

REVISTA

ABRV

Associação Brasileira de Pavimentação



PAVIMENTAÇÃO

ANO VII - Nº 24 - Março a Junho de 2012 - www.abpv.org.br - ISSN 1809-1865

Comparação entre o índice de condição de pavimentos pelos critérios do DNIT e do USACE

Virgínia Esther G. Becker
José Tadeu Balbo



Baixo custo e durabilidade para você aumentar sua produtividade.



Os materiais com qualidade superior e o rigoroso processo de fabricação dos BITS Caterpillar são o segredo para a durabilidade dessa peça. Diminua o tempo de máquina parada na sua obra e aumente sua produtividade:

- Corpo cônico que afasta o material abrasivo do suporte;
- Arruelas redutoras de desgaste;
- Material durável com alto teor de carbeto na composição;
- Bits para as operações de fresagem e reciclagem;
- Bits intercambiáveis que podem ser utilizados em máquinas de outras marcas.

A solução para reduzir os custos operacionais da sua obra de pavimentação é este pequeno detalhe que é um gigante em economia. Conte com o suporte ao produto Marcosa, a qualquer hora, em qualquer lugar.

CURTA, SIGA, COMPARTILHE. MARCOSA CONECTADA COM VOCÊ.



MAR: 0800 084 8585



www.marcosa.com.br



Rua Miguel Couto, 105 – Sobrelas 204 e 205

20070-030 – Rio de Janeiro – RJ

Tel: (21) 2233-2020 / 2263-5794 – Fax: (21) 2233-0709

CONSELHO EDITORIAL

Diretoria da ABPV

COORDENAÇÃO GERAL

Arqtª Georgina Libório Azevedo

georgina@abpv.org.br

MTb 31365-RJ

JORNALISTA RESPONSÁVEL

Jean Pierre M. Santiago

jpierrem@abpv.org.br

MTb 27170-RJ

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

Presidente: Engº José Pedro dos Santos Vieira Costa

Vice-Presidente: Engº Eduardo Alberto Ricci

Diretor Administrativo: Engº Fernando Augusto Júnior

Diretor Técnico: Engª Michéle Dal Toé Casagrande

Diretor Financeiro: Arqtª Georgina Libório Azevedo

Diretor de Divulgação: Engº Cristiano da Costa Moreira

COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

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

Tradução: Mariana Ricci

Capa: Muro Produções e Alvaro Magalhães

Editores: Algo+ Editorial – Maristela Carneiro

Revisão: Mariflor Rocha e Marcia Fares

Impressão: Gráfica e Editora Cruzado Ltda.

Tiragem: 10.000 exemplares – **Periodicidade:** Trimestral



Nossa capa

CCR Nova Dutra
Trecho Lavrinhas – SP,
Km 22, BR –116.

Foto de Thor Unamar

Sumário

2 EDITORIAL

OPINIÃO

3 Entrevista com Carlos Pereira de Carvalho e Silva

Presidente da ABDER e
Diretor Superintendente do DER/PB

SEÇÃO DE NOTAS

5 Governo do Maranhão – Secretaria de Comunicação Social

ESPAÇO JURÍDICO

12 Alguns apontamentos sobre o Regime Diferenciado de Contratações Públicas (RDC): Copa de 2014 e Olimpíadas de 2016.

Victor Athayde

ARTIGOS TÉCNICOS

14 Análise Comparativa Entre os Valores de Dedução para o Cálculo do Índice de Condição de Pavimentos de Concreto Empregados Pelos Critérios do DNIT e do USACE

Virgínia Esther Gueller Becker
José Tadeu Balbo

23 Identificação Automática das Camadas que Compõem o Pavimento e Zona Zero com o Uso de Imagens de GPR

Sandro Henrique de Faria
Carlos Antônio Oliveira Vieira
Paulo Roberto Antunes Aranha
Carlos Alexandre Braz de Carvalho
Edgar Ricardo Ferreira

36 A Mecânica Dos Pavimentos Aplicada à Avaliação de um Trecho de Rodovia de Baixo Volume de Tráfego

Marcus Vinícius Fagundes Mota
Antônio Carlos Rodrigues Guimarães
Laura Maria Goretti da Motta

47 Considerações Sobre Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos Utilizando uma Abordagem Probabilística

Caio Rubens Gonçalves Santos
Liedi Légi Bariani Bernucci
Carlos Yukio Suzuki

EDITORIAL

O Brasil segue criando a infraestrutura para os compromissos com os grandes eventos mundiais esportivos que serão realizados aqui em 2014 e 2016. As obras têm movimentado toda a cadeia da engenharia pesada, com investimentos públicos e privados ou em parceria de ambos. Nas situações onde atua o governo, temos como novidade o Regime Diferenciado de Contratação, uma espécie de flexibilização das licitações em função do caráter especial momentâneo. É sobre esse tema que Victor Athayde aborda em Espaço Jurídico, apresentando ao leitor o moderno instrumento público de contratação recém-criado no ordenamento jurídico brasileiro.

Entre os artigos, na sua variedade temática, temos uma Análise Comparativa entre os Valores de Dedução para o Cálculo do Índice de Condição de Pavimentos de Concreto Empregados pelos Critérios do DNIT e do USACE. Os responsáveis pelo trabalho foram o professor associado da Universidade de São Paulo, José Tadeu Babo, e a mestranda, também da USP, Virgínia Esther Gueller Becker.

O segundo artigo trata da Identificação Automática das Camadas que Compõem o Pavimento e Zona Zero com o Uso de Imagens de GPR, um trabalho dos autores Sandro Henrique de Faria, do Instituto Federal Sul – Minas Gerais, Carlos Antônio Oliveira Vieira, da Universidade Federal de Santa Catarina, Paulo Roberto Antunes Aranha, da Universidade Federal de Minas Gerais, Carlos Alexandre Braz de Carvalho, da Universidade Federal de Viçosa, e Edgar Ricardo Ferreira, do Instituto Federal Sudeste – Minas Gerais.

A Mecânica dos Pavimentos Aplicada à Avaliação de um Trecho de Rodovia de Baixo Volume de Tráfego é o assunto do estudo de Marcus Vinícius Fagundes Mota,

mestre em engenharia geotécnica pela Universidade Federal de Ouro Preto, Antônio Carlos Rodrigues Guimarães, doutor do Instituto Militar de Engenharia, e Laura Maria Goretti da Motta, professora doutora da Coppe/UFRJ.

Dos autores Caio Rubens Gonçalves Santos, Liedí Légi Bariani Bernucci e Carlos Yukio Suzuki, um artigo que versa sobre as Considerações a Respeito do Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos Utilizando uma Abordagem Probabilística.

Esta edição circula no momento em que ocorre a 18ª RPU – Reunião de Pavimentação Urbana, em São Luís, no Maranhão. O evento é um encontro nacional dos profissionais do setor, governos, empresários e acadêmicos de todo o Brasil para discutirem os temas em torno da pavimentação urbana. Ademais, a capital maranhense, sede do evento, comemora seus 400 anos de fundação, data que cria um contexto especial com perspectivas de desenvolvimento em sua infraestrutura, num momento em que o país avança nessas políticas de base.

Na próxima edição, a Revista Pavimentação abordará os principais acontecimentos do evento, os trabalhos premiados, entrevistas com personalidades e autoridades presentes.

E se você tem alguma crítica ou sugestão de pauta ou, ainda, deseja enviar um artigo para submetê-lo à avaliação para publicação, escreva para a equipe de redação. A participação dos leitores é fundamental para que a revista esteja cada vez mais próxima de seus objetivos de difusão e promoção do conhecimento. Mande um e-mail para abpv@abpv.org.br. Será um prazer recebê-lo.

Conselho Editorial



CARLOS PEREIRA DE CARVALHO E SILVA

Presidente da ABDER e
Diretor Superintendente do DER/PB

PAVIMENTAÇÃO: APESAR DE 83% DAS RODOVIAS NO ESTADO DA PARAÍBA SEREM DE MÃO DUPLA A DUPLICAÇÃO DA RODOVIA BR-230 LIGAÇÃO CAMPINA GRANDE-JOÃO PESSOA GEROU ALGUM BENEFÍCIO PARA O ESTADO, QUAL?

CARLOS PEREIRA: João Pessoa e Campina Grande, distantes apenas 120 km, são os dois mais importantes polos econômicos, sociais e culturais do estado e são quase conurbadas. Daí a necessidade de um bom sistema de transportes. A antiga rodovia, em pista simples e mão dupla, ultrapassando um trecho em serra e com um tráfego superior a 20 mil veículos diários apresentava índices elevados de congestionamentos e de acidentes. Hoje, após concluída a duplicação, quem por ela trafega usufruindo conforto e segurança acha inimaginável que esse investimento não tenha sido realizado bem antes dada a sua inegável viabilidade técnica-econômica e social.

PAVIMENTAÇÃO: SEGUNDO PESQUISA DIVULGADA PELA CNT SOBRE O ESTADO GERAL DAS RODOVIAS AVALIADA NO NORDESTE, APROXIMADAMENTE 63,2% APRESENTAM ALGUM TIPO DE DEFICIÊNCIA SOB OS ASPECTOS DE PAVIMENTAÇÃO, SINALIZAÇÃO E GEOMETRIA VIÁRIA, SENDO CLASSIFICADAS COMO REGULAR, RUIM OU PÉSSIMA. NA AVALIAÇÃO GERAL SERGIPE APRESENTOU O MAIOR PERCENTUAL DE RODOVIAS CLASSIFICADAS COMO PÉSSIMAS (27,8%) SEGUIDO DA PARAÍBA (21,6%). O QUE O SENHOR PODE FALAR A RESPEITO? (DADOS DA PESQUISA CNT DE RODOVIAS 2011 – DIVULGADOS NA REVISTA *CNT TRANSPORTE ATUAL*.)

CARLOS PEREIRA: Reconhecemos que, lamentavelmente, a malha rodoviária brasileira deixa muito a desejar quanto às condições operacionais. Normalmente não temos uma estrutura administrativa suficiente e capacitada para as atividades de conservação, até por cultura é considerada de menor importância no meio

técnico dos órgãos rodoviários.

No caso da Paraíba, estamos executando o Programa Caminhos da Paraíba com o objetivo de ampliar e modernizar a malha rodoviária estadual. É um investimento próximo de R\$ 600 milhões a ser realizado até dezembro de 2014, com recursos inteiramente assegurados no Tesouro estadual.

PAVIMENTAÇÃO: SENDO O NORDESTE UMA REGIÃO MAIS DEPENDENTE DAS RODOVIAS POR FALTA DE OUTROS MODAIS, SEGUNDO O ENGENHEIRO CIVIL FERNANDO VIANA (GERENTE DA CENTRAL DE INFORMAÇÕES ECONÔMICAS SOCIAIS E TECNOLÓGICAS DO BANCO DO NORDESTE), SUPERA OS 60% DAS MOVIMENTAÇÕES DE CARGA (MÉDIA NACIONAL). O SENHOR ACHA QUE HÁ NECESSIDADE DE AUMENTAR A MALHA RODOVIÁRIA NA REGIÃO?

CARLOS PEREIRA: Não tenho dúvida de que há necessidade. Como é do nosso conhecimento a rodovia tem a função econômica e a social. Nessa ótica do social, o Nordeste ainda tem inúmeras pequenas cidades sem acesso pavimentado, o que pode ser considerado um absurdo para a época em que vivemos de comunicação em tempo real.

Portanto, é uma situação que inibe o desenvolvimento e a melhoria da qualidade de vidas das pessoas residentes nessas localidades, reverter esse quadro é uma questão de cidadania.

Do lado econômico, temos algumas novas fronteiras agrícolas, a exemplo do sul do Piauí e do oeste baiano, sem rodovias adequadas ou qualquer outro meio de transporte para fazer o escoamento da produção de modo competitivo tanto para o mercado local quanto do exterior.

PAVIMENTAÇÃO: SENDO NATAL E RECIFE CAPITAIS PRÓXIMAS QUE PARTICIPAÇÃO DOS EVENTOS ESPORTIVOS COMO A COPA DO MUNDO EM 2014 E A COPA DAS CONFEDERAÇÕES EM 2013, O SENHOR ACREDITA QUE O ESTADO DA PARAÍBA TAMBÉM SERÁ BENEFICIADO? COMO?

CARLOS PEREIRA: A duplicação da rodovia BR-101, entre Natal, João Pessoa e Recife traz muitas oportunidades de negócios para o nosso estado, notadamente no setor turístico, em que temos a oferecer 129 km de belas praias.

Os grupos organizadores da Copa das Confederações e, também, da Copa do Mundo em 2014, certamente precisarão de apoio logístico em rede hoteleira e infraestrutura de estádios para treinamentos de equipes tanto em João Pessoa como em Campina Grande.

De modo especial, João Pessoa – uma cidade muito prazerosa de viver, com aprazíveis praias, ótima gastronomia e um povo alegre e hospitaleiro – seguramente será um roteiro muito procurado por todos os participantes desses eventos.

PAVIMENTAÇÃO: SEGUNDO O PROFESSOR CÍCERO PÉRICLES DE CARVALHO (UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, UFAL) APENAS 13% DAS RODOVIAS NORDESTINAS SÃO ASFALTADAS E ESSA FALTA DE INFRAESTRUTURA VIÁRIA É PREOCUPANTE, POIS IMPEDE O PLENO DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO. O QUE O SENHOR PODERIA COMENTAR SOBRE ISSO? EXISTEM ESTUDOS OU PROJETOS PARA CONTEMPLAR ESSA QUESTÃO?

CARLOS PEREIRA: Segundo dados estatísticos do DNIT, o Brasil tem apenas 13% de suas rodovias pavimentadas, ou seja, a Região Nordeste está na média nacional. É verdade que isso não conforta, tendo em vista que os outros modais para o transporte de cargas são quase nulos na região. Sabemos que uma boa rede de transporte não significa, em si, um quadro de riqueza para uma região ou um país, entretanto, o contrário seguramente representa subdesenvolvimento.

A bem da verdade, é preciso reconhecer que a rede de rodovias arteriais, sob jurisdição federal, do Nordeste é praticamente toda pavimentada. Cabe aos estados, portanto, ampliar suas malhas de rodovias coletoras. Certamente, é um desafio para uma região pobre, porque são quase 50 mil quilômetros ainda a ser pavimentados, correspondente a um investimento mínimo de R\$ 30 bilhões.

PAVIMENTAÇÃO: APESAR DO SETOR SULCROALCOOLEIRO SER IMPORTANTE PARA A REGIÃO SABEMOS QUE O NORDESTE É, SEM DÚVIDA, UM POLO TURÍSTICO E SÓ POR ESSA RAZÃO UMA MELHORIA NA MALHA VIÁRIA AJUDARIA MUITO A INDÚSTRIA HOTELEIRA E TODA A CADEIA PRODUTIVA QUE ELA ATRAI. EXISTE ALGUM PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DESSE SEGMENTO?

CARLOS PEREIRA: Nesse sentido, o grande projeto estruturante é a duplicação da rodovia BR-101, entre Natal, João Pessoa, Recife, Maceió e Aracaju. Essa obra foi iniciada em 2005 e deverá ser concluída, segundo informação do DNIT, até dezembro de 2013. Agora, cabe aos governos estaduais concluir projetos porventura já elaborados, para construir e/ou melhorar as ligações, a partir da BR-101, com as principais praias dos seus estados. Tem-se conhecimento de que alguns desses estados já iniciaram a execução desses projetos, a exemplo de Pernambuco e Rio Grande do Norte. Por fim, cremos firmemente que esse conjunto de obras irá consolidar a Região Nordeste como forte roteiro turístico nacional e internacional, até porque, como todos sabem, a região é dona das mais belas praias do país e tem um povo receptivo, simpático e agradável, no tratar com os turistas.

PAVIMENTAÇÃO: APESAR DE SER ESPECIALISTA EM RODOVIAS, O SENHOR PODERIA FALAR SOBRE A FERROVIA TRANSNORDESTINA E A HIDROVIA DO SÃO FRANCISCO E SUA IMPORTÂNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS?

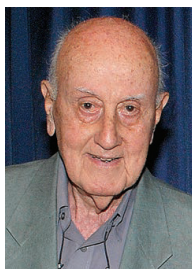
CARLOS PEREIRA: Entre os 20 maiores países do mundo, o Brasil é que tem a maior deficiência de infraestrutura de transportes em todos os modais. Mesmo o setor rodoviário, que é tão propalado aos quatro cantos do país, está muito aquém da realidade nacional. Por essa razão, todo investimento realizado em transporte reveste-se de muita importância para apoiar o nosso desenvolvimento socioeconômico.

Por sua vez a Ferrovia Transnordestina, com mais de 1.700 km de extensão, é uma obra grandiosa que vai levar oportunidades de desenvolvimento aos longínquos rincões dos sertões da região a partir do porto de Pecém, no Ceará, e Suape em Pernambuco. Pela sua importância, seria de bom alvitre que ela fosse ampliada para os demais estados da região.

Seção de notas da Revista PAVIMENTAÇÃO

PIONEIRO NOTÁVEL

É com grande satisfação que a *Revista PAVIMENTAÇÃO* parabeniza o ilustre engenheiro e colaborador Atahualpa Schmitz da Silva Prego por ter sido agraciado com os seguintes títulos: medalha Tiradentes e respectivo Diploma concedido pela Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro; Diploma de Honra ao Mérito e Medalha ao Mérito Memória Candanga concedido pela Câmara Legislativa do Distrito Federal pelos relevantes serviços prestados à cidade do Núcleo dos Bandeirantes e à sociedade do Distrito Federal; e ainda Honra ao Mérito ao Pioneiro Notável onde foi eleito o Pioneiro Notável na 10ª Semana do Empreendedorismo na UniCEUB, por seu trabalho na construção e pela sua ação na preservação e divulgação da história de Brasília.



Medalha Mérito Memória Candanga

O 3º SIMPÓSIO INTERNACIONAL ISAP

A Sociedade Internacional para Pavimentos de Asfalto (ISAP, na sigla em inglês) realizou seu 3º simpósio internacional entre os dias 23 e 25 de maio de 2012 em Nanjing, na China. Pela primeira vez na Ásia, o evento tratou de dois dos maiores problemas tecnológicos da área: pavimentos de asfalto para cargas pesadas e pavimentos bridge deck.

CONEXPO RUSSIA NA CTT

A Associação de Fabricantes de Equipamentos (AEM, na sigla em inglês) uniu-se à Media Globe, organizadora da exposição Equipamento e Tecnologia de Construção (CTT, em inglês), onde estabeleceram um espaço para a exposição da CONEXPO Russia. Este é o evento mais importante na área de construção no Leste europeu e da Comunidade dos Estados Independentes. O evento, que aconteceu em Moscou de 29 de maio a 2 de junho de 2012, reuniu fabricantes e fornecedores de equipamentos e serviços de renome. Vale a pena conferir (www.conexporussia.com).

M&T EXPO 2012

A 8ª feira internacional de equipamentos para construção e a 6ª feira de equipamentos para mineração foram realizadas em São Paulo no Centro de Exposições Imigrantes de 29 de maio a 6 de junho de 2012. O evento foi o ponto de encontro da construção e mineração com inúmeros expositores nacionais e internacionais das áreas (www.mtexpo.com.br).

VIII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO

A 8ª edição do evento constará de palestras, artigos e troca de experiência entre a academia e as organizações, com o objetivo de difundir as informações geradas no âmbito dos centros de pesquisa. O evento pretende promover a difusão e integração dos conhecimentos sobre sustentabilidade organizacional por meio de *workshops*, apresentações de trabalhos científicos e demais atividades que permitam a exploração das experiências e práticas em gestão. Para mais informações, acesse www.excelenciaemgestao.org.

CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE PONTES

A conferência a ser realizada de 10 a 13 de junho em Pittsburgh, Pensilvânia, será a arena para a indústria de pontes na América do norte, Europa e Ásia. A conferência atrai anualmente mais de 1.600 engenheiros, autoridades governamentais, projetistas e construtores dos Estados Unidos e outros países (www.internationalbridgeconference.org/about.php).

CONGRESSO EURASPHALT & EUROBITUME

O congresso promete mudar a maneira tradicional de pensar sobre misturas asfálticas e outras tecnologias. O evento será realizado em Istambul entre os dias 13 e 15 de junho de 2012. Para mais informações, acesse www.econgress2012.org.

HILLHEAD 2012

A exposição internacional sobre pedreiras e reciclagem é a maior vitrine de equipamentos para trabalho em pedreiras, reciclagem e construção pesada. É o primeiro evento sobre equipamento de construção no Reino Unido, escolhido pelos maiores fornecedores. Estará disponível uma variedade de estandes e demonstrações de instalações adequadas a todos os tipos de fábricas, equipamento, material e serviços. A exposição será realizada em Tarmac's Hillhead Quarry, Buxton, próximo a Manchester, Inglaterra, de 19 a 21 de junho de 2012.

7ª RILEM

A 7ª edição da RILEM – Conferência Internacional em Fissuras de Pavimentos, acontecerá em Delft, na Holanda de 20 a 22 de junho de 2012. A Holanda é rica em cultura e história. Em plena florescência, é repleta de museus como o Van Gogh Museum, o Rembrandt Museum e o maravilhoso Rijks museum. Vale a pena a visita! Informações: www.rilem2012.org/.

CONCRETESHOW 2012

Maior feira especializada em concreto na América Latina, o Concrete Show South America reúne anualmente empresários de toda a cadeia produtiva do concreto e da construção civil. Nesse grande encontro são apresentados maquinários, equipamentos, sistemas construtivos,

novas soluções e tecnologias, além de seminários técnicos que discutem e indicam os rumos dos negócios no setor. O evento será realizado entre os dias 29 e 31 de agosto, no Centro de Exposição Imigrantes em São Paulo (www.concreteshow.com.br/).

