M.; BALBO J. T.; KHAZANOVICH, L. (2011) *Effects of temperature changes on load transfer in plain concrete pavement joints. Ibracon Structures and Materials Journal, Vol. 4, p. 405-437*.
- DAVIDS, W. (2004). *EverFE: Software for the 3D Finite Element Analysis of Jointed Plain Concrete Pavements*. (Available at: <http://www.civil.umaine.edu/everfe/>).
- DOSSEY, T.; HUDSON, W. R. (1994). *Distress as function of age in continuously reinforced concrete pavements: models developed for Texas pavement management information system. Transportation Research Record, v. 1455, p. 159 – 165*.
- GHARAIBEH, N. G.; DARTER, M. I.; HECKEL, L. B. (1999). *Field performance of continuously reinforced concrete pavement in Illinois. Transportation Research Record, v. 1684, p. 44 – 50*.
- JOHNSTON, D. P.; SURDAHL, R. W. (2006). *Effects of base type modelling long-term pavement performance of continuously reinforced concrete sections. Transportation Research Record, v. 1979, p. 93 – 101*.
- KIM, S. M.; WON, M.; MCCULLOUGH, B. F. (1998) *Numerical modeling of continuously reinforced concrete pavement subjected to environmental loads. Transportation Research Record, v. 1629, p. 76 – 88*.
- KOHLER, E.; ROESLER, J. (2004). *Active crack control for continuously reinforced concrete pavements. Transportation Research Record, v. 1900, p. 19 – 29*.
- MCCULLOUGH, B. F.; DOSSEY, T. (1999). *Considerations for high-performance concrete paving. Recommendations from 20 years field experience in Texas. Transportation Research Record, v. 1684, p. 17 – 24*.
- MUDA, H. E.; MUKHERJEE, A.; MIHELICIC, J. R.; KUEBER, M. J. (2009) *An integrated assessment of continuously reinforced concrete and jointed plane concrete pavements. Journal of Engineering Design and Technology. v. 7, N° 1, p. 81 – 98*.
- NAM, J. H.; KIM, D. H.; CHOI, S.; WON, M. C. (2007) *Variation of crack width over time in continuously reinforced concrete pavement. Transportation Research Record, v. 2037, p. 3 – 11*.
- PEREIRA, D. S.; BALBO J. T. (2001) *Gradientes térmicos em whitetopping ultradelgado na pista experimental instrumentada da USP. Transportes, v.9, p. 69-87*.
- RODOLFO, M. P.; BALBO, J. T. (2009) *Novo critério de dimensionamento de pavimentos de concreto simples para as cargas ambientais e do tráfego. Revista Pavimentação, v. Ano IV, p. 23-33*.
- SCHINLDER, A. K.; MCCULLOUGH, B. F. (2002). *Importance of concrete temperature control during concrete pavement construction in hot weather conditions. Transportation Research Record, v. 1813, p. 3 – 10*.
- SHAHIN, M. Y. (1985). *Use of the falling weight deflectometer for the non-destructive deflection testing of jointed concrete airfield pavements. Proceedings of the 3rd International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, p. 549-556*.
- STET, M. J.; LEEST, A. J. (2001) *CRCP: A long-lasting pavement solution for today's motorways, the Dutch experience. 7th International Conference on Concrete Pavements, Orlando*.
- TAYABJI, S. D.; STEPHANOS, P. J.; ZOLLINGER, D. G. (1995). *Nationwide field investigation of continuously reinforced concrete pavements. Transportation Research Record, v. 1482, p. 7 – 18*.
- TAYABJI, S. D.; STEPHANOS, P. J.; GAGNON, J. S.; ZOLLINGER, D. G. (1998a) *Performance of Continuously Reinforced Concrete Pavement. Volume II: Field Investigations of CRC Pavements. FHWA-RD-94-149, FHWA, U.S. Department of Transportation*.
- TAYABJI, S. D.; ZOLLINGER, D. G.; VEDEREY, J. R.; GAGNON, J. S. (1998b) *Performance of Continuously Reinforced Concrete Pavements. Volume III: Analysis and Evaluation of Field Test Data. FHWA-RD-94-180, FHWA, U.S. Department of Transportation*.
- WON, M. C. (2011). *Continuously reinforced concrete pavement: identification of distress mechanisms and improvement of mechanistic-empirical design procedures. Transportation Research Record, v. 2226, p. 51 – 59*.



METODOLOGIA DE ADEQUAÇÃO QUÍMICA E AMBIENTAL DO AGREGADO SIDERÚRGICO PARA USO EM LASTRO FERROVIÁRIO

*Daniel Pinto Fernandes
Gilberto Fernandes ¹*

1 Exército Brasileiro • Instituto Militar de Engenharia (IME)

2 Exército Brasileiro • 1º Batalhão de Engenharia de Construção (1º BEC)

3 Exército Brasileiro • 1º Grupamento de Engenharia (1º Gpt E)

4 Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero)

RESUMO

Para cada tonelada de aço produzida as siderúrgicas brasileiras geram cerca de 150 kg da chamada escória de aciaria. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo precípua a caracterização e adequação química e ambiental da escória de aciaria, a fim de suportar a decisão em indicar o uso deste material em larga escala como lastro de ferrovias. A caracterização da escória de aciaria foi desenvolvida nos laboratórios da UFOP, a partir dos ensaios propostos pela ABNT. Por meio dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais foi possível concluir que a escória de aciaria LD possui características que as qualificam como material competitivo em relação aos convencionalmente utilizados em construção ferroviária em termos geo-mecânicos, porém apresentam certas desvantagens como o alto teor de cal livre que proporciona uma expansão volumétrica do material com posterior desagregação. No campo ambiental é um resíduo classe IIB, não perigoso e inerte. A alternativa técnica de emprego da escória é uma excelente ferramenta para redução de passivo ambiental em projetos de engenharia ferroviária.

Palavras-chave: A caracterização da escória de aciaria; uso deste material; Resíduo Classe IIA

ABSTRACT

For each tonne of steel produced the Brazilian steel industry generates about 150 kg of slag call. In this context, this work aimed to characterize the main chemical and environmental suitability and slag from the steel works to support the decision to indicate the use of this material in large scale as ballast for railroads. The characterization of slag from steel works was developed in the laboratories of the UFOP from the testing proposed by the ABNT. Through the results obtained in laboratory tests it was possible to conclude that the LD slag from steelworks has characteristics that qualify as competitive in relation to material conventionally used in railway construction in geo-mechanics, but has certain disadvantages such as high content of lime providing a free volume expansion of the material with subsequent fragmentation of the material. In the environmental field is a class IIB residue, not dangerous and inert. The alternative of use of steel slag is a excellent tool for reduction of environmental passive.

Keywords: Characterization of Slag Steel; Used in Railway; A Class IIA Residue.

1 • INTRODUÇÃO

Segundo dados do DNIT (2007) a malha ferroviária brasileira voltada para o serviço público de transporte de carga tem 28,5 mil quilômetros de extensão e participa com cerca de 25% na distribuição da matriz de transporte do Brasil. Sua operação é realizada por intermédio de concessões à iniciativa privada.

A matriz de transporte de cargas do Brasil fornece subsídios para a compreensão das dificuldades inerentes à superação do desafio de implantação de uma matriz eficiente para o transporte de cargas no Brasil que se assemelhe à de países desenvolvidos, onde a maior parte do transporte de cargas é feita por meio de ferrovias (AECB, 1991).

A privatização de serviços de transporte no Brasil aumentou com inegável êxito nos últimos anos. No caso do setor ferroviário, as realizações de destaque incluem o desmanche das onerosas organizações que operavam e administravam o sistema e os ganhos significativos de produtividade obtidos pelas concessionárias privadas.

Ainda com base em dados do DNIT (2007), entre 2003 e 2005 o volume de investimentos promovidos pelas concessionárias de ferrovias brasileiras cresceu 215%, atingindo R\$ 3,37 bilhões no ano de 2006. Esse indicador é reflexo do processo de revitalização e crescimento do setor nos últimos três anos com aumento da produtividade, segurança do transporte de carga e criação de postos de trabalho.

O setor ferroviário é um dos que mais cresce no país, com um aumento brutal da produtividade, determinando o surgimento de uma nova geração de ferroviários com a criação de empregos e a mudança gradual na matriz de transporte de carga no Brasil. Em cinco anos a participação das ferrovias subiu de 20,83% para 25%. Isso mostra uma trajetória de crescimento sustentável do setor (Brasil em questão, 2007).

