

REVISTA

ABPV

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO



PAVIMENTAÇÃO

ANO XI • Nº 39 • JAN-MAR • 2016 • WWW.ABPV.ORG.BR • ISSN 1809-1865

CAIXA COLETORA DE VIA URBANA (BOCA-DE-LOBO)

Francisco José d'Almeida Diogo



PROFESSOR JACQUES DE MEDINA

Um exemplo de dedicação ao conhecimento e à inovação

Participe do principal evento de
pavimentação urbana do país.

20ª
RPU  **2017**
28 a 30
de junho
Reunião de Pavimentação Urbana
CentroSul - Florianópolis/SC

Florianópolis, a bela capital catarinense, será palco da
20ª Reunião de Pavimentação Urbana que acontecerá no
período de 28 a 30 de junho de 2017.

Esperamos por você!

Temário para trabalhos técnicos

- ◆ Financiamento aos municípios
- ◆ Materiais para pavimentação
- ◆ Estudos e projetos de pavimentos
- ◆ Manutenção, Restauração e Gerência de Vias
- ◆ Técnica de Construção e Controle de Qualidade de Pavimentos
- ◆ Segurança e Meio Ambiente em Vias
- ◆ Abertura e reaterro de valas de redes subterrâneas
- ◆ SMS (Saúde do Trabalho, Meio Ambiente e Segurança do Trabalhador)
- ◆ Acessibilidades
- ◆ Estradas Vicinais

Para mais informações: www.rpu.org.br

Realização



Apoio



Local



Organização



EXPEDIENTE

REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano XI • Nº 39 • Jan - Mar 2016
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 S. Vieira Costa
Vice-Presidente • Eng. Eduardo Alberto Ricci
Diretora Financeira • Arqt. Georgina Libório Azevedo
Diretor Administrativo • Eng. Fernando Augusto Júnior
Diretora Técnica • Eng. Luciana Nogueira Dantas
Diretora de Divulgação • Eng. 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 • Eng. Consuelo Alves da Frota • Eng. Cristiano da Costa Moreira • Eng. Djalma Rocha A. M. Pereira • Eng. Douglas Fadul Villibor • Eng. Edinaldo Afonso Marques de Mélo • Eng. Eduardo Alberto Ricci • Eng. Fernando Augusto Jr. • Eng. Genésio Almeida da Silva • Arqt. 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 S. Vieira Costa • Eng. José Leomar Fernandes Junior • Eng. José Tadeu Balbo • Eng. José Vidal Nardi • Eng. Laura M^a Goretti da Motta • Eng. Leni F. M. Leite • Eng. Leto Momm • Eng. Liedi Legi B. Bernucci • Eng. Luciana Nogueira Dantas • Eng. Luiz Miguel de Miranda • Eng. Marcello Roberto Rangel Pestana • Eng. Márcio Muniz de Farias • Eng. Márcilio Augusto Neves • Eng. Maria da Conceição M. Azevedo • Eng. Michéle Dal Toé Casagrande • Eng. Nilton de Souza Campelo • Eng. Paulo Romeu Assunção Gontijo • Eng. Prepredigna D. E. Almeida da Silva • Eng. Rita Moura Fortes • Eng. Rui José da Silva Nabais • Eng. Silvio Rodrigues Filho • Eng. Saul Birman • Eng. Valmir Bonfim • Eng. Walter Canales Sant'ana • Eng. Washington Pérez Nuñez.

Projeto Gráfico e Produção Digital • Luciana Costa Leite
Revisão • Renata Daflon Menezes
Periodicidade • Trimestral

NOSSA CAPA



Imagem sob licença da Shutterstock.com
Envie sua foto para: abpv@abpv.org.br

SUMÁRIO

EDITORIAL 4

SEÇÃO DE NOTAS 5

CURIOSIDADES
A ABPv E A CRIAÇÃO DA ABCE 15

FATOS HISTÓRICOS
PROFESSOR JACQUES DE MEDINA 16

ESPAÇO JURÍDICO 18

CADERNO DE TECNOLOGIA
Caixa coletora de via urbana (boca-de-lobo) 20

Francisco José d'Almeida Diogo

ARTIGO 1
Desenvolvimento de equipamento simulador de cargas de tráfego de laboratório para previsão de desempenho de estruturas de pavimentos 35

Natália de Souza Correia
Benedito de Souza Bueno

ARTIGO 2
Equivalência operacional entre equipamentos defletométricos: Viga Benkelman e oito configurações de FWD 45

Cláudio Ângelo Valadão Albernaz
Luiz Henrique Costa Gomes
José Leomar Fernandes Júnior

NOTA TÉCNICA
Mistura asfáltica do tipo SMA produzida com adição de fibras do bagaço de cana-de-açúcar . . . 59

Rodrigo Lima Cavalcante
José Roberto Franco Marques
José Leomar Fernandes Júnior
David Alex Arancibia Suárez

EDITORIAL

Nesta primeira edição de 2016 da Revista PAVIMENTAÇÃO, destacamos o novo formato eletrônico adotado pela ABPv para disponibilização desta publicação técnico-científica que completou 10 anos.

A versão eletrônica ou digital é uma exigência dos novos tempos de sustentabilidade e mobilidade da informação. Os leitores poderão acessar a revista PAVIMENTAÇÃO de seu computador e dispositivos móveis, como celulares e *tablets*.

A praticidade e o conforto para a leitura ganham destaques sob a ótica de nossos leitores jovens. A interatividade também será um ponto marcante.

No conteúdo desta 39ª edição, o advogado Walter Segundo aborda na coluna Espaço Jurídico o uso do *Habeas Corpus*, como medida protetiva dos direitos de defesa.

Na coluna FATOS HISTÓRICOS, homenagearemos desta vez uma grande personalidade da engenharia de pavimentos, o professor Jacques de Medina, engenheiro civil e livre docente da UFRJ. Nome mais do que aclamado na academia e no meio profissional, o Prof. Medina representa o início da história da nossa Associação Brasileira de Pavimentação, sendo um de seus fundadores.

No CADERNO DE TECNOLOGIA, o Cel. Francisco José d'Almeida Diogo traz um estudo sobre caixas coletoras de via urbana, comumente denominadas “boca-de-lobo”. Na abordagem, Cel. Diogo destaca que populares e alguns técnicos costumam empregar o termo boca-de-lobo para qualquer estrutura que colete água na sarjeta. Outros, para referir-se ao dispositivo de captação com guia-chapéu. O texto cuida de estabelecer as diferenças.

Nos ARTIGOS TÉCNICOS, o primeiro deles, de autoria de Natália de Souza Correia, da Escola de Engenharia

de São Carlos, e Benedito de Souza Bueno, Professor da mesma universidade, falecido em agosto de 2015, trata do desenvolvimento de equipamento de laboratório, simulador de cargas de tráfego, para previsão de desempenho de estruturas de pavimentos.

O segundo artigo trata da equivalência operacional entre equipamentos defletométricos, Viga Benkelman e oito configurações de FWD. Os autores são Cláudio Ângelo Valadão Albernaz, consultor e engenheiro do DER-MG, falecido em dezembro de 2015, grande colaborador a quem prestamos aqui nossa homenagem e expressamos a nossa gratidão por sua contribuição; Luiz Henrique Costa Gomes, da Universidade de Ouro Preto; e José Leomar Fernandes Júnior, do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos.

Já a NOTA TÉCNICA desta edição traz um estudo que analisa a possibilidade de utilização das fibras do bagaço de cana-de-açúcar em misturas asfálticas do tipo SMA, produzidas com ligante asfáltico modificado por polímero SBS. Os autores são Rodrigo Lima Cavalcante, José Roberto Franco Marques, José Leomar Fernandes Júnior e David Alex Arancibia Suárez.

Em breve, a Edição nº 40 da Revista PAVIMENTAÇÃO trará as perspectivas que se desenham para este ano de 2016 na área de Engenharia Civil, em especial, infraestrutura. O primeiro trimestre foi de grande frustração para os setores envolvidos, mas a sociedade, entidades civis e governo certamente envidarão esforços para uma retomada do crescimento do País. E, certamente, esta retomada deverá passar pelo setor de infraestrutura, que é, notadamente, a mola propulsora do desenvolvimento.

A ABPv mantém-se atenta às mudanças e perspectivas dos cenários político, econômico e social do Brasil. Aguardemos pelo melhor.

Conselho Editorial



SEÇÃO DE NOTAS

revistapavimentacao@abpv.org.br



45ª RAPv / 19º ENACOR

A capital federal, Brasília, se prepara para acolher as maiores realizações do setor rodoviário na América Latina, a 45ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação, o 19º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, a 5ª Expopavimentação e o 1º Fórum Rodoviário de Trânsito e de Mobilidade.

Promovidos em parceria entre a ABPv – Associação Brasileira de Pavimentação e a ABDER – Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem, os eventos, que terão o apoio do DER/DF, acontecerão no Centro de Convenções Ulysses Guimarães. Como o local sediará eventos durante as Olimpíadas, a RAPv e o ENACOR foram remanejados para o período de 20 a 23 de setembro de 2016.

A comissão organizadora está finalizando a programação com foco no aprimoramento das técnicas de pavimentação, conservação, tecnologia, trânsito e mobilidade, que em breve estará disponível no site www.rapvenacor.com.br.

O evento será composto de apresentação de trabalhos técnico-científicos, palestras e mesas-redondas, com a participação de técnicos, especialistas e autoridades nacionais e internacionais do Setor, além de minicursos, exposição de materiais, equipamentos e serviços, em uma grande área com stands. A grande novidade da RAPv e ENACOR, em Brasília, será a realização do 1º Fórum Rodoviário de Trânsito e de Mobilidade: “Entendemos que a segurança no trânsito é de vital importância na infraestrutura rodoviária/pavimento, portanto integrará nossos eventos”.

Informações • www.rapvenacor.com.br



A Diretoria da ABPv, a pedido dos patrocinadores e apoiadores da reunião, considerou mais prudente, devido ao atual cenário político e econômico do país, a transferência da 20ª RPU – Reunião de Pavimentação Urbana - anteriormente programada entre os dias 01 e 03 de junho de 2016, em Florianópolis, SC - para 2017, entre os dias 28 e 30 de junho, na mesma cidade.

A participação efetiva de todos é fundamental para a promoção de mais um evento de sucesso e com ótimos resultados para os envolvidos neste importante projeto. Novos prazos para remessa de trabalhos e de inscrição encontram-se disponíveis no site.

A 20ª RPU constituir-se-á numa oportunidade de discussão e reflexão sobre a pavimentação urbana no País, no momento em que a sociedade exige mais atenção das atividades para conservação, ampliação e segurança da malha viária e garantia da mobilidade no meio urbano.

Informações • www.rpu.org.br



CBTU
Companhia Brasileira
de Trens Urbanos

41ª Reunião GPAA

O Grupo Permanente de Autoajuda na Área de Manutenção Metroferroviária - GPAA foi constituído em 1999 pelas operadoras metroferroviárias brasileiras tendo como objetivo abordar problemas que promovam ampla discussão técnica das atividades de manutenção, bem como a apresentação de soluções e procedimentos adotados pelas operadoras, buscando a melhoria e modernização dos sistemas de transporte de passageiros.

A pauta das discussões é elaborada por meio de sugestões, previamente encaminhadas pelas operadoras, relacionadas

a sistemas de material rodante, via permanente, oficinas de manutenção, energia, telecomunicações, sinalização e controle, centro de controle operacional, bilhetagem automática, edificações operacionais e logística da manutenção. A sua 41ª edição será em São Paulo, SP, de 04 a 06 de maio.

Informações • cleantocosta@cbtu.gov.br



Rail Safety Summit

A cada ano, o Rail Safety Summit promove conferências para apresentação das informações e dos desenvolvimentos mais recentes na indústria de transporte ferroviário. Este ano será realizada em Londres, Inglaterra, no dia 5 de maio, e oferecerá oportunidades de *networking*.

Informações • www.railsummits.com/event/safety-summit-2016



SAE Brasil

A SAE BRASIL - Seção Caxias do Sul realizará, nos dias 11 e 12 de maio, a 9ª edição do Colloquium Internacional SAE BRASIL de Suspensões e Implementos Rodoviários & Mostra de Engenharia.

O evento de nível internacional reunirá empresas e profissionais da área em palestras e exposição a serem realizados no Centro de Convenções do Hotel Intercity Premium, em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. Terá como foco a apresentação e a discussão de trabalhos técnicos recentes, fruto de pesquisas e inovações para a indústria da mobilidade.



10º Seminario Internacional de Tecnologías Ecológicas para la Pavimentación

O 10º Seminário Internacional de Tecnologias Ecológicas para a Pavimentação, organizado pela empresa Quimi Kao, será realizado de 24 a 27 maio de 2016, no México.

Este seminário tem o objetivo de criar um espaço para a transferência de conhecimento aplicado de tendências e inovações que têm sido utilizadas em todo o mundo como uma solução para as questões do pavimento, tornando-o mais sustentável, durável, competitivo e com alto padrão de qualidade.

Informações • cservice@qknet.quimikao.com.mx



11th World Congress on Railway Research

O 11th World Congress on Railway Research terá a participação de cerca de 200 palestrantes e 1.000 representantes de mais de 30 nações e promoverá, de 29/05 a 02/06, em Milão, Itália, a oportunidade de partilhar e implementar o melhor na área de ferrovia.

Informações • www.wcrr2016.org/



80 anos da ABCP

A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP retomou a realização, com periodicidade bienal, do Congresso Brasileiro de Cimento – CBCi, de 20 a 22 de junho de 2016, no Hotel Maksoud Plaza, em São Paulo, SP.

Em 2016, ano em que a Associação celebra 80 anos, a 7ª edição do CBCi reunirá os profissionais da indústria de cimento, pesquisadores universitários e representantes de grupos cimenteiros latino-americanos para discutirem temas como: inovações na fabricação do cimento, competitividade, emissões, controles ambientais, normalização e qualidade, novos tipos e aplicações do cimento.

Informações • www.7cbci.com.br



IABMAS 2016

O Grupo IABMAS está acolhendo a 8ª Conferência Internacional sobre Manutenção, Segurança e Gestão de Pontes - IABMAS 2016. A conferência será realizada em Foz do Iguaçu, PR, de 26 a 30 de junho, sob os auspícios da Universidade de São Paulo, USP.

A IABMAS – Associação Internacional de Segurança e Manutenção de Pontes objetiva promover a cooperação internacional entre todos os aspectos da manutenção, segurança e gerenciamento de pontes com a finalidade de melhorar o bem-estar da sociedade.

Informações • www.iabmas2016.org



IV Convención Internacional da Engenharia

Na IV Convención Internacional da Engenharia, que acontecerá entre os dias 23 e 25 de junho pela Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba, serão apresentados e discutidos temas atuais nos diversos ramos da engenharia.

Informações • www.ciiccuba.com



XI Seminário Nacional Metroferroviário

A ANTP promoverá nos dias 14 e 15 de junho, no Auditório do Metrô na cidade do Rio de Janeiro, a décima primeira edição do Seminário Nacional Metroferroviário.

Informações • www.antp.org.br



O TESTE&E 2016

O 1º Congresso de Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil - com o tema principal “Ensaiar para Reabilitar” acontecerá de 4 a 6 de julho no Centro de Congressos do Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

O congresso almeja alcançar um amplo fórum de reflexão e síntese. O evento pretende reforçar ainda mais a importância dos ensaios e da experimentação, a par de outros meios, na prática da engenharia civil com qualidade, inovação, segurança, competitividade e sustentabilidade.

Informações • teste2016.tecnico.ulisboa.pt/



O ISAP - 2016 e o Yellowstone and Jackson Hole Symposium 2016

O ISAP - 2016 e o Yellowstone and Jackson Hole Symposium 2016 “From Molecules to Innovative Pavements,” organizados pelo Western Research, se realizarão de 18 a 21 julho de 2016. Estes encontros internacionais possuem foco na transferência de tecnologia da investigação na engenharia aplicada de pavimentos asfálticos e serão realizados em Jackson Hole, Wyoming, EUA, em conjunto com a 53rd Petersen Asphalt Research Conference (www.petersenasphaltconference.org).

Informações • www.isap2016symposium.org



MAIREPAV8

A Pavement Engineering Society e o Centro de Pesquisas de Transportes da Universidade Nacional de Cingapura promovem a 8^a Conferência Internacional sobre Manutenção e Reabilitação de Pavimentos, em Cingapura, de 27 a 29 julho de 2016.

A série de conferências MAIREPAV foi fundada pela Sociedade Internacional de Manutenção e Reabilitação de Infraestrutura de Transportes (iSMARTi) e sua conferência inaugural foi realizada na Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo, no ano 2000. Desde então, a série de conferências tem crescido em muitos países e diferentes continentes.

Informações • www.mairepav8.org



Curso de Combustão Industrial

A nova edição do Curso de Combustão Industrial será promovida pelo IPT entre os dias 11 e 15 de agosto e objetiva transferir a técnicos do setor industrial conceitos fundamentais em combustão, bem como parte da experiência adquirida pelos pesquisadores do Laboratório de Energia Térmica (LET) do IPT na resolução de problemas reais.

Andréa Valero (11) 3767-4226.

Informações • cursos@ipt.br



Concrete Show South America

O Concrete Show South America ocorrerá em São Paulo, SP, de 24 a 26 de agosto e apresentará soluções que vão desde a terraplanagem, canteiros de obras e projetos estruturais, até tecnologias de ponta para a cadeia produtiva do concreto, serviços e acabamento, visando o aumento da produtividade e a redução de custos na construção.

Informações • www.concreteshow.com.br



II Encontro Regional de Estudantes de Engenharia Civil - Regiões Sudeste e Centro-Oeste

O II Encontro Regional de Estudantes de Engenharia Civil – Regiões Sudeste e Centro-Oeste (EREEC SE-CO) ocorrerá nos dias 25, 26 e 27 de agosto de 2016, na cidade de Caldas Novas, GO, em parceria com a FENEC e o Centro Acadêmico da Engenharia Civil da UFG - Regional Catalão e apoio da UFG – Regional Catalão e espera receber congressistas para um encontro com palestras e minicursos.

Informações • www.ereecse-co.fenec.com.br



A 22ª STM - Semana de Tecnologia Metro Ferroviária

A 22ª STM – Semana de Tecnologia Metro ferroviária, com o lema “Investir e Avançar com Eficiência”, se realizará de 13 a 16 de setembro de 2016, em São Paulo, SP.

As cidades estão crescendo, tornando necessária a volta do transporte ferroviário de carga e passageiros para a garantia do crescimento econômico das macro metrópoles e do País.

Informações • www.aeamesp.org.br/22a-semana-de-tecnologia



73ª SOEA Semana Oficial da Engenharia e Agronomia

O Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná realizará a 73ª Semana Oficial de Engenharia e Agronomia (SOEA) e o 9º Congresso Nacional de Profissionais (CNP). Os eventos serão realizados na cidade de Foz do Iguaçu, entre os dias 29 de agosto a 3 de setembro de 2016.

Os dois eventos congregam em âmbito nacional os profissionais ligados à área tecnológica, em especial da agronomia, engenharias e geociências e têm como tema “A Engenharia a Favor do Brasil - Mudanças e Oportunidades”.

Informações • soea@crea-pr.org.br



8ª TranspoQuip Latin America

A 8ª TranspoQuip Latin America acontecerá entre os dias 4 e 6 de outubro, no Expo Center Norte, em São Paulo.

Mais de 90% das empresas que fecharam contrato para edição 2015 já confirmaram sua presença no TranspoQuip 2016, o que representa uma lista significativa de expositores para o próximo evento.

Informações • www.transpoquip.com



10º Congresso Mundial do ICEC

O IBEC - Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos realizará o 10º Congresso Mundial do ICEC - Conselho Internacional de Engenharia de Custos, de 9 a 12 de outubro de 2016, no Rio de Janeiro. O evento abordará temas de notável relevância para a Engenharia de Custos nacional e contará com o intercâmbio com outros países do mundo, através do ICEC.

O congresso objetiva integrar empresas e profissionais, órgãos públicos, sindicatos, entidades de classe e estudantes da área, através da discussões sobre temas atuais e polêmicos.

Informações • www.icec2016.com



22º Encontro de Asfalto

O tradicional Encontro de Asfalto, promovido pelo IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, chega renovado e ampliado à sua 22ª edição. O Evento acontecerá este ano simultaneamente à Rio Oil & Gas, de 25 a 27 de outubro, a maior feira do setor na América Latina, e que reunirá toda a cadeia produtiva do Petróleo e Gás no Riocentro. Além disso, esta edição do Encontro de Asfalto abrirá espaço para exposição de produtos e serviços de seus patrocinadores.

Informações • www.ibp.org.br



UPADI - Convênio Panamá 2016 - XIII Congresso Nacional de Engenharia Civil

A UPADI - Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros promoverá, entre os dias 24 a 28 de outubro de 2016, a XXXV Convención Panamericana de Ingeniería e o XIII Congresso Nacional de Ingeniería Civil, no Panamá.

Informações • www.upadi.com



Congresso SAE BRASIL

O Congresso SAE BRASIL tem como objetivo conectar as tendências da Engenharia da Mobilidade. Neste ano será realizado de 25 a 27 de outubro, no Expo Center Norte - São Paulo, com o tema: “A Engenharia Criando a Mobilidade do Futuro – Intermodalidade - Conectividade – Veículos e Sistemas Inteligentes”. As empresas participantes apresentarão recentes avanços e inovações da indústria, desenvolvidas por montadoras, sistematistas e outras empresas, todas ligadas à área da mobilidade. Em 2016, o Congresso apresentará 16 painéis temáticos que vão explorar amplamente aspectos da engenharia da mobilidade global, apresentados por renomados palestrantes nacionais e internacionais. Serão 102 apresentações técnicas de trabalhos desenvolvidos por engenheiros, que atuam em indústrias e universidades.

Informações • www.portal.saebrasil.org.br

LANÇAMENTOS



Nos dias 17 e 18 de março, no auditório do prédio da Diretoria da COPPE-UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro, foi realizado o simpósio Homenagem para os professores **JACQUES DE MEDINA** e **WILLY LACERDA**.



À mesa de cerimônia da abertura estavam presentes: o Diretor da COPPE, Edson Watanabe; o Coordenador do Programa de Engenharia Civil, Otto Correa Rotunno Filho; a Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS), representada por Rogério Feijó, do Núcleo RJ; o Departamento de Estradas de Rodagem – RJ, representado por seu Presidente Angelo Monteiro Pinto; a Fundação GEORIO, representada por seu presidente Márcio José Mendonça Machado; o Clube de Engenharia, representado por seu presidente Pedro Celestino da Silva Pereira Filho; a Associação das Empresas de Engenharia do Rio de Janeiro (AEERJ), representada pelo presidente do Conselho Consultivo Francis Bogossian; Maurício Erhlich, da Comissão Organizadora; e a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv), representada por sua diretora técnica Luciana Nogueira Dantas.

Após a cerimônia de abertura houve o lançamento dos livros *Jacques de Medina Visionário Humanista* e *Willy Lacerda Doutor no Saber e na Arte de Viver*, ocasião em que os homenageados fizeram uso da palavra, emocionando todos os presentes. Os professores Jacques de Medina e Willy Lacerda são considerados grandes profissionais da área em que atuam e verdadeiros sábios e visionários. Pessoas que, com carinho e humildade, transmitem aos seus discípulos não apenas o saber, mas a harmonia e a responsabilidade com a qual devemos conduzir as nossas vidas.

Foi um simpósio que presenteou os participantes com a apresentação de diversos trabalhos técnicos abordando temas atuais durante as quatro sessões, sendo eles:

- Comportamento mecânico de misturas asfálticas mornas - **Jaelson Budny**.

- Metodologia alternativa para projetos de pavimentos na área de estabilização de solos - **José Vidal Nardi**.

- 30 anos do Laboratório de Pavimentação da UFRGS - **Jorge A. P. Ceratti**.

- Desempenho da reciclagem de pavimento com adição de cimento na Rodovia SC 135 - **Glicério Trichês**.

- Reflexão sobre o dimensionamento de pavimentos rígidos no Brasil - **Ernesto Simões Preussler**.

- Novo projeto do quebra-mar de Sergipe depois de ruptura durante a construção - **Sandro Sandroni**.

- Caracterização geotécnica, análise de estabilidade e propostas de estabilização de movimento de massa em área da Formação Barreiras e solo residual de granito, em Pernambuco - **Roberto Quental Coutinho**.

- Movimentos Gravitacionais de massas e evolução das encostas montanhosas em regiões tropicais: estudos em Nova Friburgo, RJ - **Ana Luiza Coelho Neto**.

- Investigação e Instrumentação de Encostas na Serra do Mar - **Paulo José Brugger**.

- Análise de Movimentos de massa em áreas cársticas através de modelos **Roberto Guimarães**.

- *Transparency and good governance as success factors in public private partnerships* - **Cesar Queiroz**.

- Por que devemos conhecer, estudar e respeitar o SOLO - Francisco Casanova.

- Utilização dos conceitos de *pay factor* na gestão de obras rodoviárias brasileiras **Leni Figueiredo Mathias Leite**.