3ª CONFERÊNCIA DE VIGAS COM QUATRO APOIOS

A Universidade da Califórnia, em Davis, CA, EUA, com a Universidade do Minho, em Portugal, estão organizando a 3ª Conferência de Vigas com Quatro Apoios. O *workshop* será realizado em setembro de 2012 no Centro de Pesquisa de Pavimentos da Universidade da Califórnia. Acesse o site e confira as instruções para envio de resumos: www.civil.uminho.pt/4pb/registration.htm.

RIO INFRAESTRUTURA – 3ª FEIRA INTERNACIONAL DE MÁQUINAS, PRODUTOS E SERVIÇOS PARA OBRAS DE INFRAESTRUTURA

A 3ª edição do evento de obras realizado anualmente tem como objetivo demonstrar produtos, tendências e soluções, reunindo em um único local o maior número de expositores de todas as partes do mundo, atraindo um público altamente qualificado, em busca de networking e negócios. A feira será realizada de 7 a 9 de novembro das 14h às 21h no RioCentro – Rio de Janeiro.

Curiosidade

CANA-DE-AÇÚCAR E O FUTEBOL

Os fãs de futebol poderão se encontrar sentados em cadeiras feitas de açúcar na copa de 2014. O Brasil há muito tempo é líder no esporte e tem mostrado também considerável inovação ao desenvolver novas tecnologias. Esses dois mundos poderão se encontrar em 2014 já que, pela primeira vez em 64 anos o Brasil sediará a Copa do Mundo e uma das maiores indústrias químicas da América do Sul espera mostrar o caminho com suas soluções para estádios ecológicos.

Fábio Carneiro, diretor comercial para negócios renováveis da Braskem, pretende mostrar ao mundo que temos uma alternativa para produzir plásticos a partir de fontes renováveis. A cana-de-açúcar é abundante no Brasil, e por

isso a empresa espera que o produto se torne rival das fontes de energia renováveis. Assim como o biocombustível, é usada para produzir plástico ecológico e é derivado de plantas e não de combustíveis fósseis como o petróleo.

De acordo com Frank Alcântara, diretor de marketing, a fábrica em Triunfo, no Rio Grande do Sul, é a primeira no mundo a produzir etileno a partir do etanol e, assim, produzir o polietileno, tecnologia desenvolvida há seis anos, mas com produção em escala comercial desde setembro passado. “Queremos ter a solução para o Brasil e fabricar cadeiras de cana-de-açúcar 100% brasileira. Seria muito bom para todos”, afirma Alcântara. A empresa fez um acordo histórico com o grupo Amsterdam Arena, sede do clube de futebol Ajax, para instalar primeiramente 2 mil “cadeiras de açúcar” e, com o tempo, substituir todas as 54 mil do estádio holandês. O grupo que tem o objetivo de fazer do local o primeiro do mundo livre de carbono até 2015, tem uma parceria com a Odebrecht e

a multinacional Petrobras para desenvolver um projeto no estádio Fonte Nova, na Bahia, para a Copa do Mundo. Além da Bahia, o grupo está trabalhando na nova Arena das Dunas, em Natal, que levará um ano a mais para terminar, já que não será usada na Copa das Confederações, também no Brasil.

“O mais importante é que o nosso produto pode ser colocado diretamente nas máquinas de processamento e não há necessidade de qualquer tipo de investimento, já que não é necessária adaptação de maquinário”, diz Carneiro. O aumento do desmatamento da Amazônia é um problema ambiental no Brasil, mas não o é com a cana-de-açúcar, que não pode ser cultivada em clima úmido como o da Amazônia, afirma Alcântara.

A partir de 2013, a Braskem conseguirá produzir polipropileno ecológico o que irá aumentar o âmbito de alternativas para o plástico. Quanto ao futebol, pode significar acordos para fornecimento de redes para gols.



EQUIPAMENTOS DE LABORATÓRIO

Desde 1988, fabricando equipamentos para laboratório de solos, asfaltos, concretos e agregados. A Solocap é uma empresa inovadora que prioriza a excelência e o bom atendimento, oferecendo a sua empresa a mais completa linha de equipamentos técnicos e científicos de alta qualidade.

LANÇAMENTO!!!

Prensa Hidráulica Elétrica Digital 150 Tf ou 200Tf

CONTROLE ABSOLUTO DA VELOCIDADE DE COMPRESSÃO

Soquete CBR / Próctor automático

Extratora à gasolina

Rice test

Abrasão Losangeles

Máquina universal de ensaios

SERVIÇOS GEOTÉCNICOS

Dispomos de laboratórios modernos e uma equipe altamente qualificada.

EXECUTAMOS:

- Todos os ensaios físicos geotécnicos em solos, concretos, ligantes e misturas betuminosas.
- Projeto e controle de qualidade para sua obra.



(31) 3047-7460 vendas@solocap.com.br / solocap@solocap.com.br / www.solocap.com.br

Governo do Maranhão

Secretaria de Comunicação Social¹



Foto 1 – MA-349 toda pavimentada entre Aldeias Altas e Caxias²

Maranhão pavimenta um novo mapa rodoviário

O Maranhão vive hoje um momento único. São mais de R\$ 100 bilhões em investimentos públicos e privados previstos para os próximos cinco anos, que irão transformar o estado. Essa nova era de desenvolvimento requer uma forte infraestrutura, que está sendo traçada pelo governo do Maranhão, principalmente no âmbito rodoviário, com recuperação e abertura de novas estradas.

Os investimentos maciços que o governo do estado vem realizando na área de estradas estão mudando o mapa rodoviário do Maranhão e integrando todas as regiões. Municípios que antes tinham dificuldade de acesso, hoje estão interligados a outras cidades por quilômetros de rodovias asfaltadas e bem sinalizadas, proporcionando uma nova realidade para milhares de maranhenses.

Esse novo mapa rodoviário do Maranhão, além de encurtar as distâncias, está levando desenvolvimento e oportunidades para todos os municípios, facilitando transporte de cargas e o escoamento da produção.

Segundo balanço da Secretaria de Estado de Infraestrutura (Sinfra), entre 2009 e 2012, o governo do Maranhão restaurou 1.003,35 km de estradas e pavimentou outros 332 km. Dentre as obras, destaque para a entrega do trecho de 29 km de extensão, na MA-312, que liga os municípios de Paulino Neves a Tutóia, fundamental para a consolidação da atividade turística na região.

¹Fonte: Sinfra 1/05/2012

²Foto/Secom/MA



Fotos 2 e 3 – MA-132, entre Colinas e Buriti Bravo²

Ainda na MA-312, o governo está investindo cerca de R\$ 8 milhões na pavimentação de 23,5 km de estrada, entre o povoado Barro Duro, no município de Tutóia, e a cidade de Água Doce. A obra, que vai incrementar o turismo da região, beneficiará diretamente 47 mil pessoas dos dois municípios.

Já em Santana do Maranhão, o governo constrói a MA-327. A obra, orçada em R\$ 12 milhões, está em fase bem adiantada, com 8 dos 25 quilômetros de estrada já pavimentados. Essa obra está prevista para ser concluída até agosto.

“Com essas duas obras estaremos garantindo acesso por asfalto a todos os municípios do Baixo Parnaíba, que é

uma das metas do Programa Viva Infraestrutura do governo estadual”, declarou o secretário de estado de Infraestrutura, Max Barros.

Para o prefeito de Santana do Maranhão, João Almeida, a construção da MA-327 vai proporcionar desenvolvimento para o município. “A estrada é importante para o escoamento da nossa produção agrícola e vai impulsionar o desenvolvimento do turismo local”, declarou. O prefeito disse que os 8 km já pavimentados estão mudando a realidade local. “Já temos transporte, linha de van fazendo percurso para São Luís”, revelou.

²Foto/Secom/MA

QUANDO UM ATLETA
FALAR QUE PASSOU
POR UMA LONGA
ESTRADA ATÉ SUBIR
AO PÓDIO, ACREDITE.

Ministério do
Esporte

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA



A conquista do direito de sediar a Copa do Mundo FIFA de 2014 e os Jogos Olímpicos de 2016 trouxe mudanças positivas para nosso país. Os investimentos em transporte público, portos, aeroportos e infraestrutura geram emprego e renda e abrem oportunidades para muitos setores da economia, em especial para a engenharia nacional. Acesse esporte.gov.br e saiba tudo o que vem sendo feito no campo esportivo para o Brasil continuar criando vitoriosos.





Victor Athayde¹

Alguns apontamentos sobre o Regime Diferenciado de Contratações Públicas (RDC): Copa de 2014 e Olimpíadas de 2016.

Na última edição desta revista, pudemos destacar alguns pontos do procedimento licitatório, especificamente, as contratações públicas com micro e pequenas empresas e as que se fundem em estado de emergência.

Nesta oportunidade, voltaremos a destacar o procedimento licitatório. Desta vez, e em especial, nos voltamos ao Regime Diferenciado de Contratações Públicas (RDC).

Em agosto de 2011 foi publicada a Lei Federal nº 12.462 que trata desse instituto. Por seu turno, é especialmente voltada para as obras relacionadas aos eventos internacionais que acontecerão no Brasil a partir de 2013.

Está aí a relação entre o RDC e a pavimentação, pois em muitos casos obras de infraestrutura aero e rodoviária serão objeto de contratação pública.

Pede-se licença para transcrever o artigo de lei que delimita o escopo do RDC, por sua didática e objetividade:

Art. 1º É instituído o Regime Diferenciado de Contratações Públicas (RDC), aplicável exclusivamente às licitações e contratos necessários à realização:

I - dos Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de 2016, constantes da Carteira de Projetos Olímpicos a ser definida pela Autoridade Pública Olímpica (APO); e

II - da Copa das Confederações da Federação Internacional de Futebol Associação - Fifa 2013 e da Copa do Mundo Fifa 2014, definidos pelo Grupo Executivo - Gecopa 2014 do Comitê Gestor instituído para definir, aprovar e supervisionar as ações previstas no Plano Estratégico das Ações do Governo Brasileiro para a realização da Copa do Mundo Fifa 2014 - CGCOPA 2014, restringindo-se, no caso de obras públicas, às constantes da matriz de responsabilidades celebrada entre a União, Estados, Distrito Federal e Municípios;

III - de obras de infraestrutura e de contratação de serviços para os aeroportos das capitais dos Estados da Federação distantes até 350 km (trezentos e cinquenta quilômetros) das cidades sedes dos mundiais referidos nos incisos I e II.

Como se vê, para que uma obra seja relacionada com os eventos citados nos incisos I e II do art. 1º deve haver expressa autorização das personalidades gestoras dos mesmos.

Sobre o RDC, convém fazer apontamentos que o distingam das licitações ordinárias.

Primeiramente, é de se dizer que a opção pelo RDC deverá constar de forma expressa do instrumento convocatório, o edital deve ser específico nesse sentido.

¹ Advogado militante na área de Direito Ambiental e Administrativo, sócio-diretor do escritório David & Athayde Advogados (www.da.adv.br), professor de pós-graduação em Perícia Ambiental Judicial, ex-assessor jurídico do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (Iema), idealizador do blog www.direitodomeioambiente.blogspot.com, e-mail: victor@da.adv.br.

Um fato que repercutiu na imprensa foram os orçamentos sigilosos, o que ofenderia o Princípio da Publicidade Administrativa.

Explica-se: o edital para a contratação do serviço/bem pode omitir os valores que eventualmente serão praticados no contrato.

Essa medida, ao que parece, se destina a impedir fraudes (combinação de preços, por exemplo).

Sobre o controle desse fato, será dever da Administração disponibilizá-lo, estrita e permanentemente, aos órgãos de controle externo e interno.

Chamou a atenção o parágrafo primeiro do art. 4º, pelas estipulações abaixo:

§1º As contratações realizadas com base no RDC devem respeitar, especialmente, as normas relativas à:

I - disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos gerados pelas obras contratadas;

II - mitigação por condicionantes e compensação ambiental, que serão definidas no procedimento de licenciamento ambiental;

III - utilização de produtos, equipamentos e serviços que, comprovadamente, reduzam o consumo de energia e recursos naturais;

IV - avaliação de impactos de vizinhança, na forma da legislação urbanística;

V - proteção do patrimônio cultural, histórico, arqueológico e imaterial, inclusive por meio da avaliação do impacto direto ou indireto causado pelas obras contratadas; e

VI - acessibilidade para o uso por pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida.

§2º O impacto negativo sobre os bens do patrimônio cultural, histórico, arqueológico e imaterial tombados deverá ser compensado por meio de medidas determinadas pela autoridade responsável, na forma da legislação aplicável.

Esse trecho foi verdadeiro resumo de um procedimento que se ateve ao patrimônio ambiental (biota e meio antrópico), histórico e cultural.

Resta saber se o Poder Público (na sua função fiscalizadora e licenciadora) vai dar a contrapartida para atender a tais princípios.

Primeiro, aí também cabe à iniciativa privada oferecer meios para a destinação adequada dos resíduos, notadamente em aterros licenciados.

Segundo, na celeridade, ou ao menos no cumprimento dos prazos legais, dos licenciamentos ambientais e urbanísticos, e anuências em relação ao patrimônio histórico e cultural.

Sem dúvida, o RDC trouxe inovações ao mundo jurídico e dá à Administração poder de escolha segundo sua conveniência (o que em direito é conhecido como discricionariedade), mas sempre com motivação expressa.

Chama a atenção, por exemplo, o artigo 10, que dispõe que a “contratação das obras e serviços, inclusive de engenharia, poderá ser estabelecida remuneração variável vinculada ao desempenho da contratada, com base em metas, padrões de qualidade, critérios de sustentabilidade ambiental e prazo de entrega definidos no instrumento convocatório e no contrato”.

Ao que parece, isso visa ao atendimento das demandas dentro do exíguo prazo que se dispõe para a sua efetivação.

As dúvidas: como isso estará disposto nos editais respectivos? Terá efetividade?

De outro lado, mantiveram-se aplicáveis algumas disposições da Lei nº 8.666/93.

Por exemplo, as hipóteses, os procedimentos de dispensa e a inexigibilidade de licitação serão os mesmos. Da mesma forma o trato Administrativo. Eles seguirão o regimento da Lei nº 8.666/93, inclusive as sanções contratuais e hipótese de rescisão.

O que se vê da leitura da norma, é a iniciativa do Governo Federal em dar propulsão e efetividade na execução dos trabalhos necessários para que o país receba os importantes eventos supramencionados.

Somente o tempo dirá se foi válido.

Com efeito, a sociedade civil está apreensiva em relação a esse fato, independente de afiliação política ou opinião de mérito sobre a conveniência da realização de tais celebrações.

Victor Athayde

Este espaço destina-se à publicação de artigos encaminhados à Revista pelos profissionais que se dispõem a colaborar promovendo com os demais técnicos o debate de diversos temas atuais e relevantes. Os artigos devem ser enviados para redacao@revistapavimentacao.org.br de acordo com as normas vigentes no sítio www.revistapavimentacao.org.br. Os trabalhos são apresentados na íntegra, sendo de responsabilidade do autor toda a informação nele contida.

Análise Comparativa Entre os Valores de Dedução para o Cálculo do Índice de Condição de Pavimentos de Concreto Empregados Pelos Critérios do DNIT e do USACE

Virgínia Esther Gueller Becker

Estudante de Mestrado, EPUSP
virginia_esther@hotmail.com

José Tadeu Balbo

Professor Associado, Universidade de São Paulo
E-mail: jotbalbo@usp.br

RESUMO

O método de avaliação objetiva para pavimentos de concreto apresentado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2004) foi estabelecido com base na metodologia proposta pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE, 1982); porém, para alguns tipos de defeitos, a diferença de valores de dedução para o cálculo do Índice da Condição do Pavimento (ICP) de um método para o outro é relevante. Este artigo pretende comparar as curvas de valores de dedução, para obtenção do ICP para pavimentos de concreto, fornecidas pela metodologia do USACE e pelo DNIT, buscando esclarecer possíveis impactos das diferenças observadas no cálculo do ICP. A leitura minuciosa dos valores de dedução apresentados nas curvas de ambos os métodos permitiu sua representação em mesmo gráfico por tipo de defeito, possibilitando comparar os métodos e verificar para quais defeitos ocorrem maiores discrepâncias entre as curvas apresentadas por cada método. Foram observadas as maiores discrepâncias para os defeitos do tipo alçamentos, fissuras de canto, placas divididas, degraus em junta transversal, grandes reparos e esborcinamentos; tais discrepâncias são geralmente as causas de uso de menores

valores de dedução para um dado defeito e sua severidade no método do DNIT. Isso implica na obtenção, nesses casos, de maiores valores de ICP quando se emprega a norma do DNIT quando comparado ao critério original do USACE, para um mesmo segmento de amostragem de placas de concreto em pavimentos rodoviários.

Palavras-chave: índice da condição do pavimento (ICP); pavimento de concreto; avaliação de pavimento.

ABSTRACT

The objective assessment method for concrete pavements presented by the National Infrastructure Department (DNIT, 2004) was established based on the methodology proposed by the U. S. Army Corps of Engineers (USACE, 1982); yet, for some kind of distresses, the effects on Pavement Condition Index caused by differences in deduct values in one method and the other is relevant. The aim here is to compare the deduct values curves to obtain the PCI for concrete pave-

ments, provided by the USACE methodology and by DNIT, seeking to clarify possible impacts of the differences observed in the PCI calculation. The thorough reading of the deduct values presented in the curves of both methods allowed their representation in the same graph per type of distress, allowing a comparison of the methods and verifying for which distresses greater discrepancies between the curves presented for each method occur. Greater discrepancies were observed for the distresses types: blow-ups, corner cracks, divided slabs, faulting, patching large

cuts and spalling; such discrepancies are usually caused by the use of smaller deduct values for a given distress and its severity in the DNIT method. This implies obtaining higher PCI values when the DNIT standard is employed as compared to the original USACE criterion for the same segment of concrete slabs in pavements.

Keywords: pavement condition index (PCI); concrete pavements; pavement evaluation.

I INTRODUÇÃO

I.1 OBJETIVOS DO MÉTODO DO USACE

As avaliações de defeitos em pista e posterior cálculo do Índice de Condição do Pavimento (ICP) têm por objetivo analisar a condição funcional de um pavimento a partir dos registros realizados por avaliadores que percorrem trechos predeterminados de pavimentos e categorizar sua condição em uma escala de zero a cem, representando este último valor uma condição excelente. O método de avaliação de defeitos em placas de concreto para posterior cálculo do ICP é baseado na avaliação dos defeitos que causam a deterioração desses pavimentos ao longo do tempo, sendo registrado, durante cada avaliação, o grau de severidade (ou de deterioração) apresentado por determinado tipo de defeito bem como a densidade (quantidade) com a qual se apresenta. Essa densidade é medida em relação à área de ocorrência do defeito ou do número de ocorrências do defeito em um conjunto de placas de concreto que compõe o segmento de pavimento em avaliação. Avaliados todos os defeitos conjuntamente, o método do USACE (1982) conduz para o cálculo do ICP, que resulta em número entre zero e cem. Cem é o valor do ICP teórico para um trecho de pavimento que se apresenta em perfeitas condições de rolamento (ou funcionais); zero seria a condição de um pavimento completamente degradado. A atribuição de valor nessa escala depende do levantamento dos defeitos em campo e da imposição de penalidades na forma de pontos a serem deduzidos a partir de cem (na escala), utilizando-se regras mnemônicas para a consideração de pesos de degradação para defeitos que em muitos casos apresentam-se simultaneamente.

O procedimento da avaliação baseado na inspeção visual dos defeitos no pavimento está dividido em quatro etapas. São elas: a definição das seções a se-

rem avaliadas; a determinação do tipo de avaliação; o levantamento dos defeitos do pavimento; e o cálculo do ICP. As duas primeiras etapas são detalhadas pela norma DNIT 060/2004-PRO (DNIT, 2004a); a terceira etapa, ou o levantamento de defeitos propriamente dito, é detalhado na norma DNIT 062/2004-PRO (DNIT, 2004b). Ater-nos-emos aqui à questão da quarta etapa, qual seja, o cálculo do ICP, que, mormente é também realizado pela norma DNIT 062/2004-PRO. Mais especificamente abordar-se-á a questão dos valores dedutíveis ou de dedução que o procedimento DNIT 062/2004-PRO preconiza, numa análise de sua fidelidade ao método original (USACE, 1982) e suas consequências na determinação do ICP. O emprego desse índice para a avaliação de pavimentos de concreto é único, sendo de interesse para pavimentos rodoviários, urbanos, portuários, aeroportuários e industriais, já existindo estudos anteriores sobre a aplicação do critério original no país, bem como sobre sua completeza na exposição de defeitos típicos nesses pavimentos (Félix e Balbo, 2009). É também de grande interesse na avaliação de pavimentos de concreto em rodovias operadas por concessionárias.

I.2 CONCEITOS NA FORMAÇÃO DOS CRITÉRIOS DO USACE

O ICP foi a princípio empregado para a avaliação de pavimentos aeroportuários, sendo os objetivos de seus criadores, para o caso de pavimentos rodoviários, urbanos e estacionamentos, oferecer um critério padronizado para a avaliação de integridade estrutural e da condição operacional (funcional) da superfície de rolamento, entre outros relacionados às decisões sobre estratégias de manutenção e análise de desempenho ao longo dos anos. Shahin e Kohn (1979a) esclarecem que o método do ICP, para sua formulação, teve sua concepção em regras bastante específicas, sendo que,

inicialmente, trechos de pavimentos em instalações militares americanas foram inspecionados por engenheiros especializados e treinados, com conhecimentos específicos sobre degradação de pavimentos. Com base nessa experiência de grupo e nos levantamentos de campo, foi possível definir o conjunto de defeitos (19 tipos no total, cujas identificações de severidades são encontradas em Shahin e Kohn, 1979b) que bem representavam com completeza as patologias em superfícies de pavimentos de concreto com juntas, bem como atribuir diferentes graus de severidade para diferentes estados de degradação (condição presente de degradação sob a forma de defeito mais ou menos acentuado).