Ainda assim, o grande desafio do momento é a adoção de medidas que possam minimizar as distorções observadas nas

ferrovias e compensá-las de forma adequada com a matriz de rodovias. A malha ferroviária precisa ser direcionada para formar corredores de escoamento produtivo na direção dos portos. A existente, em sua maior parte, está necessitando de manutenção urgente, pois apresenta graves problemas de conservação, adequação, atualização técnica e ainda existem várias regiões distantes e muito carentes de ligação ferroviária (FERNANDES, 2007).

Por outro lado, expansão e atualização necessitam de tecnologia inovadora para fazer face à escassez de recursos financeiros enfrentados até pouco tempo. Um exemplo seriam avanços tecnológicos que contemplem elaboração de projetos com materiais alternativos e reciclados, cuja viabilidade econômica e ecológica seria maior.

Este trabalho mostra um estudo sobre materiais nesta linha citada anteriormente, as escórias de aciaria, que por definição, são resíduos da fusão de metais ou da redução de minérios. Elas são os materiais restantes após a combustão ou tratamento industrial de uma substância. Existem dois tipos de escórias siderúrgicas produzidas em larga escala: A de alto-forno, que é resultante da fusão redutora dos minérios para obtenção do ferro gusa (obtido diretamente do alto forno, em geral com elevado teor de carbono e várias impurezas), e a de aciaria, que é resultante da produção do aço obtida em conversores a oxigênio e fornos elétricos, durante a conversão do ferro gusa líquido e sucata em aço (ARAÚJO, 1997).

No Brasil são utilizados para a produção e refino do aço os seguintes processos: OH (Open Heart) que utiliza o forno Siemens-Martin, elétrico ou EAF (Eletric Arc Furnace) que utiliza o forno de arco elétrico e o LD (Linz-Donawitz) ou BOF (Blast Oxygen Furnace) que utiliza o conversor a oxigênio. E são responsáveis por cerca de 1,9%, 20,2% e 77,9% da produção de aço e conseqüentemente de escória, respectivamente (Machado, 2000; IBS, 2002; CASTELO BRANCO, 2004). A Tabela 1 mostra a produção do aço bruto no Brasil por processo de refino.

Tabela 1 - Produção de aço bruto por processo de refino, no Brasil (IBS, 2002; CASTELO BRANCO, 2004)

Processo	105 toneladas	Forno de refino
OH	0.5	Forno Siemens-Martins
Elétrico	5.4	Forno de arco elétrico
Oxigênio (LD/BOF)	20.8	Conversor a oxigênio

Os assuntos relativos a resíduos industriais são tratados no Brasil, seguindo as normas técnicas para definição e classificação de resíduos, elaboradas pela ABNT em 2004 (NBR-10004, 10005 e 10006), nas quais são consideradas como resíduos sólidos industriais os resíduos em estados sólido e semi-sólido que resultam da atividade industrial, como, por exemplo, a siderurgia na produção do aço, incluindo-se também os lodos provenientes das instalações de tratamento de águas residuárias, aqueles gerados em equipamentos de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou cursos d'água, ou exijam, para isso, soluções economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível. As decisões técnicas e econômicas tomadas em todas as fases da gestão dos resíduos sólidos industriais (manuseio, acondicionamento, armazenagem, coleta, transporte e disposição final) deverão estar fundamentadas na classificação dos mesmos e levando em consideração o

seu potencial de contaminação no meio ambiente, tanto no curto, médio e longo prazo.

A ABNT (2004) editou um conjunto de normas para padronizar a classificação dos resíduos:

- NBR 10004 - Resíduos Sólidos - Classificação
- NBR 10005 - Lixiviação de resíduos - Procedimento
- NBR 10006 - Solubilização de resíduos - Procedimento
- NBR 10007 - Amostragem de resíduos - Procedimento

Do ponto de vista ambiental, mundialmente, as escórias são classificadas como resíduos sólidos da produção do aço, mas este conceito tem sido mudado para uma classificação como co-produto, que pode ser utilizado como matéria-prima ou insumo para outros processos, principalmente em países mais desenvolvidos (Tabela 2).

Tabela 2 - Aplicações da escória de aciaria (IBS, 2003)

Aplicação	Brasil (%)	Demais países (%)
Recicl. p/Alto-Forno	-	17,4
Lastro P/Ferrovias	6,2	0,6
Bases de Estrada	46,6	23
Prod. de Cimento	-	3
Cobertura Aterro	-	3,7
Asfalto	-	5,4
Prep. Terrenos/Aterros	15	23,5
Estocagem	30,9	19,5
Outros Usos	1,3	3,8

Tendo em vista os fatos citados anteriormente, estudos do comportamento desses novos materiais, já comumente utilizados são extremamente relevantes para que se possa dar credibilidade e confiabilidade ao seu uso.

2 • MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo foram utilizadas amostras de escória de aciaria proveniente do processo LD.

A amostragem do material foi realizada no pátio de estocagem utilizando os procedimentos indicados na NBR 11541 – Amostragem de Material para Lastro Para Via Férrea, editada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Para o material em estudo foi coletada uma amostra com cerca de 1.500kg. O material coletado foi levado e ensaiado nos laboratórios de Ferrovias e Asfalto, Materiais de construção e Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto – Universidade Federal de Ouro Preto no estado de Minas Gerais / Brasil. A seguir é apresentada a figura 2 que ilustra a área onde foi desenvolvido o tratamento da escória de aciaria LD.



Figura 2 - Figura que ilustra a área de desenvolvimento do tratamento da escória de aciaria

A escória proveniente de uma siderúrgica de Minas Gerais, após o período de resfriamento e cristalização, passou por um processo de separação granulométrica antes de seguir para o pátio de estocagem, onde recebeu um tratamento com base na hidratação do material de maneira intermi-

tente no tempo durante um período de 45 dias. O período de tratamento foi muito importante para que houvesse a umectação da fração graúda da escória de aciaria, provocando assim a expansão dos óxidos de cálcio e magnésio presentes no material.

A metodologia adotada para o alcance dos objetivos traçados foi à caracterização química da escória de aciaria por meio da determinação do teor de cal livre, presente na composição do material, para isso, utilizou-se como referência o método de ensaio prescrito na NBR NM 13 - Determinação de óxido de cálcio livre pelo etilenoglicol, editada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Esta norma especifica a determinação do óxido de cálcio livre por dissolução em etilenoglicol e subsequente titulação em solução padronizada de ácido clorídrico (HCl), utilizando-se uma mistura como indicador de pH. Devemos deixar claro que este método não diferencia óxido (CaO) de hidróxido $[Ca(OH)_2]$ e não determina o cálcio que está quimicamente combinado em solução sólida com o FeO e o MnO, ou na forma de silicatos. Entretanto para o nosso estudo os resultados deste teste são extremamente relevantes.

A caracterização física do material estudado constou da realização dos seguintes ensaios: Granulometria, abrasão “Los Angeles”, resistência às intempéries, resistência ao choque “Tretón” e formato do material. Todos os ensaios relacionados foram realizados no laboratório de Ferrovias e Asfalto da Universidade Federal de Ouro Preto.

A caracterização ambiental da escória foi desenvolvida de acordo com a Norma Brasileira Registrada NBR 10004/2004, que classifica os resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, indicando quais resíduos devem ter manuseio e destino mais rigidamente controlados. A classificação baseou-se nas características dos resíduos reconhecidamente perigosos e em listagem de padrões de concentração de poluentes.

Segundo a NBR 10004, os resíduos podem ser classificados em 2 classes:

- Resíduo Classe I – Perigosos.
- Resíduo Classe II – Não Perigosos.
- Resíduo Classe IIA – Não inertes.
- Resíduo Classe IIB – Inerte.

Sendo os resíduos Classe I ou Perigosos, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar riscos à saúde pública provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças, e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou disposto de forma inadequada.

Os resíduos Classe IIA, ou resíduos não-inertes, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que não se enquadram na Classe I ou na Classe IIB. Estes resíduos podem ter propriedades tais como, combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

Resíduos Classe IIB, ou resíduos Inertes, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que submetidos ao Teste de Solubilização, conforme a norma NBR 10006, não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões definidos na listagem nº. 08 (Padrões para o Teste de Solubilização).

Os Resíduos que, submetidos ao Teste de Lixiviação, conforme NBR 10005/04, apresentarem teores de poluentes no extrato lixiviado em concentração superior aos padrões constantes na listagem nº. 07 (Concentração – Limite Máximo no Extrato obtido no Teste de Lixiviação) são classificados como perigosos. Os valores padronizados nessa listagem referem-se exclusivamente a alguns metais pesados e pesticidas.