- A importância de se reproduzir na obra a granulometria dos agregados da mistura asfáltica de projeto - **Ilonir Antonio Tonial**.

- Parâmetros de deformação permanente de solos finos - **Antonio C. R. Guimarães**.

- Influência da presença de estaca defeituosa em grupo de fundações profundas escavadas e flutuantes - **Renato Cunha**.

- Sobre a importância dos cuidados nos procedimentos de laboratório na qualidade dos resultados de ensaios edométricos **Jean Pierre Rémy**.

- Argilas moles sob rampas de colúvio: áreas suscetíveis a movimentos de massa e voçorocas - **Luis Bacelar**.

- Confiabilidade das previsões de "capacidade de carga" de estacas **Járbas Milititsky**.

- Movimentos de massas em encostas na cidade de Natal, RN - **Olavo Francisco dos Santos Junior**.



Foi realizada uma visita ao Laboratório de Geotecnia da COPPE, que leva o nome do Prof. Jacques de Medina desde 1996. Aconteceu ainda um jantar no restaurante Vitória, complementando esse encontro de confraternização e saber em prol da engenharia nacional e da amizade.

A ABPv E A CRIAÇÃO DA ABCE

RETIRADO DO EDITORIAL DO BOLETIM INFORMATIVO DA ABPv Nº 13 DE ABRIL DE 1993

“Quem milita no setor rodoviário no Brasil e, principalmente, quem tem o que se denomina formação geotécnica sempre buscou na ABPv o arejamento de sua convivência com o setor. Eu digo arejamento não só no sentido de espairer-se. Mesmo porque ninguém resiste à descontração e à alegre convivência das reuniões da ABPv. Ali os técnicos das diversas regiões do país apresentam seus conhecimentos, suas experiências de forma espontânea e descontraída, sem estarem premidos por um cronograma ou uma disputa em concorrência. Tudo ali é contribuição para o conhecimento. É troca de experiências. Enfim, um inusitado estado de espírito de confraternização técnica.

Quem se deu ao trabalho de ler este artigo até aqui, deve estar se interrogando: o que tem a ver esta história com o título?

Tentarei explicar:

Primeiro, porque quem já está quase completando três décadas neste ambiente é dado a fazer considerações histórico-sentimentais (quem foi a Aracaju na 26ª RAPv sabe muito bem o que estou dizendo) e, segundo, porque acredito, já adquiriu este direito.

Mas vamos aos fatos, no caso, históricos.

Como diretor da ABCE - Associação Brasileira dos Consultores de Engenharia, e, sabendo que seu primeiro presidente foi o Eng. Antonio Pimenta, meu professor em 1962/1963 e com quem fui trabalhar em 1965, tive a curiosidade (histórico-sentimental) de consultar a ata de fundação da entidade.

É gratificante, para nós da ABPv, verificar que a iniciativa de se criar uma associação brasileira de consultores de engenharia tenha partido de renomados profissionais da área rodoviária, mais especificamente de pavimentação. Foram eles: Antão Luiz de Melo, Humberto Santana, Antonio Pimenta, Francisco Bolivar Lobo Carneiro, Haroldo de Castro e João Menescal Fabrício.

Este último, nosso dedicado e zeloso diretor-financeiro da ABPv, foi o primeiro secretário da ANCET - Associação Nacional de Consultores de Transportes, hoje ABCE.

À exceção dos engenheiros Antonio Pimenta e Haroldo de Castro, cujos destinos nos privaram muito cedo de suas companhias, todos os demais continuam militando ativamente no nosso setor.

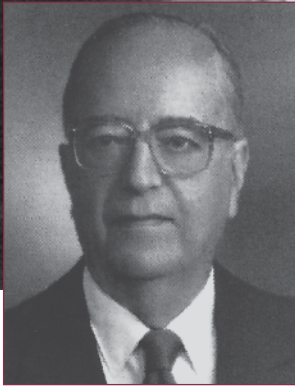
Assim, a ABPv entra na história da consultoria de engenharia brasileira; em primeiro lugar, pelo fato de que todos os fundadores da ANCET (ABCE), eram sócios da ABPv; e, em segundo lugar, porque não só cedeu a sua sede à rua México, 111 - sala 1604 - Rio de Janeiro, RJ, para a reunião de fundação da entidade de classe, como também para sua instalação provisória. Isto aconteceu em 20 de outubro de 1966. A ANCET virou ABCE e representa hoje, todos os campos de atuação da engenharia consultiva brasileira. E a ABPv continua, como sempre, cumprindo o seu papel: o desenvolvimento da pavimentação no Brasil.”

Eng. Maurício de Lana

Diretor Técnico da ABPv

(Bienio - 23ª Diretoria 1992/1993)





PROF. JACQUES DE MEDINA

Um exemplo de dedicação ao conhecimento e à inovação

A história de qualquer profissional, em todas as áreas, é escrita pela sua atuação e contribuição do conhecimento a visão em perspectiva do saber. E o saber é infinito.

A História, que teve um início, reluz nomes de profissionais cuja atuação impulsionou uma vastidão de conhecimento e contínuo aperfeiçoamento do saber, da técnica e da inovação.

O nome do professor Jacques de Medina, professor emérito da UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, ganha honroso destaque dentre e junto a tantos outros pioneiros na engenharia de pavimentos no Brasil. Isto porque Medina nos apresenta como ícone de uma época em que os engenheiros brasileiros não tinham facilidade de continuidade e avanço dos estudos para além dos limites das faculdades de engenharia, mesmo estando a profissão figurando junto com o direito e a medicina nas chamadas “profissões nobres”.

Evidentemente os tempos são outros e todas as profissões são nobres no seu mister, cumprindo com sua finalidade numa sociedade que, cada vez mais, busca constituir-se um organismo funcional dependente da contribuição e cooperação de todos os seus órgãos.

Mas de fato, houve um tempo em que o conhecimento ou o seu avanço era uma busca que na maioria das vezes partia do marco zero. O professor Medina é dessa época onde laboratórios eram escassos e literatura estrangeira era algo literalmente distante. Com tamanhas dificuldades, poucos engenheiros sequer objetivavam a seguir estudos no exterior.

A participação do professor Jacques de Medina na constituição histórica da engenharia de pavimentos no País é ímpar. Formado na segunda metade da década de 1940

pela Escola Nacional de Engenharia da Universidade do Brasil, seguiu para o mestrado Universidade de Purdue, nos Estados Unidos, em 1951.

Na década de 1950, percorrendo países da África e visitando a França, realizou uma série de estudos que foram determinantes para o seu aperfeiçoamento profissional. E mais tarde, retornaria aos Estados Unidos para outros estudos na Universidade de Berkeley e em seguida no Research Laboratory, na Inglaterra.

De volta ao Brasil, Jacques de Medina, juntamente com os engenheiros Mario Kabalem Restom, Paulo Alvim Monteiro de Castro, Aldenor Ribeiro Campos, Francisco Bolivar B. Lôbo Carneiro, Manoel Ribeiro Alves Filho, Saul Birman, Fernando da Fonseca Martins, Décio Nascentes da Silva e Washington Juarez de Brito, encamparam a ideia do engenheiro Francisco Pontes Corrêa Filho e fundaram a Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv, em 1959.

Em 1968 Medina ingressa no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ.

A essa época, o já notável professor havia publicado nove artigos amplamente reconhecidos.

Uma de suas primeiras publicações, ainda na década de 1940, foi sobre o estudo do adensamento radial de argilas, de onde derivou equações que permitem a aplicação prática dos chamados drenos verticais na estabilização de depósitos de argila mole.

Jacques de Medina também atuou no extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER, hoje DNIT e no Departamento Estadual de Estradas de Rodagem da Guanabara atualmente Fundação DER-RJ.

Pesquisa e Pioneirismo na COPPE/UFRJ



No livro recém lançado “Homenagem ao professor Jacques de Medina”, os membros da área de geotecnia da COPPE/UFRJ, relatam que, ao entrar na instituição, Medina, juntamente com os professores Willy Lacerda e Dirceu Velloso, formaram o tripé de sustentação da área de Mecânica de Solos. A Geotecnia também encontraria no nome destes profissionais a sua consolidação na instituição.

Segundo o depoimento de Willy Lacerda no livro em homenagem a Medina, a introdução no Brasil, particularmente na COPPE, da Mecânica dos Pavimentos, sob a ótica científica e experimental, é a sua grande contribuição para a Engenharia brasileira.

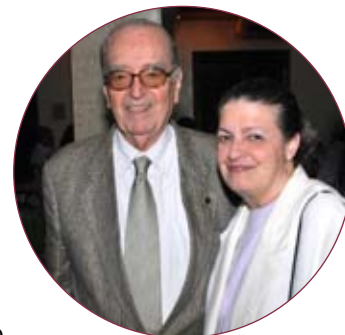
De fato, foi pioneiro nessa área, onde, pela primeira vez no Brasil, iniciou-se o estudo sistemático dos métodos mecânicos - empíricos de dimensionamento de reforços de pavimentos asfálticos, com a introdução de ensaios triaxiais de cargas repetidas de solos, cascalho laterítico e pedra britada para uso em pavimentos.

Medina produziu cerca de 120 publicações, sendo 30 em países estrangeiros e 15 em congressos internacionais realizados no Brasil. Orientou 6 teses de doutorado e 29 dissertações de mestrado. Em 1997, Jacques de Medina publicou o aclamado livro “Mecânica dos Pavimentos”, pela Editora UFRJ em parceria com sua aluna e também professora Laura Maria Goretti da Motta uma de suas melhores discípulas e reconhecidamente grande profissional considerada por ele a filha que não teve.

Falando sobre sua vida e perseverança no que faz, o professor Jacques de Medina discorre no livro em sua homenagem: “O que mais me motiva até hoje é permanecer nesta comunidade universitária de nome COPPE/UFRJ. Mas, durante a vida fui motivado pelo carinho e apoio dos meus pais e dos amigos. Se algo, por vezes, me desanima, é ver à minha volta a pobreza menosprezada e oprimida, é constatar o descaso com o meio ambiente e a impunidade dos poderosos”.

A Família

Jacques de Medina é carioca nascido no bairro de Santa Teresa e criado em Copacabana. Foi casado por 46 anos com Lia Machado Velloso de Medina (falecida em 2015), com quem teve dois filhos, Rodrigo e Rafael.



No livro em sua homenagem, Professor Medina comenta com emoção o amor e o companheirismo de sua esposa Lia, que ao longo dos anos foi incentivadora de sua atuação na COPPE/UFRJ. A admiração pela companheira soa como suave poema que contempla aqueles dias que ficaram na memória. Memória que não morrerá.



Em suas palavras, a família ganha especial destaque como núcleo aglutinador das experiências mais sensíveis do ser humano.

Jacques de Medina é história viva de dedicação, amizade e sabedoria que o tempo consolidou, calorosos aplausos ecoam de seus amigos, colegas, profissionais e alunos. 📍

ESPAÇO JURÍDICO



O USO DE *HABEAS CORPUS* COMO MEDIDA PROTETIVA DOS DIREITOS DE DEFESA

Walter Segundo

O Ministro Joaquim Barbosa, em recente entrevista, afirmou que as instituições republicanas brasileiras estão parcialmente fortes. Se, de um lado, o aparato policial repressivo e investigativo demonstra toda sua eficiência em diversas operações, por outro lado, as organizações representativas, que deveriam dar voz ao povo, precisam melhorar.

Pois bem, a despeito da espetacularização das investigações, o fato é que hoje há uma responsabilização criminal maior do que a que se estabeleceu no país tempos atrás, notadamente no que se refere à atividade empresarial. Esse incremento quantitativo, pode vir a produzir, por parte dos órgãos policiais e Ministério Público, uma menor observação aos direitos fundamentais dos investigados que muitas vezes sofrem com a injustiça ou o exagero da persecução criminal.

Essas ações podem estar ligadas às questões tributária, e ambiental e mesmo relacionadas à questão de contratos com a Administração Pública.

O processo penal, sob a égide do Estado Democrático de Direito, deve ter como horizonte o respeito às garantias e

direitos fundamentais, e precisa ser entendido como uma proteção ao cidadão em face do poder punitivo estatal.

A Constituição Federal trouxe em seu artigo quinto, uma série de incisos elencando regras de contenção ao Estado no tratamento individual e coletivo aos cidadãos.

A ação penal inaugura-se com a denúncia ou queixa, peça obrigatória para sua deflagração, e que deve seguir todas as formalidades previstas no Código de Processo Penal.

Desta forma, o artigo 41 do CPP versa que a denúncia ou queixa conterá a exposição do fato criminoso, com todas as suas circunstâncias, a qualificação do acusado ou esclarecimentos pelos quais se possa identificá-lo, a classificação do crime e, quando necessário, o rol das testemunhas.

Portanto, as formalidades previstas neste dispositivo legal tratam-se de medidas de contenção do poder punitivo, prevendo que, se não forem atendidas, a denúncia ou queixa será considerada inepta, devendo ser rejeitada nos termos do artigo 395¹, também do CPP.

¹ Art. 395. A denúncia ou queixa será rejeitada quando:

I - for manifestamente inepta;

II - faltar pressuposto processual ou condição para o exercício da ação penal; ou

III - faltar justa causa para o exercício da ação penal.

Ocorre que, em detrimento aos dispositivos apresentados, infelizmente, não raro, são oferecidas denúncias manifestamente ineptas ou carentes de justa causa.

O problema maior não reside no oferecimento destas exordiais deficientes, mas sim no ato de recebimento dessas denúncias por parte do juízo, visto que o pleno exercício da ampla defesa e do contraditório restam prejudicados ante acusações sem justa causa ou genéricas.

Isto ocorre com frequência em acusações no âmbito empresarial, quando há a inclusão dos sócios de uma pessoa jurídica no polo passivo da ação penal, pelo simples fato de constarem no contrato social, tratando-se da vedada responsabilidade penal objetiva.

Nesses casos, o uso do heroico remédio constitucional do *habeas corpus* para trancar, ou anular, a errante ação penal é imprescindível para por fim a tal coação ilegal, sem que seja necessário adentrar ao mérito da ação penal.

Isto porque, a inépcia da denúncia trata-se de um vício processual, que não permite a análise em específico das acusações, sendo o processo em si coator e atentatório à dignidade do acusado. Nesse sentido foi o entendimento da Segunda Turma do STF, conforme julgado, abaixo colacionado:

HABEAS CORPUS. DENÚNCIA. ESTADO DE DIREITO. DIREITOS FUNDAMENTAIS. PRINCÍPIO DA DIGNIDADE DA PESSOA HUMANA. REQUISITOS DO ART. 41 DO CPP NÃO PREENCHIDOS. 1 - A técnica da denúncia (art. 41 do Código de Processo Penal) tem merecido reflexão no plano da dogmática constitucional, associada especialmente ao direito de defesa. Precedentes. 2 - Denúncias genéricas, que não descrevem os fatos na sua devida conformação, não se coadunam com os postulados básicos do Estado de Direito. 3 - Violação ao princípio da dignidade da pessoa humana. Não é difícil perceber os danos que a mera existência de uma ação penal impõe ao indivíduo. Necessidade de rigor e prudência daqueles que têm o poder de iniciativa nas ações penais e daqueles

que podem decidir sobre o seu curso. 4 - Ordem deferida, por maioria, para trancar a ação penal.

(STF - HC: 84409 SP, Relator: JOAQUIM BARBOSA, Data de Julgamento: 14-12-2004, Segunda Turma, Data de Publicação: DJ 19-08-2005).

O recente julgado do STJ, igualmente asseverou:

PROCESSUAL PENAL. DENÚNCIA. CRIME AMBIENTAL. RESPONSABILIZAÇÃO PENAL DE PESSOAS FÍSICAS. DESCRIÇÃO FÁTICA. INSUFICIÊNCIA. INÉPCIA. OCORRÊNCIA. AÇÃO PENAL. TRANCAMENTO. 1. É inepta a denúncia que não descreve um fato, sequer, que possa ligar os recorrentes (pessoas físicas) ao delito (lançamento de resíduos em APP - art. 54, §2º, V da Lei nº 9.605/1998) imputado na incoativa. 2. Não se sabe, na espécie, nem se são os recorrentes sócios da pessoa jurídica que teria lançado resíduos poluentes na natureza. A denúncia não diz e não trata de qualquer ação ou omissão por eles cometidas. 3. Recurso provido para, reconhecendo inepta a denúncia, anular o processo desde o seu recebimento, sem prejuízo de que outra peça acusatória seja oferecida, com observância do art. 41 do Código de Processo Penal.

(STJ - RHC: 64.635-ES, Relatora: Ministra Maria Tereza de Assis Moura, Data de Julgamento: 03-12-2015, Sexta Turma, Data de Publicação: 14-12-2015).

Desta forma, é imperioso que haja a descrição do fato criminoso imputado, com a individualização das condutas, para que seja verificado o nexo de causalidade entre a ação humana, e o evento danoso ao bem jurídico tutelado.

Em alguns casos de ações penais já deflagradas, a impetração de *habeas corpus* pode ser a única forma de se evitar que sobrevenha uma injusta condenação e, antes disso, até mesmo um oneroso desgaste de imagem e de tempo, com as idas e vindas de uma ação penal. 📌

Walter Segundo é advogado militante, pós-graduando em Processo Penal e Garantias Fundamentais pela Academia Brasileira de Direito Constitucional e coordenador da área de Direito Penal Empresarial do Escritório David & Athayde Advogados (walter@da.adv.br – www.da.adv.br).

CAIXA COLETORA DE VIA URBANA (BOCA-DE-LOBO)¹

Francisco José d'Almeida Diogo



¹ Populares e alguns técnicos costumam empregar o termo boca-de-lobo para qualquer estrutura que coleta água na sarjeta; outros, o usam para referir-se ao dispositivo de captação com guia-chapéu. Na verdade, existe uma caixa de captação, cuja entrada ocorre por cantoneira ou por grelha, e uma saída, pelo tubo de ligação.

1 • OBJETIVO E CARACTERÍSTICAS

Quando em uma via urbana, as condições do fluxo d'água (*vazão e velocidade*) excedem a sua capacidade de escoamento superficial, em pontos baixos ou em um cruzamento, para impedir que uma enxurrada cruze a via principal, surge a necessidade de um sistema subterrâneo de Galeria de Águas Pluviais (GAP) iniciado por uma caixa coletora.

Uma caixa coletora completa (*combinada*) é composta dos seguintes elementos:

1) Bocas coletoras:

- a) Com **grelha**: abertura no piso da sarjeta, formada por barras de metal ou concreto;
- b) Com **cantoneira** (*guia-chapéu*)²: abertura lateral à sarjeta, no meio-fio.

2) **Caixa**: situada sob a sarjeta (*quando com grelha ou grelha e mais guia-chapéu*) ou sob a calçada (*se com guia-chapéu*) ou ainda sob calçada e sarjeta simultaneamente.

3) **Tubo de ligação**: conduto de saída d'água para outra caixa ou poço de visita.

As aberturas das bocas devem ter sua menor dimensão acima de um valor que evite o entupimento, e abaixo de outro, que propicie segurança e conforto aos usuários da via. Para a grelha, recomenda-se entre 3 e 5cm e para a cantoneira, de 8,5 a 11cm.

Os componentes de uma caixa coletora completa são mostrados nas Figuras 1 e 2:

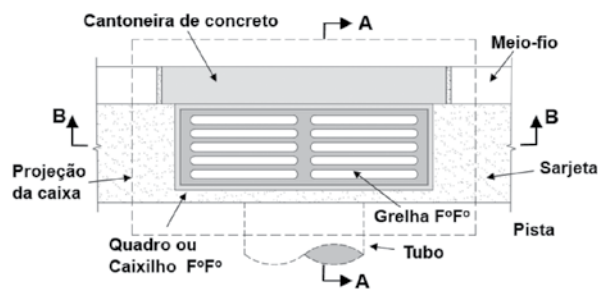


Figura 1 - Planta de caixa coletora

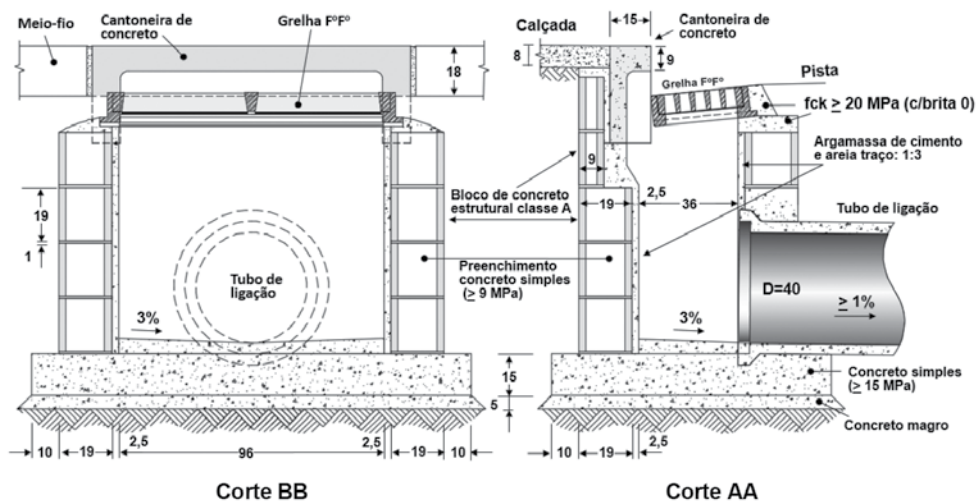


Figura 2 - Cortes de caixa coletora (projeto do autor)

²Também chamada de boca lateral.

As combinações dos tipos de bocas, grelha ou cantoneira, geram novas tipologias. Elas podem ainda ser ou não rebaixadas. Na Figura 3, todas estão representadas com depressão.

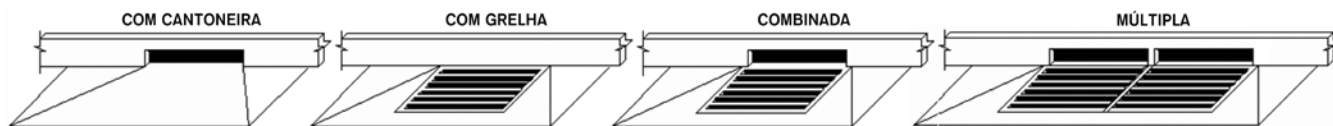


Figura 3 - Tipos de bocas coletoras

As grelhas de ferro fundido (FºFº) devem atender aos requisitos de carga estabelecidos na NBR 10160/2005³ resultando em classes e empregos mostrados na tabela a seguir.

Tabela 1 - Classes das grelhas de ferro fundido dúctil (NBR 10160)

Figuras	Classe Mínima	Carga de controle	Local (emprego)
	A15	1,5 t	Exclusivamente para pedestres e ciclistas.
	B125	12,5 t	Calçadas e áreas de estacionamento de veículos de passeio.
	C250	25 t	Sarjetas e faixas laterais ao meio-fio: até 0,5m na via e 0,2 na calçada.
	D400	40 t	Vias de circulação (ruas), acostamentos e estacionamentos para todos os tipos de veículos.
	E600	60 t	Cargas elevadas, como em docas e aeroportos.
	F900	90 t	Cargas muito elevadas, como em pistas de aeroporto.



Descrição	Carga de controle (t)	
	Trinca	Ruptura
Cantoneira	4	6
Grelha e Quadro	6	9

Figura 4 - Caixa coletora com bocas e caixa fabricadas em concreto – tipo B de Belo Horizonte/MG

³NBR 10160/2005 - Tampões e grelhas de ferro fundido dúctil - Requisitos e métodos de ensaios.

2 • ELEMENTOS DE PROJETO

Uma orientação sobre a escolha do tipo de boca coletora está na Tabela 2.