Após inúmeros levantamentos em unidades amostrais com 20 placas de concreto com juntas (placas inferiores a 9 m de comprimento, sendo que cada unidade amostral possuía um tipo de defeito com um dado padrão de severidade e densidade) e o estabelecimento desses padrões, na opinião média de especialistas, os avaliadores atribuíram valores de ICP subjetivos médios para os diversos trechos avaliados, de acordo com a escala da Figura 1; esses valores foram então subtraídos de 100 para tentativamente serem determinados os “Valores de Dedução” (VD) para cada tipo de defeito, severidade e densidade. Esses valores de dedução foram então lançados graficamente conjuntamente com densidades e severidades para cada tipo de defeito e as curvas de dedução criadas foram suavizadas entre os pontos obtidos por meio dos levantamentos em campo e cálculos conforme já mencionados. Essas curvas foram testadas com novos painéis de avaliadores em amostras de pavimento até que sua calibração chegasse a termo.

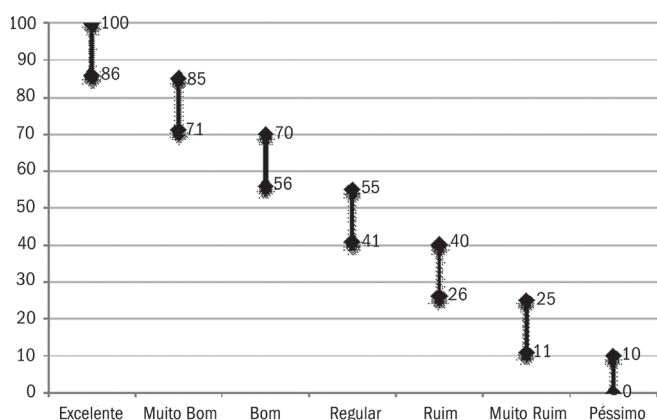


Figura 1 – Conceitos expressos pelo Índice de Condição do Pavimento (ICP na escala vertical)

Posteriormente, como os VD foram elaborados para seções de pavimentos com defeitos uniformes, restava o ajuste e calibração do método para seções de pavimentos que apresentassem vários tipos de patologias simultaneamente. O conjunto de defeitos simultâneos causava uma dedução muito grande na “nota” dessa escala, o que teve de ser considerado posteriormente com a criação de “Valores de Dedução Corrigidos” (VDC) para se levar em conta a presença de diversos defeitos que podem ocorrer simultaneamente no pavimento avaliado, o que não obrigatoriamente o condenaria como um pavimento sem condição funcional alguma; portanto, em função da quantidade de diferentes tipos de defeito em conjunto, é realizado um ajuste final para o cálculo do ICP. A calibração dessas curvas de correção foi novamente realizada por meio de grupos de avaliadores que expressaram suas opiniões na escala do ICP (Figura 1) ao avaliarem seções de pavimentos que eram heterogêneas, com vários tipos e severidades de defeitos, por meio de processo de ajuste semelhante, aplicando-se as curvas para cálculos em outras seções para as quais foram também estabelecidos valores de ICP subjetivos. Shahin e Kohn (1979a) narram que esses ajustes foram muito satisfatórios, o que permitiu oficializar o procedimento ou método de análise elaborado.

1.3 OS DEFEITOS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO NO CRITÉRIO DO USACE

Na Tabela 1 são apresentados os defeitos originais constantes no método do USACE (1982) e os defeitos equivalentes encontrados na norma DNIT 062/2004-PRO (em língua portuguesa), sendo na última coluna indicada a numeração do defeito na norma brasileira, nomenclatura que doravante será empregada nesse artigo. Observa-se que o defeito *Durability Cracking* (relacionado a fissuras inseridas no contexto climático temperado) bem como o defeito *Popouts*, este muito relacionado a pavimentos de concreto com armadura contínua, que existe apenas em um trecho experimental construído no Brasil (Balbo et al., 2012) não ocorrem na norma brasileira. O defeito de número 18 do DNIT, placa bailarina, pode ser entendido como uma digressão, pois, os gráficos de valores de dedução para esse tipo de defeito e aquele de número 4 – degrau de junta – são absolutamente idênticos (é suposto, portanto, que a placa bailarina, que é um defeito visível a olho nu somente com a passagem de veículo causando movimentação vertical do elemento de concreto, em decorrência desse mesmo movimento surgem, transientemente, degraus nas juntas, causando a perda de qualidade funcional de rolamento).

Tabela I – Correspondência da nomenclatura dos defeitos em pavimentos de concreto nos métodos

Nome original (USACE)	Nome na DNIT 062/2004-PRO	Número do defeito (DNIT)
<i>Blow-ups</i>	Alçamento de placas	1
<i>Corner break</i>	Fissura de canto	2
<i>Divided slab</i>	Placa dividida	3
<i>Durability cracking</i>	(OMISSA)	-
<i>Faulting</i>	Degrau de junta	4
<i>Joint seal damage</i>	Defeito na selagem da junta	5
<i>Lane/shoulder drop off</i>	Desnível pavimento/acostamento	6
<i>Linear cracking</i>	Fissuras lineares	7
<i>Patching, large & utility cuts</i>	Grandes reparos	8
<i>Patching, small</i>	Pequenos reparos	9
<i>Polished aggregate</i>	Desgaste superficial	10
<i>Popouts</i>	(OMISSA)	-
<i>Pumping</i>	Bombeamento	11
<i>Punchouts</i>	Quebras localizadas	12
<i>Railroad crossing</i>	Passagem de nível	13
<i>Scaling/map cracking/crazing</i>	Rendilhado e escamação	14
<i>Shrinkage cracks</i>	Fissuras de retração plástica	15
<i>Spalling, corner</i>	Quebra de canto	16
<i>Spalling, joint</i>	Esborcimento de juntas	17
(NÃO EXISTENTE)	Placa bailarina	18

1.4 A FORMA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO

Para se proceder ao cálculo do ICP é necessário quantificar previamente os defeitos no segmento de pavimento selecionado, sendo que eles são representados por sua densidade e pelo seu grau de severidade, sendo possível para cada par *densidade* × *severidade* (para cada tipo de defeito) a determinação gráfica do valor de dedução. Cada valor de dedução causado por cada tipo de defeito e sua severidade acaba por compor um valor total de dedução; somados os valores de dedução ocasionados por cada defeito inventariado, chega-se a um valor de dedução total. A esse valor é ainda necessária a aplicação de correção, que é efetuada em função da quantidade (q) de distintos tipos de defeitos que ocasionam valores de dedução (VD) superiores a cinco unidades. Se apenas um tipo de defeito é encontrado na análise (q = 1), mesmo com VD superior a cinco, não se aplica correção alguma. Definido o valor de dedução corrigido (VDC) para o segmento em questão, o ICP é calculado da seguinte maneira:

$$ICP = 100 - VDC \text{ (com } 0 \geq ICP \geq 100\text{)}.$$

1.5 O PROCEDIMENTO DO DNIT PARA CÁLCULO DOS VALORES DE DEDUÇÃO

A norma federal DNIT 062/2004-PRO, “Pavimento Rígido – Avaliação Objetiva – Procedimento”, afirma ter por meta definir a forma de avaliação objetiva de pavimentos rígidos (entenda-se aqui por pavimentos de concreto com juntas), bem como estabelecer a rotina de cálculo do “Índice de Correção do Pavimento – ICP” (entre aspas, como aparece escrito na norma) e como atribuir conceitos aos pavimentos. Em seu *abstract*, refere-se ao ICP (em inglês) sendo o mesmo definido por “*Road Correctness Index*” e ainda indica (em inglês) “*for ascribing marks to the quality of the pavement at issue (sic)*”. Embora tais palavras introdutórias tenham uma mudança de rumo no item 1 do documento (Objetivo), quando afirma cabalmente que apresenta procedimentos e critérios de acordo com a metodologia desenvolvida pelo US Army Construction Engineering Research Laboratory (CERL), o leitor pode ser tomado inicialmente de perplexidade ao se deparar com a expressão “Índice de Correção do Pavimento” contida no resumo da norma; os artigos de Cheraghchi et al. (2011), Dell’Acqua et al. (2011) e Shackelford e Davis (2003) podem esclarecer alternativamente o que seria tal “*Road Correctness Index*”.

À parte tais intrigantes assertivas introdutórias da norma brasileira, com bastante certeza, a norma em questão trata da avaliação de pavimentos de concreto (em placas) e da determinação dos valores de dedução para os defeitos encontrados em pista e subsequente cálculo do Índice de Condição do Pavimento (ICP) ou *Pavement Condition Index* (PCI), como chamado no idioma original do método do USACE. A norma cita explicitamente (em seu item 2.2, Referências bibliográficas) como fonte de referência Shahin e Kohn (1979a), verdadeiramente um manual do USACE. Na norma do DNIT (2004), em seu Anexo A, item 6, são apresentadas as curvas para determinação dos valores dedutíveis (ou de dedução) para os defeitos. Em todos os gráficos apresentados na referida norma nacional há a referência “CERL (1979)” sugerindo que tais gráficos foram extraídos dos gráficos originais propostos por Shahin e Kohn (1979a). Lendo-se atentamente os textos contidos na norma em questão não se encontra uma simples indicação, por mínima que fosse, de que tais curvas de determinação dos valores de dedução tenham sido adaptadas às condições brasileiras ou que teriam sido novamente calibradas e ajustadas por meio de algum processo, em rodovias brasileiras. Isso levaria a entender que as curvas apresentadas por Shahin e Kohn (1979a) seriam fielmente representadas no texto (Anexo A).

Todavia, ao se comparar *vis-à-vis* as curvas originais com aquelas na norma brasileira em vigor (disponível na internet), há para inúmeros casos evidências de discrepâncias consideráveis entre elas. Essas discrepâncias foram a razão para a elaboração do presente artigo técnico, para que seja motivado o esclarecimento do porquê existirem tais diferenças constatadas (já que a norma omite qualquer referência a alterações nos padrões originais) ou motivar, simplesmente, uma revisão crítica necessária ao não serem esclarecidas as razões para tais inconsistências nesse caso.

2 COMPARAÇÃO GRÁFICA E NUMÉRICA ENTRE OS VALORES DE DEDUÇÃO NOS MÉTODOS

2.1 DIFERENÇAS ENTRE OS GRÁFICOS DOS VALORES DE DEDUÇÃO

Para a análise das discrepâncias aparentes entre as metodologias de determinação dos valores de dedução para o cálculo do ICP foram inicialmente coletados, graficamente, os pares de pontos densidade do defeito e valor de dedução, para cada um dos níveis de severida-

des propostos (alto, médio e baixo). A partir disso, tais valores foram lançados conjugadamente em um mesmo gráfico para cada tipo de defeito. Não serão apresentados aqui os gráficos que não denotaram, visualmente, discrepâncias inexistentes, mínimas ou pouco relevantes, como são os casos para: desnível pavimento/acostamento; fissuras lineares; grandes reparos; pequenos reparos; desgaste superficial; bombeamento (de finos); passagem de nível; rendilhado e escamação; fissuras de retração plástica; quebra de canto. Nas Figuras 2 a 7 são apresentadas as comparações em termos gráficos (visuais) entre as curvas de valores de dedução mais discrepantes, das quais se extrai que, na grande maioria dos casos se está diante de uma situação em que os valores de dedução relativos a um dado tipo de defeito e sua severidade são inferiores aos valores de dedução extraídos do método original do USACE, de tal sorte que os valores de ICP calculados pela norma brasileira, de modo inesperado, resultariam superiores aos mesmos valores se fossem determinados a partir das curvas de dedução originais.

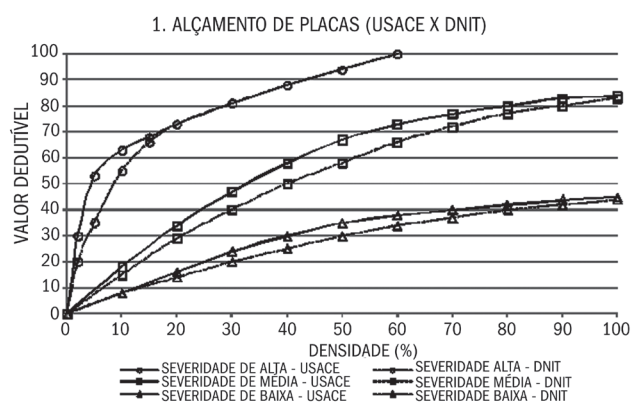


Figura 2 – Valores de dedução para alçamento de placas

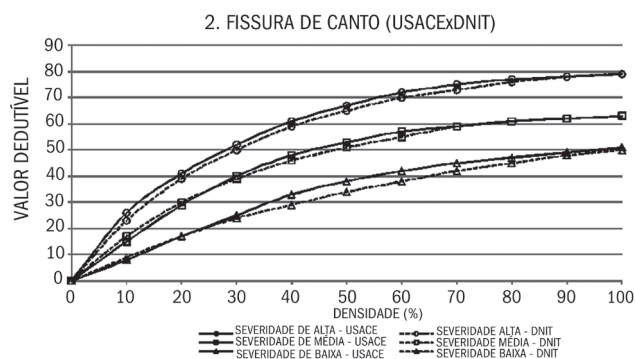


Figura 3 – Valores de dedução para fissuras de canto

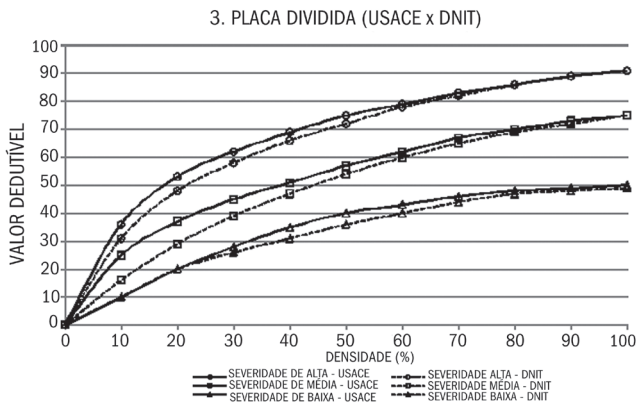


Figura 4 – Valores de dedução para placa dividida

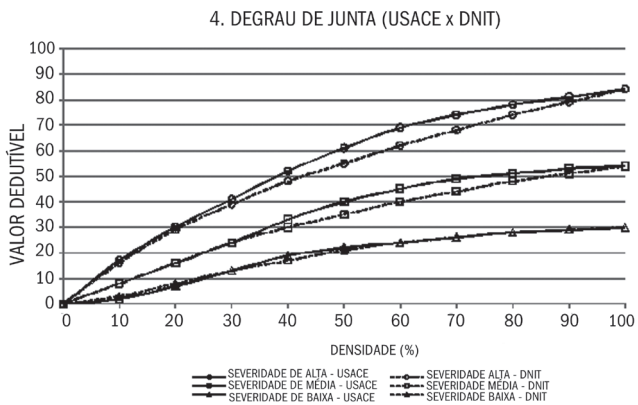


Figura 5 – Valores de dedução para degrau de junta

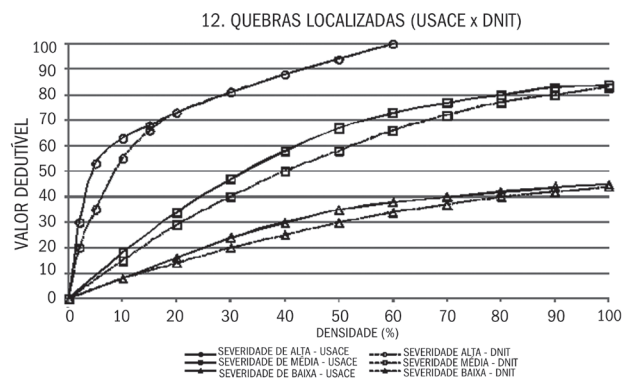


Figura 6 – Valores de dedução para quebras localizadas

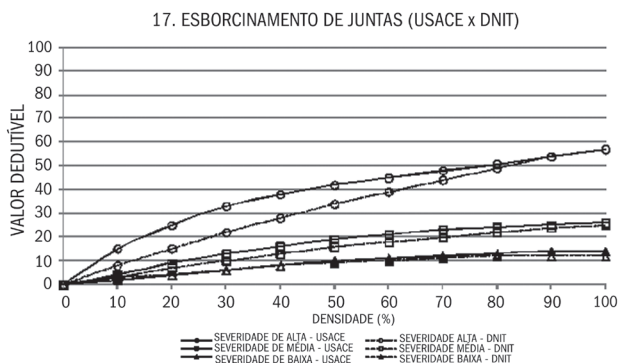


Figura 7 – Valores de dedução para esborcinamento de juntas

No gráfico apresentado na Figura 8 são comparadas as curvas de valor de dedução corrigido (VDC, cujo conceito foi esclarecido anteriormente) oferecidas pela norma brasileira e pelo método original do USACE. As curvas de ajuste para a combinação de três, quatro, cinco ou seis defeitos simultâneos, novamente, apresentam-se mais lenientes, incorrendo em valores de dedução corrigidos finais inferiores àqueles resultantes do emprego das curvas originais do USACE, que levam até a combinação de nove defeitos. No tocante às discrepâncias gráficas, fica evidente que para $q = 4$ a linha do DNIT encontra-se entre as linhas para $q = 4$ e $q = 5$ do original do USACE; de maneira análoga, $q = 5$ no DNIT encontra-se entre $q = 5$ e $q = 6$ no original; e mais intrigante ainda, a linha $q = 6$ do DNIT encontra-se sobreposta à linha $q = 9$ do USACE.

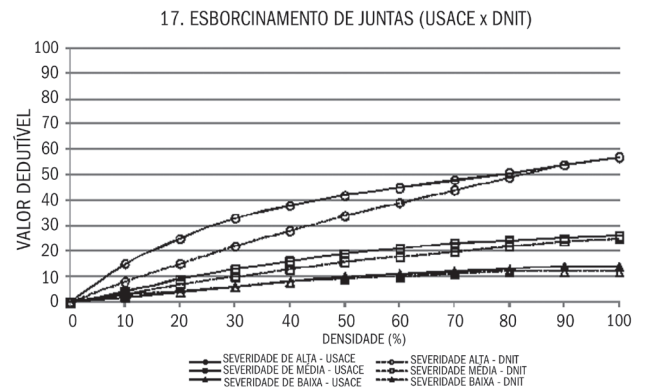


Figura 8 – Gráfico para determinação do valor de dedução corrigido

2.2 DISCREPÂNCIAS NUMÉRICAS NOS VALORES DE DEDUÇÃO

A partir dos pares de pontos levantados graficamente (nos gráficos de cada um dos métodos avaliados) para cada grau de severidade, para os defeitos cujas discrepâncias aparentavam mais relevantes, buscou-se inferir a diferença entre os valores de dedução nesses casos, o que está consolidado na Tabela 2. Os símbolos na linha abaixo dos níveis de severidade são representações de densidade (Γ), diferença (Δ) entre o valor do DNIT e o valor original do USACE e variação percentual ($\Delta\%$) entre ambos os valores. Observa-se claramente que para defeitos do tipo alçamento e esborcinamento, as diferenças percentuais entre valores do DNIT e do USACE atingem picos de -34% e -46,7% para severidade alta; para defeitos como placa dividida e esborcinamento,

com severidade média, os picos são de -36% e -25% respectivamente. Quebra localizada e esborcinamento para severidade baixa, bem como em situação de densidade baixa, variam -21,4% e 50% respectivamente, embora supostamente menos impactantes que as demais variações encontradas.

As discrepâncias verificadas entre ambos os métodos de cálculo do ICP apresentadas nos itens 2.1 e 2.2 acima nos leva a considerar que poderiam se tratar de metodologias algo diferentes entre si. Ora, qual a consequência de tais variações no cálculo do ICP? Na sequência tais impactos são avaliados.