3 • RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após os ensaios realizados nos laboratórios da Universidade Federal de Ouro Preto foi possível caracterizar a amostra de resíduo escoria de aciaria LD. Estes ensaios seguiram as normas ABNT que classificam os resíduos sólidos produzidos em qualquer atividade industrial.

Os resultados referentes à caracterização química da amostra em termos de teor de cal livre presente na composição da escória estão apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Ensaio de teor de cal livre presente na escória

Ensaio da avaliação do teor de cal livre- NBR NM 13	
Período de Umectação	Quantidade de CaO livre
Ensaio no período T=0.	8,02
Ensaio no período T=1.	7,09
Ensaio no período T=2.	3,11

Por meio da análise dos resultados apresentados, podemos avaliar que o teor de cal presente na composição da escória de aciaria LD se encontra em desconformidade com as prescrições da AREMA (Associação Americana de Engenharia Ferroviária e Manutenção) que sugere um máximo de 3% de cal livre presente na escória para que não haja uma expansão destrutiva e a fragmentação da partícula. Este fato pode ser correlacionado com a grande adição de cal virgem no final do processo de refino do aço com a intenção de promover uma proteção mais eficiente ao refratário do cadinho.

A distribuição granulométrica da escória estudada (Figura 3) foi estabelecida de acordo com as especificações da ABNT. Os materiais para que sejam utilizados como materiais de lastro ferroviário devem apresentar uma granulometria superior a 12,7 mm, salvo uma pequena tolerância de 5% da massa total, segundo a NBR 5564. O material estudado apresentou um módulo de finura de 8,78 uma dimensão máxima característica de 63,5mm e foi classificado com uma fração mais grossa que a faixa especificada pela referida norma.2

Os resultados referentes à caracterização geo-mecânica do material estudado estão apresentados a seguir.

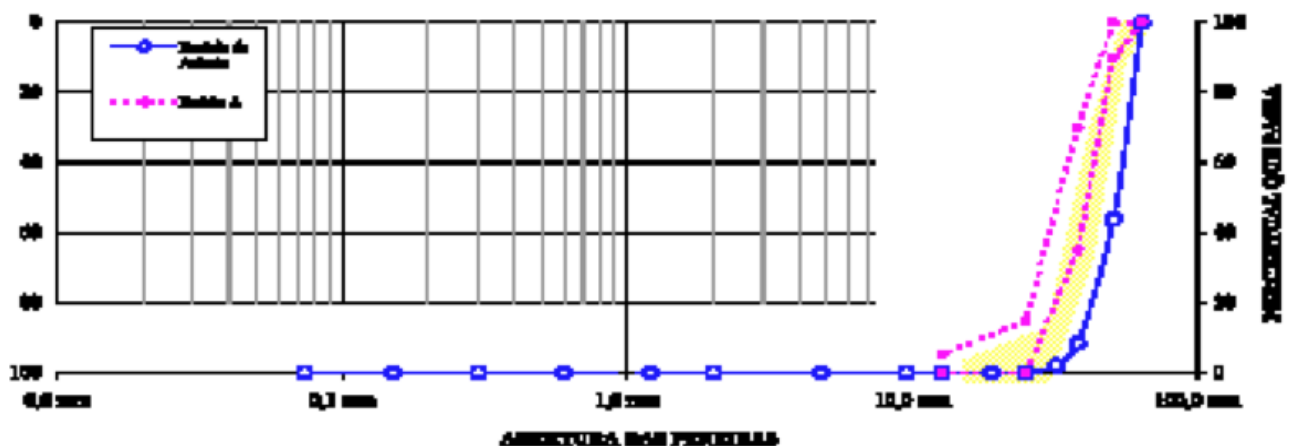


Figura 3 - Enquadramento da curva na faixa padrão A da ABNT

A quantidade excessiva de material na parcela fina é prejudicial à boa funcionalidade do lastro, diminuindo suas propriedades de drenagem, podendo dar a ele uma maior rigidez devido à ocupação dos vazios. Nesse caso, o processo de cimentação pode ser facilitado se houver a presença de água e compostos químicos solubilizados.

O ensaio de abrasão Los Angeles (Tabela 4) mostra que o material se encontra apto neste quesito para ser utilizado na confecção de lastro ferroviário. A abrasividade está diretamente ligada à vida útil do lastro ferroviário.

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de Abrasão Los Angeles

Material	Graduação da amostra	Número de esferas	Abrasão Los Angeles (%)
Escória	E	12	11,0

O limite máximo para a abrasão Los Angeles recomendado pela AREMA (2002) para escória de aciaria é de 30%, mas resultados muito baixos para abrasão como os encontrados para a escória em estudo, podem representar materiais altamente abrasivos a outros materiais. Desta forma, podem aumentar o desgaste mecânico dos equipamentos utilizados nas operações de manutenção da via e acrescer também os custos com manutenção.

Os resultados dos ensaios de resistência à intempérie após 40 ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio e secagem em estufa estão mostrados na tabela 5. Este ensaio simula os possíveis danos provocados pelas intempéries após anos de deposição dos materiais no ambiente.

Tabela 5 - Determinação da Resistência à intempérie

Material	Massa inicial total do corpo-de-prova (g)	Massa inicial total do corpo-de-prova (g)	Resíduos gerados (%)
Escória	655,86	648,85	1,07

O material apresentou uma relação entre os pesos final e inicial bem pequena (1,07%). Entretanto, observou-se que haviam bastantes resíduos depositados no fundo do frasco com solução de sulfato no qual o corpo-de-prova do material foi imerso. Além disso, 2 dos 4 fragmentos do corpo-de-prova apresentaram trincas bem evidentes e todos os fragmentos

mesmo após a lavagem e secagem apresentavam-se impregnados pelo sulfato.

A tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios de resistência ao choque para o materiais estudado. O material apresentou resistência ao choque dentro dos limites estabelecidos por norma de lastro padrão.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de resistência ao choque Treton

Material	Nº de fragmentos	Número de golpes	Resistência ao choque (%)
Escória	20	10	11,80

Da mesma forma que o ensaio de Abrasão Los Angeles, o enquadramento deste índice aos limites de norma pode conferir ao lastro ferroviário uma elevada vida útil, com intervalos de manutenção maiores, o que aumentando a disponibilidade operacional do trecho onde o material for empregado.

O formato de um material representa os limites exteriores da matéria de que é constituído um corpo e que conferem a este um feitio, uma configuração, um aspecto particular. A tabela 7 apresenta a classificação da forma do material estudado segundo a NBR 6954 e pela metodologia elaborada por RAYMOND e DIYALJEE (1979).

Tabela 7 - Determinação da forma do material estudado

Material	Relação B/A	Relação C/B	Relação A/ C	Classificação NBR 6954	Classificação RAYMOND e DIYALJEE (1979)
Escória	0,81	0,75	1,70	Cúbica	Cúbica

De acordo com a classificação proposta pela norma de lastro padrão, o material estudado apresentou forma cúbica. Na classificação proposta por RAYMOND e DIYALJEE (1979), o material apresentou também forma cúbica, em concordância com a classificação anterior.

A predominância da forma cúbica na amostra de escória estudada é, sem dúvida, um ponto a seu favor no que se diz respeito à aplicabilidade desse resíduo siderúrgico como material de lastro ferroviário, pois grãos com formas cúbicas, diferentemente das com formas lamelares, facilitam o intertravamento dando assim maior rigidez à camada de lastro e, conseqüentemente, à via.

4 - CONCLUSÕES

As características apresentadas pela escória de aciaria a qualifica como material competitivo em relação aos convencionalmente utilizados em construção ferroviária.

Sua angulosidade e a forma equidimensional dos grãos de escórias de aciaria possibilitam a formação, após socaria, de

uma forte estrutura intertravada que exhibe uma alta rigidez e excelente resistência à deformação. Por essas características, as escórias de aciaria criam um sub-latro e/ou lastro com melhores propriedades mecânicas quando comparada a agregados convencionais.

As vantagens econômicas da utilização das escórias como agregados para ferrovias são resultantes das possibilidades de implantação de camadas mais graúda de lastro e sub-latro mais fina para a mesma resistência à carga/compressão e durabilidade, em relação à aplicação de materiais convencionais, como areia e brita. Evidentemente, o custo do transporte até a obra é um fator determinante na escolha do agregado pelo construtor (IBS, 1999).

No entanto, dependendo do teor de CaO e/ou MgO presentes nas escórias de aciaria, ocorrerá uma reação de expansão que poderá provocar um aumento de volume das escórias de aciaria tal que cause sua desintegração e enfraquecimento. Portanto, a estabilidade volumétrica é um critério chave para o uso das escórias de aciaria como material de construção. Para se alcançar tal estabilidade volumétrica num prazo razoável é necessário que se trate as escórias de aciaria.