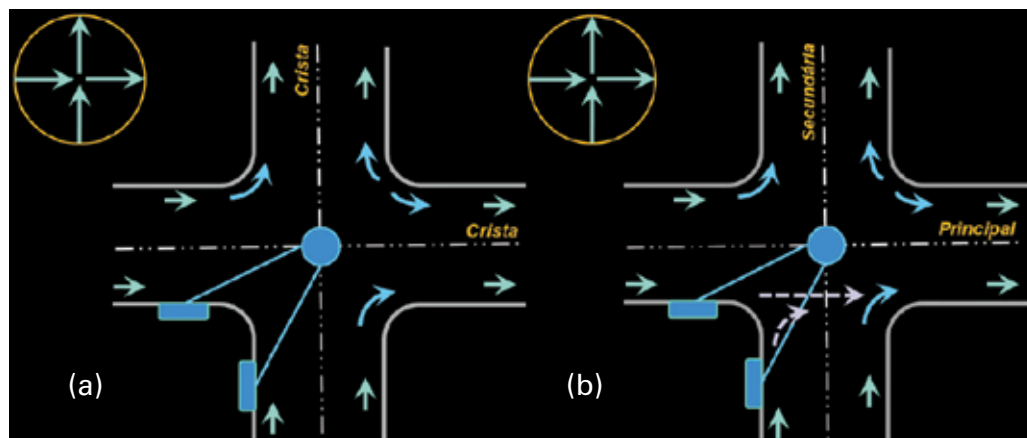
Tabela 2 - Orientação para emprego dos tipos de bocas coletoras

Tipo	Tipo de Boca Coletora x Emprego			
	Localização	Declividade longitudinal	Risco de obstrução	Específico
Cantoneira	- Intermediária - Cruzamentos - Pontos baixos	$I < 5\%$	Não	- Tráfego intenso e rápido - Montante de cruzamentos
Grelha	- Intermediária	$I > 10\%$	Sim	- Não havendo restrição à depressão pode usar a grelha
Combinada	- Intermediária - Pontos baixos	$5\% < I < 10\%$	Não	- Grandes vazões
Múltipla	- Pontos baixos	0%	Não	- Grandes vazões

Orientações gerais para implantar bocas coletoras:

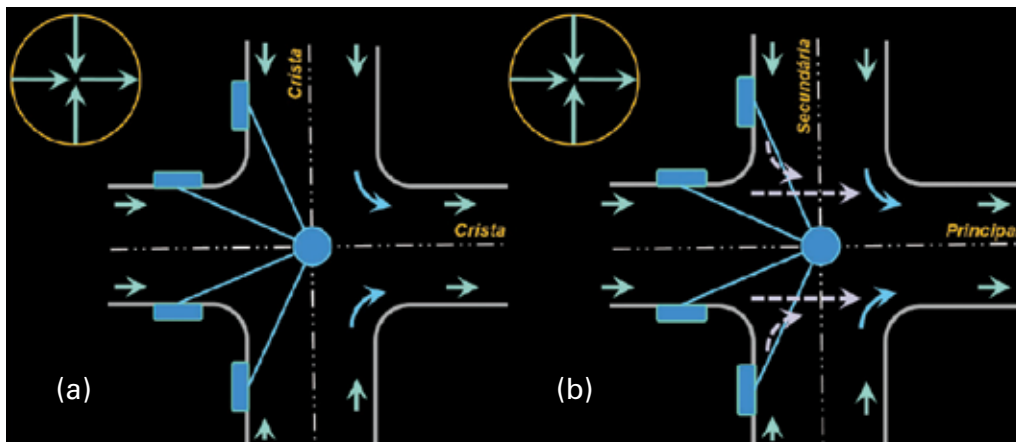
1. Não se admite instalar boca coletora em ruas sem sarjeta.
2. Havendo faixa de travessia de pedestre a boca fica a montante dela.
3. Entre cruzamentos deve-se verificar a necessidade de pares de bocas intermediárias. Em geral, elas ocorrem a cada 40 a 60 m de rua ou a cada 300 a 800 m² de área.

As figuras a seguir apresentam arranjos de bocas coletoras e de mudança na declividade do pavimento visando evitar que o fluxo atravesse outra via em um cruzamento.

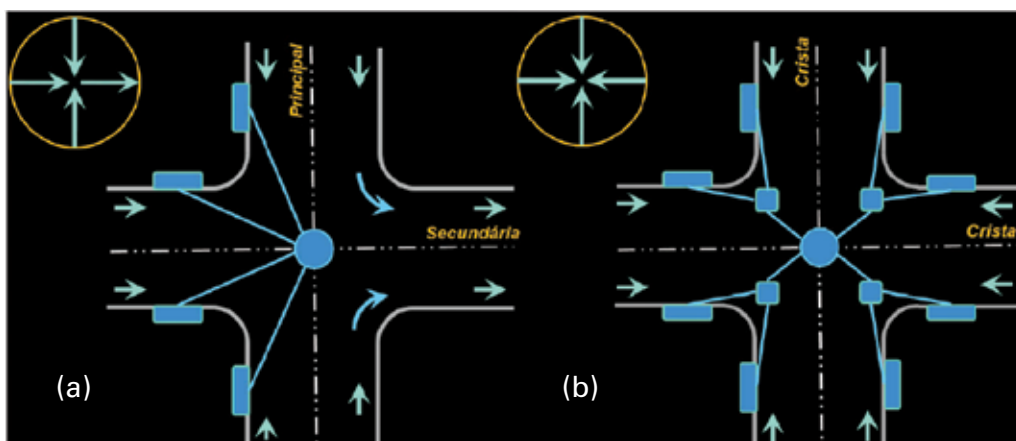


(a) sec. x sec. ou princ. x princ. (b) sec. x princ. e alterando o pavimento

Figura 5 - Solução para dois fluxos de passagem em cruzamento



(a) sec. x sec. ou princ. x princ. (b) sec. x princ. e alterando o pavimento
Figura 6 - Solução para um fluxo de passagem e outro convergente em cruzamento



(a) principal x secundária (b) ponto cego
Figura 7 - Solução para passagem de fluxos em cruzamentos

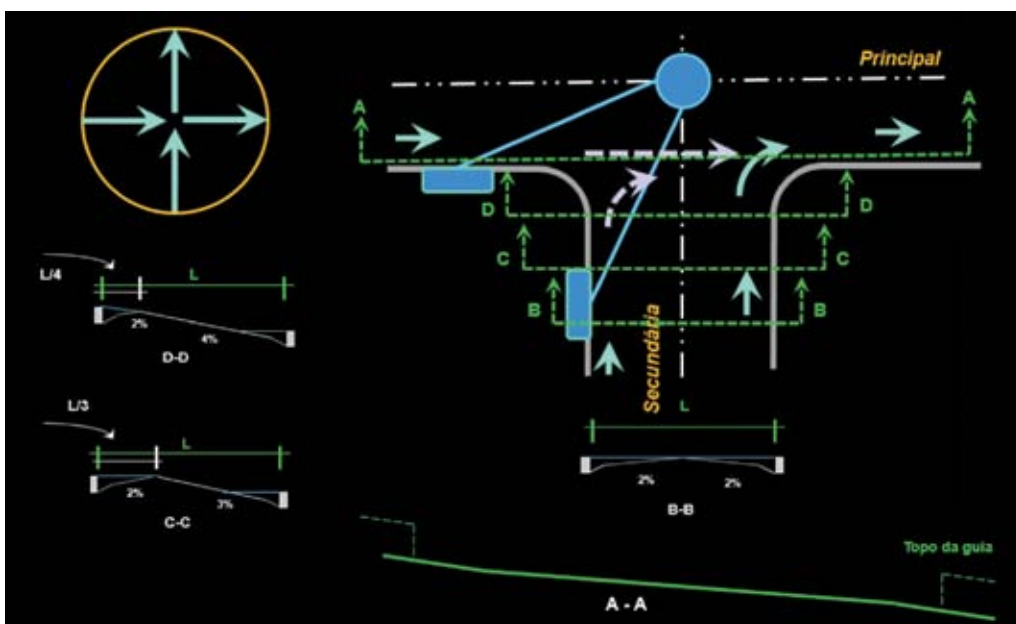


Figura 8 - Modo de alterar a declividade da via secundária para impedir que o fluxo cruze a principal

3 • DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Uma boca coletora é dimensionada segundo três critérios, na ordem:

1º - Localização

- 1) Em ponto baixo de sarjeta, com declividade variando de positiva para negativa.
(o fluxo chega à boca pelos dois lados).
- 2) Em trecho de sarjeta com greide⁴ contínuo em declividade constante.
(o fluxo chega à boca por um dos lados).

2º - Tipo

- 1) Boca coletora com grelha.
- 2) Boca coletora com cantoneira (também chamada de lateral).

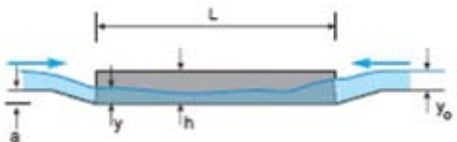
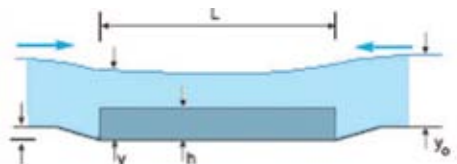
3º - Funcionamento *(depende da altura da água em relação à abertura da boca):*

- 1) Livre: funciona como vertedouro.
- 2) Afogada: funciona como orifício *(mais frequente em ponto baixo e do tipo grelha).*

3.1 • Boca Coletora Localizada em Ponto Baixo

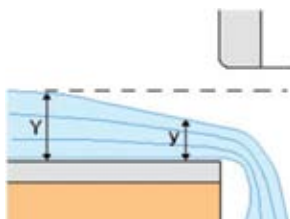
- 1) Boca Coletora Lateral em Ponto Baixo da Sarjeta

Tabela 3 - Critério de escolha do método de cálculo para boca coletora lateral em ponto baixo

Esquema	Condição	Escoamento	Método de cálculo
	$y \leq h$	superfície livre	vertedor de parede espessa
	$y \geq 2h$	afogado	orifício

⁴ Termo da engenharia viária que representa a linha longitudinal do perfil da via.

a) Boca coletora lateral funcionando como vertedor (escoamento livre)



$$Q/L = 1,705 \times Y^{1,5} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

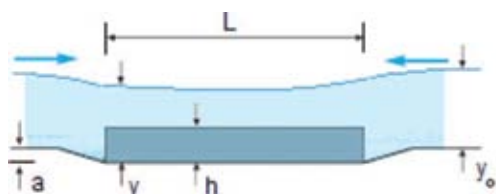
Q/L - capacidade de esgotamento (m³/s.m)

L - comprimento da soleira (ou crista) (m)

Y - altura d'água próxima à face da guia (m)

Figura 9 - Boca coletora como vertedor de parede espessa

b) Boca coletora lateral funcionando como orifício (escoamento afogado)



(a é o valor da depressão)

$$Q/L = 3,10 \times h(y - 0,5h)^{0,5} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:

Q/L - capacidade de esgotamento (m³/s.m)

L - comprimento da soleira (ou crista) (m)

y - altura d'água na face da guia (m)

h - altura da abertura na boca (m)

Figura 10 - Boca coletora como orifício⁵

Para dimensionar escoamento com superfície livre e depressões a = 2,5 cm e a = 7,5 cm, tem-se os nomogramas da Figura 11 adaptados de “Hydraulic Design of Depressed Curb-opening Inlets” (W.J. Bauer e D.C. Woo – Highway Research Record Nº 58)⁶

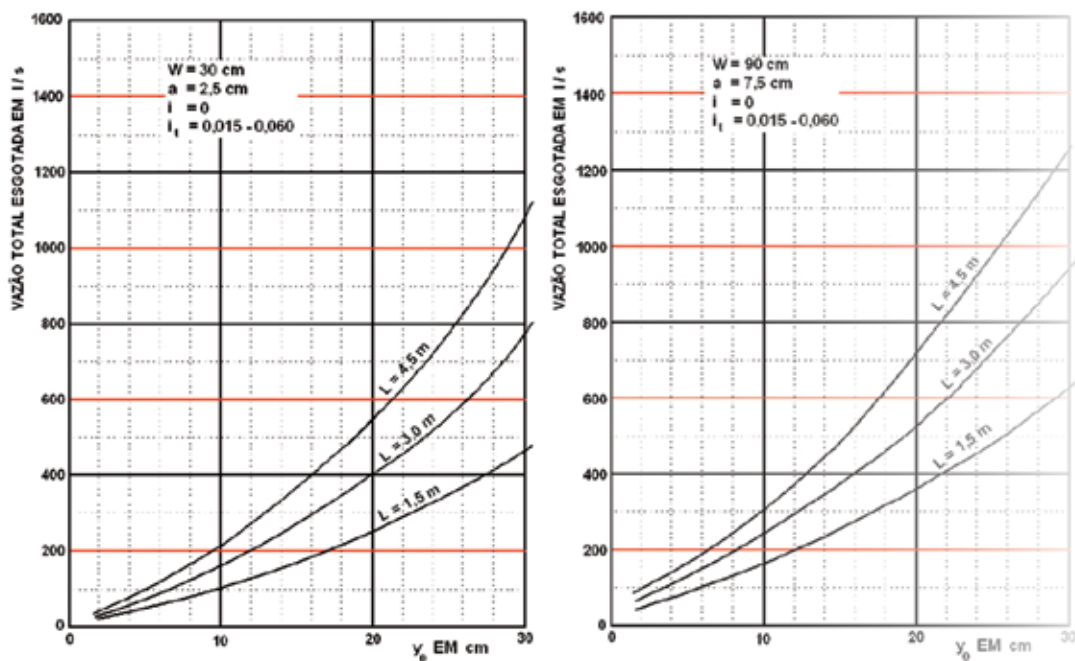


Figura 11 - Vazão esgotada por boca lateral em superfície livre e depressões: a=2,5cm e a=7,5cm

⁵ Os parâmetros que apresentarem índice zero “0” referem-se a valores da sarjeta.

⁶ Publicado à pág. 284 do livro Drenagem Urbana – Manual de Projeto, 3ª Edição, 1986, CETESB, São Paulo.

O nomograma da Figura 12, oriundo dos estudos do *Bureau of Public Roads*, permite obter a capacidade de uma boca coletora lateral em ponto baixo, para depressão de 5 cm, quer em escoamento livre ou afogado.

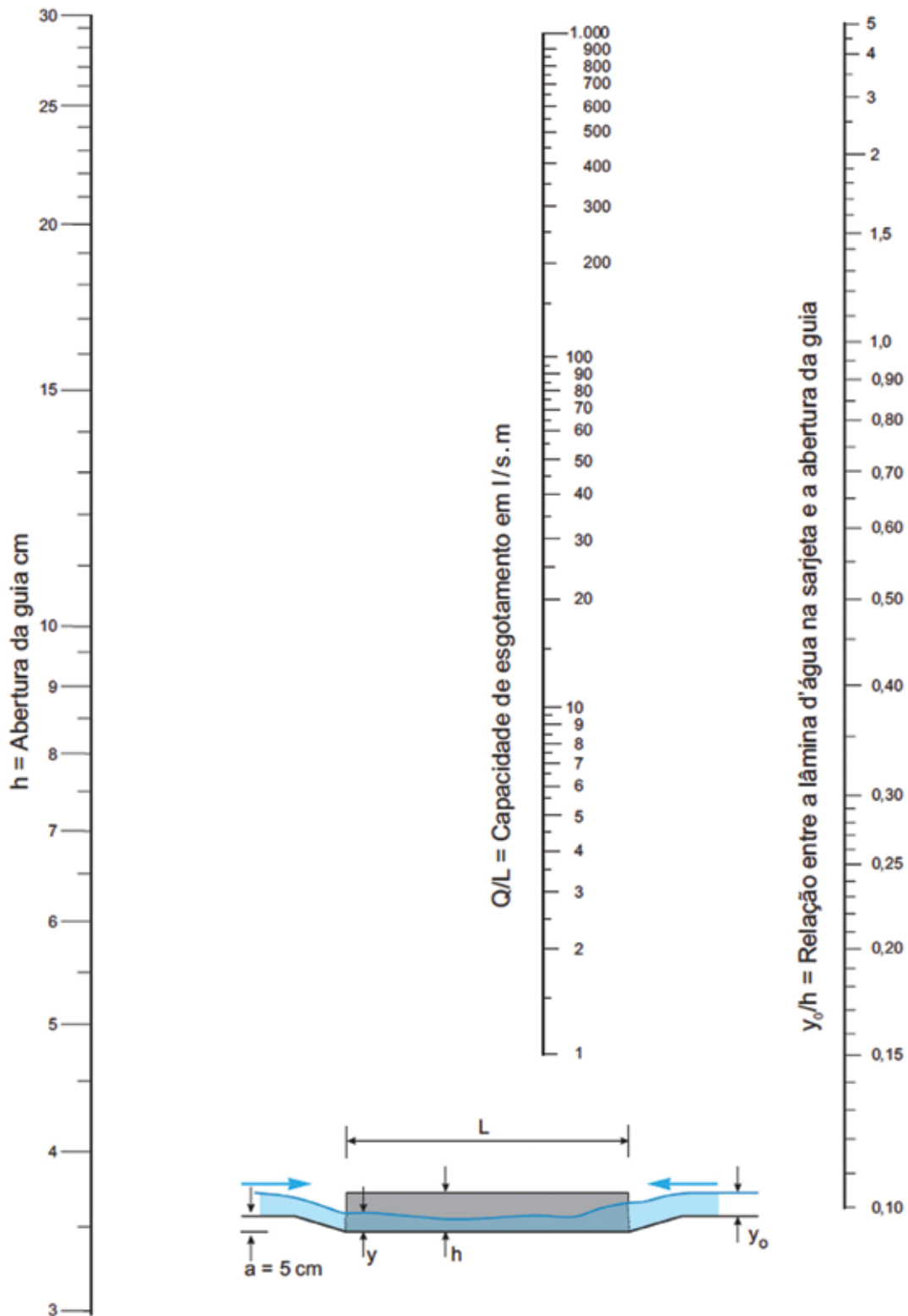
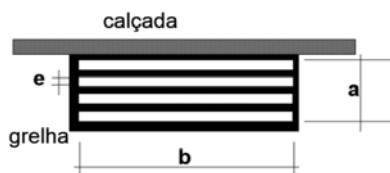


Figura 12 - Capacidade de esgotamento de boca coletora lateral com depressão $a = 5 \text{ cm}$, em ponto baixo da sarjeta, escoamento livre ou afogado.

2) Boca Coletora com Grelha em Ponto Baixo da Sarjeta

Das experiências do United States Corps of Engineers (*Hidraulic Laboratory Report n° 54*) a grelha se assemelha a um vertedor de soleira livre até uma lâmina d'água de 12 cm e a um orifício, quando superior a 42 cm. O intervalo de 12 a 42 cm fica a critério do projetista.



Vertedor $y < 0,12 \text{ m}$	Orifício $y > 0,42 \text{ m}$
$Q = 1,655 \times P \times y^{3/2}$ (Eq.3)	$Q = 2,91 \times S \times y^{1/2}$ (Eq.4)

Figura 13 - Parâmetros usados nas expressões

Onde:

Q - vazão esgotada pela grelha (m^3/s)

P = $2a+b$ (m)

S = $n.b.e$ (m^2)

y - altura da lâmina d'água (m)

n - número de aberturas

a, b, e - ver Figura 13

Porém, o *Manual de Drenagem Urbana de Denver* (estudos da Universidade Johns Hopkins) indica que a grelha funciona como orifício a partir de 7,5 cm e apresenta a Figura 14⁷.

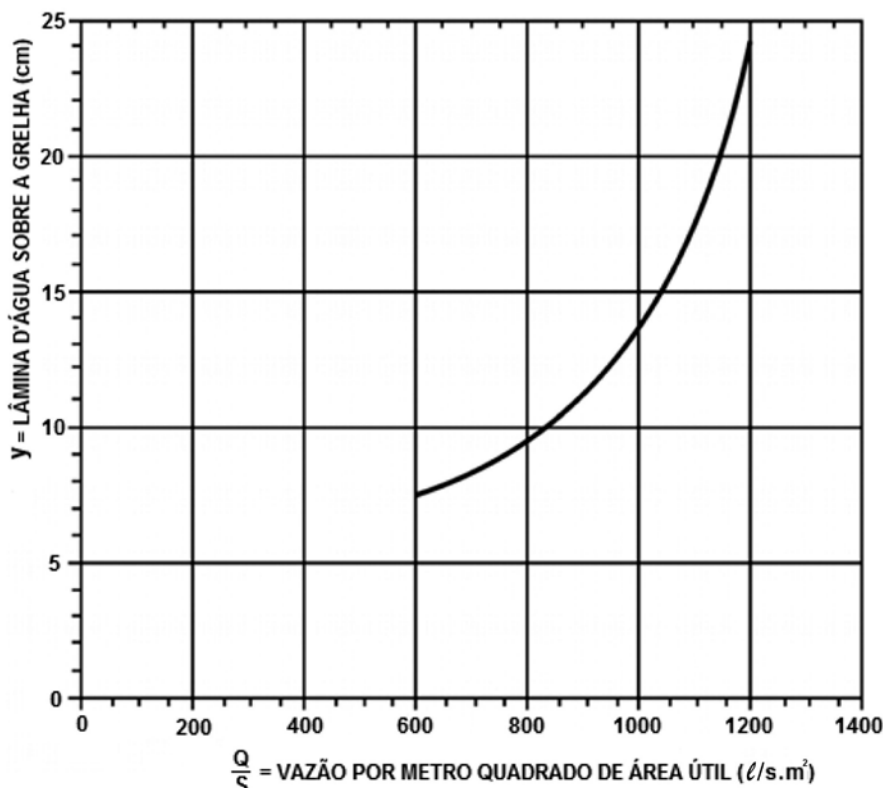


Figura 14 - Capacidade de esgotamento de grelha localizada em ponto baixo da sarjeta

⁷ Publicada à pág. 304 do livro *Drenagem Urbana – Manual de Projeto, 3ª Edição, 1986, CETESB, São Paulo.*

3.2 • Boca Coletora Localizada em Greide Contínuo

1) Boca Coletora Lateral em Greide Contínuo

Para essa situação destaca-se a obra *The Design of Storm Water Inlets*, que avaliza estudos realizados na Universidade Johns Hopkins. Seus ensaios apresentam os elementos da Figura 15, com a sarjeta em greide contínuo mostrando depressão.

Nesse modelo tem-se: a = depressão à frente da boca; $L_1 = 10a$; $L_2 = 4a$; $W = 8a$

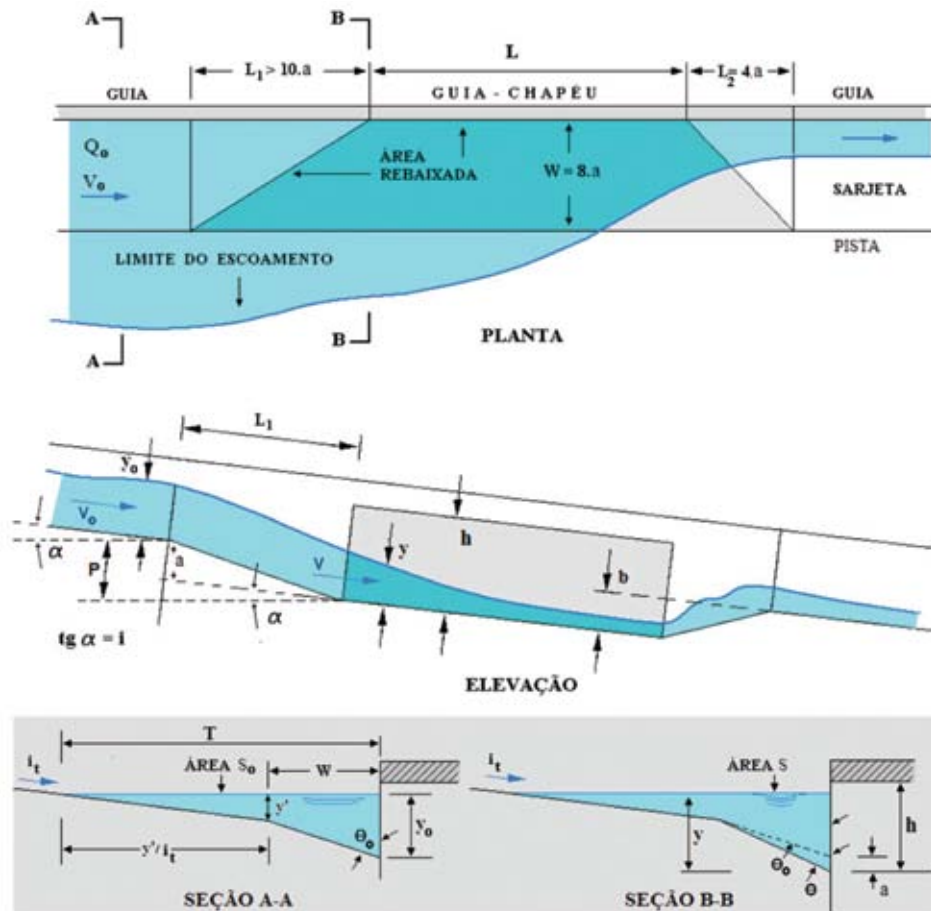


Figura 15 - Boca coletora lateral em greide contínuo da sarjeta

Aplicando o princípio de conservação da energia nas seções A-A e B-B chega-se a:

$$E = \frac{Q_0^2}{2g.S_0^2} + y_0 + a = \frac{Q_0^2}{2g.S^2} + y \quad (\text{Eq.5})$$

Onde: Q_0 - vazão na sarjeta; $g = 9,81\text{m/s}^2$ e demais grandezas como mostra a Figura 15

A capacidade desta boca é obtida da seguinte equação (Universidade Johns Hopkins)⁸:

$$\frac{Q}{L} = (K + C)\sqrt{y^3 \cdot g} \quad (\text{Eq.6})$$

Onde K e C são valores experimentais e adimensionais.