Tabela 2 – Variações nos valores de dedução entre os dois métodos em análise

Defeito	SEVERIDADE ALTA					SEVERIDADE MÉDIA					SEVERIDADE BAIXA				
	Γ (%)	DNIT	CE	Δ	Δ %	Γ (%)	DNIT	CE	Δ	Δ %	Γ (%)	DNIT	CE	Δ	Δ %
I. Alçamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	20	30	-10	-33,3	10	15	18	-3	-16,7	10	8	8	0,0	0,0
	5	35	53	-18	-34,0	20	29	34	-5	-14,7	20	14	16	-2,0	-12,5
	10	55	63	-8	-12,7	30	40	47	-7	-14,9	30	20	24	-4,0	-16,7
	15	66	68	-2	-2,9	40	50	58	-8	-13,8	40	25	30	-5,0	-16,7
	20	73	73	0	0,0	50	58	67	-9	-13,4	50	30	35	-5,0	-14,3
	30	81	81	0	0,0	60	66	73	-7	-9,6	60	34	38	-4,0	-10,5
	40	88	88	0	0,0	70	72	77	-5	-6,5	70	37	40	-3,0	-7,5
	50	94	94	0	0,0	80	77	80	-3	-3,8	80	40	42	-2,0	-4,8
	60	100	100	0	0,0	90	80	83	-3	-3,6	90	42	44	-2,0	-4,5
70	-	-	-	-	100	83	84	-1	-1,2	100	44	45	-1,0	-2,2	
3. Placa Dividida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	31	36	-5	-13,9	10	16	25	-9	-36,0	10	10	10	0	0,0
	20	48	53	-5	-9,4	20	29	37	-8	-21,6	20	20	20	0	0,0
	30	58	62	-4	-6,5	30	39	45	-6	-13,3	30	26	28	-2	-7,1
	40	66	69	-3	-4,3	40	47	51	-4	-7,8	40	31	35	-4	-11,4
	50	72	75	-3	-4,0	50	54	57	-3	-5,3	50	36	40	-4	-10,0
	60	78	79	-1	-1,3	60	60	62	-2	-3,2	60	40	43	-3	-7,0
	70	82	83	-1	-1,2	70	65	67	-2	-3,0	70	44	46	-2	-4,3
	80	86	86	0	0,0	80	69	70	-1	-1,4	80	47	48	-1	-2,1
	90	89	89	0	0,0	90	72	73	-1	-1,4	90	48	49	-1	-2,0
100	91	91	0	0,0	100	75	75	0	0,0	100	49	50	-1	-2,0	
12. Quebras Localizadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	30	34	-4	-11,8	10	24	26	-2	-7,7	10	13	16	-3	-18,8
	20	47	50	-3	-6,0	20	36	40	-4	-10,0	20	22	28	-6	-21,4
	30	58	60	-2	-3,3	30	46	49	-3	-6,1	30	29	36	-7	-19,4
	40	67	67	0	0,0	40	53	56	-3	-5,4	40	35	42	-7	-16,7
	50	73	72	1	1,4	50	58	61	-3	-4,9	50	40	47	-7	-14,9
	60	77	76	1	1,3	60	62	65	-3	-4,6	60	44	50	-6	-12,0
	70	81	80	1	1,3	70	65	68	-3	-4,4	70	48	52	-4	-7,7
	80	83	83	0	0,0	80	68	70	-2	-2,9	80	51	54	-3	-5,6
	90	85	85	0	0,0	90	70	70	0	0,0	90	53	55	-2	-3,6
100	87	87	0	0,0	100	72	70	2	2,9	100	55	55	0	0,0	
17. Esborcinamentos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	8	15	-7	-46,7	10	3	4	-1	-25,0	10	3	2	1	50,0
	20	15	25	-10	-40,0	20	7	9	-2	-22,2	20	4	4	0	0,0
	30	22	33	-11	-33,3	30	10	13	-3	-23,1	30	6	6	0	0,0
	40	28	38	-10	-26,3	40	13	16	-3	-18,8	40	8	8	0	0,0
	50	34	42	-8	-19,0	50	16	19	-3	-15,8	50	9	10	-1	-10,0
	60	39	45	-6	-13,3	60	18	21	-3	-14,3	60	10	11	-1	-9,1
	70	44	48	-4	-8,3	70	20	23	-3	-13,0	70	11	12	-1	-8,3
	80	49	51	-2	-3,9	80	22	24	-2	-8,3	80	12	13	-1	-7,7
	90	54	54	0	0,0	90	24	25	-1	-4,0	90	12	14	-2	-14,3
100	57	57	0	0,0	100	25	26	-1	-3,8	100	12	14	-2	-14,3	

3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE VALORES DE ICP CALCULADOS PELOS MÉTODOS DO USACE E DO DNIT

Os testes de semelhança entre os resultados que ambos os métodos encaminham para o valor do ICP foram realizados por meio de uma matriz de combinações, conforme indicada na Tabela 3. Primeiramente, cada segmento foi considerado como afetado por um tipo de defeito apenas, mas com os três graus de severidade presentes, nas densidades indicadas na Tabela 3; posteriormente, para o último caso, alguns dos defeitos e suas respectivas densidades foram considerados simultaneamente. Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos em termos de VDT, VDC, ICP e o respectivo conceito na escala do ICP.

Tabela 3 – Defeitos hipotéticos em segmentos de 20 placas de concreto

Hipóteses	Densidades por Nível de Severidade		
	Severidade Alta	Severidade Média	Severidade Baixa
1. Alçamento de placas	5	15	25
2. Fissura de canto	30	50	15
3. Placa dividida	15	10	5
4. Degrau de junta	20	45	10
12. Quebras localizadas	10	5	20
17. Esborcinamento de juntas	25	10	60
Combinação dos defeitos	Defeitos nºs 2 (sem a severidade média), 4 e 17		

Com base nos resultados obtidos, confirma-se que os VDC obtidos por meio da norma brasileira são sistematicamente inferiores àqueles obtidos com uso dos gráficos de valores de dedução originais, o que leva um mesmo segmento de pavimento em análise apresentar conceitos melhores quando se emprega a norma brasileira do que os conceitos que seriam obtidos com o critério original, para a maioria dos casos apresentados.

Diante dos resultados, o fato a ser considerado é que se faz necessário um posicionamento técnico quanto a tais discrepâncias. Desde que devidamente justificadas por um processo de ajuste, de alguma natureza, mas com respaldo técnico robusto, tais discrepâncias poderão ser aceitas na comunidade rodoviária brasileira para o controle de condições dos pavimentos de concreto. Caso não haja tal respaldo, seria salutar a alteração da norma em vigência.

4 CONCLUSÕES

Os valores de dedução oferecidos nos gráficos do DNIT 062/2004-PRO (DNIT, 2004b), em muitos casos, são menores que os valores originais do US Army Corps of Engineers (USACE, 1982; Shahin e Kohn, 1979a). Isso ocorre para os três níveis de severidade considerados. Tais discrepâncias merecem atenções da comunidade técnica rodoviária ou aeroportuária brasileira uma vez que, considerado o modo de formulação dos valores de dedução empregados pelo USACE (grupos de especialistas, profundas avaliações em campo, empirismo),

Tabela 4. – Defeitos hipotéticos em segmentos de 20 placas de concreto.

Hipótese de Degradação	USACE					DNIT				
	VDT	q	VDC	PCI	Conceito	VDT	q	VDC	PCI	Conceito
1. Alçamento de placas	99	3	63,4	36,6	Ruim	74	3	46,4	53,6	Regular
2. Fissura de canto	119,5	3	74,8	25,2	Muito ruim	114	3	68	32	Ruim
3. Placa dividida	74,5	3	48,2	51,9	Regular	60,5	3	38,3	61,7	Bom
4. Degrau de junta	68,5	2	49,9	50,1	Regular	64,5	2	47,2	52,9	Regular
12. Quebras localizadas	75	3	48,5	51,5	Regular	64	3	40,4	59,6	Bom
17. Esborcinamento de juntas	44	2	32,8	67,2	Bom	31,5	2	24,1	75,9	Muito Bom
Combinação de defeitos	177	6	84,8	15,2	Muito ruim	159	6	69,6	30,4	Ruim

se houve alteração intencional no método, devem existir razões para que se tornassem mais tolerantes em termos de imposição de queda na qualidade funcional dos pavimentos de concreto em função dos defeitos presentes. Tais alterações, que não se fide-

lizam ao método original, implicam, em cascata, na determinação de valores de ICP para pavimentos de concreto superiores aos valores que seriam obtidos com o emprego do método original. Em outras palavras, há mais rigor no método original.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balbo, J.T.; Massola, A.M.A.; Pereira, D.S. (2012) *Technological aspects of the experimental short CRCP in São Paulo*. Paper submitted to the 10th International Conference on Concrete Pavements, **Sustainable Solutions to Global Transportation Needs**, International Society for Concrete Pavements, Québec.

Cheraghchi, H.; Homayouni, S.; Momeni, M. (2011) *Evaluation of the Impact of Misregistration Error in Fused Images on the Accuracy of Feature Extraction*. 5th Symposium on Advances in Science and Technology, Khavaran Higher-Education Institute, Mashhad.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2004a) *Pavimento Rígido – inspeção visual – Procedimento*. Norma DNIT 060/2004-PRO, Ministério dos Transportes, 22p., Rio de Janeiro.

_____. (2004b) *Pavimento Rígido – Avaliação Objetiva – Procedimento*. Norma DNIT 062/2004-PRO, Ministério dos Transportes, 29p., Rio de Janeiro.

Felix, D.B.C.; Balbo, J.T. (2010) Análise do método do United States Army Corps of Engineers para avaliar as condições de rolamento de pavimentos de concreto. *Concreto & Construção*, v. 58, p. 68-77.

Gamba, F.P.; Lisini, G. (2010) Road extraction aided by adaptive directional filtering and template matching. *Proceedings...* In: ISPRS, 8-W27, *INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING*. Disponível em: <www.isprs.org/proceedings/XXXVI/8-W27/dell'acqua_gamba_lisini.pdf>.

Shackelford, A.K.; Davis, C.H. (2003) Fully automated road network extraction from high-resolution satellite multispectral imagery. Geosciences and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. *Proceedings*. 2003 IEEE International.

Shahin, M.Y.; Kohn, S.D. (1979a) *Development of a pavement condition rating procedure for roads, street and parking lots. Volume I: Condition Rating Procedure*. Technical Report M-268, Construction Engineering Research Laboratory, U.S. Army, Champaign.

_____; _____. (1979b) *Development of a pavement condition rating procedure for roads, street and parking lots. Volume II: Distress Identification Manual*. Technical Report M-268, Construction Engineering Research Laboratory, U.S. Army, Champaign.

United States Army Corps of Engineers (1982) *Technical Manual. Pavement Maintenance Management*. TM 5-623, Headquarters, Department of the Army, Washington, D.C.

Identificação automática das camadas que compõem o pavimento e Zona Zero com o uso de imagens de GPR

Sandro Henrique de Faria, M.Sc.

IF Sul MG. E-mail: sandro.faria@ifsuldeminas.edu.br

Carlos Antônio Oliveira Vieira, PhD

UFSC. E-mail: carlos.vieira@ufsc.br

Paulo Roberto Antunes Aranha, Dr.

UFMG. E-mail: aranha@igc.ufmg.br

Carlos Alexandre Braz de Carvalho, Dr.

UFV. E-mail: cbraz@ufv.br

Edgar Ricardo Ferreira, Dr.

IF Sudeste MG. E-mail: edgar.ferreira@ifsudestemg.edu.br

RESUMO

Este artigo traz a análise do desempenho do RADAR de penetração no solo (GPR) como ferramenta na determinação das espessuras das camadas de um pavimento rodoviário flexível e da região de Zona Zero entre as antenas emisoras e receptoras do GPR, de uma maneira automática apoiado em testes integrados de GPR e dados geotécnicos. O experimento foi realizado em uma obra de reconstrução na rodovia Presidente Dutra (BR116), município de Pirai (RJ). Para atingir os objetivos do trabalho, foi elaborada uma metodologia direcionada à identificação das espessuras das camadas de pavimentos flexíveis de modo automatizado, incluindo a região da Zona Zero, que, apesar de não pertencer à estrutura do pavimento, faz parte do radargrama e deve ser identificada para a posterior exclusão. A metodologia se baseia na utilização de informações de textura e blocos de *pixels* na classificação, diferentemente dos processos de classificação tradicionais onde se leva em consideração apenas as informações dos níveis de cinza. Os resultados, de uma maneira geral, se mostraram potencialmente relevantes, uma vez que os de classificação para as classes 1 (Zona Zero) e 3 (macadame) foram satisfatórios. No entanto, houve confusão entre os “blocos” classificados para as classes 2 (revestimento) e 4 (subleito). A metodologia e a sequência empregada estão apresentadas neste artigo de forma sucinta.

Palavras-chave: GPR; Sensoriamento remoto; Pavimentação, *MaxVer*; Transformada *Wavelet*.

ABSTRACT

This paper aims at analyzing the performance of the ground penetrating RADAR (GPR) as a tool for determining the layers' thickness of a flexible pavement surface in an automated way. It is also important to determine the area between transmitting and receiving antennas of the GPR, which is not part of pavement structure, however, it is part of “radargrama” and its identification is required for its exclusion later. The experiment was performed during a reconstruction work in the *Presidente Dutra* highway (BR116), Pirai – RJ. In order to achieve the proposed objectives, a methodology based on the use of local texture information and blocks of pixels as unity in the classification process is presented, rather than the traditional classification process, where the analyst just takes into account the information of gray levels. The results, appeared to be potentially relevant, since the classification results to classes 1 (the region between transmitting and receiving antennas of the GPR) and 2 (macadam) were satisfactory. However, there was a confusion between the “blocks” classified for the classes 3 (asphalt) and 4 (sub grade). More research in this subject field is necessary before a completely automated determination of layers' thickness of a flexible pavement surface.

Keywords: GPR, Ground Penetrating RADAR, Remote sensing, Pavement, Maxima Likelihood, Wavelet Transform.

I INTRODUÇÃO

O GPR (*GroundPenetrating Radar*) é uma ferramenta não invasiva, de aquisição de dados contínua e de alta velocidade e que tem sido usada para mapear as condições da sub-superfície em uma vasta variedade de aplicações (CAO *et al.*, 2007; ANNAN A. P., 1992; KNOLL e KNIGHT, 1994; ARANHA, 2003; SAARENKETO, 2006; LOIZOS e PLATI, 2007; AGUIAR, 2005; DORADO, 2004; FERREIRA, 2010; LOPES, 2009). No entanto, essa ferramenta possui uma história relativamente recente.

Os sistemas de RADAR transmitem pulsos eletromagnéticos em um meio e quando estes encontram uma interface entre os materiais eletricamente distintos, parte da energia é refletida de volta enquanto o restante seguirá adiante sendo refletida novamente por outra interface ou absorvida totalmente, a Figura 01 apresenta o princípio de funcionamento deste sistema. A imagem de alta resolução obtida é denominada radargrama e constitui a base para a construção do perfil constitutivo do pavimento existente. A qualidade da imagem gerada pode variar em virtude dos pulsos refletidos, refratados e difratados, que são condicionados às propriedades dielétricas do material investigado e da interação deste com o meio onde está inserido, como também da frequência da antena utilizada.

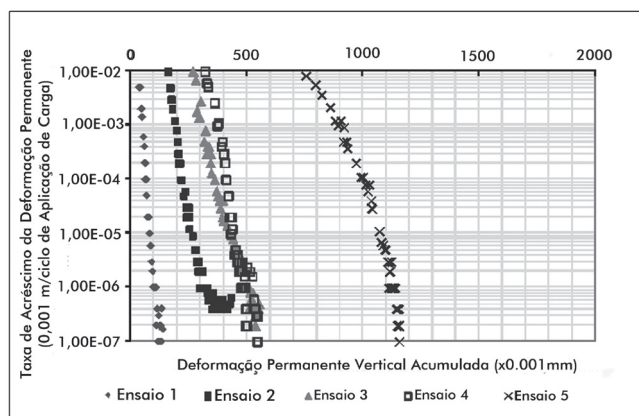


Figura 01. Princípio básico da técnica GPR com antena “horn” para análise de pavimento (SAARENKETO, 2006)

Pela análise da Figura 01, **T** representa a antena transmissora e **R** a antena receptora. A interface **1** representa a interface do ar e a camada de asfalto, **2** representa a interface do asfalto com a base e **3** representa a interface da base com a sub-base. O traço obtido é a reflexão da onda nas interfaces da sub-superfície, nele observa-se **A1** que é a amplitude total de reflexão na camada de revestimento, **A2** é a amplitude total de re-

flexão na interface entre o revestimento e a base, t_1 o tempo de propagação da onda ao longo da camada de revestimento e t_2 o tempo gasto para percorrer a camada de base, ressaltando que esses tempos são os tempos de ida e volta do sinal (SAARENKETO, 2006).

2 METODOLOGIA

A implementação de um processo para a discriminação de texturas de maneira automatizada é uma tarefa bastante complexa. Alguns autores como FERREIRA (2010) e CASTAÑÓN (2003), aplicaram a transformada *wavelet* em imagens digitais com o objetivo de extrair padrões de texturas.

Quando se utiliza qualquer tipo de filtro, as informações originais contidas na imagem são alteradas, ou seja, sua estatística é mudada. Para evitar análises em cima de dados desfigurados, a imagem foi analisada em seu estado bruto. O objetivo desse estudo foi obter imagens temáticas, representando a região da Zona Zero, que faz parte do radargrama, esta região representam as ondas que saem da antena emissora e são capturadas pela antena receptora sem antes terem entrado em contato com as camadas do pavimento. Apesar desta região não ser parte integrante do pavimento, sua identificação é importante neste processo, pois facilita sua exclusão posteriormente. Hoje os *softwares* existentes para o processamento dos dados de GPR não excluem essa região do radargrama de modo automatizado, tendo o analista que identificá-la visualmente e excluí-la. Também é objeto deste trabalho a classificação das camadas de revestimento asfáltico, macadame e subleito utilizando um classificador da Máxima Verossimilhança (*MaxVer*).

A metodologia empregada consistiu nos seguintes passos:

1. Visita a campo para coletas dos dados de GPR e das espessuras das camadas do pavimento de maneira direta utilizando uma trena;
2. Desenvolvimento do algoritmo “mccwfun” utilizado na extração das informações de texturas da imagem através da transformada *wavelet*;
3. Interpolação dos coeficientes *wavelets* obtidos no item anterior, para cada sub-banda de decomposição (Horizontal, Vertical e Diagonal), gerando uma superfície analítica;
4. Parametrização dos coeficientes obtidos a partir da superfície analítica, para utilização na etapa de classificação da imagem através do algoritmo *MaxVer*.

Todos os passos descritos aqui serão explicados a seguir.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a obtenção dos dados de GPR e das espessuras das camadas do pavimento, foi realizada uma visita à BR 116. A região da Rodovia Presidente Dutra escolhida foi o km 239+760, Pista Sul, Faixa 2, situado no município de Pirai – RJ, onde estava sendo realizado no acostamento uma reconstrução de pavimento. Esta situação de serviço foi escolhida pelo fato de se conseguir visualizar a estrutura construtiva do pavimento e medi-la de forma direta (trena), comparando a imagem temática obtida através do radargrama com a real estrutura encontrada no local e analisar as espessuras das camadas encontradas pelos dois métodos.

2.2 INSTRUMENTAÇÃO E APARELHAGEM UTILIZADA

O equipamento GPR utilizado para a aquisição de dados foi o GPR desenvolvido pela GSSI (*Geophysical Survey Systems Inc*) modelo SIR 3000, gentilmente cedido pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. A antena utilizada junto com o sistema SIR-3000 foi uma antena da GSSI modelo 3101A com uma frequência central de 900 MHz, apropriada para profundidade de até 1 metro.-

Para a visualização das imagens foi utilizada a versão demo do software “*Road DoctorViewer 2.301(c)*” desenvolvido pela *Road Scanners*; o qual possuía disponível apenas as ferramentas de visualização dos dados.

Para a conversão do “radargrama” do formato (DZT) para o formato (BMP) foi utilizado o software “*rad2bmp.exe*” desenvolvido pela GSSI (*Geophysical Survey Systems Inc*), cujo download pode ser feito gratuitamente no sítio da Internet: <http://www.geophysical.com/softwareutilities.htm>.

Foi utilizado o software “*ImageJ 1.4g*”, desenvolvido por (*Wayne HasbandNationalInstituteof Health, USA*) em linguagem JAVA e disponível gratuitamente no sítio da Internet: <http://rsb.info.nih.gov/ij/download.html>, para visualizar e padronizar a imagem no formato que os programas “*mccwfun4.m*” e “*mccwfun10.m*” fossem capazes de ler, ou seja, a imagem deveria estar em 8 bits e com o número de linhas e colunas múltiplas do tamanho do bloco utilizado.

Na etapa de pós-processamento e preparação dos arquivos para a classificação foram utilizados os aplicati-

vos “*mccwfun4.m*” e “*mccwfun10.m*” desenvolvidos, em linguagem *Matlab*. O programa faz percorrer um bloco pela imagem de dimensões 4x4 e 10x10 pixels respectivamente, estabelecidas pelo usuário e utiliza a “Transformada *Wavelet*”, (multi- decomposição, nível 1, Daubechies 4), para retornar os coeficientes de aproximação, horizontal, vertical e diagonal. Uma descrição mais sucinta do algoritmo será abordada mais adiante na subseção 2.5 (FARIA, 2010).

Os programas “*Funcpow.exe*” e “*Transform60.exe*”, desenvolvidos em linguagem C++, foram utilizados para gerar variáveis discriminatórias que representem uma superfície, para posterior emprego na classificação das imagens pelo método *MaxVer* (VIEIRA, 2000).

Para a visualização da imagem temática gerada foi utilizado o software IDRISI Andes, versão 15.0, disponível no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa.

2.3 PROCEDIMENTOS ADOTADOS EM CAMPO

Para este ensaio foram percorridos continuamente 25 metros longitudinais a 30 e 100 cm da borda da reconstrução com o GPR (Figura 02) e foram realizadas leituras com a trena, das espessuras das camadas do pavimento existente (Figura 03), em seções de 5 em 5 metros ao longo da reconstrução. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos com a trena.

Tabela 1. Espessuras das camadas identificadas visualmente e medidas com a trena ao longo perfil longitudinal.

Distância (m)	Revestimento CBUQ h_1 (cm)	Macadame Betuminoso h_2 (cm)	Macadame Hidráulico h_3 (cm)	Total h_t (cm)
1	16	20	10	46
5	17	16	14	47
10	15	20	12	47
15	15	18	12	45
20	16	20	9	45
25	16	20	10	46

A visualização das imagens brutas obtidas a 30 cm e a 1 metro da borda da reconstrução é apresentada pelas Figuras 04 e 05 respectivamente. A escala vertical está em tempo (ns) (esquerda), profundidade em metros (direita), e a escala horizontal (distância percorrida) em metros (m). Apesar do macadame hidráulico e macadame betuminoso serem materiais distintos, para efeito



Figura 02. Aquisição dos dados de GPR na Via DUTRA, Pista Sul, km 239+760

de estudo na etapa de classificação, foi criada apenas uma classe que será chamada de macadame, representando as classes de macadame betuminoso e macadame hidráulico, pois apesar da Figura 03 mostrar uma boa separação visual entre essas classes, os radargramas obtidos apresentam texturas bastante semelhantes, o que dificulta o processo de classificação.