Devido ao processo de produção do aço, as escórias de aciaria possuem em sua composição química altos teores de óxidos de cálcio e ferro, cujos valores se mostram acima dos aceitáveis para lastro. Já o alto teor de óxido de cálcio favorecerá a formação de CaO livre, que junto com o óxido de MgO, também livre, são os principais responsáveis pela expansão das escórias de aciaria quando hidratados.

Os ensaios de lixiviação e solubilização para parâmetros inorgânicos foram realizados e os resultados de acordo com as normas NBR 10004, 10005 e 10006 classificou o resíduo originário da amostra como classe II A (Não Perigoso- Não Inerte) por apresentarem teores de alumínio na amostra solubilizada acima do limite máximo permitido.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte integrante de uma ampla pesquisa de caracterização tecnológica de materiais para lastro ferroviário desenvolvido pelo Laboratório de Ferrovias e Asfalto da Universidade Federal de Ouro Preto. Os autores gostariam de agradecer a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), a Usiminas e a Fundação Gorceix pelo apoio na realização dos ensaios.

Referências Bibliográficas

- AECB. *O Papel da Ferrovia na Política Nacional de Transportes. 1º Encontro Nacional Ferroviário. ENFER. Associação de Engenheiros da Central do Brasil, Brasília, DF, 60p, 1991.*
- ARAÚJO, A.L. *Manual de Siderurgia. São Paulo, Editora Arte & Ciência, 1997 V.1.*
- AREMA. *Manual for Railway Engineering. Lanham: American Railway Engineering and Maintenance Association- AREMA, 2001. v. I - IV.*
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 – *Caracterização – Resíduos Sólidos Classificação, 2004.*
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005 – *Lixiviação de resíduos – Procedimento, 2004.*
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006 – *Solubilização de resíduos – Procedimento, 2004.*
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007 – *Amostragem de resíduos – Procedimento, 2004.*
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11541: *Amostragens de material para lastro para via férrea: Procedimento. Rio de Janeiro, 1991*
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5564: *Via férrea Lastro Padrão: Especificação. Rio de Janeiro, 1991.*
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 13: *Cimento Portland: Determinação de óxido de cálcio livre pelo etileno glicol: Análise química. Rio de Janeiro, 2004.*
- CASTELO BRANCO, V. T. F. *Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado. Rio de Janeiro: Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004. 135 p.*
- FERNANDES, G. *Comportamento de Estruturas de Pavimentos Ferroviários com Utilização de Solos Finos e/ou Resíduos de Mineração de Ferro Associados a Geossintéticos. Brasília: Tese de doutorado. UNB, 2005. 253 p.*
- IBS. ANUÁRIO ESTATÍSTICO - BRASIL STEEL DATABOOK. Rio de Janeiro: IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2002.
- IBS. Instituto Brasileiro de Siderurgia: Estatísticas. Disponível em: <www.ibs.org.br/estatisticas.asp>. Acesso em: 05 dezembro 2003.
- MACHADO, A.T. *Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria. São Paulo: Dissertação de mestrado. POLI/USP, 2000.135 p*
- RAIMOND, G.P. & DIYALJEE, V.A. "Railroad Ballast Ranking Classification". IN: *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1979, New York.v. 105, No GT 10. p.1135-1155, 1979.*
- SELIG, E. T., PARSONS.; B. K. & COLE, B. E. *Drainage of Railway Ballast. In: INTERNATIONAL HEAVY HAUL CONFERENCE, 5., 1997, Beijing. Proceedings Beijing: Int. Heavy Haul Association, 1993. p. 200-206.*
- SOUSA, G.M.; ALMEIDA, M.M.; FERNANDES, G.; GOMES, R.C. *Estudo do comportamento da escória de aciaria a ser utilizada como lastro de ferrovias através de Ensaio de carga pontual. In: Simpósio brasileiro de jovens geotécnicos, 1., 2004, São Carlos. Anal... São Carlos: ABMS, 2004. 1 CD-ROM.*
- FERNANDES, D. P.; *Estudo de estabilização química, geomecânica e ambiental das escórias de aciaria LD para fins de aplicação como material de lastro ferroviário em vias sinalizadas. Ouro Preto: Dissertação de mestrado. UFOP, 2010. 130 p. 📍*



COMPORTAMENTO DA RETRORREFLE- TIVIDADE NA SINALIZAÇÃO HORIZONTAL EM FUNÇÃO DA TEXTURA DO PAVIMENTO

Mauro Moreira de Castro

Pós-graduado no Curso de Especialização em
Pavimentação pela Universidade Federal da Bahia

RESUMO

O presente artigo é uma síntese do trabalho de monografia apresentado ao Curso de Especialização em Pavimentação da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção de grau de Especialista. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o comportamento da retrorrefletividade, medida na demarcação horizontal viária, em função da variação da macrotextura do pavimento. O experimento foi realizado em trechos de uma rodovia recém-pavimentada, e sem pintura horizontal anterior, que poderiam interferir nos resultados obtidos durante os ensaios. Os serviços de pintura, na faixa horizontal, foram executados pelo mesmo operador, mesmos equipamentos, com a utilização dos mesmos materiais e em uma única passagem do caminhão, com o objetivo de garantir uniformidade e homogeneidade na sua aplicação. A relação entre a macrotextura e a retrorrefletividade, medidas no pavimento, foi associada através do ensaio de mancha de areia e foram realizados em seis pontos distintos da rodovia. Os resultados obtidos neste experimento foram analisados estatisticamente com o objetivo de avaliar o grau da associação linear entre as variáveis e sua dispersão. Ficou demonstrado que quanto mais uniforme for a superfície do pavimento, maior será a incidência dos raios luminosos retrorrefletidos para o observador, e à medida que sua superfície vai se tornando mais rugosa, mais difusos se tornam a reflexão dos raios neles incidentes, diminuindo a retrorrefletividade.

Palavras-chave: Retrorrefletividade. microesfera. microrrevestimento. macrotextura.

Abstract

This article is a summary of the work presented at the Specialization Course in Pavements of the Polytechnic School of the Federal University of Bahia, as a requirement for obtaining the degree of Specialist. The goal of this research was to evaluate the behavior of the retroreflectivity on horizontal roadmarking in terms of the pavement macrotexture. The experiment was carried out in parts of a newly paved road and without previous horizontal painting which could affect the results obtained during the tests. The painting of the horizontal band were performed by the same operator with the same equipment, using the same materials and in a single pass of the truck, in order to ensure uniformity and consistency in its application. The relation between the macrotexture with the retroreflectivity was associated by measuring the pavement macrotexture depth using a volumetric technique which was performed in six different points of the road. The results were statistically analyzed in order to assess the degree of linear association between the variables and their dispersion. It was verified that the rougher the surface of the pavement, the more scattered the reflection of incident rays become. The more uniform the surface of the pavement, the greater the incidence of light rays retroreflected to the observer, and consequently the greater its retroreflectivity.

Key-words: Retroreflectivity. pellet. micro-surfacing. macrotexture.

1 • INTRODUÇÃO

A proposta escolhida para o desenvolvimento do tema desta pesquisa surgiu durante a medição da retrorrefletividade na sinalização horizontal de algumas rodovias federais no Estado da Bahia. A demarcação da faixa horizontal, apesar de ter sido executada pelo mesmo operador, utilizando os mesmos equipamentos e mesmos materiais de aplicação, os valores obtidos na medição da retrorrefletividade apresentavam resultados diferenciados quando a macrotextura do pavimento variava.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o comportamento da retrorrefletividade, na sinalização horizontal viária, em função da macrotextura do pavimento. Este estudo trará informações úteis, que poderão ser aplicadas na prática, buscando a melhoria da qualidade na execução da sinalização horizontal, para esses tipos de pavimento, e certamente aumentando sua durabilidade.

A realização desta pesquisa justifica-se pelo fato de que várias rodovias existentes hoje no Brasil foram pavimentadas com pavimento de macrotextura aberta, tipo TSD (Tratamento Superficial Duplo), necessitando, portanto, que a demarcação horizontal atenda a uma retrorrefletividade mínima necessária para garantir a segurança aos usuários no período noturno, (Código de Trânsito Brasileiro, DENATRAN, 2007).

Por que existe variação na medição da retrorrefletividade na faixa de demarcação da sinalização horizontal, dependendo do tipo de pavimento onde a tinta foi aplicada, sabendo-se que foram utilizados a mesma especificação, equipe de operação e equipamento de medição? Para responder a essas e outras perguntas, vamos fazer uma breve descrição de alguns conceitos fundamentais, necessários para seu entendimento.