⁸Esta equação poderia ser restrita às condições em que foi gerada, mas se aplica à maioria das situações reais.

a) Boca Coletora Lateral em Greide Contínuo com $a > 0$, $L_2 = 4.a$ e $a = b$

Usa-se $K = 0,23$ e obtém-se o parâmetro C , conforme a seguir:

(Eq.7)

$$C = \frac{0,45}{1,12^{XF^2}}$$

$$X = \frac{L}{a.tg\theta}$$

$$F^2 = \frac{V^2}{gy} = 2\left(\frac{E}{y} - 1\right)$$

$$E = \frac{Q_0^2}{2gS^2} + y$$

O valor de y é obtido da equação 5, por tentativas, ou com a elaboração de um gráfico auxiliar (ver exercício resolvido ao final).

b) Boca Coletora Lateral em Greide Contínuo com $a > 0$, $L_2 \neq 4.a$ e $a \neq b$

Continua-se usando a Equação 6, $K = 0,23$, y é obtido da mesma forma e apenas a equação de X torna-se:

(Eq.8)

$$X = \frac{L}{a_1.tg\theta}$$

$$a_1 = \frac{b - i.L_2}{1 - 4.i}$$

c) Boca Coletora Lateral em Greide Contínuo com $a = 0$

Nesse caso:

$$C = 0 \quad y = y_0 \quad tg \theta = tg \theta_0$$

Os valores de “ K ” dependem de $tg \theta_0$ conforme segue:

$tg \theta_0$	K
12	0,23
24	0,20
48	

2) Boca Coletora Tipo Grelha em Greide Contínuo

O fluxo que passa sobre a grelha, de largura W , é praticamente absorvido por ela. Na Figura 16, observa-se essa parcela e a restante ($T - W$) de profundidade y' , que escoam lateralmente em direção à grelha como se fosse uma boca coletora lateral.

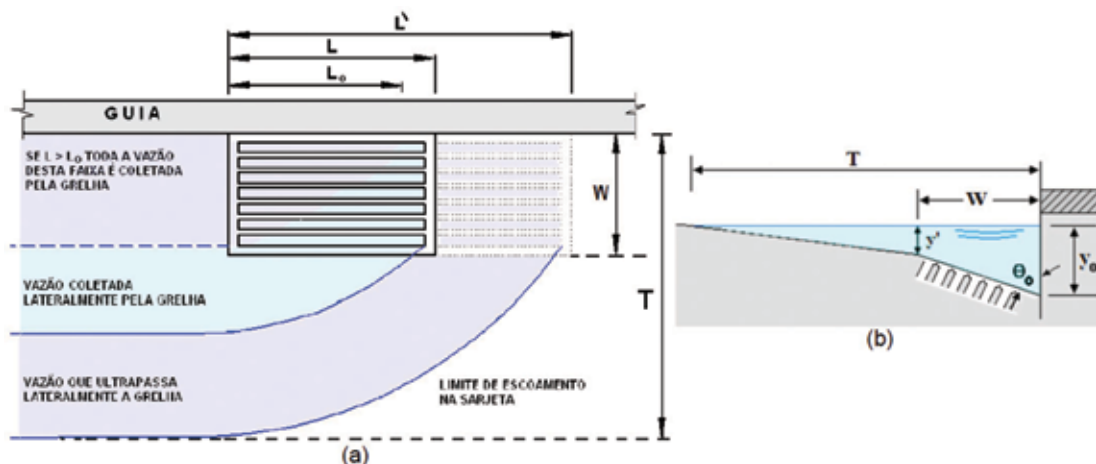



Figura 16 - Grelha em trecho com greide contínuo – (a) planta (b) perfil

Para o estudo de grelhas em greide contínuo, prossegue-se na obra *The Design of Storm Water Inlets*, cujo método é adequado até para grelhas diferentes das ensaiadas.

Com o objetivo de esgotar toda a água que passa pela grelha deve-se atender as expressões a seguir:

<p style="text-align: center;">LATERALMENTE A GRELHA</p> <p>(Eq.9)</p> $L \geq L' = 1,2 \times V_0 \times \text{tg}\theta \times \sqrt{\frac{y'}{g}}$ <p>Onde: $y' = y_0 - \frac{W}{\text{tg}\theta}$</p> 	<p style="text-align: center;">SOBRE A GRELHA</p> <p>(Eq.10)</p> $L > L_0 = m \times V_0 \times \sqrt{\frac{y_0}{g}}$
---	--

O fator **m** depende das barras da grelha e o seu valor encontra-se na Tabela 4

Tabela 4 - Valores do fator m

Boca Coletora	Barras transversais (t < e)	Fator m
Com Grelha	sem	4,0
	com algumas	8,0
Combinada	sem	3,3
	com algumas	6,6

t - espessura das barras; e - espaçamento entre barras

Se o comprimento da grelha (**L**) é menor que o necessário para esgotar toda a água tem-se as seguintes sobras para a próxima boca:

<p style="text-align: center;">LATERALMENTE A GRELHA (L < L')</p> <p>(Eq.11)</p> $q_2 = 0,25 \times (L' - L) \times \sqrt{(y')^3 \times g}$	<p style="text-align: center;">SOBRE A GRELHA (L < L₀)</p> <p>(Eq.12)</p> $q_3 = Q_0 \times \left(1 - \frac{L_2}{L_0}\right)^2$
---	--

A vazão total que ultrapassa a grelha é dada por⁹: **q** = **q₂** + **q₃** e a vazão esgotada: **Q₀** - **q**.

3.3 • Redução da Capacidade Teórica da Boca Coletora

A capacidade da boca coletora é considerada menor que a calculada em virtude de:

- Obstrução por detritos levados pela água;
- Irregularidade no pavimento da rua, junto à sarjeta e à boca coletora;
- Hipótese de cálculo não corresponder exatamente à realidade local.

Levando em conta essas possibilidades, é conveniente aplicar um coeficiente de redução aos valores teóricos obtidos, adotando-se os mostrados na Tabela 5.

$$Q_{\text{admissível}} = F \times Q_{\text{teórica}} \tag{Eq.13}$$

⁹Está se empregando aqui os mesmos índices do Manual do DNIT (2006) e da CETESB (1986).

Tabela 5 - Coeficiente de redução de capacidade da boca coletora (F)

Localização da sarjeta	Tipo de boca coletora	F (%)
Ponto Baixo	Lateral	80
	Grelha	50
	Combinada	65
Ponto Intermediário	Lateral	80
	Grelha longitudinal	60
	Grelha com barras transversais	50
	Combinada	110% x F de cada boca

3.4 • Área mínima da caixa coletora

(Eq.14)
$$S = 0,376 \times \frac{Q}{\sqrt{h}}$$

Onde:

S - Área transversal da caixa (m²)

Q - Vazão a captar (m³/s);

h - Altura da água na caixa cheia (m).

4 • EXERCÍCIO

Cálculo de uma boca coletora lateral em greide contínuo. Solicita-se coletar pelo menos 90% da vazão da sarjeta. Seguem dados para cálculo:

Vazão teórica da sarjeta - $Q_0 = 0,064 \text{ m}^3/\text{s}$

Declividade transversal da sarjeta - $z = \text{tg}\theta_0 = 12$

Declividade longitudinal da rua - $i = 2,5\% = 0,025\text{m/m}$

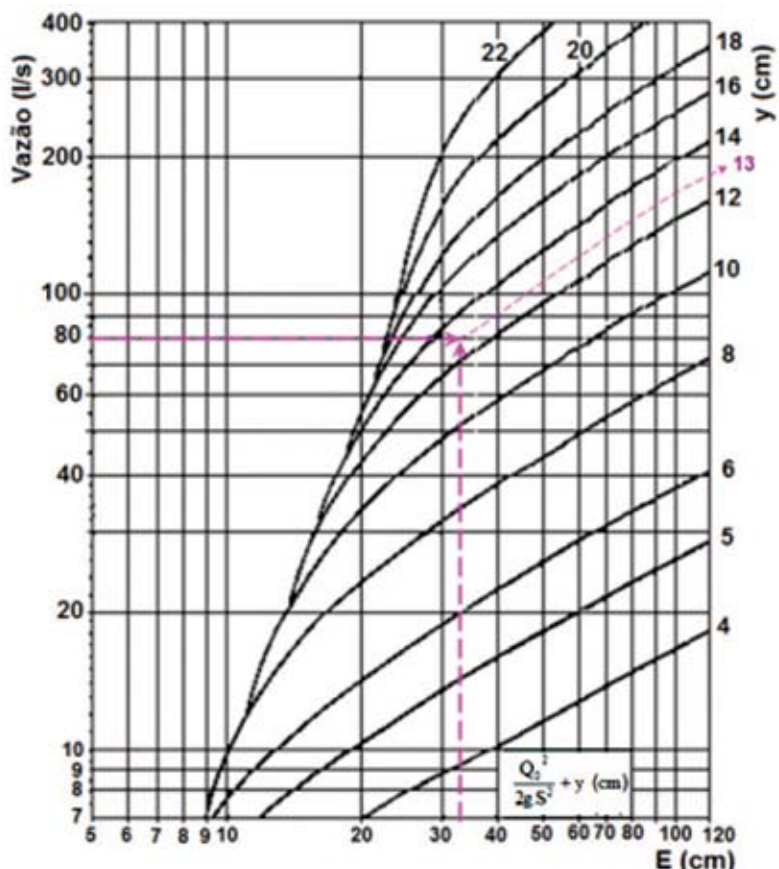
Comprimento da boca coletora - $L = 90\text{cm}$

Depressão na boca - $a = 10,5\text{cm}$

Coefficiente de Manning - $n = 0,016$

Largura da sarjeta - $w = 8.a = 84\text{cm}$

Solução:

CÁLCULO	FORMULÁRIO
1 - Vazão de projeto da sarjeta para dimensionar boca coletora.	
Da Tabela 5 $F = 0,8 \Rightarrow Q_0 = 0,064/0,8 = 0,08 \text{ m}^3/\text{s} = 80 \text{ l/s}$	
2 - Altura da lâmina d'água junto ao meio-fio	
Da expressão de Izzard: $y_0 = \{0,08 / [0,375 \times (12 / 0,016) \times 0,025^{1/2}]\}^{3/8} = 0,0935 \text{ m}$	$Q_0 = 0,375y_0^{8/3} \left(\frac{z}{n}\right) \sqrt{i}$
3 - Velocidade do fluxo d'água na sarjeta	
$V_0 = 0,08 / [(0,0935^2 / 2) \times 12] = 1,526 \text{ m/s}$	$V_0 = Q_0/A_0 \text{ (m/s)}$
4 - Energia E d'água na entrada da boca coletora	
$E = [1,526^2 / (2 \times 9,81)] + 0,0935 + 0,105 = 0,317 \text{ m} \cong 32\text{cm}$	$E = \frac{Q_0^2}{2gA_0^2} + y = \frac{Q_0^2}{2g.A_0^2} + y_0 + a$
5 - Altura da lâmina d'água y na entrada da boca coletora	
	<p>Ábaco, ao lado, feito a partir da equação 5:</p> <p>com E = 32cm e Q_p = 80 l/s, tem-se y = 13 cm</p>

CÁLCULO	FORMULÁRIO
6 - Valor de F²	$F^2 = \frac{V^2}{gy} = 2 \left(\frac{E}{y} - 1 \right)$
F² = 2 x [(32/13) - 1] = 2,92	
7 - Valor de tgθ	$tg\theta = \frac{w}{\left(\frac{w}{tg\theta_0} \right) + a}$
tgθ = 84 / [(84/12) + 10,5] = 4,8	
8 - Valor de X	$X = \frac{L}{a \cdot tg\theta}$
A expressão de X pede um valor para L (desconhecido) Iniciar com L = 1,0 m (100 cm) como primeira estimativa. X = 100 / (10,5 x 4,8) = 1,98	
9 - Valor de C	$C = \frac{0,45}{1,12^{X \cdot F^2}}$
C = 0,45 / 1,12 ^(1,98x2,92) = 0,23 m	
10 - Adotar um valor para K	$\frac{Q}{L} = (K + C) \sqrt{y^3 \cdot g}$
para a ≠ 0 e z = 12 tem-se K = 0,23	
11 - Capacidade da boca	$\frac{Q}{L} = (K + C) \sqrt{y^3 \cdot g}$
Q/L = (0,23 + 0,23) x (9,81 x 0,13 ³) ^{1/2} = 0,0675m ³ /s.m = 68 l/s.m	
12 - Verificação se atende ao requisito de 90% de eficiência	
Eficiência = (68/80) 85% => aumentar o comprimento da boca	
13 - Segunda aproximação (L = 1,1m)	
Com L = 1,10 m => C = 0,22 Calcula-se Q/L = 66 l/s.m Q = 1,10 x 66 = 72,6 l/s, => corresponde a (72,6/80) 90,8% de água captada. Supondo não estar disponível uma boca padrão de 1,10m, não é econômico crescer 10cm de boca podendo o projetista optar por captar esse excesso na próxima.	

Referências Bibliográficas

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.160 - Tampões e grelhas de ferro fundido dúctil – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 28 p, 31/10//2005.
- CETESB. Drenagem urbana: manual de projeto. 3. ed. São Paulo: CETESB, 1986. 464 p.
- CETESB. Wilken, Paulo Sampaio, Engenharia de drenagem superficial. São Paulo, 1978. 478 p.
- DNIT. Manual de drenagem de rodovias. – 2. Ed. – Rio de Janeiro, 2006, 333 p.
- PBH - Prefeitura de Belo Horizonte. Sudecap - Superintendência de Desenvolvimento da Capital. Caderno de Encargos de Infra-estrutura. 2.ed. Belo Horizonte, 624 p, 30/11/2000.



DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO SIMULADOR DE CARGAS DE TRÁFEGO DE LABORATÓRIO PARA PREVISÃO DE DESEMPENHO DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS

*Natália de Souza Correia¹
Benedito de Souza Bueno²*

¹ Pós-doutoranda da Escola de Engenharia de São Carlos
nataliacorreia@usp.br

² Professor da Escola de Engenharia de São Carlos
bsbueno@sc.usp.br

RESUMO

Os chamados ensaios aceleradores de cargas de tráfego de laboratório apresentam-se como um sistema eficaz para o monitoramento de seções instrumentadas de pavimento, particularmente por proporcionarem aceleração da deterioração das estruturas, trazendo todo o controle de estudos de laboratório para modelos físicos com estrutura de pavimento de escala real. Este estudo apresenta o desenvolvimento, a montagem e a aplicação de um equipamento simulador de cargas de tráfego, idealizado para simular os esforços de tráfego em estruturas de pavimento de escala real. O principal objetivo desta pesquisa foi desenvolver um equipamento versátil, que permita a realização de diferentes estudos em estruturas de pavimentos e controle tecnológico de soluções com a aplicação de carga de roda. O desenvolvimento do equipamento foi evidentemente complexo, principalmente no que tange à automação e controle do sistema de carregamento de roda e concomitante resposta da instrumentação durante os ensaios. Neste estudo, um exemplo de aplicação do equipamento com carregamento de roda do tipo linear unidirecional é apresentado, com foco na validação/calibração do equipamento, para que se possa confiar nos resultados fornecidos, visando pesquisas futuras. Duas estruturas de pavimento flexível idênticas foram construídas, instrumentadas e ensaiadas com o mesmo carregamento e frequência, de forma a comparar os resultados apresentados pela instrumentação e desempenho do equipamento quanto à manutenção da carga aplicada.

Palavras-chave: simulador de cargas de tráfego, desempenho de estruturas de pavimento, cargas cíclicas.

ABSTRACT

Laboratory accelerated load tests have become an effective system for instrument pavement sections monitoring, particularly for providing an acceleration of pavement deterioration, bringing the laboratory control to real scale models. This study presents the development, assembly and the implementation of a wheel-tracking device, designed to simulate traffic load efforts in real scale pavement structures. The main objective of this research was to develop a versatile equipment system, which allows different studies in pavement sections and the technology control of different solutions with wheel load applications. The development the wheel-tracking device was evidently complex, especially regarding to automation and control of the loading system, associated with the instrumentation response during the tests. In this study, an example of traffic load application in the unidirectional linear mode is presented, focusing on validation/calibration of the proposed equipment, targeting future researches. Two identical flexible pavement structures were constructed, instrumented and tested with the same traffic load magnitude and frequency, in order to compare the results presented by the instrumentation and the device performance regarding the load maintenance.

Keywords: *accelerated loading test, pavement performance, cyclic load.*

1 • INTRODUÇÃO

O estudo de pavimentos é de grande importância na engenharia de infra-estrutura de transportes nacional, dada a crescente necessidade de manutenção e recuperação da malha rodoviária existente, como também a necessidade de sua ampliação. Para tanto, o desenvolvimento e a aplicação de novos conceitos e técnicas construtivas são necessários, principalmente no âmbito econômico atual. Uma das formas de avançar no conhecimento do comportamento de estruturas de pavimentos, de forma a quantificar sua eficiência, pode ser realizada através de ensaios de carregamento de tráfego de laboratório em seções de pavimento em escala real, em condições próximas às de campo.

Os chamados ensaios aceleradores de cargas de tráfego (APT tests) apresentam-se como um sistema eficaz para o monitoramento de seções instrumentadas de pavimento, particularmente por proporcionarem aceleração da deterioração das estruturas, trazendo todo o controle de estudos de laboratório para modelos físicos com estrutura de pavimento de escala real. Os APT são definidos por Metcalf (1996) como “a aplicação controlada de carga de roda em um protótipo ou em camadas de um sistema real, para determinar a resposta e o desempenho do pavimento em um ambiente controlado, acelerado, com acumulação de danos, em um curto período de tempo”. A aceleração de danos é conseguida pelo aumento das repetições, por condições de carga modificadas, condições climáticas impostas, ou uma combinação destes fatores. Desta forma, uma grande variedade de estruturas de pavimentos pode ser testada com controle de variáveis, além de análises de viabilidade de novos materiais e também para a realização de estudos econômicos de diferentes soluções.

Estudos com modelos físicos de estruturas de pavimento em escala real usando aceleradores de cargas de tráfego têm sido intensamente utilizados por proporcionarem redução de custo e tempo, além de controle de laboratório e redução de uso de recursos naturais (Saeed & Hall, 2003, Llenín et al., 2006, NCHRP, 2012; Saevarsdottir et al., 2014).

No Brasil, são encontrados, para estudos de determinação do comportamento e previsão de desempenho de estruturas de pavimentos, os simuladores de ensaios acelerados de tráfego da Pista Circular do IPR, o simulador de tráfego de grande porte da UFRGS-DAER/RS e o simulador de tráfego móvel linear da CIFALI (Vale, 2008). Já equipamentos para ensaios de modelos físicos de pavimentos com carregamentos cíclicos

por meio de placa foram desenvolvidos por Antunes (2008), Silva (2009) e Kakuda (2010), entre outros. Além destes equipamentos, encontram-se também simuladores do tipo LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) e APA (Analisador de misturas asfálticas), destinados ao teste de misturas asfálticas (Vale, 2008).

Este estudo apresenta o desenvolvimento, a montagem e a aplicação de um equipamento simulador de cargas de tráfego, idealizado para simular os esforços de tráfego em estruturas de pavimento de escala real. O principal objetivo foi desenvolver um equipamento versátil, que permita a realização de diferentes estudos em pavimentos e controle tecnológico de soluções com a aplicação de carga de roda. O desenvolvimento do equipamento foi evidentemente complexo, principalmente no que tange à automação e controle do sistema de carregamento de roda e simultânea resposta da instrumentação durante os ensaios. Neste estudo, um exemplo de aplicação do equipamento com carregamento de roda do tipo linear unidirecional é apresentado, com foco na validação/calibração do equipamento, para que se possa confiar nos resultados fornecidos, visando pesquisas futuras. Duas estruturas de pavimento flexível idênticas foram construídas, instrumentadas e ensaiadas com o mesmo carregamento e frequência, de forma a comparar os resultados apresentados pela instrumentação e desempenho do equipamento quanto à manutenção da carga aplicada.

2. EQUIPAMENTO SIMULADOR DE CARGAS DE TRÁFEGO

O equipamento simulador de cargas de tráfego, desenvolvido no Laboratório de Geossintéticos da Escola de Engenharia de São Carlos, consiste em um sistema de simulação de esforços de cargas de roda. O equipamento foi idealizado para compor uma pesquisa de Doutorado sobre o desempenho de pavimentos reforçados com geossintéticos (Correia, 2014; Correia e Zornberg, 2015).

O equipamento foi projetado para funcionar fixado à uma caixa metálica de aço reforçada, já existente no Laboratório, utilizada para a construção dos modelos físicos de pavimento. A caixa metálica apresenta dimensões de 1,80 m de comprimento, 1,60 m de largura e 1,80 m de altura. Detalhes da construção da caixa de ensaios podem ser encontrada em Viana (2003). O sistema de simulação de cargas de tráfego é composto por uma estrutura metálica de reação instalada nesta caixa de ensaios, na qual

um conjunto composto por um pneu, alimentado por um pistão hidráulico, é acoplado com motores que controlam os movimentos do “carro”. O equipamento foi desenvolvido pela empresa Prototypus Ltda., em São Carlos-SP. A Figura 1 apresenta o esquema geral do equipamento.

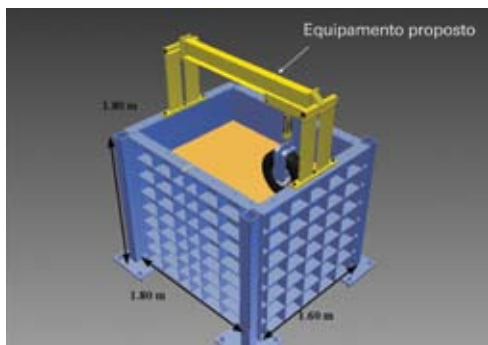


Figura 1 - Esquema do equipamento simulador de cargas de tráfego de laboratório.

O equipamento funciona com dois tipos de carregamento: carga de roda linear e carga estática (que também pode ser substituído por carregamento com placa). O sistema com carga de roda linear unidirecional (carga aplicada em somente uma direção) é apresentado neste trabalho.

O carregamento de roda é realizado por um pneu comercial (Trelleborg T- 800) de 546 mm de diâmetro e 154 mm de largura (capacidade de inflação de 1 MPa), escolhido por ter capacidade máxima de inflação de 0,8 MPa. Com esta configuração de pneu, a pressão de contato imposta na superfície alcança uma tensão de 700 kPa, com carregamento de 16 kN. A célula de carga (AEPH - RPPB - 15000 kg), instalada no conjunto, monitora o carregamento imposto e sua manutenção durante o ensaio. O equipamento tem capacidade de aplicar até 25 kN de carregamento. A Figura 2 apresenta os principais itens que compõem o equipamento.

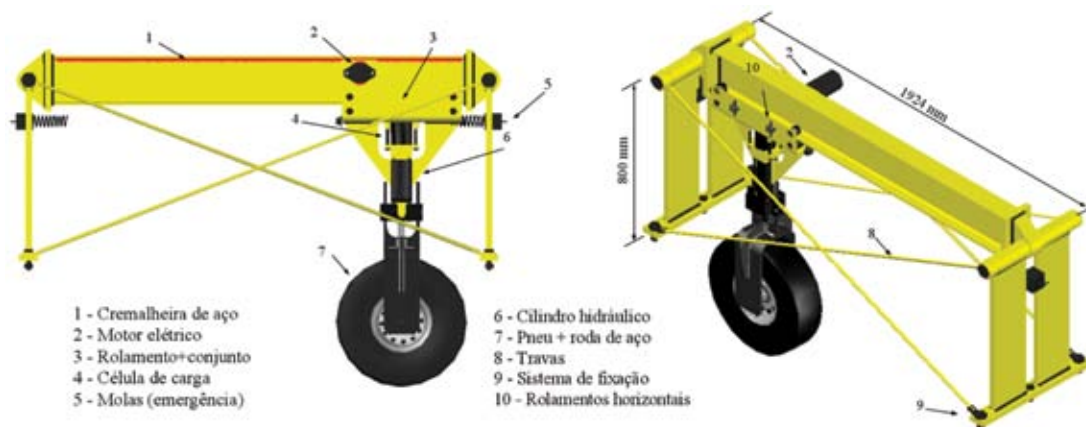


Figura 2 - Sistema de simulação de tráfego desenvolvido nesta pesquisa.

Neste sistema, idealizado para simular a condição real de tráfego, o conjunto (pneu+cilindro+célula de carga) se move na viga de reação com o auxílio de um motor elétrico (Orbit BMP-100). O movimento linear do conjunto é guiado por uma cremalheira, acoplada à viga de reação, além de rolamentos horizontais que impedem o movimento do conjunto nas demais direções (Figura 2). A carga de roda não apresenta deslocamento lateral nesta configuração.