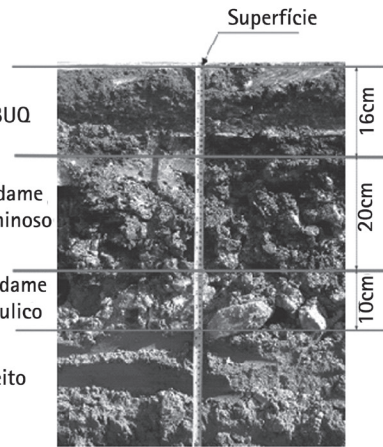


Figura 03. Perfil construtivo da faixa 2, Via DUTRA, Pista Sul, km 239+760, extraído a 1m do início da reconstrução

ter a imagem bruta do formato (*.DZT) para o formato (*.bmp) para que fosse possível a integração com o software "ImageJ 1.4g". O download pode ser feito gratuitamente no sítio da Internet: <http://www.geophysical.com/softwareutilities.htm>. O passo seguinte foi a realização de um re-escalamento da imagem, com o software "imageJ 1.4g", disponível gratuitamente no sítio da Internet: <http://rsb.info.nih.gov/ij/download.html>, para que a imagem possuísse uma composição de 8 bits, e o número de linhas e colunas múltiplos da dimensão do bloco escolhido (Figura 06).

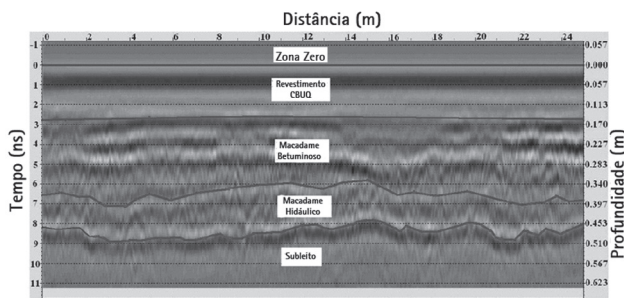


Figura 04. Aspecto do "radargrama" obtido a 30 centímetros da borda da reconstrução

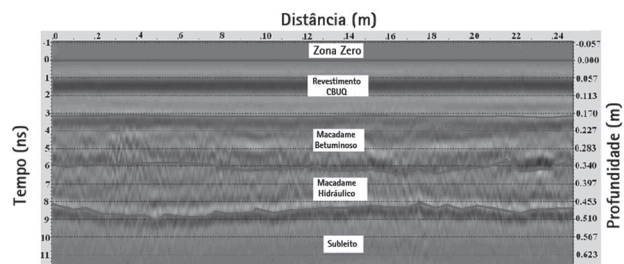


Figura 05. Aspecto do "radargrama" obtido a 100 centímetros da borda da reconstrução.

2.4 PRÉ-PROCESSAMENTO

O primeiro procedimento foi a utilização do software "rad2bmp.exe" desenvolvido pela GSSI para conver-

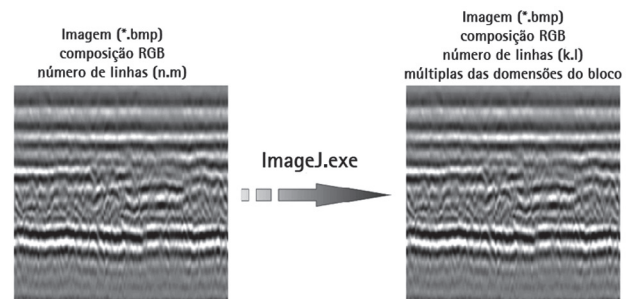


Figura 06. À esquerda mostra a imagem no estado bruto (*.DZT) e à direita a imagem na composição de 8bits com o número de linhas e colunas múltiplos da dimensão do bloco a ser utilizado, 4x4 ou 10x10 pixels.

2.5 PROCESSAMENTO – MCCWFUN.M

Como o "radargrama" apresenta, numa análise visual um padrão de textura, neste trabalho os autores usaram uma metodologia para a extração das características texturais, usando a transformada *wavelet*, multi-decomposição, nível 1, Daubechies 4 (FARIA, 2010).

A transformada *wavelet* diferentemente da transformada de Fourier, cujas funções de base são senoides, se baseiam em pequenas ondas, chamadas de *ondaletas* ou *wavelets*, de frequência variada e duração limitada. Enquanto na transformada de Fourier as informações temporais são perdidas, nas transformadas *wavelets* elas são preservadas (GONZALEZ e WOODS, 2010).

Segundo Ferreira (2010), a análise de *wavelet* aplicada à filtragem de imagens pode ser implementada a partir de um Banco de Filtros, denominados de filtros em Quadratura Espelhada (QMF– *Quadrature Mirror Filters*). A função *wavelet* aplica sobre a imagem um filtro passa-baixa (L) e o outro passa-alta (H), gerando um nível de decomposição e produzindo quatro sub-bandas (LL, HL, LH e HH), podendo esse processo ser utilizado sucessivamente nas sub-bandas LLs, que seriam os níveis subsequentes de decomposição da imagem original; as sub-bandas LL apresentam as baixas frequências, enquanto HH mostram as altas frequências; as sub-bandas HL e LH representam as frequências intermediárias.

A Figura 07a apresenta uma decomposição em primeiro nível enquanto a Figura 07b apresenta uma decomposição de segundo nível. Segundo Ferreira (2010), têm-se quatro regiões formadas com a metade da resolução espacial da imagem original: a sub-banda LL é uma “imagem de aproximação”, a sub-banda HL é uma “imagem de detalhe horizontal”, a sub-banda LH é uma “imagem de detalhe vertical” e a sub-banda HH é uma “imagem de detalhe diagonal”; no segundo nível de decomposição a sub-banda LL é decomposta em outras quatro sub-bandas com resolução espacial de 25% da imagem original.

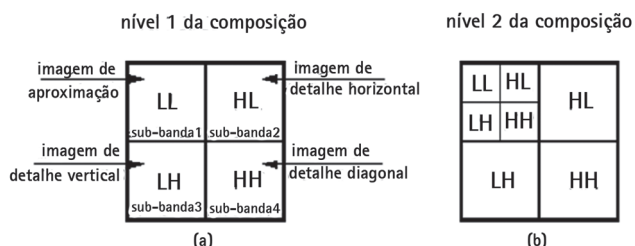


Figura 07. Análise de multi-resolução. Decomposição “Nível 1”; (b) Decomposição “Nível 2”
Fonte: (FERREIRA, 2010)

A Figura 08, apresenta as operações realizadas pela rotina “mccwfun.m” para um bloco de tamanho 10x10 pixels. O arquivo de entrada nesta rotina foi uma ima-

gem pré-processada, no formato de 8 bits e com o número de linhas e colunas múltiplas de 4 e 10 pixels, que são os tamanhos dos blocos que foram utilizados como unidades de classificação neste trabalho. A rotina faz percorrer por toda a imagem um bloco de dimensões 4x4 ou 10x10 pixels, onde é aplicada a função “*wavelet*” (multi-decomposição, nível 1, Daubechies 4) e como resultado obtiveram-se os coeficientes *wavelets* (LL, LH, HL, HH). O “mccwfun.m” atribui uma coordenada x e y para cada valor de cada coeficiente decomposto pela função “*wavelet*” com o objetivo de espacialização 3D, para posterior interpolação dos dados pelo método “*Collocation*”.

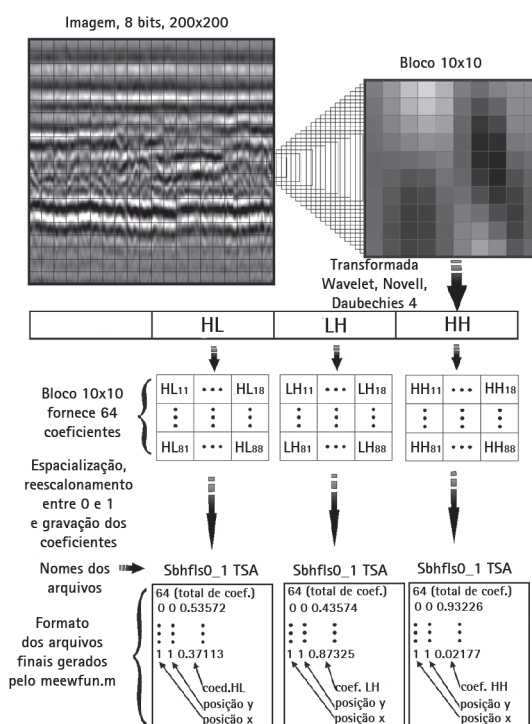


Figura 08. Esquema da rotina “mccwfun.m” para bloco 10x10.

No entanto, se considerará apenas os coeficientes de alta frequência de decomposição horizontal, vertical e diagonal por apresentarem maior sensibilidade às texturas (FERREIRA, 2010).

2.6 AMOSTRAS DE TREINAMENTO E TESTE

De posse dos arquivos que contêm os coeficientes processados e espacializados, foram separados os arquivos para as amostras de treinamento e teste. Foram separadas 150 amostras por classe, sendo 2/3 (100 amostras) destas amostras independentes reservadas

para treinamento e 1/3 (50 amostras) reservadas para teste para cada componente da “transformada *wavelet*”. Mather (1999) sugere que o número total de amostras deveria ser, no mínimo, 30 vezes o número de variáveis discriminantes para os classificadores estatísticos como o *MaxVer*.

Para a identificação às quais classes (Camadas de Revestimento, Macadame, Sub-leito e a região de Zona Zero) as amostras pertenciam, foram utilizados: o “radargrama” para localização das interfaces entre as camadas e as medidas efetuadas pela trena. Para isso, foi desenvolvido em linguagem JAVA um aplicativo para auxiliar na aquisição destas amostras como o nome “selecionar Arquivos”. Ele escolhe aleatoriamente dentro de um intervalo de amostras pré-determinado pelo analista, um número de amostras que serão usadas como amostras de treinamento e teste. Foram evitadas as áreas de transição de uma camada para outra a fim de minimizar o número de pixels de mistura com a intenção de diminuir a confusão durante a classificação.

2.7 INTERPOLAÇÃO DOS COEFICIENTES *WAVELETS*

Em uma classificação tradicional de imagens orbitais, os classificadores tomam suas decisões baseados nas informações de níveis de cinza das bandas que as compõem. No caso da imagem gerada a partir do GPR (radargrama), uma classificação realizada apenas com as informações dos níveis de cinza não seria suficiente. Dentro desta ótica, surge a necessidade de encontrar outra maneira de extrair informações, principalmente utilizando outra unidade de classificação, que não os pixels individualmente, para melhor discriminação das feições de cada classe que constitui a imagem. Optou-se por utilizar blocos de pixels, sobre os quais foram aplicados extratores de textura (*Wavelets*). Neste trabalho, os autores usaram uma metodologia para a extração das características texturais, usando a transformada *wavelet*, multi-decomposição, nível 1, Daubechies 4.

Neste trabalho, foi empregado o método de interpolação “*Collocation*”, para gerar e parametrizar analiticamente uma superfície representativa formada a partir de cada bloco, utilizando os valores fornecidos por cada um dos coeficientes horizontal, vertical e diagonal. Dessas funções analíticas são extraídos os seus

coeficientes para serem usados como variáveis discriminantes no processo de classificação.

O método *Collocation* caracteriza todos os coeficientes *wavelets* de uma cena, representando suas intensidades como uma função da frequência. Cada coeficiente *wavelet* pode ser representado no espaço tridimensional com as distribuições no espaço assumindo os eixos X e Y, e frequência no eixo Z (coeficientes *wavelets*). Uma superfície analítica é interpolada através dos pontos de controle, os quais podem ser irregularmente espaçados. O método *Collocation* foi utilizado para gerar e extrair os parâmetros das superfícies analíticas. Então, os coeficientes das funções polinomiais que representam estas superfícies, são usados como vetores de entrada para serem utilizados em diferentes classificadores supervisionados (VIEIRA, 2000).

2.8 PROCESSO DE REDUÇÃO DAS VARIÁVEIS DISCRIMINATÓRIAS (COEFICIENTES)

Quando o número de variáveis discriminantes utilizadas para a classificação é muito elevada, torna-se necessário a seleção do mínimo necessário de variáveis com o intuito de reduzir a quantidade necessária de amostras de treinamento no processo de classificação. Nesse trabalho foi utilizado o método “*Stepwise Forward*”. Segundo Vieira (2000), o método “*Stepwise Forward*” é um dos métodos de seleção variável mais utilizado. Primeiramente, uma única variável que maximiza a acurácia da classificação é encontrada. O segundo passo é emparelhar à variável encontrada, uma segunda variável que continua maximizando a classificação, e assim sucessivamente até que não se tenha mais um incremento estatisticamente significativo na acurácia da classificação, em relação ao uso de todas as variáveis discriminatórias.

2.9 MAXVER

O método da máxima verossimilhança (*MaxVer*) é um classificador supervisionado muito utilizado em sensoriamento remoto. O método utiliza parâmetros estatísticos (vetor média e matriz de covariância) onde pressupõe que os elementos de cada classe seguem uma distribuição normal multivariada, e avaliam-se as probabilidades que um dado elemento tem de pertencer a uma determinada classe e o designa àquela cuja

probabilidade é maior (NISHIDA, 1998). A ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos também é levada em consideração. A distribuição de valores considerados para a classificação em uma área de treinamento é descrita por uma função do peso específico de probabilidade, desenvolvida com base na estatística *Bayesana* (INPE, 2002).

Na sua diagonal principal, a matriz de erros apresenta os blocos corretamente classificados. Nas suas colunas são apresentados os erros de omissão, que são os blocos omitidos de sua correta classe e atribuídos à outra classe. Nas suas linhas estão os erros de comissão, que são os blocos incluídos erroneamente a uma classe que eles não pertencem.

A Exatidão Global ou Exatidão Total é obtida pelo somatório da diagonal principal da Matriz de Erros dividido pelo número total de blocos utilizados.

Segundo Vieira (2000), o índice *kappa* é uma medida para se avaliar o quão bem a classificação está de acordo com os dados de referência e é recomendada para medir a exatidão da classificação temática por se levar em consideração toda a matriz de erros, ao contrário da Exatidão Global que leva em consideração apenas a diagonal principal. A tabela 2 apresenta o desempenho da classificação em relação ao valor de *Kappa* obtido (FONSECA, 2000). A Equação 01 mostra como o índice *kappa* pode ser obtido.

$$\bar{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} X_{+i})} \quad \text{Equação 1}$$

\bar{K} = Índice de Exatidão *kappa*;

r = Número de linhas da matriz;

X_{ii} = Número de observações dos elementos da diagonal da matriz;

X_{i+} = $\sum_j X_{ij}$ = Soma dos valores da linha i ;

X_{+i} = $\sum_j X_{ji}$ = Soma dos valores da coluna j ;

N = Número total de observações.

Também é apresentada a Equação 02 para o cálculo do *kappa* condicional, ou seja, ela fornece um índice para cada classe separadamente.

$$\bar{K}_{cond} = \frac{N \cdot X_{ii} - X_{i+} X_{+i}}{N \cdot X_{i+} - X_{i+} X_{+i}} \quad \text{Equação 2}$$

\bar{K}_{cond} = Índice *kappa* condicional;

X_{ii} = Número de observações dos elementos da diagonal da matriz;

X_{i+} = $\sum_j X_{ij}$ = Soma dos valores da linha i ;

X_{+i} = $\sum_j X_{ji}$ = Soma dos valores da coluna j ;

N = Número total de observações

Tabela 2. Índice do coeficiente *Kappa* e o correspondente conceito do desempenho da classificação.

Índice Kappa	Desempenho da classificação
< 0	Péssimo
0 <= 0,2	Mau
0,2 <= 0,4	Razoável
0,4 <= 0,6	Bom
0,6 <= 0,8	Muito Bom
0,8 <= 1,0	Excelente

Fonte: Fonseca (2000)

Nesta etapa, foram usados como vetores para a classificação os coeficientes polinomiais (variáveis discriminatórias) representantes das superfícies geradas pelo método “*Collocation*” e reduzidas pelo método “*Stepwise Forward*”, para os blocos de dimensões 4x4 e 10x10 pixels, para os coeficientes horizontal, vertical e diagonal separadamente, ou seja, foram classificados os blocos ao contrário do realizado tradicionalmente em classificações de imagens orbitais, onde é classificado o pixel.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a classificação dos “radargramas”. Para tal discussão se levou em consideração a matriz de erros gerada e os parâmetros estatísticos obtidos a partir dela como: Exatidão Global, índice *kappa*, erros de omissão e erros de comissão.

Nesta etapa, foi realizado para cada “radargrama” (imagem de referência), tanto para o obtido a 30 cm (Figura 4) quanto para o obtido a 1 metro (Figura 5) da borda da reconstrução seis tipos de classificações

dispostas da seguinte maneira: cada imagem foi classificada usando os blocos 4x4 e 10x10 pixels, que contêm variáveis discriminatórias representantes das superfícies geradas pelo método *Collocation* e reduzidas pelo método “*Stepwise Forward*”, para os coeficientes horizontal, vertical e diagonal, separadamente, resultando em seis imagens temáticas para cada “radargrama”.

Os resultados da classificação utilizando o classificador *MaxVer* para o “radargrama” extraído a 30cm da borda da reconstrução (Figura 4), para os blocos 4x4 e 10x10 pixels, são apresentados na Tabelas 3 e 5, respectivamente. Enquanto os resultados para a imagem obtida a 1 metro da borda da reconstrução (Figura 5) para os blocos 4x4 e 10x10 pixels são apresentados nas Tabelas 4 e 6 respectivamente.

Tabela 3. Matriz de Erros para os coeficientes diagonal, horizontal e vertical da imagem obtida a 30 cm da borda da reconstrução, usando bloco 4x4 pixels.

IMAGEM	COEF.	MATRIZ DE ERROS							PARÂMETROS	
Radargrama (Figura 4)	Diagonal (Figura 9)	Classe	1	2	3	4	Total	EC (%)		
		1	41	6	0	3	50	18	$Kappa = 0,393$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,76$
		2	0	7	0	1	8	12,5	Var. kappa = 0,001680	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,10$
		3	6	30	47	32	115	59,1	Z estatístico = 9,597	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,86$
		4	3	7	3	14	27	48,1	EG = 54,5%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,17$
		Total	50	50	50	50	200			
	EO (%)	18,0	86,0	6,0	72,0					
Bloco (4x4 pixels)	Horizontal (Figura 10)	Classe	1	2	3	4	Total	EC (%)		
		1	6	0	0	0	6	0	$Kappa = 0,220$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,09$
		2	39	22	1	6	68	67,6	Var. kappa = 0,001322	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,15$
		3	5	28	49	38	120	59,2	Z estatístico = 6,050	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,95$
		4	0	0	0	6	6	0	EG = 41,5%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,09$
		Total	50	50	50	50	200			
	EO (%)	88,0	56,0	2,0	88,0					
Bloco (4x4 pixels)	Vertical (Figura 11)	Classe	1	2	3	4	Total	EC (%)		
		1	43	7	1	4	55	21,8	$Kappa = 0,440$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,81$
		2	3	19	5	15	42	54,8	Var. kappa = 0,002083	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,22$
		3	1	10	37	14	62	40,3	Z estatístico = 9,641	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,62$
		4	3	14	7	17	41	58,5	EG = 58,0%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,17$
		Total	50	50	50	50	200			
	EO (%)	14,0	62,0	26,0	66,0					

EO = erro de omissão; EC = erro de comissão; EG = exatidão global; $\hat{K} cond$ = kappa condicional

Tabela 4. Matriz confusão para os coeficientes diagonal, horizontal e vertical da imagem obtida a 1 metro da borda da reconstrução, usando bloco 4x4 pixels.

IMAGEM	COEF.	MATRIZ DE ERROS							PARÂMETROS		
Radargrama (Figura 5)	Diagonal (Figura 12)	Classe	1	2	3	4	Total	EC (%)			
		1	39	5	2	6	52	25,0	$Kappa = 0,420$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,70$	
		2	5	14	0	3	22	36,4	Var. $kappa = 0,001882$	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,19$	
		3	3	20	45	26	94	52,1	Z estatístico = 9,682	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,81$	
		4	3	11	3	15	32	53,1	EG = 56,5%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,17$	
		Total	50	50	50	50	200				
	EO (%)	22,0	72,0	10,0	70,0						
	Horizontal (Figura 13)			2	3	4	Total	E.C.(%)			
		1	48	2	5	11	66	27,3	$Kappa = 0,620$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,94$	
		2	0	42	2	4	48	12,5	Var. $kappa = 0,001595$	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,79$	
3		2	6	43	25	76	43,4	Z estatístico = 15.525	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,77$		
4		0	0	0	10	10	0,0	EG = 71,5%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,16$		
Total		50	50	50	50	200					
EO (%)	4,0	16,0	14,0	80,0							
Vertical (Figura 14)	Classe	1	2	3	4	Total	E.C.(%)				
	1	39	2	0	2	43	9,3	$Kappa = 0,407$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,72$		
	2	4	12	0	2	18	33,3	Var. $kappa = 0,002037$	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,16$		
	3	4	20	38	24	86	55,8	Z estatístico = 9,011	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,58$		
	4	3	16	12	22	53	58,5	EG = 55,5%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,24$		
	Total	50	50	50	50	200					
EO (%)	22,0	76,0	24,0	56,0							
EO = erro de omissão; EC = erro de comissão; EG = exatidão global; $\hat{K} cond = kappa$ condicional											

Tabela 5. Matriz confusão obtida para os coeficientes diagonal, horizontal e vertical da imagem obtida a 30 cm da borda da reconstrução, usando bloco 10x10 pixels.