2 • DESENVOLVIMENTO

2.1 • Materiais de aplicação

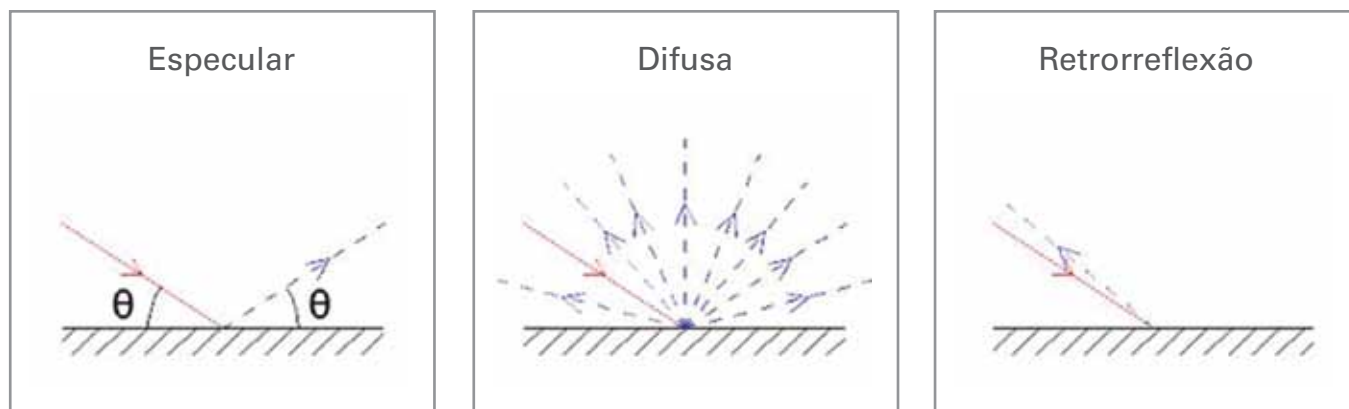
Todas as tintas para demarcação de pavimentos são compostas basicamente de: solventes, pigmentos, resinas e aditivos. Os solventes são voláteis, evaporando-se em poucos minutos, facilitando a trabalhabilidade da tinta durante sua aplicação. Os pigmentos são partículas finas, sólidas e insolúveis, utilizadas na composição das tintas, e têm a finalidade de definir a sua cor e opacidade. Eles funcionam como um se fossem um espelho que irá retrorrefletir os raios de luz incidentes nas microesferas de vidro. As resinas e aditivos são incorporadas à tinta para melhorar algumas propriedades específicas tais como: resistência às intempéries, flexibilidade e retenção da cor na microesfera de vidro.

Microesferas de vidro são partículas esféricas e incolores, com diâmetro máximo de 1 mm, adicionadas às tintas antes e/ou durante sua aplicação, com a finalidade específica de retrorrefletir os raios de luz nelas incidentes. Suas principais características são: devem conter no máximo 30% em massa de esferas com formato defeituosos, índice de refração igual ou superior a 1,5 e atender a faixa granulométrica especificada pela norma DNER-EM-373/2000.

2.2 • Estudo da retrorreflexão

Reflexão, para o estudo das microesferas de vidro, é um fenômeno físico que ocorre toda vez que um raio de luz incide sobre elas, em um ângulo diferente de 0º, ocorrendo uma mudança de direção. Existem três tipos de reflexão que podem ocorrer com a luz, (MOREIRA, H.; MENEGON, R., 2003, p.13), conforme pode ser observado na Figura 2.2.1, a seguir:

Figura 2.2.1 - Tipos de Reflexões



Fonte: Adaptado (MOREIRA, H.; MENEGON, R., 2003, p.13)

Reflexão especular ocorre quando um raio de luz incide sobre a superfície de um pavimento e é refletido em direção oposta à de entrada, com o mesmo ângulo de incidência θ . Como exemplo deste tipo de reflexão, podemos citar a chuva que cria uma lâmina d'água cobrindo a superfície das microesferas de vidro impedindo-as de refletir a luz.

A reflexão difusa acontece toda vez que um raio de luz incide sobre uma superfície não refletiva ou de textura rugosa. Neste caso, os raios são refletidos em diversas direções e somente uma parte muito pequena retorna ao ponto de origem da emissão do raio de luz.

Retroreflexão é um tipo especial de reflexão da luz que faz com que os raios incidentes sobre as microesferas de vidro sejam redirecionados para o ponto de origem. No caso da luz emitida pelo farol do veículo, estes raios retornam para sua origem, ou seja, os olhos do motorista.

Segundo Kalchbrenner (apud SCHWAB, 1999, p. 27), os primeiros estudos sobre a retroreflexão na sinalização horizontal foram realizados por Rhodes e Pocock (1952), com a publicação do trabalho “*Principles of Glass Beads Reflectorization*”, Washington, D.C., EUA. Posteriormente, Dale (1967), com o trabalho denominado “*Development of Improved Pavement Marking Materials Laboratory Phase*”, fez estudos para melhorar a sinalização viária submetida a condições secas e úmidas.

Fatores que interferem na retrorefletividade das microesferas de vidro:

- a) índice de refração;
- b) formato das microesferas de vidro;
- c) granulometria das microesferas de vidro.

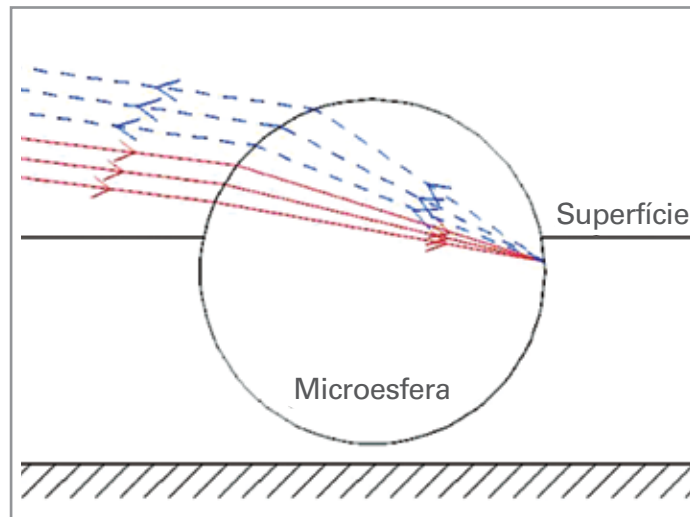
Índice de refração é um índice adimensional que representa a relação entre a velocidade que a luz percorre no vácuo (c) e a que ela percorre em um meio específico (v). Portanto (n) é definido pela equação 2.2.1, a seguir:

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{Equação 2.2.1}$$

A refração varia em função da densidade do meio em que o raio de luz percorre. No caso das microesferas de vidro, a variação acontece em função da qualidade do vidro utilizado para sua confecção. Quanto melhor a qualidade do material utilizado, melhor será o índice de refração e vice-versa. Para o vidro, este índice (n) pode variar entre 1,5 até 1,9. Microesferas de vidro com $n = 1,9$ têm índices de refração muito melhores que as de $n = 1,5$.

As microesferas de vidro funcionam como lentes côncavas concentrando os raios de luz em um único ponto, situado na sua parte externa posterior e próximo ao seu plano médio, ocorrendo refração do tipo ar/vidro. Devido ao “efeito espelho”, provocado pelos pigmentos da tinta, que estão fixadas nas microesferas de vidro, estes raios são refletidos primeiramente para a superfície da microesfera e, após sofrer nova refração vidro/ar, retornam para o ponto de sua origem, conforme pode ser observado na Figura 2.2.2, a seguir:

Figura 2.2.2 - Retrorreflexão



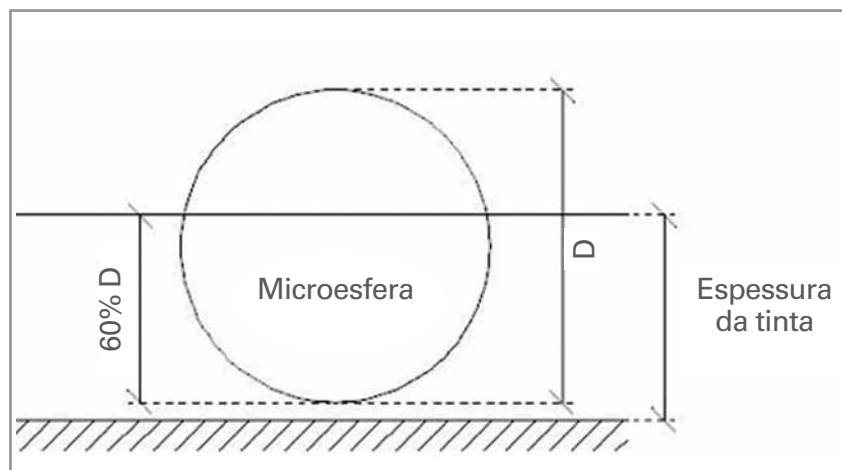
(Fonte: Adaptado apud Publication nº FHWA – SA – 93-001, Roadway Delineation Practices Handbook, 1994)

Quanto mais uniforme for a esfericidade da microesfera de vidro, mais perfeito será a lente côncava e, conseqüentemente, melhor o índice de retroreflexão.