O sistema hidráulico que comanda os movimentos do carregamento é composto, além do pistão hidráulico, por um motor hidráulico (WEG - 4CV), manômetro e válvulas

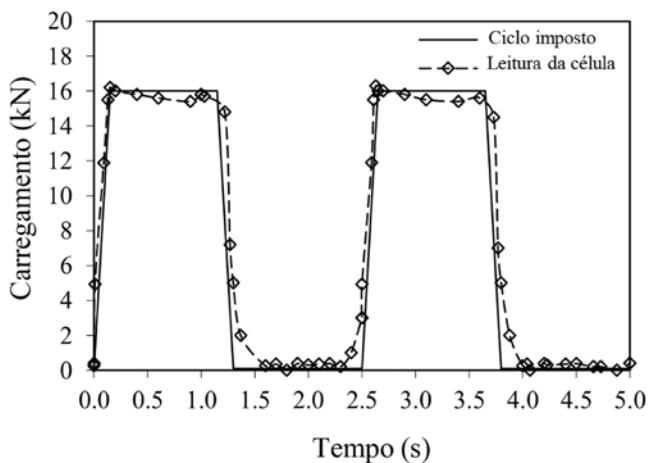
reguladoras de pressão e fluxo, um reservatório de óleo e mangueiras hidráulicas. Foi desenvolvido um programa utilizando o sistema LabView® para o controle do carregamento de roda e diferentes configurações de ensaio. No programa é possível impor o número de ciclos, a frequência, e a carga de roda aplicada. O sistema de automação também autocorrige a velocidade de execução de cada ciclo previamente estipulado. Maiores detalhes podem ser verificados no trabalho de Correia (2014). A Figura 3 apresenta o equipamento construído e o sistema hidráulico para aplicação do carregamento de roda.



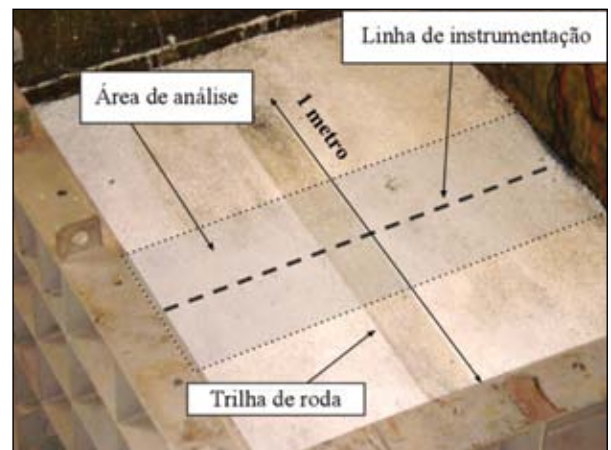
Figura 3 - Equipamento simulador de cargas de tráfego do Laboratório de Geossintéticos (EESC/USP).

Neste sistema de carregamento linear unidirecional, o tempo total de 1 ciclo corresponde à 2,4 segundos, sendo 0,1 segundo para aplicação da carga, 1 segundo de manutenção da carga de roda de 700 kPa aplicada percorrendo 1 metro, 0,1 segundo de descarregamento e 1,2 segundo de retorno des-

carregado. Nesta configuração de ensaio, são realizados cerca de 1500 ciclos por minuto. A Figura 4 apresenta o ciclo imposto e a resposta da célula de carga, e ilustra a vista superior da superfície asfáltica com a área de análise e a marca da trilha de roda.



(a)



(b)

Figura 4 - Modo linear unidirecional: (a) ciclo de carregamento; (b) vista superior da área de análise.

Já no caso dos ensaios no modo estático repetido, foi estipulada a frequência de 1 Hz (DNER-ME 133/94). Este modo de ensaio pode ser realizado com carga de roda ou também pode

ser adaptado para ensaios de placa. A Figura 5 apresenta os ciclos impostos no programa neste modo de carregamento e a resposta da célula de carga durante os ensaios.

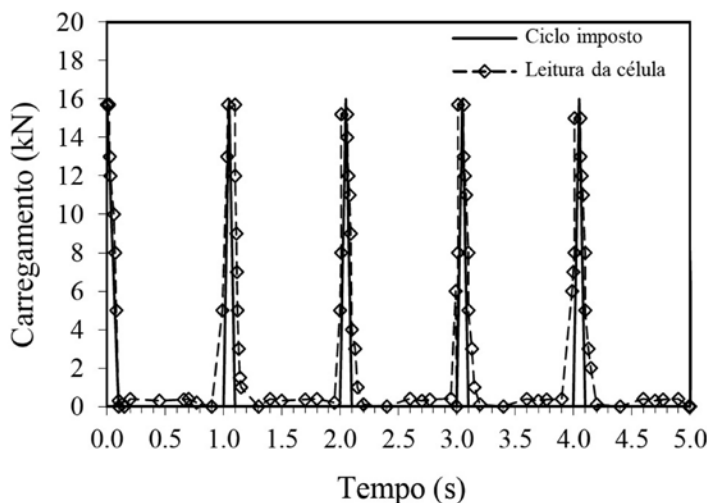


Figura 5 - Ciclos de carregamento no modo estático repetido.

3 • APLICAÇÃO: ENSAIO COM CARREGAMENTO LINEAR UNIDIRECIONAL

Para o estudo da validação/calibração do equipamento no sistema de carregamento de roda linear unidirecional, foi definido um modelo físico de pavimento flexível, composto por uma camada de subleito (1,0 m), uma camada de base granular (200 mm) e uma camada de revestimento de concreto betuminoso usinado à quente (50 mm). Este modelo físico foi montado e testado por duas vezes, para que se pudesse repetir o ensaio e garantir os mesmos resultados de aplicação de carga do equipamento e monitoramento dos resultados de instrumentação. As estruturas construídas foram nomeadas como 1A e 1B. Para a confecção da segunda estrutura, retirou-se o material da estrutura previamente ensaiada 1A até a remoção de 50% do subleito, para posterior compactação das novas camadas.

Para a montagem destas estruturas de pavimento, utilizou-se um solo silto-argiloso como material de subleito. Os pa-

râmetros ótimos de compactação de solo foram $d_{máx}=15$ kN/m³ e $w_{ót}=29\%$ (Proctor Normal). O controle de compactação foi realizado com cilindro de cravação e o grau de compactação estipulado em 98%. O solo é classificado como MH na Classificação Unificada dos Solos e A-7-5 de acordo com a classificação da TRB-AASHTO (DNIT IPR, 2006). Nesta condição de compactação, o CBR do subleito é referente à 4,5% (DNER-ME 049/94).

O agregado da base foi compactado com placa vibratória em duas camadas de 100 mm, com altura total de 200 mm. Os parâmetros ótimos de compactação $d_{máx}=24$ kN/m³ e $w_{ót}=6,5\%$ (Proctor Intermediário) foram utilizados, de forma a garantir $GC=100\%$. O agregado da base é classificado como A-1-a de acordo com a classificação da TRB-AASHTO (DNIT IPR, 2006).

A camada asfáltica é classificada como capa de rolamento - mistura Tipo C (DER ET-DEP00/ 027) com teor de asfalto de 5,4%. O material é proveniente da Usina Bandeirantes (São Carlos-SP) e foi compactado diretamente na caixa de ensaios utilizando-se uma placa vibratória. O material foi compactado à 130°C, em uma única camada de 50 mm.

O volume de vazios médio obtido foi de 9%. Ensaios de Módulo de Resiliência (DNER ME 133/94) também foram realizados após a compactação das camadas, indicando valores de 3730 e 3595 MPa. Maiores detalhes sobre os resultados dos ensaios dos materiais constituintes das estruturas de pavimento analisadas neste estudo podem ser encontrados em Correia (2014).

Um total de 8 sensores de deslocamento vertical linear (tipo LVDT) foram utilizados para monitorar os deslocamentos plásticos e elásticos da superfície das estruturas de pavimento. Além disso, um perfilômetro foi utilizado para medidas de afundamento em trilha de roda, em determinados ciclos de carregamento. A Figura 6 ilustra o layout do modelo físico de pavimento, a vista superior da área de análise e os sensores de deslocamentos na superfície asfáltica.



(a)



(b)

Figura 6 - Aplicação do equipamento: (a) layout do modelo físico de pavimento; (b) vista superior da área de análise; Dimensões em mm.

Neste estudo para a validação do equipamento no modo linear unidirecional, foram verificados os resultados de deformação em trilha de roda e bacias de deflexão para cada uma das estruturas durante 100.000 passagens de carga de roda, com pressão de contato de 700 kPa.

Assim, estas estruturas de pavimento foram utilizadas tanto para os testes iniciais do equipamento desenvolvido (que não poderia ser testado sem a construção de uma estrutura de pavimento), como também para a avaliação do controle de qualidade de montagem das camadas do pavimento para demais pesquisas e comparações futuras.

4 • APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 7 apresenta a leitura de tensão aplicada durante os ensaios no modo linear unidirecional. Verifica-se o registro da tensão imposta na superfície (700 kPa) e a manutenção da tensão aplicada durante a realização dos ensaios. A Figura 8 apresenta os resultados de deslocamentos verticais plásticos máximos acumulados, ocorridos no centro da trilha de roda.

Verifica-se que as estruturas de pavimento 1A e 1B apresentaram excelente repetibilidade nos resultados de deslocamentos plásticos ao longo dos 100.000 ciclos de carga aplicados. Desta forma, assegura-se a confiabilidade do desempenho do equipamento em manter a carga imposta, associado ao controle de qualidade na execução dos ensaios.

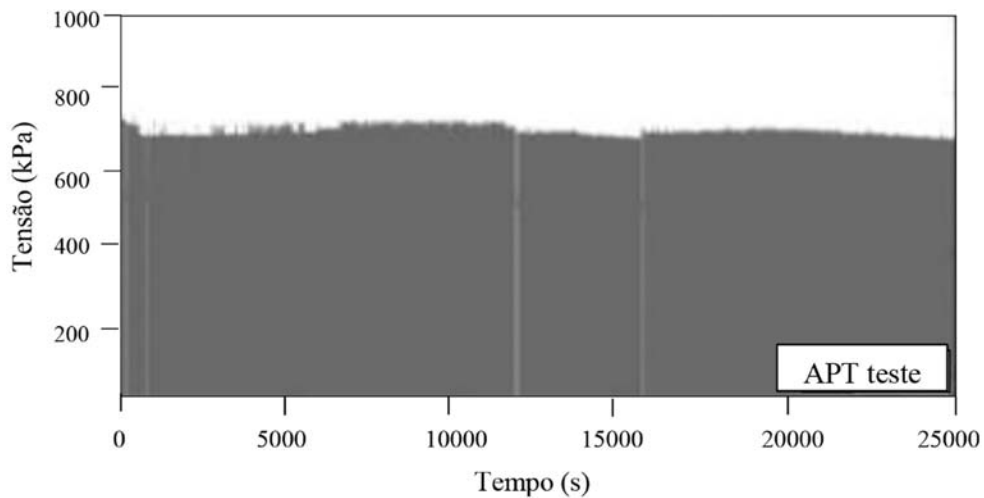
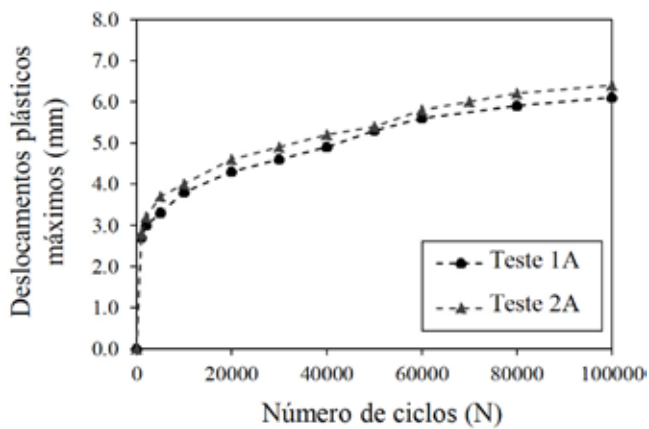


Figura 7 - Leitura do carregamento de roda de 700 kPa durante os ensaios.



(a)



(b)

Figura 8 - Deslocamentos plásticos: (a) valores máximos registrados durante os ensaios; (b) trilha de roda.

O monitoramento de trilhas de roda, realizado com o uso de perfilômetro na superfície do revestimento, em determinados ciclos de carregamento, foi realizado para as estruturas de pavimento. A Figura 9 ilustra os perfis de trilha de roda similares para ambos ensaios realizados. Os resultados são apresentados para 10.000 ciclos de carregamento (Figura 9A) e ao final de 100.000 ciclos (Figura 9B), mostrando valores similares de deslocamentos plásticos máximos e nível de movimentação lateral. Próximo às paredes da caixa não houve

influência nos resultados de deslocamento vertical plástico, tendendo a zero na extremidade da caixa.

A Figura 10 apresenta as bacias de deflexão medidas com os LVDTs, ao final dos ensaios. Os resultados mostraram níveis de deslocamentos elásticos similares entre as estruturas de pavimento ensaiadas, principalmente nas proximidades da carga de roda. Verifica-se também que próximo às paredes da caixa não houve influencia nos resultados de deslocamento vertical elástico.

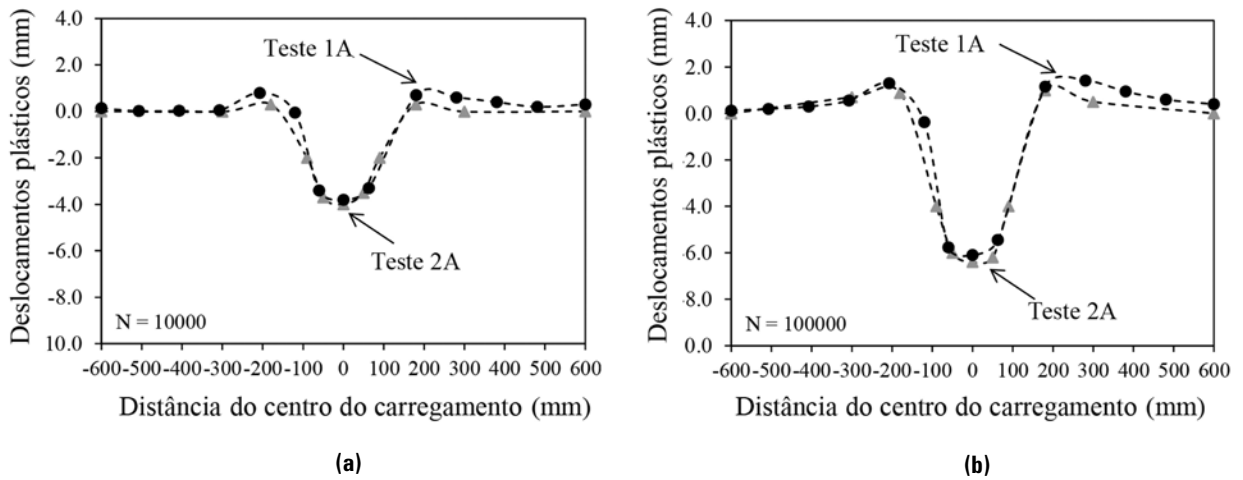


Figura 9 - Perfil de afundamento em trilha de roda: (a) resultado para 104 ciclos; (b) resultado para 105 ciclos.

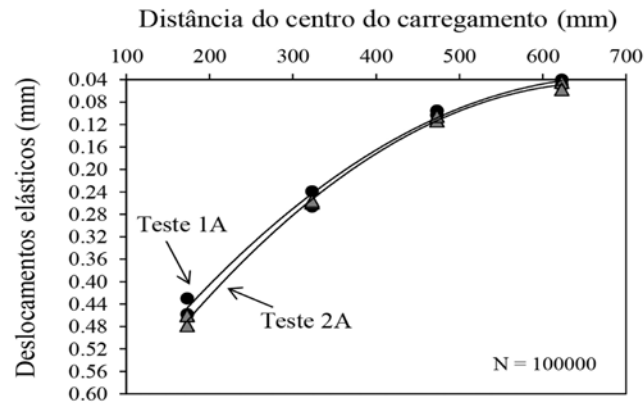


Figura 10 - Bacias de deflexão registradas ao final dos ensaios.

5. CONCLUSÕES

Este estudo apresentou o desenvolvimento, a montagem e a aplicação de um equipamento simulador de cargas de tráfego, contruído no Laboratório de Geossintéticos da USP de São Carlos, idealizado para simular os esforços de tráfego em estruturas de pavimento de escala real.

Neste estudo, um exemplo de aplicação do equipamento com carregamento de roda do tipo linear unidirecional é apresentado, com foco na validação/calibração do equipamento. Duas estruturas de pavimento flexível foram construídas, instrumentadas e ensaiadas com o mesmo carregamento e frequência, de forma a comparar os resultados apresentados pela instrumentação e desempenho do equipamento quanto à manutenção da carga de roda aplicada.

A investigação da resposta estrutural das estruturas de pavimento ensaiado mostrou excelente repetibilidade nos resultados, mostrando confiabilidade no controle de qualidade de execução dos ensaios, bem como no desempenho do carregamento linear unidirecional aplicado.

Baseado nos estudos de calibração e verificação do comportamento das estruturas de pavimento ensaiadas, verificou-se que o equipamento simulador de cargas de tráfego construído para esta pesquisa atendeu as expectativas previstas, com automação do carregamento e frequências impostas, e concomitante aquisição de dados da instrumentação instalada nas estruturas de pavimento. Diversos outros ensaios foram realizados com este equipamento e estão apresentados nos trabalhos de Correia (2014) e Correia e Zornberg (2015).

Agradecimentos

Agradeço a importante contribuição do Professor Dr. Benedito de Souza Bueno na orientação deste trabalho, principalmente quanto à concepção do equipamento proposto. Agradecemos à FAPESP pelo apoio financeiro e ao CNPq pela bolsa de estudos concedida a esta pesquisa. Agradecimento especial aos Engenheiros e técnicos da Prototypus Ltda. (Maurílio, Pedro, Hebert e Cláudio), pela constante ajuda na construção e automação do equipamento.

Referências Bibliográficas

• ANTUNES, L. G. S. (2008) – “Reforço de Pavimentos Rodoviários com Geossintéticos”. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil, Brasília - DP, 158p.

• CORREIA, N. S. (2014) – “Performance of flexible pavements enhanced using geogrid-reinforced asphalt overlays”. (2014). Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 205p.

• DNER-ME 049/94. (1994) “Solos – Determinação do índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas - Método de ensaio”, 17p.

• Correia, N. S.; Zornberg, J. G. (2015) - “Mechanical response of flexible pavements enhanced with geogrid-reinforced asphalt overlays” - *Geosynthetics International*, Dezembro, 2015, 11p.

• DNER-ME 131/94. (1994) “Pavimentos flexíveis - Solos - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio”, 8p.

• DNER-ME 133/94. (1994) “Misturas Betuminosas – Determinação do Módulo de Resiliência”. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, 5p.

• DER-SP ET-DE-P00/027 (2005). “Concreto asfáltico”. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, p. 1-45.

• LLENÍN, J. A., PELLINEN, T. K., ABRAHAM, D. M. (2006) – “Construction Management of a Small-Scale Accelerated Pavement Testing Facility”. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. Vol. 20, No. 3, p. 229-236.

• METCALF, J. B. (1996) – “Application of Full-Scale Accelerated Pavement Testing”. *NCHRP Synthesis of Highway Practice 235*:

Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 110 pp.

• NCHRP (2012) – “NCHRP synthesis 433 - Significant findings from full-scale accelerated pavement testing”. *Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C., USA.*

• SAAED, A.; HALL, J. W. (2003) – “NCHRP Report 512: Accelerated Pavement Testing Data Guidelines.” *National Highway Cooperative Research Program. Transportation Research Board, Washington, DC: 2003.*

• SAEVARSDOTTIR, TH., ERLINGSSON, S., CARLSSON, H. (2014) – “Instrumentation and performance modelling of Heavy Vehicle Simulator Tests”. *International Journal of Pavement Engineering.*

• SILVA, B. H. (2009) – “Análise mecânica de um pavimento rodoviário submetido à oscilação do lençol freático simulada em modelo físico de verdadeira grandeza”. Tese de Doutorado - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE.

• VALE, A. F. – (2008) - “Método de uso de simuladores de tráfego linear móvel de pista para a determinação de comportamento e previsão de desempenho de pavimentos asfálticos”. Tese de Doutorado - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 306 p.

• VIANA, P. M. F. Geovala (2003) – “Um novo método construtivo para tubos enterrados”. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 📌



EQUIVALÊNCIA OPERACIONAL ENTRE EQUIPAMENTOS DEFLETOMÉTRICOS: VIGA BENKELMAN E OITO CONFIGURAÇÕES DE FWD

Cláudio Ângelo Valadão Albernaz¹

Luiz Henrique Costa Gomes²

José Leomar Fernandes Júnior³

¹ Consultor e engenheiro aposentado do DER-MG

² Universidade Federal de Ouro Preto

³ Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Transportes - Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Grande parte das pesquisas para o aperfeiçoamento dos procedimentos de auscultação de pavimentos e o aumento da eficácia dos métodos de dimensionamento de reforço estrutural se baseia no estudo da deformabilidade elástica como parâmetro definidor da capacidade estrutural do pavimento, conjunto estratificado de camadas que pode ser analisado a partir das tensões e deformações geradas em seu interior, quando solicitado por cargas exteriores. De acordo com a filosofia de aprendizado constante, unindo as experiências passadas e a dinamicidade atual, o presente trabalho propõe um estudo que investiga a possibilidade de compatibilização de carregamento entre dois equipamentos amplamente utilizados no Brasil para determinação de parâmetros defletométricos: a Viga Benkelman e o *Falling Weight Deflectometer* (FWD), este com oito configurações diferentes, resultantes da combinação de dois diâmetros da placa de aplicação de carga e quatro valores de carga aplicada ao pavimento. Para tanto, foram realizados levantamentos com esses equipamentos em um trecho de estrada localizado na cidade de Ouro Branco, em Minas Gerais. Com os resultados de campo obtidos foi possível, através da utilização de conceitos da Mecânica dos Pavimentos, a proposição de formas de correlação de cargas entre os dois equipamentos para dar respostas a importantes aspectos teóricos e práticos: obtenção no campo de deflexões reversíveis máximas ou de bacias de deflexão semelhantes às da Viga Benkelman; obtenção do módulo de resiliência das camadas constituintes do pavimento por retroanálise; dimensionamento de um reforço para controlar as trincas por fadiga do revestimento, dimensionamento de um reforço para controlar a deformação permanente nas trilhas de roda.

Palavras-chave: pavimentos; avaliação estrutural; Viga Benkelman; FWD.

ABSTRACT

Annually in the world, large amounts of money are applied for research aimed at improving the procedures of structural evaluation of pavements and the effectiveness of the methods of pavement reinforcement design. Those researches are focused on the study of the elastic deformability as a parameter that define the structural capacity of the pavement layered system that can be analyzed from the stresses and strains generated in its interior when it is submitted to external loads. According to the philosophy of constant learning, linking past experiences to the current dynamicity, this work investigated the possibility of operational equivalence between two devices widely used in Brazil and in the world for structural evaluation of pavements, the Benkelman beam and the Falling Weight Deflectometer (FWD). The first one was used with the configuration recommended by the National Department of Transport Infrastructure (DNIT), while the second one was used in eight different configurations, resulting from the combination of different levels of applied load and different load application areas. The analysis compared the deflection basins, the maximum elastic deflections, the resilient modulus and stresses and strains in the layered system. The results confirm the evidence that there is no universal correlation between the two devices and that the best possible correlations should be developed considering the factors that best characterize the particularities of each highway under the study.

Keywords: pavements; structural evaluation; Benkelman beam, FWD - Falling Weight Deflectometer.

1 • INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico figura hoje como uma das principais causas do desenvolvimento da humanidade. Processos que anteriormente demandavam grande quantidade de mão de obra e conseqüentemente muito tempo, hoje, com o advento da informática, podem ser realizados de maneira mais rápida e eficiente. No entanto, a visão futurista deve ser balizada por experiências passadas, com as quais devem ser comparadas as novas metodologias e equipamentos, para que não sejam cometidos erros de interpretação e, conseqüentemente, não haja desperdício de recursos.

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas para o aperfeiçoamento dos procedimentos de auscultação de pavimentos e para o aumento da eficácia dos métodos de dimensionamento de reforço estrutural. Grande parte dessas pesquisas baseia-se no estudo da deformabilidade elástica como parâmetro definidor da capacidade estrutural do pavimento, modelado como um conjunto estratificado de camadas que pode ser analisado a partir das tensões, deformações e deslocamentos gerados em seu interior, quando é solicitado por cargas exteriores.

No início da aplicação da técnica de levantamento defletométrico, em meados do século XX, quando eram realizados os ensaios de placa e, em seguida, passaram a ser utilizados os ensaios com a Viga Benkelman, era medida apenas a deflexão no ponto de aplicação de carga e, eventualmente, a uma distância de 25 cm, para o cálculo do raio de curvatura.

Atualmente, são levantados no campo vários pontos da bacia de deflexão, mesmo quando se utiliza a Viga Benkelman, equipamento associado à grande experiência acumulada pelo meio técnico brasileiro, que utiliza um carregamento quase-estático e, cuja principal limitação é a morosidade dos levantamentos.

O avanço tecnológico observado nas últimas décadas resultou em equipamentos capazes de determinar as bacias de deflexões a partir de carregamentos dinâmicos (que simulam um veículo em movimento), com maior produtividade e menor interferência humana, representados pelo FWD (*Falling Weight Deflectometer*).

No entanto, observa-se que as deflexões obtidas pela Viga Benkelman e pelo FWD, em um mesmo local de um pavimento, são diferentes, em razão de muitos fatores, não apenas do tipo de carregamento aplicado. Muitos esforços têm sido realizados na tentativa de obtenção de equações de correlação entre os dois equipamentos, de forma a permitir o emprego de deflexões obtidas com o FWD pelos métodos do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) para o projeto de reforço de pavimentos flexíveis e nos sistemas de gerência de pavimentos, que se utilizam de deflexões obtidas com a Viga Benkelman.