IMAGEM	COEF.	MATRIZ DE ERROS							PARÂMETROS		
Radargrama (Figura 5)	Diagonal (Figura 12)	Classe	1	2	3	4	Total	EC (%)			
		1	39	5	2	6	52	25,0	$Kappa = 0,420$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,70$	
		2	5	14	0	3	22	36,4	Var. $kappa = 0,001882$	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,19$	
		3	3	20	45	26	94	52,1	Z estatístico = 9,682	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,81$	
		4	3	11	3	15	32	53,1	EG = 56,5%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,17$	
		Total	50	50	50	50	200				
	EO (%)	22,0	72,0	10,0	70,0						
	Horizontal (Figura 13)			2	3	4	Total	E.C.(%)			
		1	48	2	5	11	66	27,3	$Kappa = 0,620$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,94$	
		2	0	42	2	4	48	12,5	Var. $kappa = 0,001595$	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,79$	
3		2	6	43	25	76	43,4	Z estatístico = 15.525	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,77$		
4		0	0	0	10	10	0,0	EG = 71,5%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,16$		
Total		50	50	50	50	200					
EO (%)	4,0	16,0	14,0	80,0							
Vertical (Figura 14)	Classe	1	2	3	4	Total	E.C.(%)				
	1	39	2	0	2	43	9,3	$Kappa = 0,407$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,72$		
	2	4	12	0	2	18	33,3	Var. $kappa = 0,002037$	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,16$		
	3	4	20	38	24	86	55,8	Z estatístico = 9,011	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,58$		
	4	3	16	12	22	53	58,5	EG = 55,5%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,24$		
	Total	50	50	50	50	200					
EO (%)	22,0	76,0	24,0	56,0							
EO = erro de omissão; EC = erro de comissão; EG = exatidão global; $\hat{K} cond = kappa$ condicional											

Tabela 6. Matriz confusão obtida para os coeficientes diagonal, horizontal e vertical da imagem obtida a 1 metro da borda da reconstrução, usando bloco 10x10 pixels.

IMAGEM	COEF.	MATRIZ DE ERROS							PARÂMETROS	
		Classe	1	2	3	4	Total	EC (%)		
"radargrama" (Figura 5) Bloco (10x10 pixels)	Diagonal	1	41	4	2	6	53	22,6	$Kappa = 0,373$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,76$
		2	3	15	10	8	36	58,3	Var. $kappa = 0,002126$	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,15$
		3	4	19	31	17	71	56,3	Z estatístico = 8,096	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,41$
		4	2	12	7	19	40	52,5	EG = 53,0%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,23$
		Total	50	50	50	50	200			
		EO (%)	18,0	70,0	38,0	62,0				
		EO (%)	18,0	70,0	38,0	62,0				
	Horizontal	1	12	0	0	0	12	0,0	$Kappa = 0,313$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,19$
		2	3	31	2	9	45	31,1	Var. $kappa = 0,001605$	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,51$
		3	34	19	46	33	132	65,2	Z estatístico = 7,821	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,76$
		4	1	0	2	8	11	27,3	EG = 48,5%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,11$
		Total	50	50	50	50	200			
		EO (%)	76,0	38,0	8,0	84,0				
		EO (%)	76,0	38,0	8,0	84,0				
	Vertical	1	35	3	0	0	38	7,9	$Kappa = 0,380$	$\hat{K} cond_{(Offset)} = 0,63$
		2	8	25	6	14	53	52,8	Var. $kappa = 0,001852$	$\hat{K} cond_{(Revestimento)} = 0,32$
		3	5	20	43	32	100	57,0	Z estatístico = 8,831	$\hat{K} cond_{(Macadame)} = 0,72$
		4	2	2	1	4	9	55,6	EG = 53,5%	$\hat{K} cond_{(Subleito)} = 0,04$
Total		50	50	50	50	200				
EO (%)		30,0	50,0	14,0	92,0					
EO (%)		30,0	50,0	14,0	92,0					

EO = erro de omissão; EC = erro de comissão; EG = exatidão global; $\hat{K} cond = kappa$ condicional

O melhor resultado encontrado para a exatidão global (EG) foi de 71,5% (Tabela 4), correspondente a FiOO O melhor resultado encontrado para Exatidão Global (EG) foi de 71,5% (Tabela 4) correspondente a Figura 10, e o pior 41,5% (Tabela 3), correspondente a Figura 7. O melhor índice, de exatidão $kappa$, foi de 0,62 (Tabela 4) enquanto o pior foi 0,22 (Tabela 3). Os melhores resultados para o índice $kappa$ condicional, para cada classe separadamente, são: (0,95) para o coeficiente horizontal, classe 3 (Tabela 3); (0,94) para o coeficiente horizontal, classe 1 (Tabela 4); (0,79) para o coeficiente horizontal, classe 2 (Tabela 4); (0,24) para o coeficiente vertical, classe 4 (Tabela 4). Em uma análise mais abrangente, para cada classe, e para os diferentes coeficientes utilizados, para os blocos 4x4 e 10x10 simultaneamente, obteve-se como média para o $kappa$ condicional: Classe 1 (D = 0,72; V = 0,72; H = 0,35), vale ressaltar que para o coeficiente horizontal, os índices alcançados para o melhor (0,94) e o pior (0,09) valor, tiveram uma variância elevada; Classe 2 (D = 0,15; V = 0,27; H = 0,47); Classe 3 (D = 0,71; V = 0,68; H = 0,83), Classe 4 (D = 0,20; V = 0,16; H = 0,12). Com base nestes

resultados, concluí-se que as classes que obtiveram os melhores resultados, em ordem decrescente, foram: 3 (macadame), 1 (Zona Zero), 2 (revestimento) e por fim a classe 4 (subleito).

Levando em consideração a soma dos erros de omissão e comissão, o coeficiente que melhor discriminou a classe 1 (Zona Zero), foi o coeficiente vertical. Para a classe 2 (revestimento) foi o coeficiente horizontal, mas com muitos blocos classificados erroneamente. Para a classe 3 (macadame), o coeficiente horizontal obteve melhor êxito. Já a classe 4 (subleito) foi aquela com maior dificuldade na classificação, tendo muitos pixels atribuídos erradamente às outras classes, para os 3 coeficientes utilizados; no entanto, o melhor resultado para esta classe, foi obtido com o coeficiente horizontal, contrariando o apontado pelo índice $kappa$ condicional, que foi o coeficiente diagonal.

De uma maneira geral, para as 12 imagens analisadas, levando-se em consideração o $kappa$ condicional, a classe melhor discriminada pelo classificador foi a classe 3 (macadame) seguida da classe 1 (Zona Zero),

onde os resultados obtidos foram satisfatórios. As demais classes apresentaram muitos blocos classificados erroneamente. Apesar da classe 4 ter atribuído erroneamente blocos às classes 2 e 3, o que piorou o resultado, a imagem temática obtida se mostrou satisfatória. De acordo com a Tabela 2, todas as imagens tiveram um desempenho na classificação de razoável a bom, levando em consideração o índice de exatidão $kappa$. Já com relação ao índice $kappa$ condicional, a classe 1 obteve uma classificação considerada como “muito boa” para os coeficientes “diagonal e vertical”; a classe 2 como “boa” com o coeficiente “horizontal”; a classe 3 como “excelente” para o coeficiente “horizontal”; e a classe 4 como “péssimo” para os três coeficientes analisados.

O extrator 4x4 pixels, de maneira geral, apresentou melhores resultados que o extrator 10x10 pixels, o que contraria o esperado. O esperado era que os blocos 10x10 pixels representassem melhor a superfície, uma vez que uma superfície espacial maior poderia extrair a textura melhor da imagem e conseqüentemente fornecesse coeficientes que discriminasse melhor essas feições trazendo assim maior eficiência ao classificador utilizado (*MaxVer*).

A seguir são apresentadas algumas das imagens obtidas na classificação. As Figuras 9, 10 e 11 apresentam as imagens temáticas obtidas para o bloco 4x4 para o “radargrama” extraído a 30 cm da borda da reconstrução (Figura 4) para as componentes diagonal, horizontal e vertical respectivamente.

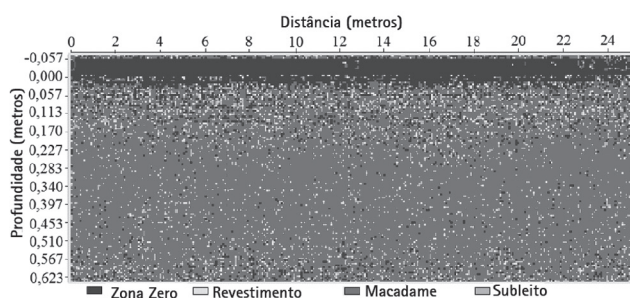


Figura 9. Imagem temática para os coeficientes diagonal da imagem obtida a 30 cm da borda da reconstrução, bloco 4x4.

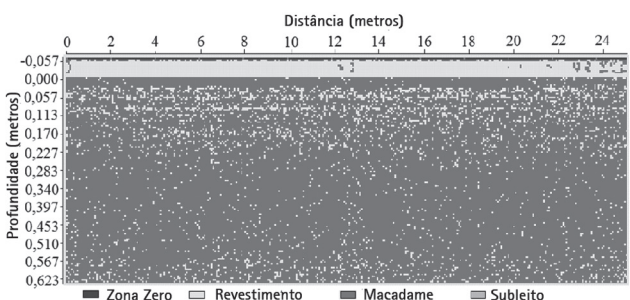


Figura 10. Imagem temática para os coeficientes horizontal da imagem obtida a 30 cm da borda da reconstrução, bloco 4x4.

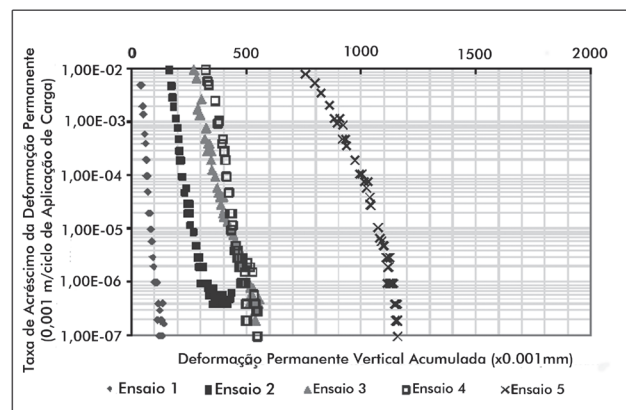


Figura 11. Imagem temática para os coeficientes vertical da imagem obtida a 30 cm da borda da reconstrução, bloco 4x4

As Figuras 12, 13 e 14 apresentam as imagens temáticas obtidas para o bloco 4x4 para o “radargrama” extraído a 1 metro da borda da reconstrução (Figura 5) para as componentes diagonal, horizontal e vertical respectivamente.

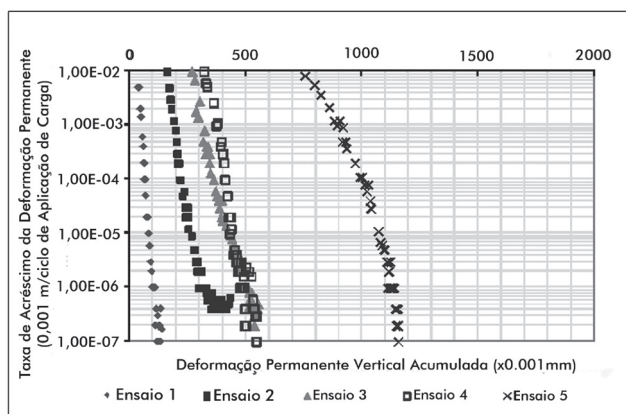


Figura 12. Imagem temática para os coeficientes diagonal da imagem obtida a 1 metro da borda da reconstrução, bloco 4x4.

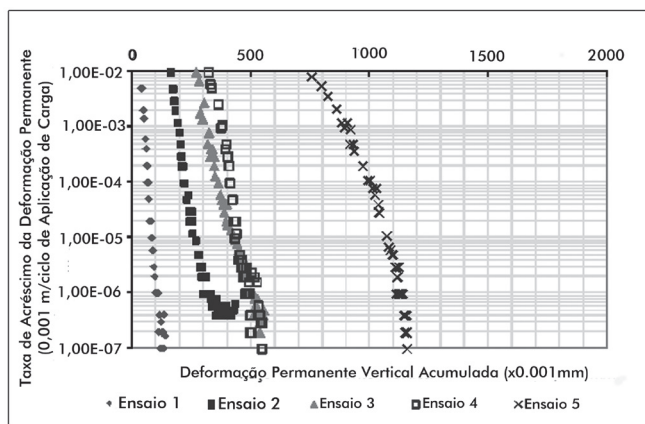


Figura 13. Imagem temática para os coeficientes horizontal da imagem obtida a 1 metro da borda da reconstrução, bloco 4x4.

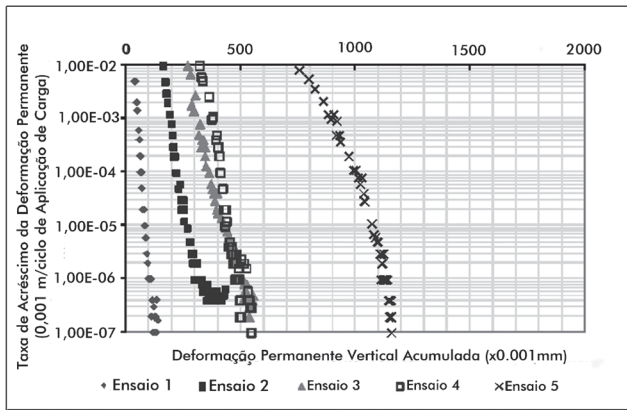


Figura 14. Imagem temática obtida para os coeficientes vertical da imagem obtida a 1 metro da borda da reconstrução, bloco 4x4.

Uma possível alternativa para a melhoria dos resultados seria mudar o extrator de textura utilizado (transformada *wavelet*: multi-decomposição, nível 1, Daubechies 4) e testar outros extratores da família *wavelet*; outra opção seria utilizar outro tipo de interpolador, usando um que considere mais as tendências dos coeficientes ao se gerar a superfície, isso porque o interpolador *Collocation* se ajusta perfeitamente aos pontos de controle, e se houver ruídos (pontos discrepantes), interferirá nos resultados, o que seria evitado por um interpolador que captura tendências; também seria interessante aumentar o número de amostras de treinamento e teste; devido ao fato do classificador *MaxVer* assumir que as classes têm uma distribuição normal, o que pode não ter ocorrido neste caso. Sugere-se usar outro classificador, tipo redes neurais, que não assume nenhuma distribuição dos dados.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para o experimento de uma maneira geral se mostraram com potencial, ou seja, apontaram a possibilidade de se determinar as espessuras

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGUIAR, J. C. M. **Radar de Penetração no Solo (GPR): Aspectos geofísicos e geodésicos, processamento e análises em pavimento flexível**. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Cartográfica. Recife. Dissertação de mestrado (Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). 2005. 128 p.

ANNAN, A. P. **Ground Penetrating Radar**. Workshop Notes Sensors and Annual Meeting of SAGEEP, Chicago, April 26-29. 1992.

ARANHA, P.R.A. **Estudo das coberturas superficiais e sua dinâmica na região de Gouveia, Serra do Espinhaço, MG: utilizando o Radar de Penetração no Solo (GPR)**. Tese de Doutorado, UFOP, Ouro Preto, 305p, 2003.

das camadas constituintes do pavimento e da Zona Zero, por meio da análise textural de radargramas, de maneira automatizada e indireta (não destrutiva). As imagens temáticas obtidas tiveram muitos pixels classificados erroneamente para as classes 2 (revestimento) e 4 (subleito) para os blocos utilizados. Já a classe 3 (macadame) seguida da classe 1 (Zona Zero) foram as classes que tiveram melhores resultados levando em consideração as três componentes utilizadas na classificação. O esperado era que os blocos 10x10 *pixels* representassem melhor a superfície, uma vez que uma superfície espacial maior extrairia a textura melhor da imagem e conseqüentemente fornecesse coeficientes que discriminasse melhor essas feições trazendo assim maior eficiência ao classificador utilizado (*MaxVer*), o que não se confirmou pelos testes estatísticos. Embora o $\kappa = 0.62$ obtido para a imagem a 1 metro da reconstrução, ser considerado muito bom (Tabela 4), essa teve muitos pixels da classe 4 atribuídos erroneamente às outras classes. Com relação ao índice κ condicional, a classe 1 obteve uma classificação considerada como “muito boa” para os coeficientes “diagonal e vertical”; a classe 2 como “boa” para o coeficiente “horizontal”; a classe 3 como “excelente” para o coeficiente “horizontal”; e a classe 4 como “péssimo” para os três coeficientes analisados. Com relação às espessuras obtidas através das imagens classificadas, a classe “Zona Zero” indicou muito bem a posição da superfície do revestimento; a espessura obtida para a camada de revestimento oscilou em torno dos 17 cm de profundidade; a de macadame ficou entre 17 e 49 cm aproximadamente; enquanto o subleito assumiu profundidade, a partir de 49 cm. Todavia, esse é um campo que deve ser pesquisado mais profundamente, uma vez que os resultados alcançados apontam para uma metodologia com grande potencial a ser desenvolvido cientificamente.

CASTAÑÓN, C. A. B. **Recuperação de imagens por conteúdo através da análise multirresolução por wavelets**. Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - Universidade de São Paulo, São Carlos. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional). 2003.112 p.

CAO, Y. **Implementation of Ground Penetrating Radar**. 2007. Disponível em: <<http://www.lrrb.org/PDF/200734.pdf>>. Acesso em: 20 de agosto de 2008.

DOURADO, T. C. **Aplicação de Técnicas Clássicas do Processamento Sísmico de Reflexão em dados de Radar (GPR) para Detecção de Hidrocarbonetos em Sedimentos Arenosos**. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. Dissertação de mestrado (Geofísica). Salvador. 2004.

FARIA, S. H. **O uso do Georadar na determinação de parâmetros da estrutura de pavimentos flexíveis**. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2010. 143 p.

FERREIRA, E. R. **Procedimentos automáticos para apoio na avaliação de pavimentos com o uso de imagens digitais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil - Universidade de Viçosa, Viçosa - MG. 2010. 260 p.

FONSECA, L. M. G. **Processamento Digital de Imagens**. notas de aulas da disciplina Processamento Digital de Imagens nos programas de pós-graduação dos cursos de Sensoriamento Remoto e Computação Aplicada. INPE. 2000.

INPE. **Tutorial SPRING**. INPE, São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>>. Acesso em 25 de junho de 2009.

KNOLL, M. D.; KNIGHT, R. **Relationship between dielectric and hydrogeologic properties of sand-clay mixtures**. In: proceedings of the Fifth International Conference on Ground Penetration Radar, June 12-16. Kitchener, Ontario, Canada. v 1. 1994.

LOIZOS, A.; PLATI, C. **Accuracy of pavement thicknesses estimation using different ground penetrating radar analysis approaches**. Science Direct. NDT & E International. Vol. 40. 2007. p 147–157.

LOPES, O. A. **Uso do GPR (Ground Penetrating Radar) em trechos de pavimentos da cidade universitária da UFRJ**. UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado (Engenharia Civil). 2009.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. Second Edition, Chichester: John Wiley and Sons. 1999.

NISHIDA, W. **Uma Rede Neural Artificial para Classificação de Imagens Multiespectrais de Sensoriamento Remoto**. - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Dissertação de mestrado (Engenharia de Produção). 1998.

SAARENKETO, T. **Electrical properties of road materials and subgrade soils and the use of ground penetrating radar in traffic infrastructure surveys**. PhD thesis. Faculty of Science, Department of Geoscience, University of Oulu, P.O. Box 3000, FI-90014. Oulu: Oulu University Press, 2006. 127 p.

VIEIRA, C. A. O. **Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops: A comparative study**. PhD Thesis. University of Nottingham. Nottingham: University of Nottingham, 2000. 327p.

A Mecânica dos Pavimentos Aplicada à Avaliação de um Trecho de Rodovia de Baixo Volume de Tráfego

Marcus Vinícius Fagundes Mota

Mestre em Engenharia Geotécnica pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Antônio Carlos Rodrigues Guimarães

Professor doutor do Instituto Militar de Engenharia (IME).

Laura Maria Goretti da Motta

Professora doutora da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ).

RESUMO

As Rodovias de Baixo Volume de Tráfego (RBVT) têm importância pelas peculiaridades de seus pavimentos, que se caracterizam pela adoção de horizontes de projeto mais curtos, utilização de materiais alternativos com critérios diferenciados como base para a escolha. O objetivo deste artigo é aplicar conceitos da mecânica dos pavimentos em rodovias de baixa solicitação de tráfego, com estruturas delgadas e revestimento em tratamento superficial duplo. Foi selecionado o trecho Luisburgo/Ponte do Silva da rodovia LMG 838, com extensão de 15,2 km, onde foram realizados em campo: inventário da superfície do pavimento; deflectometria com viga Benkelman; contagem de tráfego; investigação das espessuras das camadas com *ground penetrating radar* e investigação dos materiais do subleito e da base. Em laboratório foram realizados ensaios de caracterização, compactação e triaxial dinâmico para determinação do módulo de resiliência e deformação permanente. Os parâmetros mecânicos de laboratório foram comparados com os obtidos na retroanálise dos dados de campo. Foi analisada a contribuição de cada camada do pavimento para o afundamento de trilha de roda e determinada a vida útil remanescente, considerando a tensão máxima admissível no topo do subleito. Concluiu-se que a avaliação estrutural de RBVTs deve considerar as tensões verticais e o acúmulo de deformações permanentes no topo do subleito, havendo necessidade de

se aperfeiçoar uma expressão de controle por formação de banco de dados brasileiros, que considere a deformação permanente acumulada e o acúmulo de deformações plásticas (*shakedown*), refletindo melhor o mecanismo de ruptura dos pavimentos esbeltos.