Dale (apud SCHWAB, 1999, p.28), através do trabalho publicado na revista técnica Better Roads com o título de “Traffic

Marking Beads – Are The Gradations Right?”, comprovou que a maior retrorefletividade era obtida quando as esferas de vidro eram ancoradas a 60% do seu diâmetro e que as mesmas deveriam ter uma granulometria mais estreita e com uma menor taxa de aplicação por área, conforme pode ser observado na Figura 2.2.3, a seguir:

Figura 2.2.3 - Ancoragem da Microesfera



Fonte: Adaptado MOREIRA, H.; MENEGON, R., 2003, p.26

Logo, a granulometria das microesferas de vidro está diretamente relacionada com a espessura seca da tinta aplicada.

Dale (1967) também chegou à conclusão de que existe uma determinada faixa granulométrica de esfera na qual se obtém a máxima retrorefletância com uma menor taxa de aplicação de microesferas de vidro. Em estudos recentes, Schwab et al (1999) comprovaram que o valor da retrorefletividade aumenta à medida que se aumenta a taxa de microesferas de vidro aplicadas até atingir um ponto máximo. A partir deste ponto, mesmo com o acréscimo na taxa de aplicação das microesferas, o valor obtido da retrorefletividade começa a diminuir.

O retrorefletômetro é um equipamento de medição da retrorefletividade, que simula a luz emitida pelo farol do veículo sobre a faixa de pintura horizontal e quantifica a luz retrorefletida para o motorista, na unidade de $\text{mcd.m}^2.\text{lux}^{-1}$.

2.3 • Estudo da textura do pavimento

A classificação da textura da superfície do pavimento, conforme a PIARC -The World Road Association (apud BERNUCCI ET AL, 2007, p. 430), varia em função da distância entre dois picos ou depressões em sua superfície (λ), e é apresentada na Tabela 2.3.1 a seguir:

Tabela 2.3.1 - Classificação da Textura de um Pavimento

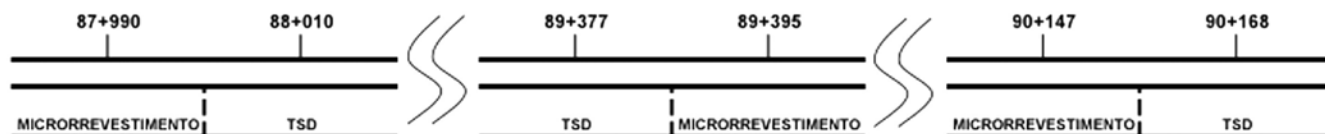
Classificação da Textura	Altura em Milímetros (Picos ou Depressões)
Microtextura	$\lambda < 0,5 \text{ mm}$
Macrotextura	$0,5 \text{ mm} \leq \lambda < 50 \text{ mm}$
Megatextura	$50 \text{ mm} \leq \lambda < 500 \text{ mm}$
Irregularidade	$0,5 \text{ mm} \leq \lambda < 50 \text{ m}$

(Fonte: BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação Asfáltica)

A microtextura refere-se às irregularidades da superfície dos agregados que compõem a mistura asfáltica e não interessou ao nosso estudo. A macrotextura é a rugosidade formada pelo conjunto de agregados que estão expostos na superfície do pavimento e foi o objeto de análise comparativa da relação entre a textura do pavimento com a medida da retrorefletividade. Ela representa a real deformidade existente no local da medição da retrorefletância e é sobre ela que as microesferas de vidro se depositarão.

A altura em milímetros (λ) é determinada pelo ensaio de “mancha de areia”, tendo como referência a norma ASTM E 965-96. O procedimento executivo consiste no espalhamento homogêneo de uma quantidade de areia, na faixa granulométrica especificada, com um bastão padronizado e fazendo-se movimentos circulares até que as pontas dos agregados se tornem visíveis, interrompendo o experimento. Este processo é repetido no mínimo quatro vezes e o cálculo da sua média aritmética determinará a macrotextura do pavimento.

Figura 2.4.1 - Trechos Ensaaiados - Rodovia BR-110/BA



Os pontos de leitura da retrorefletividade e da realização dos ensaios de mancha de areia, estão identificados na figura acima. A escolha deste trecho deveu-se aos seguintes fatores:

- diferenciação na textura do pavimento, com dois tipos diferentes de pavimentação;
- pavimentos executados pela mesma empresa e mesmo traço;
- proximidade da alternância entre o microrrevestimento e o TSD;
- tipos de pavimentos repetidos em uma distância relativamente curta;
- pintura executada pela mesma empresa, operador, equipamento e material;
- pintura nos pontos de alternância de pavimentos executados na mesma passagem de aplicação da tinta, garantindo uniformidade para realização dos ensaios.

O material aplicado na demarcação da faixa horizontal foi a tinta acrílica emulsionada à base de solvente na cor branca, em uma única passagem do equipamento, na largura de 15cm e na espessura úmida de 0,6 mm, verificada com um pente medidor. A umidade relativa do ar, 34,7° centígrados, foi checada com o higrômetro digital portátil. A escolha do bordo direito da rodovia, para a realização dos ensaios, deveu-se pela facilidade na sua execução e por ser um local de pouco desgaste superficial causado pela passagem do tráfego de veículos da rodovia. A execução da pintura foi realizada com a utilização de usina montada sobre caminhão, com tinta aplicada por aspersão. Em um tanque pressurizado foi colocada a tinta e misturada com as microesferas do tipo I-B. No outro reservatório, foram acondicionadas as microesferas tipo II-A, que é aplicada simultaneamente durante a execução da pintura da faixa, conforme registrado na Foto 2.4.1, a seguir:

Foto 2.4.1 - Aplicação da Tinta



(Fonte: CASTRO, M; ALENCAR G., 2009)

O rendimento médio de consumo dos materiais utilizados foi de:

- tinta acrílica - 30 m²/bd;
- microesfera Tipo I-B “premix” - 250 g/l;
- microesfera Tipo II-A ou F - 317 g/m².

2.5 • Realização dos ensaios em campo

Para o levantamento de dados desta pesquisa foram utilizados dois ensaios: a avaliação da retrorrefletividade sobre sinalização horizontal e o de mancha de areia.

O ensaio de avaliação da retrorrefletividade quantifica a intensidade dos raios que são refletidos para o observador e foi medida com um retrorrefletômetro manual, da marca EASYLUX, com haste e geometria de 15 metros, conforme norma ABNT NBR 14723.

Logo após a pintura da faixa de sinalização, as microesferas do Tipo II-A ficam expostas e, imediatamente, passam a refletir os raios de luz nelas incidentes. Com o desgaste natural na superfície do pavimento, provocado pelo tráfego de veículos, estas esferas vão se soltando e as microesferas do Tipo I-B, que estavam imersas à tinta, têm sua superfície expostas e passam a retrorrefletir os raios de luz nelas incidentes. Logo, a retrorrefletividade inicial medida em campo para este experimento refere-se sempre à refletância das microesferas do Tipo II-A.