Não existem correlações para aplicação generalizada, constatando-se, geralmente, mas não sempre, que as deflexões obtidas com a Viga Benkelman apresentam valores superiores aos obtidos com o FWD. Algumas correlações publicadas na literatura técnica ressaltam a grande diferença de valores que pode ser observada em alguns pavimentos.

Outra abordagem procura definir uma configuração para o ensaio com o FWD capaz de resultar em valores próximos aos que são obtidos com a Viga Benkelman (ALBERNAZ, 1997), alterando principalmente, o diâmetro da placa e o valor da carga aplicada.

O objetivo deste trabalho é avaliar, em um estudo de caso desenvolvido em um trecho de rodovia localizada em Ouro Branco-MG, a possibilidade de equivalência operacional dos equipamentos defletométricos mais utilizados no Brasil, comparando-se os resultados obtidos com a utilização de Viga Benkelman, tomados como referência, com os resultados obtidos com a utilização de FWD, em oito configurações distintas, resultantes de diferentes combinações do raio da placa de aplicação da carga e das cargas aplicadas.

Também são comparados os módulos de resiliência médios de todas as camadas (revestimento, base, sub-base e subleito) e os valores médios de tensão e deformação na fibra inferior do revestimento asfáltico e no topo do subleito, obtidos, respectivamente, por retroanálise e por análise estrutural a partir dos módulos calculados, entre as campanhas realizadas com a Viga Benkelman e com o FWD, em suas oito configurações.

2 • DEFORMABILIDADE ELÁSTICA EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

A deformabilidade elástica é a propriedade de um determinado material de absorver a energia de deformação, que é completamente dissipada após a remoção de forças externas. Constitui um parâmetro de grande importância para o diagnóstico da capacidade estrutural das camadas dos pavimentos e para o dimensionamento de reforços de pavimentos.

Boussinesq estudou a deformabilidade elástica de solos com base na Teoria da Elasticidade formalizada por Cauchy e apresentou uma série de equações interrelacionando a força de contato pontual atuando sobre um sólido semi-infinito e as tensões e deformações desenvolvidas em diferentes profundidades e afastamentos do ponto de aplicação de carga. Considerou o solo como um material homogêneo, isotrópico e caracterizado pelo módulo de elasticidade e pelo coeficiente de Poisson, seguindo a Lei de Hooke.

Observa-se a limitação do modelo de Boussinesq para utilização em pavimentos rodoviários, onde, na maioria das vezes, encontram-se materiais heterogêneos, com comportamento não linear e dependentes do estado de tensões em que se encontram. No entanto, segundo Huang (1993), para pequenos carregamentos, em comparação com a resistência do material analisado, repetidos por um grande número de vezes, a deformação em cada repetição de carga é completamente recuperável e proporcional à carga, caracterizando um comportamento elástico linear.

Burmister (1945) desenvolveu estudo sobre tensões e deformações em estruturas contendo duas e três camadas, que passou a ser conhecido como Teoria de Sistemas de Camadas Elásticas e que se apoiou nas seguintes premissas:

- todas as camadas são elásticas e lineares em termos de respostas dos materiais;
- todas as camadas são infinitas na direção horizontal;
- todas as camadas possuem espessura constante;
- não existem descontinuidades a menos na superfície do pavimento;

- não existem forças da gravidade agindo sobre o sistema;
- não existem deformações nem tensões iniciais residuais;
- os dados de entrada são: coeficiente de Poisson, módulo de elasticidade dos materiais, espessuras das camadas e magnitude e distribuição das cargas atuantes.

2.1 • Equipamentos Defletométricos

Lytton e Smith (1985) classificam os equipamentos utilizados em ensaios de avaliação estrutural não-destrutiva, mediante medida das respostas mecânicas da estrutura, em três grupos:

- **Grupo 1:** composto de equipamentos quase-estáticos, que medem as deflexões do pavimento sob carregamento aplicado por veículo que se desloca lento o suficiente para que não ocorra influência de forças inerciais. Inclui a Viga Benkelman, o curvômetro, o defletógrafo Lacroix e o *California Travelling Deflectometer*;
- **Grupo 2:** inclui os equipamentos de carregamento dinâmico em regime permanente, que aplicam uma carga estática na superfície do pavimento. O caráter dinâmico do ensaio é obtido a partir da indução de uma vibração harmônica estável, através da rotação de dois volantes desbalanceados, que giram em sentidos contrários, ou por vibradores que aplicam uma amplitude de força, numa dada frequência (exemplo: Dynaflect). Outra forma de aplicação de carga cíclica é por meio de um sistema eletro-hidráulico, cuja amplitude de carregamento independe da frequência, isto é, para a mesma carga podem ser utilizadas diferentes frequências (exemplo: Road Rater);
- **Grupo 3:** inclui os equipamentos que medem as deflexões a partir de carregamento por impulso, ou seja, aplicam uma força transiente ao pavimento pelo impacto causado por um peso elevado a uma determinada altura em um sistema guia para em seguida ser liberado. O peso em queda choca-se com uma placa que transmite a força ao pavimento. Esta força pode ser variada pela alteração do conjunto de massas e/ou altura de queda através de um processo de tentativa e erro. Estão incluídos neste grupo os FWD comercialmente disponíveis (Dynatest, Kuab, Phoenix).

O equipamento mais utilizado em todo o mundo tem sido a Viga Benkelman e suas variações. No entanto, os equipamentos do tipo FWD vêm sendo utilizados em larga escala, principalmente a partir da década de 1980, devido à versatilidade, à quantidade de dados que pode ser levantada em um único ensaio e à elevada produtividade.

A Viga Benkelman é um equipamento muito simples, que necessita de um caminhão com eixo traseiro simples e com rodas duplas para aplicar a carga de 80 kN sob a qual será medida a deformação elástica (DNER, 1996). A ponta de prova é colocada entre os pneus de uma das rodas do eixo traseiro do caminhão, exatamente sob o seu eixo. Faz-se uma leitura inicial no extensômetro e, em seguida, são feitas leituras à medida que o caminhão se afasta, geralmente de 30 em 30 cm, até que o extensômetro não acuse mais variação de leitura, ou seja, a leitura final corresponde ao descarregamento do pavimento e todo o deslocamento recuperado é associado à deformação elástica (deflexão). Atualmente, há a versão “eletrônica”, capaz de fazer a medição automática da linha de influência, através de cinco sensores verticais (LVDT), com registro automático da temperatura da superfície do pavimento.

Os equipamentos mais atuais de medida de deslocamentos elásticos de um pavimento são os de impulso gerado pelo impacto de um peso suspenso a certa altura (FWD), sobre amortecedores que comunicam o choque a uma placa metálica apoiada sobre o pavimento, no ponto de leitura da deflexão máxima. A intensidade da força aplicada simula o efeito da passagem de um veículo entre 60 e 80 km/h sobre a superfície do pavimento. O FWD é totalmente automatizado, sendo rebocado por um veículo utilitário leve que carrega parte do sistema de aquisição de dados e um computador conectado aos sensores instalados na parte rebocada, que é o defletômetro propriamente dito (DNER - PRO 273 – 1996).

O equipamento é posicionado na estação desejada, fazendo-se a seleção da configuração da massa (conjunto de pesos). Um programa computacional controla as operações de abaixamento da placa de carga e da barra de geofones e o posicionamento dos pesos para queda de uma altura pré-determinada. A cada ensaio realizado, são exibidos na tela, a altura de queda, o pico de pressão na placa e a força correspondente e os picos de deflexões registrados em cada sensor.

2.2 • Retroanálise dos Módulos de Resiliência das Camadas

Francis Hveem foi o primeiro a constatar que fissuras no pavimento tinham origem no processo de fadiga que sofriam os materiais, causada pela repetição excessiva de pequenas deformações elásticas (Medina e Motta, 2005). E que, para se efetuar a análise de deformabilidade de uma estrutura de pavimento, era necessário o conhecimento da relação tensão-deformação, ou seja, do módulo de resiliência dos materiais que compõem as camadas.

Para a determinação do módulo de resiliência dos materiais constituintes das camadas do pavimento podem ser realizados ensaios em laboratório com amostras coletadas no campo. Alternativamente, os módulos de resiliência das camadas do pavimento e do subleito podem ser determinados a partir da comparação entre a bacia de deflexão teórica e a bacia de campo, que o pavimento apresenta quando submetido a um carregamento externo, que é simulado através dos ensaios defletométrico (não-destrutivos) com Viga Benkelman ou FWD.

Albernaz (1997) destaca que a retroanálise permite a obtenção dos módulos elásticos dos materiais nas reais condições de campo, o que é de difícil reprodução em laboratório, minimiza a necessidade de coleta de amostras na pista e apresenta grande rapidez. No entanto, os módulos obtidos por retroanálise não são, necessariamente, os módulos reais dos materiais das camadas, mas um módulo “equivalente”, que depende de fatores como homogeneidade, isotropia, umidade, grau de compactação, rigidez relativa das camadas, temperatura etc.

3. ESTUDO DE CASO

O trecho em estudo foi objeto de um projeto de engenharia para implantação do acesso ao bairro 1° de Maio, em Ouro Branco-MG, elaborado pela empresa de consultoria Strata Engenharia no ano de 2007, sob fiscalização do DER-MG e a da empresa siderúrgica Gerdau. Tem 1,2 km de extensão, sendo que as obras duraram de julho de 2008 a setembro de 2009. A abertura ao tráfego ocorreu em janeiro de 2010, servindo o trecho principalmente como ligação entre a planta industrial da Siderúrgica Gerdau e a cidade de Ouro Branco, servindo, também, de ligação à Rodovia MG-129, que dá acesso à cidade de Conselheiro Lafaiete.

O clima da região é caracterizado como mesotérmico de altitude, com verões quentes e muito chuvosos e invernos frios e secos. Durante o outono e a primavera as temperaturas são amenas e estáveis. A temperatura média anual fica entre 18°C e 20°C, com as médias das máximas e das mínimas sendo, respectivamente, 25°C e 15°C. Situada no extremo oeste da bacia do rio Doce, Ouro Branco apresenta um dos maiores índices pluviométricos de Minas Gerais, com precipitação anual entre 1.500 mm e 1.750 mm, apresentando chuvas com distribuição irregular e concentradas no verão.

O estaqueamento do lado direito iniciou-se na interseção com a rodovia de acesso à Siderúrgica Gerdaui e teve seu término na rotatória do bairro 1° de Maio, perfazendo uma extensão de 1.220 m (61 estacas). O estaqueamento do lado esquerdo se desenvolveu em sentido contrário, iniciando-se na rotatória de acesso ao bairro 1° de Maio e com término na interseção da rodovia de acesso à Siderúrgica Gerdaui, com extensão de 1.200 m (60 estacas).

O perfil constitutivo do pavimento existente (espessuras e materiais das camadas) foi determinado por duas sondagens:

- Lado Direito: 3 cm de concreto asfáltico usinado a quente (CBUQ), 15 cm de base (canga de minério de ferro), 15 cm de sub-base (canga de minério de ferro) e subleito siltoso, com pedregulho;
- Lado Esquerdo: 4 cm de concreto asfáltico usinado a quente (CBUQ), 15 cm de base (canga de minério de ferro), 15 cm de sub-base (canga de minério de ferro) e subleito argilo-siltoso, com pedregulho.

Os ensaios para determinação das bacias de deflexão com Viga Benkelman foram realizados por faixa de tráfego, de 40 em 40 m, na trilha de roda externa. Nos mesmos locais ensaiados

com a Viga Benkelman foram realizados ensaios com utilização de FWD, mas com oito configurações diferentes de carregamento, variando-se a força aplicada através de mudanças no conjunto de massas utilizadas e na altura de queda, variando-se, também, a área de aplicação da carga, através de mudança das placas circulares responsáveis por transmitir o impacto gerado pelo equipamento ao pavimento.

Os ensaios com o FWD seguiram, inicialmente, a PRO 273/96 (DNER, 1996), que preconiza a aplicação de uma força equivalente a 40 kN por uma placa com 30 cm de diâmetro. Posteriormente, foram executados ensaios mantendo-se a placa circular de 30 cm, mas variando-se a força aplicada. Foram escolhidos valores abaixo do padrão (33 kN) e acima (50 e 60 kN). Finalmente, com o mesmo padrão de cargas foram realizados os ensaios utilizando-se a placa com 45 cm de diâmetro.

Os resultados das campanhas defletométricas realizadas são apresentados por Gomes (2012), que também apresenta os resultados dos ensaios de módulo de resiliência das camadas granulares, executados com a finalidade de auxiliar na definição da faixa de variação dos módulos de resiliência quando da retroanálise. Deve-se destacar que, quando necessário, foi feita a correção da rigidez da camada asfáltica em função de variação da temperatura.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foi feita análise mecânica, para cada uma das campanhas defletométricas realizadas, com uso do programa computacional Retran5-L, desenvolvido por Albernaz (1997). Foram usados coeficientes de Poisson com base em valores da literatura e módulos de resiliência iniciais obtidos de ensaios laboratoriais (Tabela 1).

Tabela 1 - Características elásticas do pavimento existente

CAMADA	MÓDULO DE (Mínimo)	RESILIÊNCIA (MPa) (Máximo)	COEFICIENTE DE POISSON
1) Revestimento	2.450	5.390	0,35
2) Base	39	819	0,40
3) Sub-base	39	819	0,40
4) Subleito	20	519	0,45

As faixas de variação dos módulos e os incrementos de valores geraram cerca de 50.000 combinações (estruturas teóricas), que têm por objetivo representar as variações *in situ*, causadas por variações do teor de umidade, das condições de compactação e da qualidade geotécnica dos materiais. Com as nove condições de carregamento (uma para a Viga Benkelman, oito para o FWD), tem-se um total de 450.000 análises estruturais. Em cada análise foram calculadas as seguintes respostas estruturais:

- tensão horizontal (tração ou compressão) na face inferior de todas as camadas, exceto no subleito (Camada 4);
- deformação horizontal (tração ou compressão) na face inferior de todas as camadas;
- tensão vertical de compressão no topo de todas as camadas da estrutura;
- deformação vertical de compressão no topo de todas as camadas da estrutura;
- deslocamentos de pontos da superfície da estrutura ao longo de um plano vertical paralelo ao eixo da via (bacia de deformação ou de deflexões);
- deslocamentos de pontos das interfaces das camadas, situados em uma linha vertical que passa pelo centro de massa do carregamento;
- porcentagem de contribuição de cada camada da estrutura na formação da deflexão reversível máxima (D_0);
- módulos de resiliência de todas as camadas e do subleito.

Deve-se destacar que os parâmetros que têm maior influência nas análises estruturais e no dimensionamento de reforço de pavimentos flexíveis são:

- forma e magnitude da bacia de deflexão: utilizadas, nas análises mecánísticas, para a determinação dos módulos de resiliência das camadas do pavimento e do subleito;
- deflexão máxima: utilizada em métodos empíricos de dimensionamento de reforços de pavimentos no Brasil;
- módulo de resiliência: propriedade que caracteriza o comportamento estrutural de uma camada e é utilizada no dimensionamento mecánico de reforço de pavimentos;
- deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico: associada à vida em serviço, particularmente quanto ao aparecimento e propagação de trincas por fadiga, utilizada no dimensionamento mecánico de pavimentos;
- deformação vertical de compressão no topo do subleito: associada à vida em serviço, particularmente quanto ao acúmulo de deformação permanente nas trilhas de roda, também utilizada no dimensionamento mecánico de pavimentos.

4.1 • Equivalência entre VB e FWD quanto à Bacia de Deflexão

A análise das bacias de deflexão foi baseada na Raiz Média Quadrática (RMS – *Root Mean Square*). As oito bacias médias geradas pelas configurações utilizadas com o FWD foram comparadas com a bacia média dos levantamentos com a Viga Benkelman (Figuras 1 e 2).

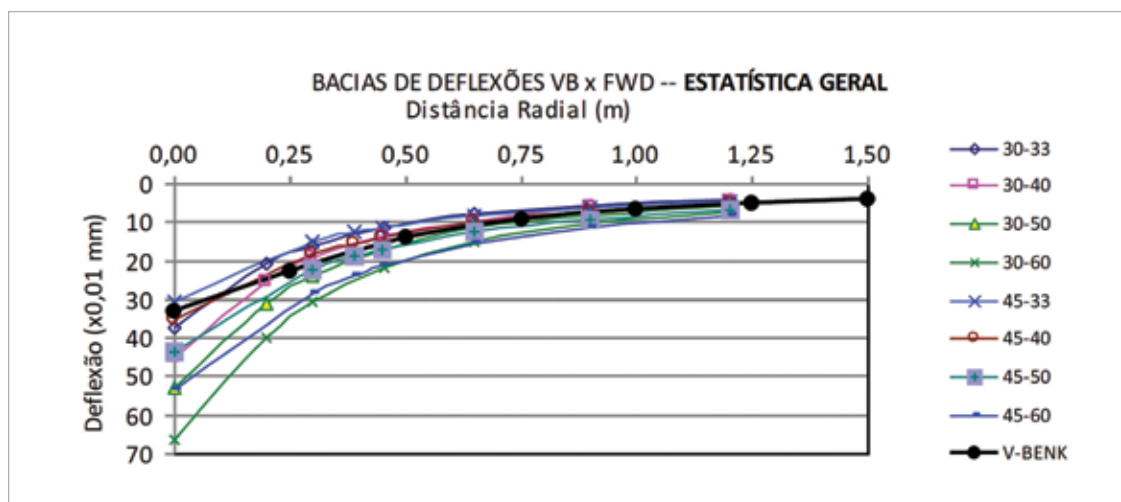


Figura 1 - Bacias médias de ensaios com Viga Benkelman e com oito configurações do FWD

O menor valor de raiz média quadrática, ou seja, maior proximidade entre VB e FWD, foi para a configuração FWD 45-40 (diâmetro da placa igual a 45 cm, carga de 40 kN). Destaque também para as configurações FWD 45-33 e FWD 30-33, sendo que as configurações FWD 30-60 e FWD 45-60 apresentaram maior distanciamento em relação à referência (VB).

4.2 • Equivalência entre VB e FWD quanto à Deflexão Máxima

Para análise comparativa entre a deflexão máxima média obtida nos levantamentos com Viga Benkelman e os valores dos ensaios com o FWD, utilizou-se como critério a diferença percentual (Tabela 2).

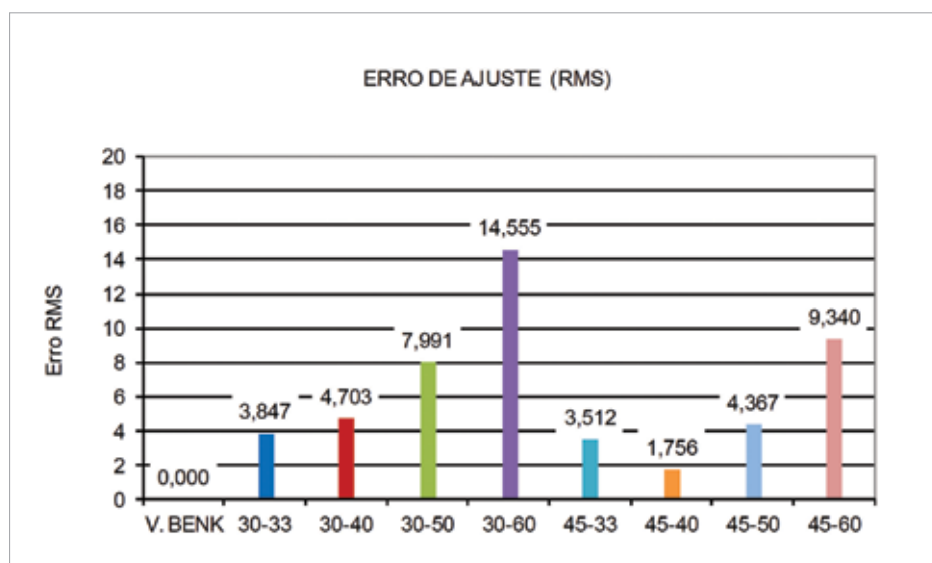


Figura 2 - Comparação entre a Viga Benkelman e as configurações do FWD

Tabela 2 - Valores médios de deflexão máxima referentes aos ensaios com VB e FWD

CAMPANHA DEFLETOMÉTRICA	DEFLEXÃO MÁXIMA (10 ⁻² mm)	DIFERENÇA PERCENTUAL
Viga Benkelman	33	-
FWD 30-33	38	15,1%
FWD 30-40	45	36,4%
FWD 30-50	53	60,6%
FWD 30-60	66	100,0%
FWD 45-33	30	- 9,1%
FWD 45-40	35	6,1%
FWD 45-50	44	33,3%
FWD 45-60	54	63,6%

Em 7 das 8 configurações do FWD as deflexões máximas foram superiores à da Viga Benkelman, excetuando-se a configuração FWD 45-33. A configuração que apresentou maior proximidade com o valor obtido com a Viga Benkelman foi a FWD 45-40, apenas 6,1% superior. As configurações que utilizaram a placa de 45 cm de diâmetro obtiveram resultados mais próximos do obtido com a Viga Benkelman que aquelas que utilizaram a placa com 30 cm de diâmetro, para a mesma carga.

4.3 • Equivalência entre VB e FWD quanto aos Módulos de Resiliência

Através do processo de retroanálise foram determinados os Módulos de Resiliência para cada uma das camadas, tanto para as bacias de deflexão obtidas com Viga Benkelman, quanto para as obtidas com as diferentes configurações de FWD.

a) Camada de Revestimento

Os resultados obtidos para a camada de revestimento asfáltico são apresentados na Figura 3.

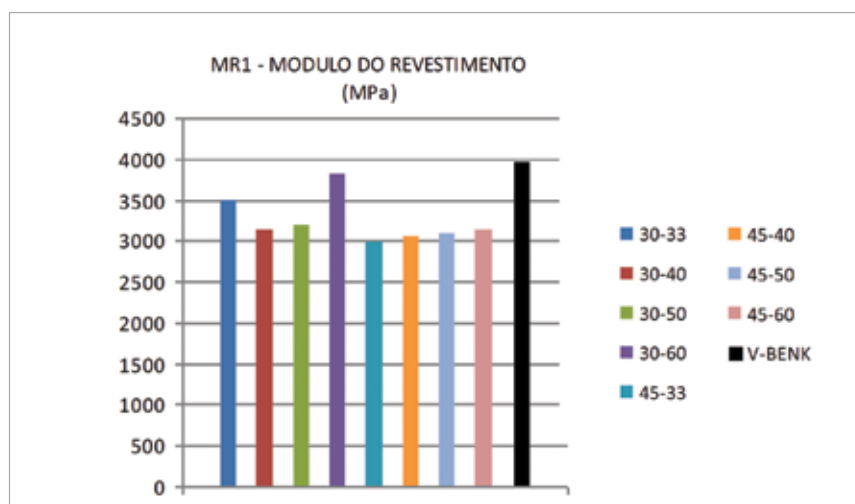


Figura 3 - Comparação das médias dos Módulos de Resiliência do revestimento

Quanto ao Módulo de Resiliência da camada de revestimento, constituída por concreto asfáltico usinado a quente, todos os valores obtidos com as diferentes configurações de FWD foram inferiores ao obtido com a Viga Benkelman. A configuração que apresentou maior proximidade com o valor da VB foi a FWD 30-60, apenas 3,6% inferior ao valor de referência. Não houve grande dispersão de resultados, mas as configurações que utilizaram a placa de 30 cm de diâmetro obtiveram resultados mais próximos ao obtido com a Viga Benkelman em comparação às que utilizaram a placa com 45 cm de diâmetro, para a mesma carga.

b) Camada de Base

Os resultados obtidos para a camada de base, constituída por canga de minério de ferro, são apresentados na Tabela 3. Igualmente ao que foi observado com a camada de revestimento, todos os valores de Módulo de Resiliência obtidos com as diferentes configurações de FWD foram inferiores ao obtido com a Viga Benkelman. A configuração que apresentou maior proximidade com o valor da VB também foi a FWD 30-60. Não houve grande dispersão entre os resultados obtidos com o FWD, mas eles ficaram em torno de 30% inferiores ao da VB e as configurações que utilizaram a placa de 30 cm de diâmetro obtiveram resultados ligeiramente mais próximos do obtido com a Viga Benkelman do que aquelas que utilizaram a placa com 45 cm de diâmetro, para a mesma carga.

Tabela 3 - Valores médios dos Módulos de Resiliência da camada de base

CAMPANHA DEFLETOMÉTRICA	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)	DIFERENÇA PERCENTUAL
Viga Benkelman	621	-
FWD 30-33	436	- 29,8%
FWD 30-40	423	- 31,9%
FWD 30-50	449	- 27,6%
FWD 30-60	547	- 11,9%
FWD 45-33	397	- 36,1%
FWD 45-40	418	- 32,7%
FWD 45-50	432	- 30,4%
FWD 45-60	452	- 27,2%

c) Camada de Sub-base

Os resultados obtidos para a camada de sub-base, constituída por canga de minério de ferro, são apresentados na Figura 4.