Palavras-chave: Rodovias de Baixo Volume de Tráfego; Avaliação Estrutural de Pavimentos; Vida Útil Remanescente; Mecânica dos Pavimentos

ABSTRACT

Low Volume Roads (LVR) can be grouped into a distinguish role in pavement analysis for specific peculiarities such as: shorter life project design and frequent use of alternative methods and materials for the pavement structure. The aim of this research is to verify the structure evaluation of thin double superficial dressing, under low traffic loading, applying paving mechanic concepts. To run the field experiments a 15.2 km road segment of the LMG 838 road was selected between Luisburgo and Ponte do Silva city in Minas Gerais State. The following field tests were run on the mentioned road segment: paving surface inventory; Benkelman beam deflection test; volume and classification traffic counting; layers thickness investigation by a Ground Penetrating Radar. It was also collected samples from the

deposits of the sub-grade and base layers materials. It was done characterizations tests, compaction and dynamic triaxial test to determinate resilience module and permanent deformation for the soil layers. The lab mechanics parameters were compared with those obtained by retro-analysis using field database. The pavement service life expectance was estimated taking into account the wheel rutting parcel of each layer and the maximum axial stress on the top of the existing ground. In conclusion, the structural analysis

for Low Volume Roads design must regard vertical stress and permanent strain on the top of the existing ground. The results must be gathered to others research results in order to improve a new national database aiming to develop and improve failure models for thin double superficial dressing pavement.

Keywords: Low Volume Roads, Paving Structure evaluation, Service life expectance, Paving Mechanics

I INTRODUÇÃO

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2010) 79,9% (1.368.184 km) da malha rodoviária nacional é não pavimentada ou planejada, sendo 90,3% (1.234.918 km) desta de jurisdição municipal. Grande parte da malha não pavimentada corresponde a rodovias de Baixo Volume de Tráfego (RBVT), normalmente situadas em acessos a localidades ou regiões não integradas ao processo de desenvolvimento econômico e com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER/MG) desenvolveu a recomendação técnica RT-01.46, *Critérios de projetos para Vias de Ligação com Reduzido Volume de Tráfego*, específica para elaboração de projetos de RBVT, que considera como tal as rodovias com Volume Médio Diário Anual de Tráfego (VMDAT) estimado menor ou igual a 300 veículos por dia ao final da vida útil de projeto.

Essa RT propõe alguns procedimentos que diferem das práticas tradicionais, tais como o estudo do subleito utilizando três níveis de energia: Normal (PN), na qual a moldagem do corpo de prova no ensaio de compactação se dá com 13 golpes, quando é utilizado disco espaçador de 2" e 12 golpes caso o disco espaçador seja de 2,5", Internormal (1,5 PN), na qual a moldagem do corpo de prova no ensaio de compactação se dá com 20 golpes, quando é utilizado disco espaçador de 2" e 18 golpes caso o disco espaçador seja de 2,5", e Intermediária, na qual a moldagem do corpo de prova no ensaio de compactação se dá com 29 golpes, quando é utilizado disco espaçador de 2" e 26 golpes caso o disco espaçador seja de 2,5", e a admissão de materiais para a construção da camada de base, que se enquadrem nas faixas "A" até "E", da especificação DNER ES 303/97.

Este artigo traz a análise da aplicação dos conceitos da mecânica dos pavimentos às estruturas das RBVTs, onde é baixa a solicitação de tráfego, as estruturas são delgadas e o revestimento é Tratamento Superficial Duplo (TSD). Foi feito estudo de caso em um trecho projetado sob as recomendações da RT-01.46: LMG 838, trecho Luisburgo/Ponte do Silva, com 15,2 km de extensão, localizado na Zona da Mata Mineira.

Este artigo traz a análise da aplicação dos conceitos da mecânica dos pavimentos às estruturas das RBVTs, onde é baixa a solicitação de tráfego, as estruturas são delgadas e o revestimento é Tratamento Superficial Duplo (TSD). Foi feito estudo de caso em um trecho projetado sob as recomendações da RT-01.46: LMG 838, trecho Luisburgo/Ponte do Silva, com 15,2 km de extensão, localizado na Zona da Mata Mineira.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A classificação genética do solo do trecho em estudo se deu pela análise do Projeto de Engenharia (ERG Engenharia, 2005) e da carta de classificação de solos do estado de Minas Gerais (CETEC/MG, 1982), sintetizada na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação Genética do solo no trecho Luisburgo/Ponte do Silva

Classificação	Tipo	Descrição	Características
Geológica	Pçsch	Associação charnockítica sobre litologia da unidade geológica Complexo Juiz de Fora.	Rochas metamórficas orientadas de norte para sul e litologia de ortogneisses do vale do rio São Luiz.
Pedológica	LHd2	Latossolo húmico distrófico com textura argilosa fase floresta subperene-fólia e relevo forte ondulado e montanhoso.	Horizonte A – espessura reduzida. Horizonte B – boa fonte de material argiloso para terraplenagem com baixa permeabilidade, argilominerais do grupo caulinita e óxidos/hidróxidos de ferro. Horizonte C – quartzito.

Fonte: ERG Engenharia, 2005.

Os estudos geotécnicos da fase de projeto caracterizaram o subleito como sendo de solo do tipo A-7-5 em 61% das amostras estudadas, A-7-6 em 33% e A-6 em 6% das amostras. Foi indicada como jazida de material para base uma saibreira, em mistura composta por 90% de saibro com 10% de argila.

Como fonte de materiais pétreos no projeto, foi indicada a pedreira Bom Jardim, explorada comercialmente com material britado de gnaisse.

Ao se realizar a coleta de informações referentes à execução das obras e a análise dos respectivos controles tecnológicos, constatou-se que a seção tipo de pavimentação executada foi a seguinte:

- revestimento em TSD sobre pista simples com 7,40 m de largura nas tangentes, excluída a largura dos dispositivos de drenagem;
- base, com 20,0 cm de espessura, confeccionada com mistura de saibro e argila, compactada nas condições de umidade ótima e energia de referência do Proctor Intermodificado na qual a moldagem do corpo de prova no ensaio de compactação se dá com 59 golpes, quando é utilizado disco espaçador de 2" e 56 golpes caso o disco espaçador seja de 2,5";
- subleito predominantemente argiloso e regularizado nas condições de umidade ótima e com energia de referência 1,5 PN.

No entanto, durante a obra foram necessárias variações em relação ao projeto para a dosagem da mistura de base e as fontes de materiais. Identificou-se também, em oito segmentos pontuais, rebaixamento no subleito para substituição de material com características abaixo das mínimas adotadas no dimensionamento do pavimento.

Nestes locais foram utilizados materiais de cortes e empréstimos laterais à pista com Índice Suporte Califórnia (ISC) $\geq 19\%$ e expansão $\leq 2\%$.

A localização das fontes de materiais efetivamente utilizadas permitiu coletar amostras para estudo do subleito ou camada final de terraplenagem. Foram feitos ensaios de granulometria por peneiramento, Limites de Liquidez e Plasticidade e ensaios triaxiais dinâmicos para Módulo de Resiliência e Deformação Permanente. Os solos foram analisados, também, de acordo com a metodologia MCT (Nogami e Villibor, 1995) tendo sido classificados como LG'.

A jazida de saibro indicada em projeto (J-01), para mistura de base, não obteve liberação dos órgãos ambientais, e, na fase de obra, duas outras jazidas de saibro e empréstimos laterais à pista foram estudados com mistura. Para este artigo, procurou-se reproduzir a mistura efetivamente utilizada na base, procedeu-se à investigação balizada nos controles tecnológicos da obra e relatos dos engenheiros da fiscalização.

Os estudos foram feitos em amostras coletadas na jazida J-02 (utilizada em 9,9 km do trecho) e nos empréstimos de argila utilizados na mistura. Com essas amostras buscou-se reproduzir a mistura executada através de três traços/tentativa: três volumes de saibro para um de argila; quatro de saibro para um de argila e cinco de saibro para um de argila. Concluiu-se que a mistura que mais se assemelhou à executada na pista foi a de quatro volumes de saibro da jazida J-02 por um volume de argila, como se verifica na Tabela 2.

Com a reconstituição da mistura de base existente na pista, foram realizados ensaios triaxiais dinâmicos

Tabela 2 – Resumo comparativo dos ensaios de caracterização da mistura da base

Fase	Granulometria						LL	IP
	2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200		
Revisão projeto	100,0	81,9	78,5	64,5	28,8	15,8	41,1	NP
Traço tentativa (4:1)	100,0	91,0	90,6	83,2	34,3	16,5	29,0	NP
Média controle obra	100,0	94,7	89,6	74,7	34,2	18,2	30,0	10,8

Fontes: DER/MG e Mota (2009).

para determinação do Módulo de Resiliência e para determinação do acúmulo de deformações permanentes como proposto por Guimarães (2009).

O trecho Luisburgo/Ponte do Silva da rodovia LMG 838, com extensão de 15,2 km, localiza-se a 308 km de Belo Horizonte, no sudeste do estado de Minas Gerais,

na Região de Planejamento da Zona da Mata Mineira. Teve sua pavimentação concluída em abril de 2006, com imediata abertura ao tráfego. Esse trecho é acesso local ao município de Luisburgo e estava previsto VMDAT de 369 veículos no final dos 6 anos de vida útil considerados no projeto correspondendo ao número

N = 1,17E+05. Uma síntese de suas características técnicas é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Síntese das características técnicas da LMG 838, Luisburgo/Ponte do Silva

Classe da Rodovia	Ligação
Declividade longitudinal máxima	12%
Declividade longitudinal mínima	0%
Raio mínimo de curvatura horizontal	50,0m
Média de número de curvas por quilômetro	7,09
Curvas	68,4%
Tangentes	32,6%

Fonte: ERG Engenharia, 2005.

Após análise da “Revisão de Projeto de Engenharia Rodoviária de Melhoramento e Pavimentação do subtrecho Luisburgo-Ponte do Silva” (ERG Engenharia, 2005) e considerando que já havia 27 meses de abertura ao tráfego foram desenvolvidas as seguintes ações para avaliação do pavimento: inventário de defeitos da superfície do pavimento; prova de carga por deflectometria com viga Benkelman; contagem de tráfego volumétrica e classificatória; análise do histórico da obra; ensaios de laboratório (caracterização, compactação, ISC, módulo de resiliência e deformação permanente); investigação das espessuras das camadas com *Ground Penetrating Radar* (GPR); definição de segmentos homogêneos; avaliação estrutural por retroanálise com RETRAN5-L; determinação da vida útil remanescente pela tensão máxima admissível no topo do subleito;

O inventário de superfície foi executado por caminhada a pé em toda a extensão da rodovia, com registro das ocorrências de defeitos em fichas onde foram identificados e localizados de forma gráfica, esquematicamente, por meio de malha quadriculada. Além do inventário de superfície, foi feita a medida da flecha nas Trilhas de Roda Interna (TRI) e Externa (TRE) a cada 20 m alternados em relação ao eixo, usando a treliça padrão da norma DNIT 006/2003-PRO.

Para avaliação estrutural, foi adotado o ensaio de deflectometria com viga Benkelman, conforme preconiza a norma DNER-ME 024/94, com a determinação da linha de influência da bacia de deformação segundo a DNER-ME 061/94. As deflexões foram medidas de 40 em 40 m em cada faixa de tráfego, nas TRI e TRE, fornecendo as deflexões a cada 20 m, alternadamente em

relação ao eixo da via. As linhas de influência das bacias de deformação foram levantadas em ambas as trilhas de roda a cada 100 m alternadamente em relação ao eixo.

Também foi realizada contagem de tráfego por equipe treinada que definiu um posto de contagem localizado no km 5 do trecho, durante 3 dias consecutivos, em conformidade com o estabelecido na alínea “a” do item 4.1.1.2 da RT-01.46c.

A análise do histórico da obra se deu pelo acervo documental existente, composto pelos controles tecnológico, memórias da fase de obra e também com entrevistas aos engenheiros responsáveis pela fiscalização. Essa análise foi complementada por ensaios de laboratório e de campo como comentado.

Buscando priorizar métodos não destrutivos de investigação utilizou-se GPR para verificação *in situ* das espessuras das camadas do pavimento. Foi feita a calibração do radar por meio de furos de sondagem (diâmetro médio de 15 cm), de maneira a determinar as constantes dielétricas dos materiais e espessuras. O levantamento com GPR foi executado nas duas faixas de tráfego e foram gerados radargramas com os tempos de propagação da onda eletromagnética emitida pelo equipamento no pavimento. As camadas foram identificadas nos radargramas pela análise e interpretação das imagens por técnico e engenheiro com experiência nessa metodologia e suas espessuras foram calculadas em função da velocidade de propagação da onda eletromagnética e das constantes dielétricas determinadas na calibração.

Como a seção é homogênea ao longo de todo o trecho e a estrutura bastante delgada, considerou-se a variação da espessura da camada de base levantada pelo GPR como fator preponderante na definição dos segmentos homogêneos.

Com o objetivo de avaliar as condições estruturais *in situ* do pavimento, obtendo-se o módulo de elasticidade das camadas e tensões atuantes no topo do subleito, fez-se a retroanálise com o programa RETRAN5-L, criado pelo engenheiro Cláudio Ângelo Valadão Albernaz e baseado em conceitos apresentados por Albernaz et al. (1995) e Albernaz (1997).

As bacias de deformação foram medidas com a viga Benkelman em pontos discretos da superfície do pavimento nas distâncias radiais de: 0 cm (ponto de aplicação da carga), 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm, 125 cm e

150 cm. Foram definidos pares ordenados formados pelas respectivas distâncias e deflexão (Rx, Dx), os quais foram ajustados matematicamente por curva que representa a bacia medida em todos os cálculos procedidos pelo programa RETRAN5-L.

Para a retroanálise foi gerado banco de dados com base nos segmentos homogêneos das bacias de deformação nas TRIs e TREs de cada semipista. A variação adotada para as espessuras da base foi de 2 cm, para os módulos de resiliência foi adotada uma variação de 5% de uma iteração para outra e foi considerada uma estrutura composta de quatro camadas: revestimento em TSD, base (mistura de saibro e argila), camada final de terraplenagem e subleito natural. Na formação do banco de dados também foram consideradas faixas de valores modulares compatíveis com os materiais das camadas do pavimento e dos subleitos existentes.

Nos casos em que a área de influência da bacia de deformação atingiu os pés dianteiros da viga Benkelman, as bacias foram corrigidas automaticamente pelo RETRAN5-L de acordo com a norma DNER-ME 24/75. Após a correção, os pontos da bacia de deformação corrigida foram ajustados matematicamente à outra curva, cuja equação representa a bacia corrigida em todos os cálculos a serem procedidos pelo programa.

Os dados da retroanálise foram avaliados por meio dos relatórios emitidos pelo RETRAN5-L os quais apresentam as bacias medidas, ajustadas e teóricas (em forma gráfica e analítica), os erros percentuais de ajustamento (RMS%), no caso o máximo admitido foi de 7,5%; os módulos retroanalizados, os coeficientes de Poisson, as espessuras e a contribuição de cada camada e do subleito no valor da deflexão máxima medida no ponto de aplicação da carga.

Como o revestimento em TSD não é afetado pelo fenômeno da fadiga, na avaliação estrutural foi adotada, como condição limite, a ruptura plástica do material do subleito, cuja verificação se deu por meio da tensão normal vertical admissível no topo do subleito calculado pela equação (1), desenvolvida pelos pesquisadores Heukelom e Klomp (1962). Foi o seguinte procedimento:

- determinação do $MR_{\text{médio}}$ do subleito para cada segmento homogêneo a partir do tratamento estatístico dos valores da retroanálise;
- determinação da tensão normal vertical máxima ($\sigma_{\text{máx}}$) no topo do subleito em função do número

de ciclos (N) ao final do horizonte de projeto e do $MR_{\text{médio}}$;

- determinação da tensão normal vertical atuante no topo do subleito ($\sigma_{\text{v atuante}}$), obtido pela retroanálise;
- comparação entre $\sigma_{\text{v atuante}}$ e $\sigma_{\text{máx}}$, podendo ocorrer as seguintes situações: a) se $\sigma_{\text{v atuante}} \leq \sigma_{\text{máx}}$ o pavimento tem vida útil remanescente. b) Em caso contrário, deve ser reforçado;
- na ocorrência da situação (a), para determinar a vida útil restante verifica-se quando será atingido o número N correspondente à tensão máxima admissível utilizando-se a equação de Heukelom e Klomp:

$$\sigma_{\text{vmáx}} = c \frac{MR}{I + 0,7 \log_{\theta} N} \quad (1)$$

Onde:

$\sigma_{\text{vmáx}}$ – tensão vertical admissível no topo do subleito

MR – módulo resiliente médio

N – número de ciclos e $c = 0,006$ ou $0,008$ segundo duas fontes de pesquisa.

A utilização da expressão de Heukelom e Klomp para determinação da tensão normal vertical admissível no subleito deve-se à falta de outra gerada com banco de dados nacionais (Medina e Motta, 2005). Há evidências de que nem sempre ela esteja a favor da segurança quando se comparam resultados de somatório de deformação permanente com o N para alguns solos brasileiros como mostrado por Santos (1998).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MÓDULOS DE ELASTICIDADE RETROANALISADOS

Para a retroanálise das bacias de deformação medidas com a viga Benkelman foram analisadas 152 bacias. Foi utilizada estrutura composta por quatro camadas: revestimento em TSD, base de mistura de 80% de saibro com 20% de argila, camada final de terraplenagem e subleito natural; cujos parâmetros considerados são apresentados na Tabela 4.

Partindo-se da hipótese de que o TSD, embora delgado, agrega rigidez à estrutura estudada, a camada 1 foi considerada na retroanálise com um módulo fixo no valor de 700 MPa, que corresponde à faixa de módulo de resiliência encontradas na literatura para

Tabela 4 – Parâmetros utilizados na retroanálise

SEGMENTO HOMOGÊNEO	CAMADA 1		CAMADA 2		CAMADA 3		CAMADA 4	
	Esp (cm)	Poisson	Esp (cm)	Poisson	Esp (cm)	Poisson	Esp (cm)	Poisson
SH 01	2,0	0,37	18,0	0,40	20,0	0,44	Infinito	0,45
SH 02			20,0					
SH 03			16,0					
SH 04			20,0					
SH 05			16,0					
SH 06			20,0					
SH 07			18,0					

revestimentos em pré-misturado a frio (PMF). No entanto, em relação à deflexão máxima, a retroanálise mostrou que não há contribuição dessa camada.

Os resultados da retroanálise em relação ao MR da camada 2 são apresentados na Tabela 5, em intervalo de confiança da média \pm dois desvios-padrão.

Os módulos retroanalizados da base foram em geral muito maiores do que os módulos de resiliência obtidos em laboratório, e essas comparações podem ser vistas em detalhes em Mota (2009). Os segmentos que apresentaram maior variação nos valores de MR para a base foram os SH04 e SH06. Observou-se que essa variação decorreu das diferenças apresentadas entre os MRs calculados com bacias medidas nas trilhas de roda interna e externa. No entanto, esses segmentos apresentaram o maior número de módulos calculados com valores próximos à faixa dos módulos obtidos nos ensaios de laboratório, ocorrendo sempre essa convergência nos módulos calculados pela retroanálise de bacias medidas nas trilhas de rodas externas.

Em relação à base deve-se ressaltar que os valores de MR obtidos na retroanálise foram bastante elevados para uma camada granular não cimentada (600 a 900 MPa).

Tabela 5 – Módulos retroanalizados da camada de base, média \pm 2 desvios

Segmento homogêneo	MR _{médio} (MPa)	CV (%)	Desvio-padrão	MR _{mínimo} (MPa)	MR _{máximo} (MPa)
SH 01	825	4%	33	769	843
SH 02	845	0%	0	843	843
SH 03	899	5%	41	843	927
SH 04	600	40%	239	127	853
SH 05	876	7%	62	766	927
SH 06	608	34%	205	223	843
SH 07	817	4%	36	766	843

Os módulos retroanalizados da camada 3, admitida como sendo a parte da camada final de terraplenagem que foi compactada, são apresentados na Tabela 6. Pode-se observar em todos os segmentos homogêneos que os MRs apresentaram bastante variação, mas os valores médios encontrados se aproximam dos resultados dos ensaios de laboratório. Nessa camada, os menores valores de módulo ocorreram nas TRES, à exceção do SH02 cujos menores valores figuraram nas TRIs na faixa de tráfego direita. E em 3,6% das bacias essa camada foi apontada como crítica em relação à deformação elástica.

Na camada de subleito natural foram obtidos os módulos retroanalizados apresentados na Tabela 7. Como é comum nas retroanálises, a variação nos valores de MR foi bem menor do que na camada 3, e os valores ficaram parecidos com os de laboratório. Em geral a variação dos valores de MR apresentou-se mais homogênea em ambas as trilhas de rodas e nas duas faixas de tráfego em todos os segmentos.

A retroanálise indicou essa camada de subleito natural como crítica para deformações elásticas em 96,4% das bacias, considerando todos os segmentos homogêneos.