Foram realizados 06 (seis) pontos de ensaios para a retrorrefletividade: 03 (três) nos pavimentos de microrrevestimento asfáltico e 03 (três) nos pavimentos com tratamento superficial duplo (TSD), conforme apresentado na Tabela 2.5.1 a seguir:

Tabela 2.5.1 - Valores Médios da Retrorrefletividade, Bahia, 2008

Km	Tipo de Pavimento	Retrorrefletividade (mcd.m ⁻² .lux ⁻¹)
87 + 900	Microrrevestimento	311,50
88 + 010	TSD	295,00
89 + 377	TSD	267,75
89 + 395	Microrrevestimento	329,00
90 + 147	Microrrevestimento	336,75
90 + 168	TSD	325,63

(Fonte: CASTRO, M; ALENCAR G., 2009)

Os ensaios de mancha de areia foram realizados exatamente nos mesmos pontos em que foram medidos a retrorrefletividade inicial. Em cada ponto de medida da retrorrefletividade, foram realizados cinco ensaios de mancha de areia, tendo

como referência a norma ASTM E 965-96. A média aritmética dos valores obtidos nestes ensaios foi adotada como referência para aquele ponto e seus resultados são apresentados na Tabela 2.5.2, a seguir:

Tabela 2.5.2 – Valores Médios dos Ensaios de Mancha de Areia, Bahia, 2008

Km	Tipo de Pavimento	Altura em Milímetros (Picos ou Depressões)
87 + 900	Microrrevestimento	0,55
88 + 010	TSD	1,72
89 + 377	TSD	2,25
89 + 395	Microrrevestimento	0,48
90 + 147	Microrrevestimento	0,40
90 + 168	TSD	1,44

(Fonte: Adaptado de CASTRO, M; ALENCAR G., 2009)

2.6 • Análise estatística dos resultados

A análise estatística dos resultados obtidos nessa pesquisa foi realizada pelo coeficiente de correlação de Pearson (r) e pelo coeficiente de variação (cv).

O grau de relacionamento entre as medidas da retrorrefletividade e os valores dos ensaios de mancha de areia, levantados em campo, foi verificado pelo coeficiente de correlação de Pearson (r). Este coeficiente avalia o grau da associação linear entre as variáveis quantitativas e é analisado, principalmente, pelo compartilhamento da variância entre elas, definido pela fórmula da equação 2.6.1 a seguir:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{xi - \bar{x}}{Sx} \right) \left(\frac{yi - \bar{y}}{Sy} \right) \quad \text{Equação 2.6.1}$$

r = coeficiente de correlação de Pearson

n = quantidade de medidas

xi e yi = cada medida das variáveis X e Y

\bar{x} e \bar{y} = média aritmética das variáveis X e Y

Sx e Sy = desvio padrão das variáveis X e Y

O coeficiente de Pearson (r) é um número adimensional que varia entre 1 e -1. Quanto mais próximo da unidade for o valor encontrado para esse coeficiente, mais forte será o relacionamento entre as variáveis que estão sendo analisadas. Se o valor estiver próximo de 0 (zero) significa que quase não existe relação linear entre as mesmas. Quando o valor encontrado for positivo, a variável X é diretamente proporcional à variável Y e quando for negativo, a variável X é inversamente proporcional à variável Y.

DANCEY e REIDY classificou os valores de correlação conforme a Tabela 2.6.1, a seguir:

Tabela 2.6.1 – Valores de Correlação

Valor	Correlação
0,1 a 0,3	Fraca
0,4 a 0,6	Moderada
0,7 a 1,0	Forte

Fonte: DANCEY e REIDY (apud Revista Política Hoje, Vol.18, n.1, 2009, p.119)

Aplicando a fórmula da equação 2.6.1 com as medidas da retrorrefletividade e dos ensaios de mancha de areia nos pavimentos de microrrevestimento e de TSD, foi obtido um valor de 0,84 para o coeficiente de correlação de Pearson, indicando que a variável retrorrefletividade é diretamente proporcional à variável altura em milímetros () e que existe uma forte associação entre as duas variáveis estudadas.

O coeficiente de variação (cv) é uma medida de dispersão que avalia a variação dos dados obtidos em relação à sua média. Nessa pesquisa foi avaliada a dispersão dos dados dos valores médios da retrorrefletividade dos pavimentos de microrrevestimento e de TSD, conforme equação 2.6.2, a seguir:

$$cv = \frac{\sigma}{\mu} \quad \text{Equação 2.6.2}$$

σ - desvio padrão

μ - média aritmética

Efetuosos os cálculos, seus valores são apresentados na Tabela 2.6.2, a seguir:

Tabela 2.6.2 - Coeficiente de Variação da Retrorrefletividade, Bahia, 2008

Tipo de Pavimento	Retrorrefletividade (mcd.m ⁻² .lux ⁻¹)			Média Aritmética	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação %
	A	B	C			
Microrrevestimento	311,50	329,00	336,75	325,75	12,93	3,97
TSD	295,00	267,75	325,63	296,13	28,95	9,78

(Fonte: CASTRO, M; ALENCAR G., 2009)

Com os dados da Tabela 2.6.2, foi observado que os valores da retrorrefletividade para o microrrevestimento variou entre 311,50 mcd.m-2.lux-1 a 336,75 mcd.m-2.lux-1, com coeficiente de variação de aproximadamente 4%. Os valores da retrorrefletividade para o TSD variou entre 267,75 mcd.m-2.lux-1 a 325,63 mcd.m-2.lux-1, com coeficiente de variação de aproximadamente 10%, apresentando maior dispersão. Conclui-se que, para o pavimento de macrotextura mais fechada, o microrrevestimento, os valores médios encontrados para a retrorrefletividade são maiores que os valores médios encontrados para a retrorrefletividade do pavimento de macrotextura mais aberta, o TSD.

2.7 Correlação entre a retrorrefletividade e a altura em milímetros (λ)

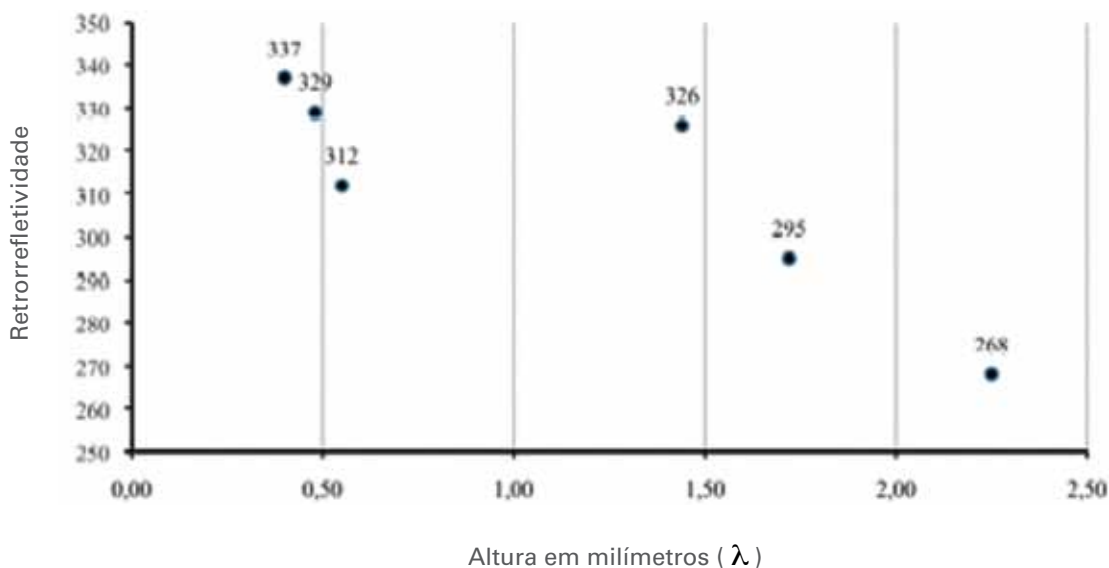
A relação entre os valores obtidos na medição da retrorrefletância e a altura em milímetros (λ), obtido pelo ensaio de mancha de areia, são apresentados na tabela 2.7.1 e no gráfico de tendências 2.7.1, a seguir:

Tabela 2.7.1 - Retrorrefletividade x Altura em Milímetros (λ), Bahia, 2008

Tipo de Pavimento	Microrrevestimento (Km)			TSD (Km)		
	90 + 147	89 + 395	87 + 990	90 + 168	88 + 010	89 + 377
Retrorrefletividade	337	329	312	326	295	268
Altura em milímetros (λ)	0,40	0,48	0,55	1,44	1,72	2,25

(Fonte: CASTRO, M; ALENCAR G., 2009)

Gráfico 2.7.1 - Retrorrefletividade x Altura em Milímetros (λ)



(Fonte: Adaptado de CASTRO, M; ALENCAR G., 2009)

Com a análise dos dados, observa-se que:

- a) por tipo de pavimento, quanto menor o valor da altura em milímetros (λ) maior será o valor obtido na medição da retrorrefletividade (Gráfico 2.7.1);
- b) a média aritmética dos valores obtidos na medição da retrorrefletividade do microrrevestimento foi maior que a do TSD (Tabela 2.6.2);
- c) o pavimento em microrrevestimento apresentou desvio padrão menor que o do pavimento em TSD (Tabela 2.6.2);
- d) o coeficiente de variação da retrorrefletividade do pavimento em microrrevestimento, aproximadamente em 4%, ficou bem menor que o valor de 10% apresentado pelo TSD, que tem maior dispersão (Tabela 2.6.2).