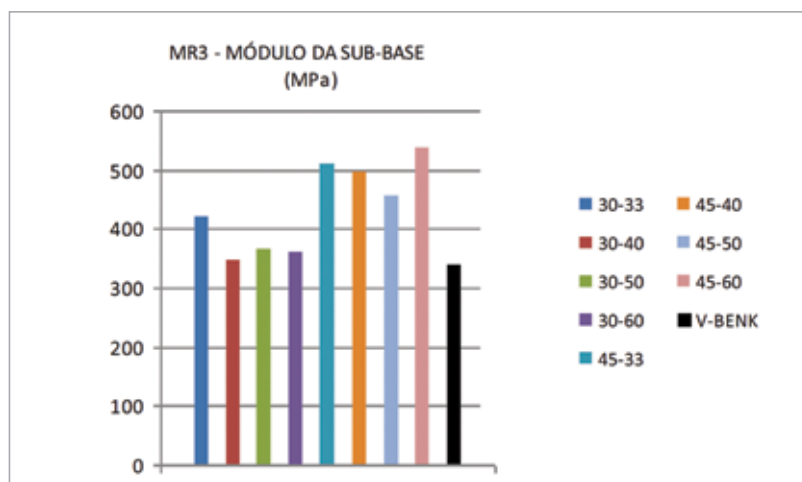


Figura 4: Comparação das médias dos Módulos de Resiliência da Sub-base

Diferentemente do que foi observado com as camadas de revestimento e de base, todos os valores de Módulo de Resiliência obtidos com as diferentes configurações de FWD foram superiores ao obtido com a Viga Benkelman. A configuração que apresentou maior proximidade com o valor da VB foi a FWD 30-40, apenas 2,7% acima do valor de referência. A maior diferença em relação à VB ocorreu com a FWD 45-60, 58,6% acima do valor de referência, tendo havido grande dispersão entre os resultados obtidos com o FWD. As configurações que utilizaram a placa de 30 cm de diâmetro obtiveram resultados muito mais próximos ao obtido com a Viga Benkelman do que aquelas que utilizaram a placa com 45 cm de diâmetro, para a mesma carga.

d) Subleito

Os resultados obtidos para o subleito são apresentados na Tabela 4. Assim como ocorreu com as camadas de revestimento e de base, todos os valores de Módulo de Resiliência obtidos com as diferentes configurações de FWD foram inferiores ao obtido com a Viga Benkelman. A configuração que apresentou maior proximidade com o valor da VB foi a FWD 30-50, 17,7% abaixo do valor de referência. Não houve grande dispersão entre os resultados obtidos com o FWD, mas eles foram em torno de 20% inferiores ao da VB e as configurações que utilizaram a placa de 30 cm de diâmetro obtiveram resultados ligeiramente mais próximos do obtido com a VB que aquelas que utilizaram a placa com 45 cm de diâmetro, para a mesma carga.

Tabela 4 - Valores médios dos Módulos de Resiliência do subleito

CAMPANHA DEFLETOMÉTRICA	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)	DIFERENÇA PERCENTUAL
Viga Benkelman	226	-
FWD 30-33	171	- 24,3%
FWD 30-40	181	19,9%
FWD 30-50	186	- 17,7%
FWD 30-60	170	- 24,8%
FWD 45-33	163	- 27,9%
FWD 45-40	168	- 25,7%
FWD 45-50	174	- 23,0%
FWD 45-60	166	- 26,5%

4.4 • Equivalência entre VB e FWD quanto à Deformação Horizontal no Revestimento

Os resultados de deformação horizontal na fibra inferior da camada de revestimento são apresentados na Tabela 5. Três dos valores de deformação horizontal obtidos com as diferentes configurações de FWD foram superiores ao obtido com a Viga Benkelman (FWD 30-40, FWD 30-50, FWD 30-60), sendo a configuração FWD 30-40 a que mais se aproximou do resultado da Viga Benkelman (146 μ), apenas 5,5% superior ao valor de referência. Todas as deformações horizontais foram de tração, sendo os resultados obtidos com a placa de 45 cm muito mais baixos que os obtidos com a placa de 30 cm, para a mesma carga.

4.5 • Equivalência entre VB e FWD quanto à Deformação Vertical no Topo do Subleito

Os resultados de deformação vertical no topo do subleito são apresentados na Figura 5. Todos os valores obtidos com as diferentes configurações de FWD foram de compressão e superiores ao da referência, sendo a configuração FWD 45-33 a que mais se aproximou do resultado da Viga Benkelman (diferença de 12,1%). Para a mesma carga, as configurações com diâmetro de 45 cm apresentaram valores mais próximos ao da Viga Benkelman.

Tabela 5 - Valores médios de deformação horizontal na face inferior do revestimento

CAMPANHA DEFLETOMÉTRICA	DEFORMAÇÃO HORIZONTAL ($\mu\epsilon$)	DIFERENÇA PERCENTUAL
Viga Benkelman	146	-
FWD 30-33	131	- 10,3%
FWD 30-40	154	5,5%
FWD 30-50	173	18,5%
FWD 30-60	181	24,0%
FWD 45-33	29	- 80,1%
FWD 45-40	32	- 78,1%
FWD 45-50	36	- 75,3%
FWD 45-60	44	- 69,9%

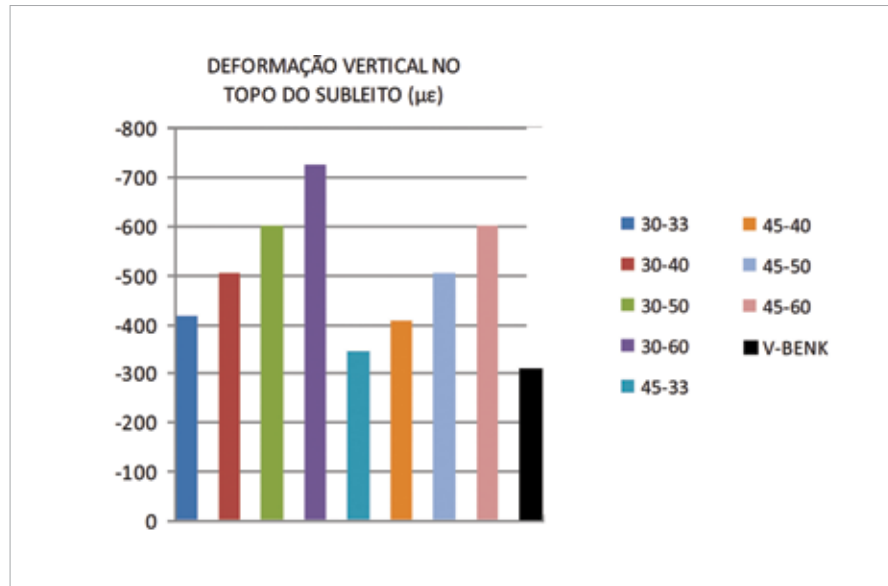


Figura 5 - Valores médios de deformação vertical no topo do subleito

5 • CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com os ensaios realizados com a Viga Benkelman e com oito configurações de FWD, resultante da utilização de dois diâmetros de placa de aplicação de carga de impacto (0,30 e 0,45 m) e 4 níveis de carregamento (33, 40, 50 e 60 kN), permitem as seguintes conclusões, para o trecho de rodovia estudado:

- sendo de maior interesse a obtenção no campo de deflexões reversíveis máximas ou de bacias de deflexão semelhantes às da Viga Benkelman, o FWD deverá ser configurado com placa de 0,45 m de diâmetro e carga de 40 kN, pois representa a carga por eixo do ensaio com Viga Benkelman (40 kN) e, em relação ao maior diâmetro (0,45 m), tem o efeito de atenuar a diferença entre os pontos de determinação da deflexão máxima, pois no ensaio com Viga Benkelman, ele é entre as rodas duplas e no ensaio com FWD é no centro da placa;
- se o maior interesse for a obtenção do módulo de resiliência das camadas constituintes do pavimento, quanto maior a concentração de tensões, melhor, ou seja, configuração do FWD com placa de 0,30 m de diâmetro e carga igual ou superior a 40 kN;

- sendo de maior interesse o dimensionamento de um reforço para controlar as trincas por fadiga do revestimento, a melhor configuração de FWD é com placa de 0,30 m de diâmetro, associada à maior concentração de tensões e, portanto, maior efeito nas menores profundidades do pavimento, sendo indiferente a carga aplicada e, portanto, recomenda-se o carregamento equivalente ao da Viga Benkelman (40 kN);

- sendo de maior interesse o dimensionamento de um reforço para controlar a deformação permanente nas trilhas de roda, a melhor configuração de FWD é com placa de 0,45 m de diâmetro, associada à menor concentração de tensões e, portanto, à consideração dos efeitos nas camadas mais profundas do pavimento, recomendando-se o carregamento equivalente ao da Viga Benkelman (40 kN);

- neste estudo, a exemplo de outros encontrados na literatura técnica, nenhuma configuração de FWD reproduziu todos os resultados obtidos com a Viga Benkelman, dadas as particularidades que os dois ensaios apresentam. Porém, foram analisados aspectos de grande interesse e os resultados obtidos podem contribuir para o aperfeiçoamento das avaliações estruturais e para melhor procedimento de dimensionamento de reforços de pavimento.

Como sugestões para pesquisas futuras, destacam-se:

- complementação da análise do fator concentração de tensões, com estudo de FWD configurado com placa de aplicação de carga com diâmetro superior aos que foram analisados neste trabalho (0,30 e 0,45 m), podendo ser, por exemplo, 0,60 m, para ficar igualmente espaçado e facilitar a análise estatística;
- análise dos fatores tipo e espessura do revestimento asfáltico, com estudos em rodovias com revestimento menos espesso (tratamento superficial ou pré-misturado a frio) e com revestimento mais espesso (concreto asfáltico usinado a quente ou existência de recapeamentos);
- análise do fator tipo de base do pavimento, com estudos em rodovias com diferentes tipos de base (macadame, brita graduada simples, cascalho laterítico, solo arenoso fino laterítico, solo-brita, brita graduada tratada com cimento, solo-cimento);
- análise do fator pluviosidade, com estudos em períodos secos e em períodos chuvosos.

Referências Bibliográficas

- *Albernaz, C.A.V. Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia da deflexão. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.*
- *Burmister, D.M. "The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Application to the Design of Airports Runway-Highway" - Research Board, Proc, 1943.*
- *DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 024/94 – Determinação das deflexões no pavimento pela viga Benkelman. Rio de Janeiro, 1994.*
- *DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. PRO 273/96: determinação de deflexões com defletômetro de impacto tipo falling weight deflectometer (FWD). Rio de Janeiro, 1996.*
- *Huang, Y.H. "Pavement Analysis and Design"-1a. ed., Prentice Hall Inc, 1993.*
- *Lytton, R.L.; Smith, R.E. "User of Nondestructive Testing in the Design of Overlays for Flexible Pavements." - Transportation Research Record 1007, Washington, D.C., .pp 11-20, 1985.*
- *Medina J.; Motta L.M.G. "Mecânica dos Pavimentos" – 2ª ed. Rio de Janeiro, 2005. ⬇*



MISTURA ASFÁLTICA DO TIPO SMA PRODUZIDA COM ADIÇÃO DE FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Rodrigo Lima Cavalcante¹

José Roberto Franco Marques²

José Leomar Fernandes Júnior³

David Alex Arancibia Suárez⁴

¹ rodrigohilario@msn.com

² jroberto@egetra.com.br

³ leomar@sc.usp.br

⁴ alex.arancibia@ufms.br

RESUMO

Este trabalho analisa tecnicamente a possibilidade de utilização das fibras do bagaço de cana-de-açúcar em misturas asfálticas do tipo SMA, produzidas com ligante asfáltico modificado por polímero SBS, na faixa granulométrica 0/11S da norma alemã ZTV Asphalt - StB 07. De acordo com os dados informados pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar que classifica o Estado de Mato Grosso do Sul (MS) como um grande produtor sucro-alcooleiro, tendo hoje 22 usinas em plena atividade sendo que 45% dessas usinas não têm reaproveitado o bagaço de cana-de-açúcar, podendo se beneficiar com a utilização das fibras do bagaço para as misturas asfálticas do tipo SMA como forma sustentável e ambiental para esse resíduo. Avalia-se o comportamento mecânico (Estabilidade e Fluência Marshall) e o escoamento do ligante asfáltico na mistura para um teor de ligante asfáltico igual a 6,50%. Para um teor de fibras igual a 0,30%, a Estabilidade aumentou de 966,24 kgf para 981,81 kgf, não houve alteração da Fluência e houve uma redução no escoamento do ligante asfáltico de 0,22% para 0,06%. O método deste trabalho constituiu-se em um estudo com abordagem quali-quantitativo, com procedimentos de estudos bibliográficos e execução experimental através de ensaios em laboratório. Considera-se que há necessidade de ensaios complementares (resistência à tração e módulo de resiliência) como sugestões para trabalhos futuros, mas as evidências são favoráveis à utilização de fibras do bagaço de cana-de-açúcar em misturas asfálticas SMA, por melhorar o comportamento mecânico, o que representa uma possibilidade de reutilização de um resíduo sólido produzido em grande quantidade. E principalmente serve de referência a estudos de reutilização de outros resíduos sólidos, com características semelhantes às fibras do bagaço de cana-de-açúcar, mas que, ao contrário deste, não têm, atualmente, opções de reutilização ambientalmente sustentável.

Palavras-chave: Misturas Asfálticas SMA, Fibras do Bagaço de Cana-de-açúcar, Estabilidade Marshall, Fluência Marshall, Ensaio de Escoamento.

ABSTRACT

This research analyzes the technical possibility of using fibers from sugarcane bagasse in asphalt mixtures of type SMA, produced with asphalt binder modified SBS polymer, the grading size range 0 / 11S German norm ZTV Asphalt - StB 07. From according to data reported by the Industry Union Cane Sugar ranks the State of Mato Grosso of the Sul (MS) as a great sugar and ethanol producer and today 22 plants in full activity with 45% of these plants have reused bagasse from sugarcane, and may benefit from the use of bagasse fibers for asphalt mixtures SMA type as environmental and sustainable way for that residue. Evaluates the mechanical behavior (Marshall Stability and Fluency) and runoff the asphalt binder in an asphalt binder mixture content of 6.50%. For a fiber content of 0.30%, the stability increased from 966.24 kgf for 981.81 kgf, there was no change in the fluency, and there was a reduction of 0.22% in the asphalt binder run-off into 0.06%. The method of this work consisted in a study of qualitative and quantitative approach, with procedures of bibliographic studies and experimental running through laboratory tests. It is considered that there is further testing needs (tensile strength and modulus of resilience) as suggestions for future work, but the evidence is favorable to use fibers from sugarcane bagasse in asphalt mixtures SMA, to improve the mechanical behavior, which is a chance to reuse a solid waste generated in large quantities. And mainly serves as a reference to reuse solid waste other studies with similar characteristics to the sugarcane bagasse fibers, but, unlike this, do not currently have environmentally sustainable reuse options.

Keywords: Asphalt Mixtures SMA, Fibers of Bagasse from Cane Sugar, Marshall Stability, Marshall Fluency, Dripping Test.

1 • INTRODUÇÃO

O Artigo é resultado da pesquisa sobre as ‘Misturas Asfálticas do tipo SMA produzidas com Adição de Fibras do Bagaço de Cana-de-Açúcar’. Nos últimos anos, o setor da engenharia vem dando atenção às questões de desenvolvimento sustentável, preocupação constante na sociedade. O investimento em pesquisas tem se voltado para a verificação da possibilidade de utilização de materiais que antes eram descartados sem destinação, que não fosse poluir.

Segundo dados informados pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar (ÚNICA/safra 2010-2011) para cada 1.000 Kg de cana moída são gerados aproximadamente 260 Kg de bagaço, o que corresponde a 26%. Aproximadamente 80% da geração desse bagaço é utilizada como bioeletricidade e 20% reaproveitada como nutrição para gado de corte e em estudos como materiais sustentáveis na construção civil.

Mato Grosso do Sul (MS) é considerado o 5º maior produtor sucroalcooleiro do Brasil, conforme os dados do primeiro levantamento de abril de 2012 elaborado pela CONAB. E comparando essas informações com os dados da safra do ano anterior, constatou-se que obteve o maior índice de crescimento, com 12,50%, referente à expansão na lavoura de cana-de-açúcar. Este trabalho procura avaliar se há benefícios com a adição de fibras do bagaço de cana-de-açúcar em misturas asfálticas do tipo SMA.

O asfalto do tipo SMA é uma mistura mais resistente e durável que as demais, porém seu custo é mais elevado, chegando a 30% a mais que as misturas comuns, sendo largamente recomendada a sua aplicação em rodovias de intenso tráfego. É importante a utilização da adição de outros resíduos de aproveitamento, principalmente como a fibra do bagaço da cana-de-açúcar.

2 • MISTURAS ASFÁLTICAS

A mistura asfáltica é um tipo de revestimento flexível e se divide em dois tipos: pré-misturada a frio e pré-misturada a quente. A pré-misturada a frio se dá “quando os agregados (um ou mais) e ligantes utilizados permitem que o espalhamento seja feito à temperatura ambiente (embora a mistura tenha sido feita a quente). O ligante utilizado é emulsão asfáltica ou asfalto diluído” (SOARES, 2012, p.1). Exemplo: Areia-Asfalto a frio. O pré-misturada a quente se dá “quando o ligante e o agregado são misturados e espalhados ainda quentes. O ligante utilizado é o cimento asfáltico” (SOARES, 2012, p.1). Exemplo: SMA, Concreto asfáltico denso (CA ou CBUQ).

Os tipos de revestimentos asfálticos que forem adotados para projeto e execução devem garantir a “impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previsto para o local” (BERNUCCI, 2006, p.157).

2.1 • Concreto Asfáltico Denso (CA)

Está entre os tipos de misturas mais empregadas no Brasil, sendo também denominado Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), possui graduação densa convenientemente proporcionada pela variação dos tamanhos dos agregados misturados com o ligante asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante.

O CBUQ pode ser dividido em dois tipos: o convencional, quando utiliza o “Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) e o agregado aquecidos, segundo a especificação DNIT-ES 031/2004, e o especial, quando utiliza o CAP modificado por polímero ou com asfalto-borracha” (BERNUCCI, 2006, p.162). Na Figura 1 tem-se a imagem comparativa da granulometria entre um CA (CBUQ) e um SMA.

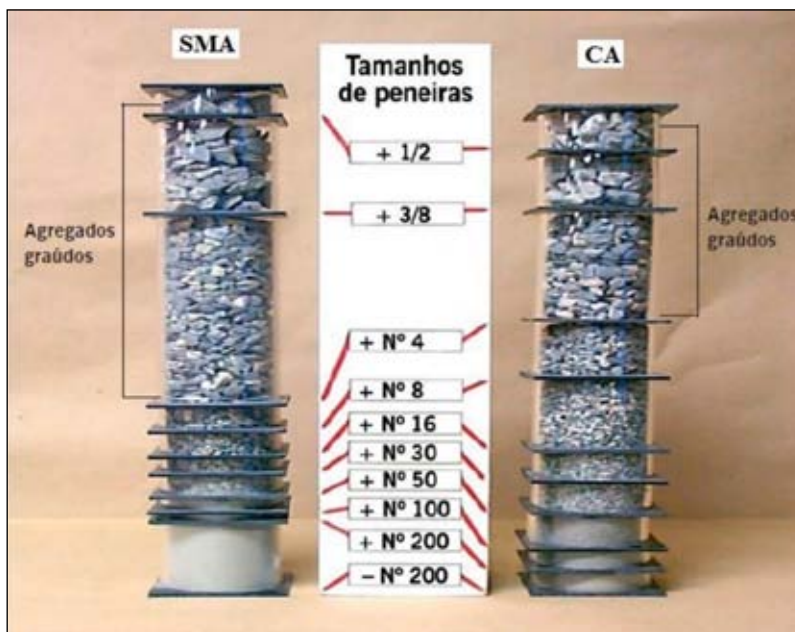


Figura 1: Granulometria entre SMA e CA (FONTE: Horst Erdlen - JRS, Alemanha).

2.2 • Stone Matrix Asphalt (SMA)

O Splittmastixasphalt, conforme designado na Alemanha, local de sua concepção, foi traduzido para o inglês por Stone Mastic Asphalt e, posteriormente por Stone Matrix Asphalt (SMA), sendo esta a última terminologia adotada nos Estados Unidos, também utilizada atualmente no Brasil, significando Matriz Pétreo Asfáltica. A sua elaboração deu-se por uma tentativa do Ministério dos Transportes da Alemanha de encontrar uma solução para a deterioração dos pavimentos, causada pelo uso de artefatos metálicos (correntes e pregos) nos pneus dos veículos durante as estações do inverno. O principal objetivo era desenvolver um tipo de mistura capaz de resistir ao desgaste superficial e às deformações permanentes.

Os volumes de vazios formados pelas misturas entre os agregados são preenchidos por um mástique asfáltico, constituído pela mistura fração areia, fíler, ligante asfáltico e fibras. O SMA é uma mistura rica em ligante asfáltico, com um consumo de ligante em geral entre 6,0 e 7,5% em massa da mistura. Geralmente é aplicado em espessuras variando entre 1,5 a 7cm, dependendo da faixa granulométrica, misturas essas que tendem a ser impermeáveis com volume de vazios que variam de 4 a 6% em pista (BERNUCCI, 2006).

Como informa Beligni et al. (2000), o SMA foi utilizado pela primeira vez no Brasil no início de 2000, nos serviços de restauração do autódromo de Interlagos, em São Paulo. A mistura aplicada empregou asfalto modificado com polímero Styrene Butadiene Styrene (SBS). Apesar do uso ainda incipiente comparado à utilização de misturas tradicionais, observa-se, de acordo com SILVA et al. (2005), que o SMA tem sido empregado em alguns trechos de rodovias brasileiras, principalmente na região Sudeste: via Anchieta – 2001, São Paulo/SP; Corredor Tecnológico – 2002, Barueri/SP; via Dutra – 2002, Arujá/SP; trechos em rodovias sob a responsabilidade da Concessionária Rodovia das Colinas – 2003, SP. Segundo Bernucci et al. (2006), ocorreram aplicações de mistura SMA em rodovias nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná, além do uso urbano em São Paulo, Rio de Janeiro e Salvador.

3 • CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

3.1 • Agregados Minerais

A seleção dos agregados foi feita de forma a enquadrar as misturas na faixa 0/11S da norma alemã ZTV Asphalt - StB 07 com base na norma NBR 7181:1988 (Ensaio de Granulometria). A brita ½” e o Pedrisco foram utilizados como agregado graúdo, sendo todos virgens provenientes da Pedreira Santo Onofre (Ver Figura 2a e 2b). Adotou-se o pó de pedra e não areia de campo, por conta de obter o maior percentual de fíler natural. Amostra essa, coletada na Pedreira Votorantim (Ver Figura 2c). Para moldagem dos corpos-de-prova os materiais (agregados novos) foram fracionados pelas seguintes peneiras: 16mm(5/8”); 11,20mm(7/16”); 8mm(5/16”); 5,60(3,50); 2mm(10) e 0,063mm(230).



(a)



(b)



(c)

Figura 2 - Amostras dos Agregados Graúdos e Fíler (a) Amostra de Brita ½” (b) Amostra de Pedrisco (c) Amostra de Pó de Pedras
(FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

As densidades dos agregados graúdo (brita ½” e Pedrisco) foram determinadas com base nas normas NBR NM 53:2009 (Massa específica real e aparente); na brita ½”, foram efetuados os ensaios de durabilidade com base na norma DNER-ME 089:1994 (Avaliação de Durabilidade pelo emprego de soluções de Sulfato de Sódio ou de Magnésio); e o Abrasão “Los Angeles”, com base na norma DNER-ME 035:1998 (Ensaio de Abrasão “Los Angeles”). Para calcular a densidade do pó de pedra, utilizou-se a norma NBR 6508:1994 (Massa específica real) e a norma NBR 12052:1992 (Determinação da Equivalência de Areia), para o ensaio de Equivalência de Areia. Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Características dos Agregados (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

Material	Brita 1/2"	Pedrisco	Pó de Pedra
Densidade Real – (g/cm ³)	3,059	3,130	3,047
Densidade Aparente – (g/cm ³)	2,927	2,989	-
Equivalência de Areia – (%)	-	-	42,07
Avaliação da Durabilidade – (%)	9,96	-	-
Abrasão "Los Angeles" – (%)	16,28	-	-

3.2 • Ligante Asfáltico

Como ligante utilizou-se o CAP modificado por polímero vindo de Jacaré/SP, esse material foi fornecido pela Betunel e é classificado como Stylink PG 76-22. A amostra de CAP empregado nessa pesquisa é o mesmo ligante asfáltico utilizado no recapeamento da Avenida Afonso Pena em Campo Grande/MS, feito em 2011.

Os ensaios efetuados na caracterização física do ligante asfáltico a ser empregado na mistura SMA foram desenvolvidos pela equipe técnica do Laboratório da Equipe Engenharia/Asfaltec e os resultados obtidos encontram-se resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Características do CAP (FONTE: Equipe Engenharia, Ago/2012).

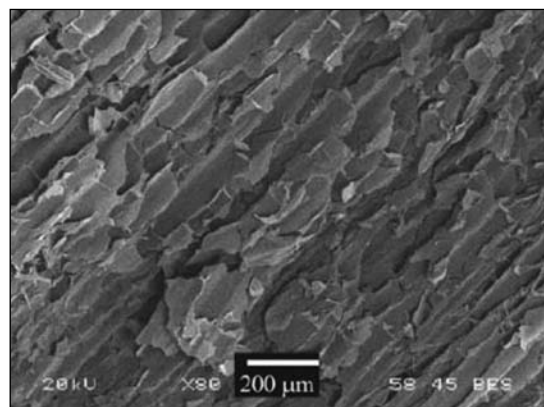
Característica (Média de 2 amostras)	CAP Stylink	Método
Penetração a 25°C – (dmm)	65dmm	NBR 6576:2007
Ponto de Amolecimento – (°C)	67,50°C	NBR 6560:2008
Ponto de Fulgor – (°C)	360,50°C	NBR 11341:2008
Ductilidade a 25°C – (cm)	92	NBR 15086:2006
Densidade Relativa – (g/cm ³)	1,010	NBR 6296:2012
Viscosidade Brookfield – (Centipoise)		
135°C	958	NBR 15184:2004
150°C	489	
177°C	189	

3.3 • Bagaço de Cana de Açúcar

Os bagaços da cana-de-açúcar utilizados foram coletados na Usina de Álcool - ETH Bioenergia S/A - Unidade Santa Luzia, localizada no município de Nova Alvorada do Sul/MS (Figura 4c). Esse resíduo industrial tem sido aproveitado na produção de energia elétrica através de sua queima nas usinas sucroalcooleiras, tornando-as autossuficientes energeticamente nos períodos de safra. Já no setor da construção civil, tem sido utilizado nas propostas de pesquisas sustentáveis, como exemplo: fabricação de telhas de fibrocimento, usinagem de concretos, argamassas, blocos de concretos, entre outros exemplos como a proposta para este estudo.



(a)



(b)



(c)

Figura 4 - Amostras do Bagaço de Cana-de-Açúcar (a) e (b) Vista do Microscópio Eletrônico (c) Amostra Lavada, Passada e Retida na Peneira 2mm(10) (FONTE: (a) e (b) – CORDEIRO, 2006 e (c) – Pesquisa efetuada p/Autor, Jun/2012).

O bagaço coletado foi adicionado à nova mistura asfáltica proposta na pesquisa em 0,30% do peso total da mistura, sendo lavado, separado na peneira 2mm (10) e seco em estufa no laboratório da Equipe Engenharia/Asfaltec de maneira que foram aproveitadas apenas as fibras que passarem no peneiramento (Figura 4c). Foram feitos alguns ensaios dentro do laboratório da Usina com base no controle diário que fazem desse resíduo, sendo eles: controle de umidade do bagaço, percentual de açúcar contido no bagaço e o percentual de bagaço contido na amostra ensaiada. A densidade aparente da fibra do bagaço de cana-de-açúcar foi um dado fornecido e não calculado (Tabela 4).

Tabela 4 - Características do Bagaço de Cana-de-Açúcar (FONTE: Usina ETH, Jun/2012).

Característica	Bagaço de Cana-de-Açúcar
Umidade no Bagaço – (%)	50,94
Açúcares no Bagaço (Frutose, Glicose e Sacarose) – (%)	1,01
Bagaço de Cana-de-Açúcar – (%)	48,05
Dens. Aparente (Fibra do Bagaço da Cana-de-Açúcar) – (g/cm ³)	0,450

Essa massa foi fornecida pela Usina ETH Bioenergia correspondendo ao material solto. Como não foi possível calcular a densidade real da fibra do bagaço de cana-de-açúcar em laboratório, considerou-se no desenvolvimento da densidade teórica da mistura asfáltica com 0,30% de fibra.

4 • ANÁLISES E RESULTADOS MISTURA ASFÁLTICA TIPO SMA

Os ensaios efetuados na mistura asfáltica SMA tomaram como base a norma alemã ZTV Asphalt - StB 07 na faixa 0/11S, para melhor compreensão veja a Tabela 5.

Tabela 5 - ZTV Asphalt – STB 07 (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Mai/2012).

Mistura	Mistura de Agregado - % Passando em Massa						Teor Min. Ligante (%)	Teor Fibras (%)	Índice Vazios (%)
	16mm	11,2mm	8mm	5,6mm	2mm	0,063mm			
SMA 0/11 S	100	100 - 90	65 - 50	45 - 35	30 - 20	12 - 8	6,6	0,30	≤ 5,0

A curva granulométrica de projeto utilizada neste estudo é descontínua e traçada na média entre o limite superior e inferior da faixa 0/11S. A faixa calculada para a distribuição dos agregados ficou em 32% em peso da Brita ½”, 34% em peso do Pedrisco e 34% em peso do Pó de Pedra. Para melhor visualização são apresentados resumidamente os dados da curva na Tabela 6 e ilustrados na Figura 5.

Tabela 6 - Curvas do SMA 0/11S (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

ABERT. (mm)	Limite Inferior	Curva de Projeto	Limite Superior	Faixa Calculada
16,00 (5/8")	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
11,20 (7/16")	90,00%	95,00%	100,00%	90,61%
8,00 (5/16")	50,00%	57,50%	65,00%	64,60%
5,60 (3,50)	35,00%	45,00%	55,00%	41,01%
2,00 (10)	20,00%	25,00%	30,00%	26,02%
0,063 (230)	8,00%	10,00%	12,00%	8,05%

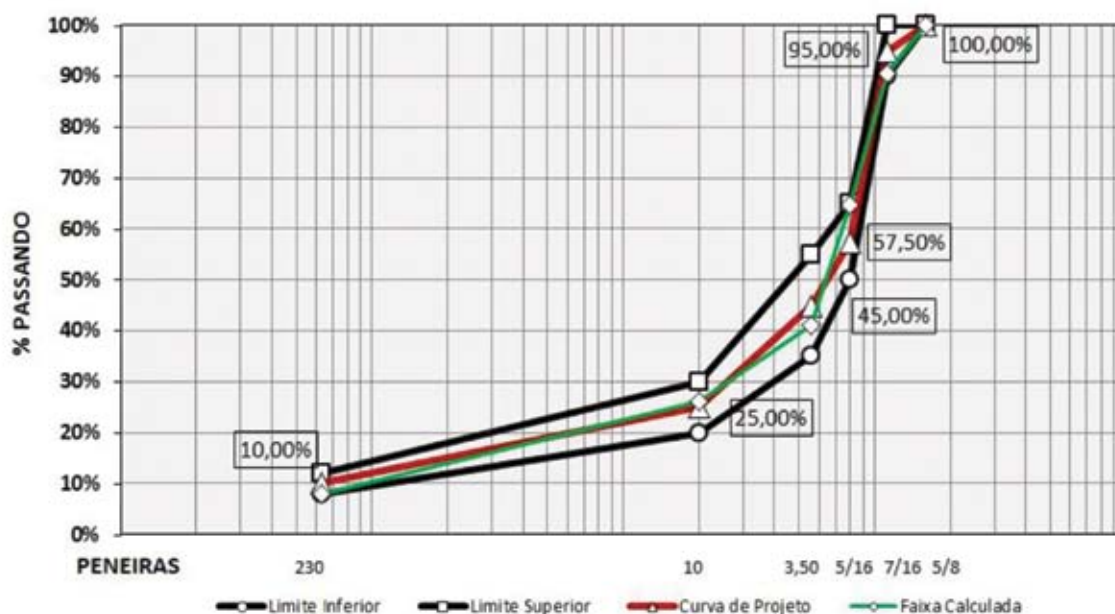


Figura 5 - Curvas Granulométricas do SMA (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

Ainda com base na norma alemã na escolha do teor de CAP, definiram-se cinco teores de estudo: 5,50%; 6,00%; 6,50%; 7,00% e 7,50%. Para cada percentual foram ensaiadas misturas sem adição de fibras e com a adição 0,30% de fibras, por se tratar de um percentual muito baixo de fibras, adotou-se o limite máximo da norma. O teor de projeto encontrado na pesquisa foi de 6,36%, mas para os corpos de prova moldados no teor de 6,50% apresentaram valores significativos (Tabela 7).

Tabela 7 - Média dos parâmetros da Mistura SMA 0/11S com 6,50% de CAP (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

Mistura	Dens. Apar. (g/cm ³)	Vv (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabil. (Kgf)	Fluência (mm)	Escorrim. (%)
Sem fibras	2,574	2,24	18,80	88,10	966,240	12,00	0,22
Com 0,30% Fibras	2,545	1,90	18,28	89,63	981,808	12,00	0,06

Para cada teor de CAP estudado, foram moldados três corpos de prova no compactador Marshall Manual, sendo 75 Golpes por face. Os Ensaios de dosagem feitos em laboratório seguiram a norma DNER-ME 043:1995 (Ensaio Marshall).

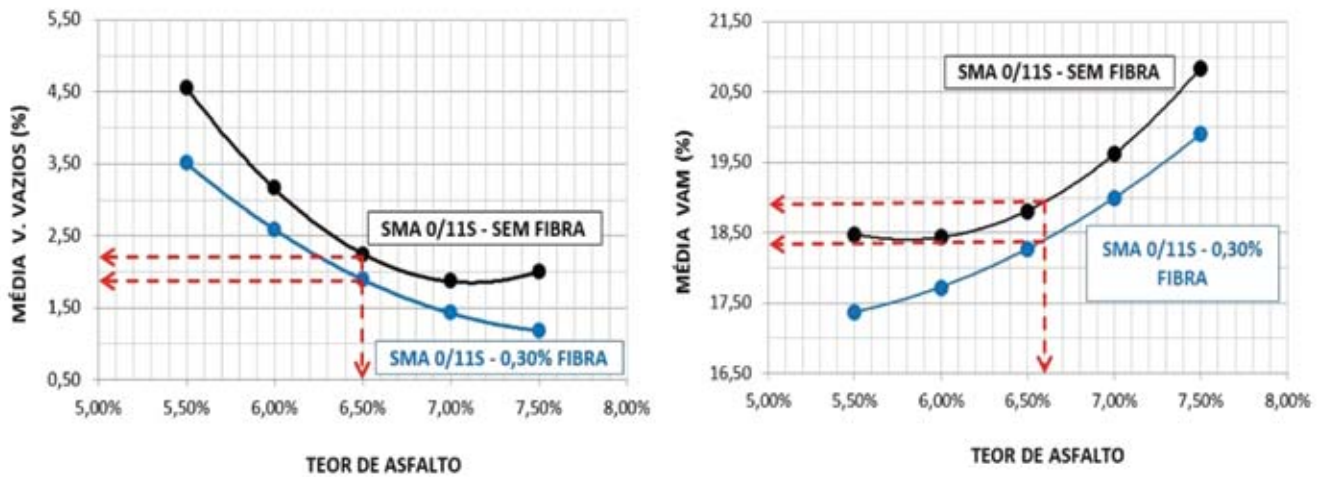


Figura 6 - Resultados de Vv e VAM (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

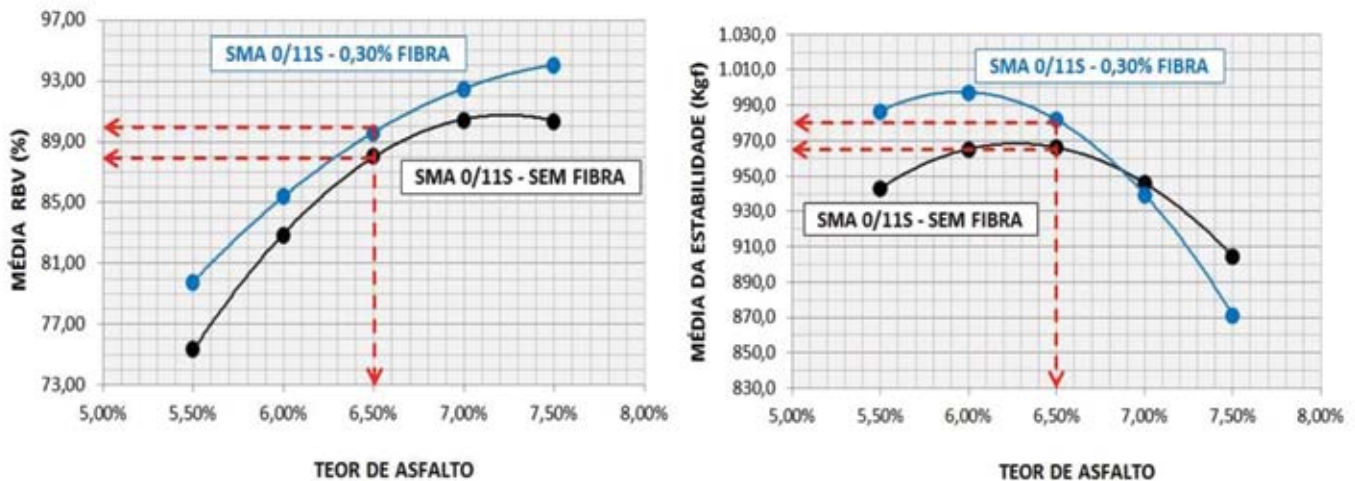


Figura 7 - Resultados de RBV e Estabil. (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

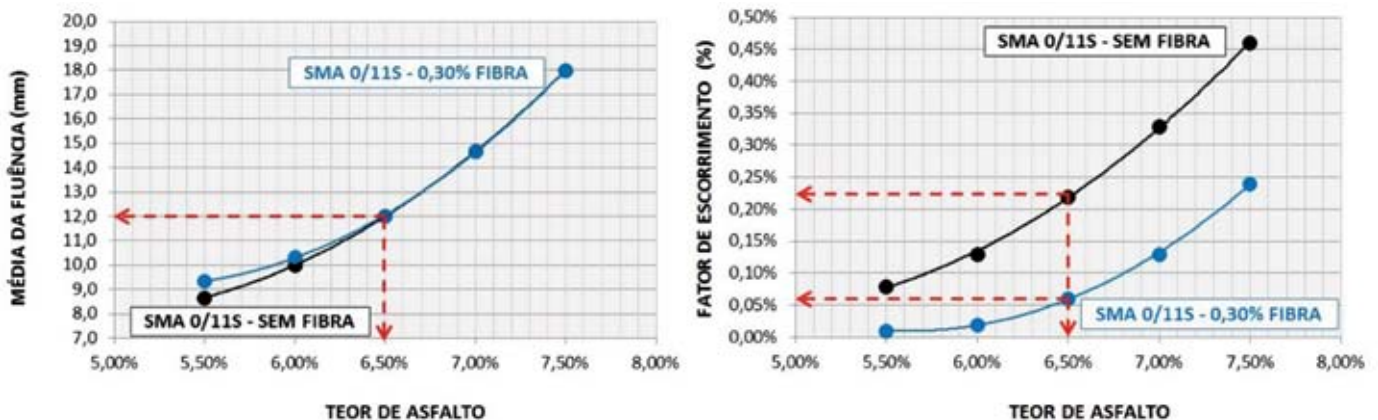


Figura 8 - Resultados da Fluência e Escorr. (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentados os resumos do resultado dos ensaios para as Misturas SMA sem fibras e com 0,30% de fibras de bagaço da cana-de-açúcar.

4.1 • Determinação do Escorrimento da Mistura Asfáltica não Compactada

Para determinar o escorrimento foi empregando o método alemão conhecido por Schellenberg. Foram utilizadas 1.000g da mistura asfáltica para cada teor estudado, sem adição de fibras e com adição de 0,30% de fibras. O material foi despejado dentro de um béquer, previamente tarado e levado à estufa, com uma temperatura de 145°C, por uma hora. Decorrido este período, o conjunto foi removido da estufa e o conteúdo imediatamente despejado em outro recipiente. Pesou-se novamente o béquer e foi calculada a massa de ligante que eventualmente tenha ficado preso à superfície do recipiente. Esta porcentagem não deve exceder a 0,3% para ser considerada satisfatória, sendo desejável que seja inferior ou igual a 0,2%. Os resumos dos resultados do ensaio são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Escorrimento para Mistura SMA (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

Mistura SMA	Teor de CAP Stylink (%)				
	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
Sem fibras	0,08%	0,13%	0,22%	0,33%	0,46%
Com 0,30% Fibras	0,01%	0,02%	0,06%	0,13%	0,24%

4.2 • Determinação da Estabilidade e Fluência Marshall

Tabela 9 - Estabilidade para Mistura SMA (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

Mistura SMA	Teor de CAP Stylink (%)				
	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
Sem fibras	943,19 Kgf	965,09 Kgf	966,24 Kgf	945,95 Kgf	904,67 Kgf
Com 0,30% Fibras	986,62 Kgf	997,45 Kgf	981,81 Kgf	939,51 Kgf	871,42 Kgf

Os cálculos da Estabilidade Marshall e Fluência Marshall tiveram como referência a norma DNER-ME 043:1995 (Ensaio Marshall). Alguns registros fotográficos estão apresentados na Figura 9. Os resultados destes dois parâmetros encontram-se na Tabela 9 e 10 e Figura 9.



(a)



(b)



(c)

Figura 9 - Imagem dos Ensaios de Estabilidade e Fluência (a) Leitura da temperatura dos corpos de prova (b) Leitura da Estabilidade na Prensa (c) corpo de prova ensaiado (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

Tabela 10 - Fluência para Mistura SMA (FONTE: Pesquisa efetuada p/Autor, Nov/2012).

Mistura SMA	Teor de CAP Stylink (%)				
	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
Sem fibras	8,67mm	10mm	12mm	14,67mm	18mm
Com 0,30% Fibras	9,33mm	10,33mm	12mm	14,67mm	18mm

5 • CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente propõe-se com este trabalho, avaliar as misturas asfálticas do tipo SMA produzidas com ligante asfáltico modificado por polímero na faixa 0/11S da norma alemã ZTV Asphalt - StB 07 com a adição de fibras do bagaço de cana-de-açúcar, considerando três requisitos: “Estabilidade”, “Fluência” e “Escorrimento” na faixa de 6,5% de CAP.

Percebeu-se nos estudos que a “Estabilidade” Marshall avaliada na mistura SMA sem a adição de fibra obteve 966,24 kgf, já a mistura SMA adicionado 0,30% de fibra do bagaço obteve 981,81kgf, implicando em um aumento de 1,62% na estabilidade da mistura com adição de fibra estudada. Quanto à “Fluência” Marshall, não apresentou aumento e nem redução obtendo os mesmos valores. Considerando a determinação das características de “Escorrimento” de misturas asfálticas não compactada. O resultado na mistura SMA sem a adição de fibra obteve 2,20g de CAP escorrido para 1.000g da mistura ensaiada, enquanto que a mistura SMA adicionado 0,30% de fibra do bagaço obteve 0,60g de CAP escorrido para 1.000g da mistura ensaiada. Proporcionando uma redução de 27,28% no escorrimento do ligante asfáltico utilizado com adição de fibras do bagaço.

O bagaço de cana-de-açúcar não é o único resíduo industrial, assim como outros, também prevê a utilização de mecanismos para reaproveitamento na mistura asfáltica, porém pela sua complexidade, o estudo desse objeto não se esgotou em suas possibilidades de utilização, demonstrando necessidade de novos estudos para avaliação dessa mesma mistura quanto à resistência à tração indireta por compressão diametral nos parâmetros do DNIT 136/2010-ME e a determinação do módulo de resiliência conforme Norma DNIT 135/2010 - ME.

Confrontados os resultados dos estudos deste artigo com a análise de outros meios de aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar, pode-se afirmar que a utilização da fibra é reaproveitável na mistura asfáltica do tipo SMA e responde parcialmente à hipótese inicial, de que poderá ser uma nova mistura de revestimento asfáltico do tipo sustentável com maior desempenho estrutural da camada de rolamento. Espera-se que experimentos como este sejam incentivados pelas autoridades, a fim de que possamos ter mais cuidados e meios sustentáveis, preservando o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas privadas Equipe Engenharia/Asfaltec Tecnologia em Asfaltos e GEOTEC Consultoria e Serviços Tecnológicos, todas com sede em Campo Grande/MS, por apoiarem a pesquisa através de parceria, cedendo os espaços dos seus laboratórios, seus equipamentos e a equipe técnica com a Agência Estadual de Gestão de Empreendimentos de Mato Grosso do Sul (AGESUL), tornando possível a realização das pesquisas aqui apresentadas.

Referências Bibliográficas

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53. Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6296. Produtos betuminosos semissólidos. Determinação da massa específica e densidade relativa. Rio de Janeiro, 2012.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508. Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6560. Materiais betuminosos. Determinação do ponto de amolecimento. Rio de Janeiro, 2008
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6576. Materiais betuminosos. Determinação da penetração. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181. Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11341. Derivados de petróleo - Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland. Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12052. Solo ou agregado miúdo - Determinação do equivalente de areia. Rio de Janeiro, 1992.

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15086. Materiais betuminosos - Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetro. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15184. Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro, 2004.
- BELIGNI, M; D. F. VILLIBOR e J. R. CINCERRE. Misturas asfálticas do tipo SMA (Stone Mastic Asphalt): solução para Revestimentos de Pavimentos de Rodovias e Vias Urbanas de Tráfego Intenso. In: Anais da Reunião Anual de Pavimentação - 32º RAPV, Brasília, DF: 2000. p.590 - 605.
- BERNUCCI, Liédi L. B [et al]. Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2006.
- BETUNEL. Amostra de CAP Stylink 76-22. Julho 2012.
- BRASIL. DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNIT-ES 31. Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.
- BRASIL. DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNIT-ME 135. Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.
- BRASIL. DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNIT-ME 136. Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.
- BRASIL. DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 035. Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles” – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1998.
- BRASIL. DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 043. Mistura betuminosa a quente - ensaio Marshal - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1995.
- BRASIL. DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 089. Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2012 - Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2012. Boletim online. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_04_10_09_19_04_boletim_de_cana.pdf. Acesso em: 30 abr. 2012.
- CORDEIRO, Guilherme Chagas. Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cana-de-Açúcar e da Casca de Arroz como Aditivos Minerais em Concreto. (Tese) Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2006.
- NEVES FILHO, Cláudio Luiz D.; BARIANI BERNUCCI, Liédi L.; FERNANDES JÚNIOR, José L.. Avaliação de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha quanto à deformação permanente. XVIII
- PEDREIRA SANTO ONOFRE. Amostra de Brita ½” e Pedrisco. Campo Grande MS: Julho 2012.
- PEDREIRA VOTORANTIM. Amostra de Pó de Pedra. Julho 2012.
- SILVA, P. B.; L. L. B. BERNUCCI; E. MOURA; L. F. M. LEITE e V. FARIA. Estudo de Revestimento Asfáltico SMA 0/8S Utilizando em Trecho Experimental. In: Anais do Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - XIX ANPET, Recife, PE : 2005. p 1505 - 1506.
- SMA. OPA. Norma Alemã ZTV Asphalt - StB 07 Ausgabe 2007. Texto online. <http://www.sma-viatop.com/cgi-bin/wPermission.cgi?file=/SMAviatop/regelwerke/ausgabe2007.shtml?navid=26>. Acesso em: 30 Abr. 2012.
- SOARES. Aula 01 - Introdução a pavimentos. Texto online. Disponível em: http://www.det.ufc.br/index.php?option=com_professor&task=showProfessor&id_professor=10&Itemid=105. Acesso em : 28 abr. 2012.
- UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Relatório Final Safra 2010/2011 - Região Centro-Sul do Brasil. Documento online. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=36pdf>. Acesso em: 30 abr. 2012.
- USINA ETH. Amostra de Bagaço de Cana-de-Açúcar. Julho 2012. 📌

NORMAS DE PUBLICAÇÃO

Submissão de Trabalhos Técnicos para Revista PAVIMENTAÇÃO

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. Os trabalhos são apresentados na íntegra, sendo de total responsabilidade do autor todas as informações neles contidas.

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. Aprovado o artigo pelo Comitê Técnico-Científico, este será publicado gratuitamente.

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.



UMA LINHA COMPLETA DE SOLUÇÕES EM PAVIMENTAÇÃO

A Caterpillar oferece uma linha completa de vibroacabadoras, rolos compactadores, fresadoras e recicladoras de asfalto.

Contacte o seu revendedor Cat® mais próximo ou visite nossa página www.cat.com/paving para saber mais sobre nossos produtos.

BUILT FOR IT.™

Búsquenos en línea en www.cat.com/paving

 [facebook.com/CATPaving](https://www.facebook.com/CATPaving)

 [youtube.com/CATPaving](https://www.youtube.com/CATPaving)



QPXC1994-01

© 2016 Caterpillar Todos los derechos reservados. CAT, CATERPILLAR, BUILT FOR IT, logos respectivos respectivos, "El amarillo de Caterpillar, "la imagen corporativa de Power Edge, y la identidad del producto utilizada en el presente documento, son marcas registradas de Caterpillar y no podrán ser utilizadas sin permiso.

CAT®