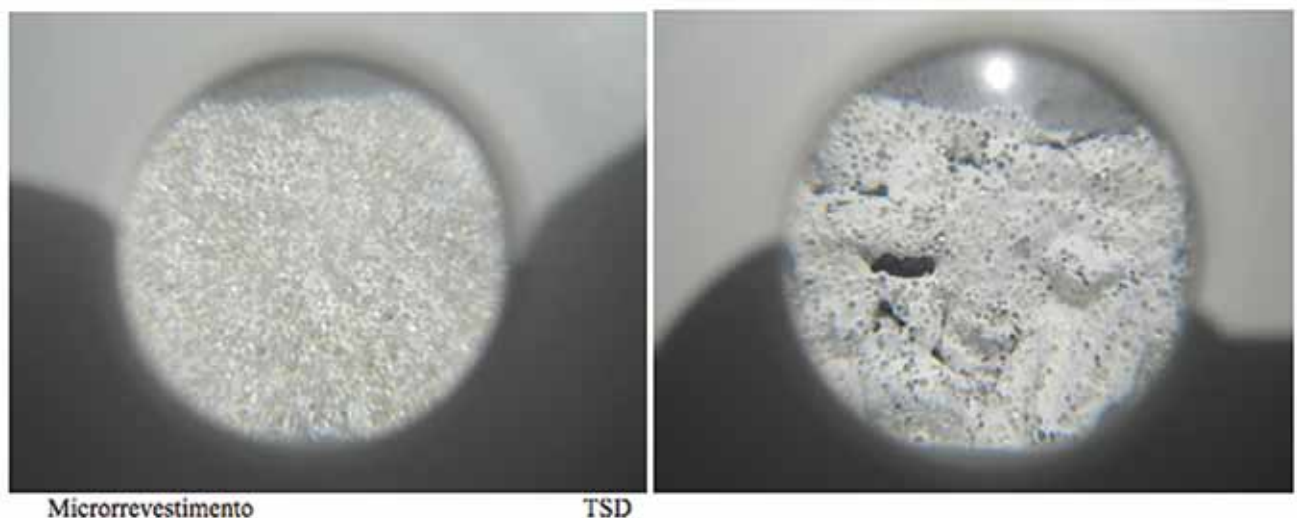
Em função do elevado valor encontrado para a retrorrefletividade no km 90+168 do pavimento em TSD, a medida de retrorrefletividade neste ponto foi repetida e o novo valor obtido foi de 322,00 mcd.m-2.lux-1, bastante semelhante ao anterior. Atribui-se este elevado valor de retrorrefletividade à dispersão de aproximadamente 10% do pavimento em TSD, conforme já demonstrado anteriormente na Tabela 2.6.2.

3 • CONCLUSÕES

Variando a macrotextura do pavimento, o valor médio da retrorrefletividade obtida para o mesmo tipo de pavimento se comporta de modo inversamente proporcional ao aumento da sua rugosidade, ou seja, quanto maior o valor da altura em milímetros (λ), obtido pelo ensaio de mancha de areia, menor será o valor médio da sua retrorrefletividade. Esta afirmação resulta das fontes consultadas para o desenvolvimento desta pesquisa e também advinda dos experimentos práticos realizados em campo.

A superfície ideal para a retrorreflexão da luz ocorre quando o valor obtido da altura em milímetros (λ) tende a se aproximar de zero como, por exemplo, o vidro. Neste caso, a espessura da tinta, a ancoragem e a distribuição das microesferas de vidro, aplicadas por área, podem ser mais facilmente controladas, obtendo-se assim uma melhor retrorreflexão. À medida que a superfície vai se tornando mais rugosa, o comportamento da reflexão da luz vai gradativamente alterando de retrorreflexão para reflexão difusa e, conseqüentemente, diminuindo a intensidade dos raios luminosos retrorrefletidos para o observador.

Foto 3.1 - Microesferas Aplicadas no Microrrevestimento e no TSD



(Fonte: CASTRO, M; ALENCAR G., 2009)

Observando-se a Foto 3.1, ampliadas em 10 (dez) vezes, percebe-se que a quantidade de microesferas de vidro, aplicadas por área, está melhor uniformemente distribuída e ancoradas à tinta no microrrevestimento asfáltico, à esquerda, que no TSD, à direita. As irregularidades apresentadas na superfície do pavimento em TSD, não permitem que as microesferas de vidro fiquem distribuídas uniformemente na área de aplicação e têm sua ancoragem comprometida.

Várias são as causas que contribuem para a ocorrência deste fenômeno, dentre elas foram relacionadas:

a) nos pavimentos de macrotextura que apresentam maior valor da altura em milímetros (λ), as microesferas utilizadas, por terem diâmetros máximo de 1 mm, facilmente se alojam nas cavidades formadas pelos agregados graúdos da mistura asfáltica, não recebendo os raios luminosos e, conseqüentemente, não ocorrendo o fenômeno da retroreflexão. Este fato ocorre no pavimento em TSD, com valores de (λ), obtidos pelo ensaio de mancha de areia, variando entre 1,44 mm a 2,25 mm. Já no pavimento de microrrevestimento, essa variação está entre 0,40 mm a 0,55 mm, apresentando maior retrorefletividade;

b) com as conclusões acima descritas, percebe-se que a superfície do pavimento em microrrevestimento concentra uma quantidade bem maior de microesferas de vidro, por unidade de área, que o pavimento de TSD, ou seja, quanto menor a superfície com microesferas de vidro que receberão os raios luminosos, menor será a intensidade da retroreflexão;

c) nos pavimentos de macrotextura que apresentam elevado valor de (λ), obtidos pelo ensaio de mancha de areia, às superfícies inclinadas, expostas pelos agregados graúdos da mistura asfáltica, dificultam a correta fixação das microesferas de vidro que, para obtenção da máxima retroreflexão, devem estar ancoradas a 60% de seu diâmetro na tinta seca. Esses pavimentos retrorefletem a luz de modo difuso, gerando valores de retrorefletividade com maior dispersão.

Para a ratificação dos resultados obtidos neste experimento, se faz necessário a reprodutibilidade dos ensaios aqui realizados aumentando a quantidade de amostras da pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT-NBR 147232005: Sinalização horizontal viária – Avaliação da retrorefletividade, 2ª.edição, Rio de Janeiro, 2005;
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 965-96 (Reapproved 2001): Standart Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique, 2001;
- BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros, Rio de Janeiro, PETROBRÁS, ABEDA, 2007, 501p;
- CASTRO, M; ALENCAR, G. Variação da retroreflexão inicial na sinalização horizontal em função da textura da pavimentação, 2009. 53 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Pavimentação – Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2009.
- Código de Trânsito Brasileiro, atualizado pela Lei no. 9.503 de 23 de setembro de 1997, 3a. edição – Brasília – DENATRAN, 2007.
- DALE. Development of Improved Paviment Marking Materials Laboratory Phase, Nacional Research Council, Washington, D.C., U.S.A., 1967;
- DANCEY e REIDY (apud Revista Política Hoje, Vol.18, n.1, 2009, p.119)
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-EM 373/2000: Microesferas de vidro retrorefletivas para sinalização horizontal rodoviária, Rio de Janeiro, 2000b;
- KALCHBRENNER, J.; Large Glass Beads for Pavement Markings, Transportation Research Record 1230, Transportation Research Board, National Research Council, 9p., Washington, D.C., 1989.
- MOREIRA, H.; MENEGON, R. Sinalização Horizontal, 2003, 82p;
- SCHWAB, M. S. F. Estudo do desempenho dos materiais de demarcação viária retrorefletidos, Belo Horizonte, 1999. 160p. Dissertação de Mestrado apresentada ao curso de pós-graduação em engenharia de materiais da REDEMAT. 📌



A BASE DE TUDO INOVAÇÃO

- Sistema vibratório exclusivo Cat® tipo pod. Confiável, requer muito pouca manutenção.
- Sistema de bombas duplas proporciona fluxo independente para excepcional tração e para o confiável sistema vibratório.
- Sistema opcional de medição de Compactação chamado MDP. Ampla faixa de aplicação e menos variabilidade que os sistemas baseados no acelerômetro.

Contate seu distribuidor para mais informações e opções de aluguel.

CONSTRUÍDA PARA FAZER.



Entre em contato conosco acessando www.cat.com/paving

 facebook.com/CATPaving

 youtube.com/CATPaving