Tabela 6 – Módulos retroanalizados da camada final de terraplenagem, média \pm 2 desvios

Segmento homogêneo	MR _{médio} (MPa)	CV (%)	Desvio-padrão	MR _{mínimo} (MPa)	MR _{máximo} (MPa)
SH 01	246	65,0%	16	22	538
SH 02	142	70,0%	99	20	538
SH 03	323	60,0%	194	48	592
SH 04	194	91,0%	177	20	538
SH 05	256	81,0%	208	22	592
SH 06	240	89,0%	214	20	592
SH 07	207	89,0%	185	20	538

Tabela 7 – Módulos retroanalizados do subleito natural, média \pm 2 desvios

Segmento homogêneo	MR _{médio} (kPa)	CV (%)	Desvio-padrão	MR _{mínimo} (kPa)	MR _{máximo} (kPa)
SH 01	103	35,0%	37	48	17
SH 02	81	39,0%	32	24	140
SH 03	84	38,0%	31	40	140
SH 04	79	30,0%	24	33	117
SH 05	99	28,0%	27	48	140
SH 06	85	49,0%	42	33	167
SH 07	107	35,0%	37	33	167

A dispersão dos valores de MR obtidos na retroanálise para a camada final de terraplenagem e para o subleito natural atribui-se às características geotécnicas dos materiais, elevada plasticidade e percentual de finos, sensíveis estruturalmente à influência da umidade local.

3.2 ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA BASE PARA O AFUNDAMENTO DA TRILHA DE RODAS (ATR)

Foram realizados ensaios de laboratório de deformação permanente de acordo com o procedimento utilizado pela COPPE/UFRJ, tendo sido adotados estados de tensões variáveis e compatíveis com as possíveis tensões de trabalho no campo considerando o eixo padrão rodoviário. A deformação permanente obtida no primeiro golpe foi descartada, e o número de ciclos total sempre superior a 150 mil. Neste artigo, no eixo horizontal é registrado o número de ciclos e no vertical a deformação permanente acumulada pelo corpo de prova, de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, sendo o material de base compactado com energia equivalente à do Proctor Intermodificado e o material do subleito com energia uma vez e meia o Proctor normal.

Na Figura 1 mostram-se resultados de três ensaios de deformação permanente realizados com o material da base do trecho analisado. Nesse gráfico percebe-se que no maior nível de tensão ensaiado ($\sigma_d = 400$ kPa e $\sigma_3 = 100$ kPa), compatível com as tensões geradas pelo eixo padrão nessa estrutura de RBVT, para 250 mil repetições, a deformação acumulada foi de 2,3 mm para 20 cm de altura do corpo de prova. Esse número de ciclos é compatível com o N esperado para o trecho e o valor da deformação permanente acumulada é baixo, nas condições de umidade ótima.

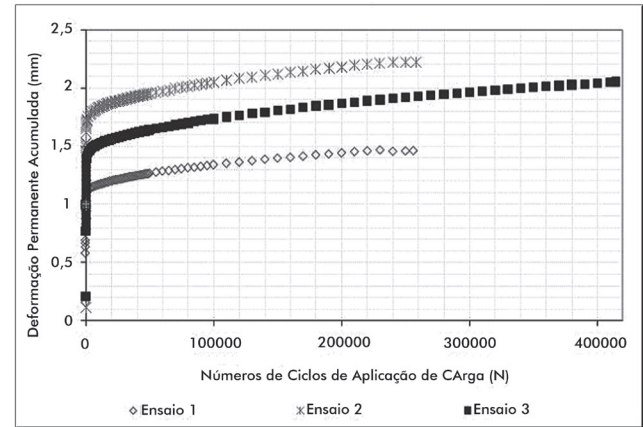


Figura 1 – Deformação permanente acumulada para três níveis de tensão – material da base. Fonte: COPPE/UFRJ.

Considerando que 20 cm é a espessura da camada no trecho, pode-se inferir que 2,3 mm será a contribuição da base para o ATR, caso as tensões atuantes sejam as correspondentes às adotadas no ensaio e a umidade permaneça próxima da umidade ótima. Mesmo no ensaio levado a 400 mil repetições de carga, com nível menor de tensão desvio e maior de tensão de confinamento ($\sigma_d = 360$ kPa e $\sigma_3 = 120$ kPa) em relação ao anterior, mostra-se que há pequena contribuição dessa camada para a deformação permanente total.

Na Figura 2, no eixo horizontal é apresentada a deformação permanente vertical acumulada ao longo dos ciclos de aplicação de cargas, enquanto no eixo vertical tem-se a taxa de acréscimo dessa deformação. Se as curvas obtidas em cada ensaio (1, 2 e 3) atingirem valores na ordem de 10^{-7} metros por ciclo de aplicação de carga pode-se afirmar que a amostra entrou em *shakedown* para aquele estado de tensões, pois esse valor é considerado nulo para parâmetros de engenharia. Ou seja, a situação de *shakedown* representa a estabilização da deformação permanente do material, que é considerada como favorável ao pavimento, pois o material deixa de contribuir para o afundamento de trilha de roda. Caso contrário, conforme observado nos ensaios 1, 2 e 3 mostrados na figura 2, o material apresenta uma taxa não nula de deformação permanente, embora pequena, indicando uma contínua contribuição para a deformação permanente total. Assim, ao longo da operação de uma via constituída desse material sempre haverá contínuo acréscimo do afundamento de trilha de roda, desde que o estado de tensões das camadas seja na mesma ordem de grandeza daqueles utilizados nesses ensaios.

Esse gráfico mostra os resultados dos mesmos ensaios da Figura 1, porém plotados de forma que permita definição se há acomodamento segundo Guimarães (2009). Os resultados indicam que o material da base não entrou em acomodamento, comportando-se como tipo intermediário (B), que não apresenta ruptura catastrófica, porém não cessam as deformações permanentes. No entanto estas são muito pequenas, portanto essa camada não será a principal em termos de contribuir para o ATR.

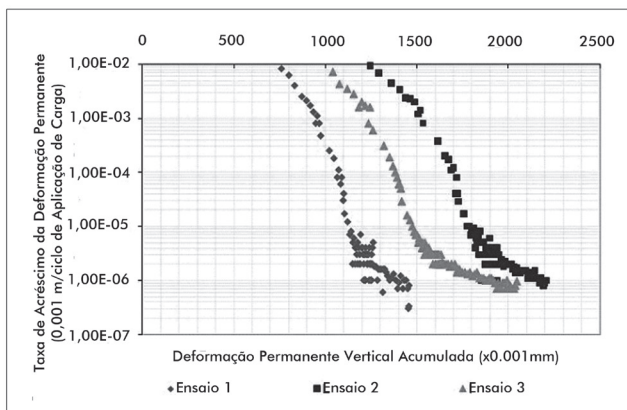


Figura 2 – Pesquisa do acomodamento para o material da base segundo critério de Guimarães (2009). Fonte: COPPE/UFRJ.

3.3 ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA CAMADA FINAL DO SUBLEITO PARA O AFUNDAMENTO DA TRILHA DE RODAS (ATR)

Na Tabela 8 são mostrados os valores das tensões usadas em cada ensaio realizado com o material do subleito, o número de ciclos aplicados (N) e a deformação permanente acumulada (DP) para ele, indicando níveis de tensões compatíveis com as atuantes nessa camada, considerando o carregamento com o eixo padrão.

Tabela 8 – Condições do ensaio de DP do solo do subleito

Ensaio	σ_d (Pa)	σ_3 (Pa)	N	DP acumulada (mm)
1	60	60	256.000	0,14
2	140	70	252.100	0,43
3	300	100	170.000	0,56
4	300	100	170.000	0,55
5	300	100	320.740	1,14

No caso do solo da camada final de terraplenagem ou subleito compactado, a Figura 3 mostra os resultados dos ensaios de deformação permanente

e a Figura 4 a pesquisa do acomodamento. Na Figura 3 percebe-se que esse material, apesar de argiloso, tende ao acomodamento com os ciclos de carga e que também não tem previsão de grande contribuição para o ATR.

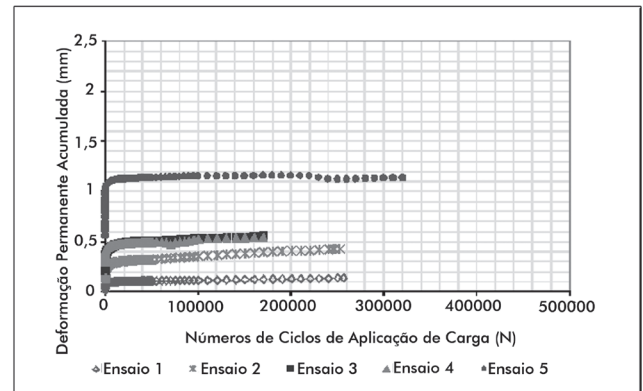


Figura 3 – Pesquisa do acomodamento para o material da camada final de terraplenagem segundo critério de Guimarães (2009). Fonte: COPPE/UFRJ.

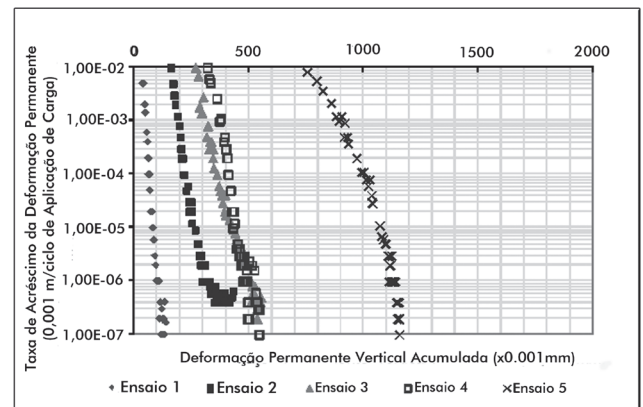


Figura 4 – Pesquisa do acomodamento para o material da camada final de terraplenagem segundo critério de Guimarães (2009). Fonte: COPPE/UFRJ.

Se os materiais da base e da camada final de terraplenagem forem mantidos na condição de umidade ótima e densidade máxima, contribuirão pouco para o ATR para o nível de repetições de uma RBVT. Portanto, conclui-se que a camada do subleito natural não compactado presente no local do trecho é a camada mais crítica, e prevenir tensões verticais elevadas na mesma é o determinante do critério de vida útil desse segmento.

Para comparação mostram-se na Figura 5 os modelos de comportamento quanto ao acomodamento, propostos por Guimarães (2009), que serviram de base para a análise das Figuras 1, 2, 3 e 4.

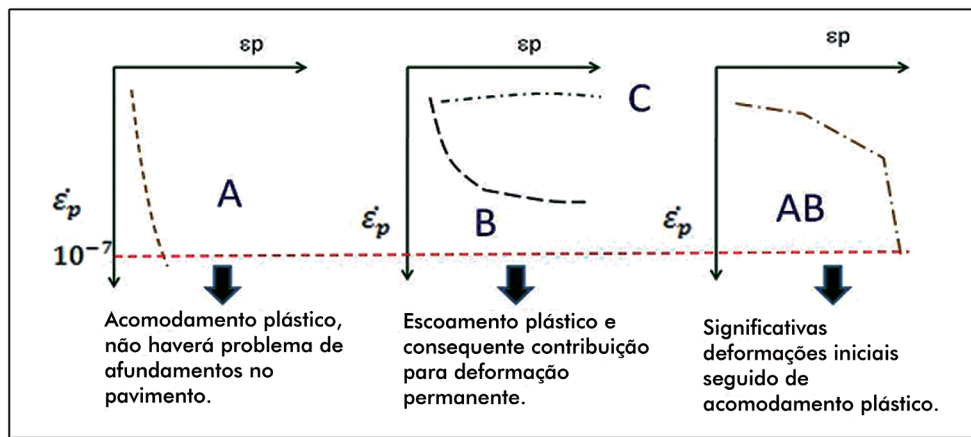


Figura 5 – Modelos de padrões de comportamento da deformação permanente de solos submetidos aos ensaios de carga repetida segundo Guimarães (2009).

Admite-se que o ATR máximo na superfície ao final da vida de projeto para rodovias de baixo volume de tráfego pode ser de 15 a 20 mm.

3.4 ESTUDO DE TRÁFEGO

A variação entre os resultados dos estudos de tráfego deste artigo e dos dados de tráfego do estudo elaborado para o projeto executivo do trecho é apresentada de forma sintética na Tabela 8.

As taxas estimativas de crescimento do tráfego utilizadas no estudo foram as mesmas usadas no projeto, porém adotou-se uma condição de carregamento diferente para o cálculo dos fatores de veículo e na distribuição dos tipos de veículos previsto no projeto e na contagem volumétrica classificatória realizada para o presente estudo. Em Mota (2009) estão sintetizadas todas as condições encontradas diferentes em relação ao projeto que resultaram nessas considerações indicadas no resultado da Tabela 9.

Tabela 9 – Variação de tráfego avaliado no estudo e o previsto no projeto

Ano	Número N USACE		Variação
	Projeto (2005)	Estudo (2008)	
3°	5,51E+04	3,94E+04	-28,49%
5°	9,55E+04	1,22E+05	30,89%
6°	1,17E+05	1,65E+05	41,03%
7°	1,39E+05	2,09E+05	50,36%

3.5 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

O critério escolhido para determinar a vida útil do trecho estudado foi o limite à ruptura plástica por meio

da tensão normal vertical admissível no topo do subleito, calculada pela equação 1. Em relação a essa equação, Guimarães (2009) diz que considerar um valor médio de MR, não é recomendável para solos cujo módulo dependa do estado de tensão, e concentra todo o problema da deformação permanente no subleito do pavimento, excluindo a contribuição das demais camadas. No entanto, como apresentado no item 3.2 pode-se verificar que, na estrutura em análise, a contribuição da base para o ATR é bastante pequena.

A tensão admissível foi comparada com as tensões atuantes no topo do subleito, considerando os módulos determinados pela retroanálise. Assim, foram utilizados nos cálculos os MRs e tensões verticais atuantes no topo do subleito obtidos para a camada 4 em cada segmento homogêneo.

Fez-se a opção de utilizar os parâmetros da camada 4 em detrimento dos obtidos para a camada 3, em função da experiência com análises anteriores de outros trechos similares ao do estudo e também pelo fato de a retroanálise, considerando apenas três camadas, ter acusado um número muito elevado de bacias discrepantes. Corroborou para essa decisão o fato de a camada 4 apresentar-se como camada crítica em 96,4% das bacias analisadas demonstrando uma importante diferença no comportamento mecânico em relação à camada 3.

Como não se constatou ruptura, a vida útil restante foi determinada verificando-se o momento no qual o número N do projeto seria alcançado conforme previsão da contagem de tráfego realizada no trecho durante a pesquisa. A verificação entre tensão atuante e tensão máxima admissível se deu utilizando-se as mé-

dias de um intervalo de aceitação limitado pela média \pm duas vezes o desvio-padrão.

Na Tabela 10 está apresentada a vida útil restante avaliada para o pavimento que foi liberado ao tráfego em 2006.

Dentro do intervalo de aceitação definido; os parâmetros foram calculados em rodadas sucessivas até que cessasse a exclusão de dados espúrios ao intervalo. Para o cálculo do parâmetro C foi utilizada a Tabela 11, apresentada por Motta (1991), que correlaciona Z_0 e a confiabilidade C escolhida.

Na Tabela 10 os parâmetros são:

$\sigma_{vmáx}$ – tensão normal vertical máxima admissível no topo do subleito;

$MR_{médio}$ – módulo de resiliência médio do subleito no segmento homogêneo;

$\sigma_{vmédio}$ – tensão normal vertical atuante no topo do subleito;

C – confiabilidade;

Z_0 – variável aleatória normal padrão calculada da seguinte forma:

$$Z_0 = \frac{\mu_r - \mu_\tau}{\sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_\tau^2}} \quad (2)$$

Onde:

μ_r – resistência média

μ_τ – tensão média

σ_r – desvio-padrão da resistência

σ_τ – desvio-padrão da tensão

Tabela 10 – Vida útil restante para cada segmento homogêneo do trecho deste estudo – média \pm 2 desvios

Parâmetros	SEGMENTOS HOMOGENEOS						
	SH01	SH02	SH03	SH04	SH05	SH06	SH07
$\sigma_{vmáx}$ (kPa)	101	79	81	77	97	83	105
$MR_{médio}$ (MPa)	103	81	84	79	99	85	107
$\sigma_{vmédio}$ (kPa)	49	42	49	49	58	46	54
Final vida útil	0	0	0	0	0	0	0
Exp. Base (cm)	18	20	16	20	16	20	18
Extensão (km)	1,817	1,181	1,212	1,828	2,828	1,818	4,729
DesvPad MR	37	32	31	24	27	42	37
DesvPad σ_v	10	11	13	10	17	16	16
Z_0	2,82	2,59	2,66	3,29	3,62	2,04	2,87
C	97,7	97,7	97,7	97,7	97,7	97,7	97,7

Tabela 11 – Confiabilidade e escore

Z_0	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
C	0,5	0,691	0,841	0,933	0,977	0,998	0,999

Fonte: Motta (1991).

Embora os parâmetros de avaliação tenham variado, o resultado foi o mesmo em todos os segmentos homogêneos, indicando que o término da vida útil em função de ruptura plástica ou ATR excessivo será no 5º ano após abertura ao tráfego.

Em relação à avaliação realizada 2 anos após abertura ao tráfego este artigo permite inferir que a vida útil avaliada (5 anos) será 29% menor do que a estimada em projeto (7 anos). No entanto, observe-se que, como exposto na Tabela 8, a projeção do nível de solicitação do eixo padrão será 30,89% superior ao pre-

visto pelo projeto para o 5º ano de vida de serviço do pavimento.

4 CONCLUSÃO

Este artigo permitiu concluir que prevenir tensões verticais elevadas no subleito natural é o critério determinante para a vida útil da RBVT estudada, cuja estrutura é delgada e com revestimento em TSD, sendo sua camada crítica o subleito natural.

Tal constatação faz refletir que é necessário um tratamento mais rigoroso na compactação nas estruturas de pavimentos de RBVTs, devendo-se ter maior cuidado, nas fases de projeto e de obras, com a energia de compactação e com a umidade ótima numa espessura maior do que os usuais 20 cm da camada final de terraplenagem. Tal procedimento deve ocorrer, inclusive, nos locais onde

o subleito natural tenha boas características mecânicas. Essa prática poderá conferir maior durabilidade aos trechos de RBVT em relação ao ATR, que é o fator determinante para vida útil desse padrão de rodovia.

Pode-se concluir, também, que o caminho a ser percorrido pela avaliação estrutural de RBVTs no Brasil é, sem sombra de dúvida, o da análise das tensões verticais e do acúmulo de deformações permanentes no topo do subleito. E, embora a equação de Heukelom e Klomp tenha suas limitações, é uma ferramenta que possibilita a análise desse tipo de estrutura atualmente. Contudo, carece a engenharia de índices para aperfeiçoar uma expressão de controle para as RBVTs pela formação de um banco de dados brasileiro, inclusive para consideração da deformação permanente acumulada e do *shakedown*.

Além deste artigo, os estudos de Guimarães (2009) também corroboram para a conclusão de que a ava-

liação da vida útil de RBVTs, pelas deformações permanentes no topo do subleito, utilizando boa gama de ensaios de cargas repetidas em conjunto com a retroanálise das bacias em deformação, é um caminho para o desenvolvimento de um método mecanístico-empírico para esta finalidade.

AGRADECIMENTOS

À Fapemig pelo apoio financeiro ao primeiro autor na realização desta pesquisa; ao DER/MG pelo apoio logístico nos ensaios de campo e de laboratório; à COPPE/UFRJ pelo apoio na execução de ensaios no seu laboratório de geotecnia; à UFOP pelo curso de mestrado que ensinou este estudo e ao Engenheiro Cláudio Albernaz pelo inestimável apoio na execução da retroanálise dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albernaz, C.A.V. (1997) *Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir de bacias de deflexão*. Tese de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.
- _____, Motta, L.M.G., Medina, J. (1995) Retroanálise: uma ferramenta na avaliação estrutural de pavimentos. Anais da 29ª Reunião Anual de Pavimentação, Cuiabá, Mato Grosso, 339-417.
- CETEC/MG, (1982) Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Mapas de geologia e de solos*. Belo Horizonte, MG.
- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais. (2007) RT.01.46c – Critérios de projeto para vias de ligação com reduzido volume de tráfego. Belo Horizonte, MG.
- _____. (2009). RT.01.46d – Critérios de projeto para vias de ligação com reduzido volume de tráfego. Belo Horizonte, MG.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1975) DNER ME 024/75. Medidas de deflexão no pavimento através da viga Benkelman. Rio de Janeiro, RJ.
- _____. (1994) DNER-ME 024/94 Determinação das deflexões pela viga Benkelman. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNER-ME024-94.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2007.
- _____. (1994) DNER-ME 061/94 – Delineamento da linha de influência longitudinal na bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNER-ME061-94.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2008.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2010) Relação de trechos do Plano Nacional de Viação. Disponível em: <www.dnit.gov.br/plano_nacional_de_viação/pnv_2010_relação_de_trechos.xls>. Acesso em 22 dez. 2010.
- ERG Engenharia. (2005) Revisão de projeto de engenharia rodoviária de melhoramento e pavimentação do subtrecho Luisburgo Ponte do Silva.
- Guimarães, A.C.R. (2001) *Estudos de deformações permanentes em solos e a teoria do shakedown aplicada a pavimentos flexíveis*. Dissertação de Mestrado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 280 p.
- Guimarães, A.C.R. (2009) *Um método mecanístico-empírico para a previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos*. Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 352 p.
- Heukelom, W; Klomp, A.J.G. (1962) Dynamic testing as means of controlling pavements during and after construction. *Proceedings*, 1. INTER. CONF. STRUCT. DESIGN OF ASPHALT PAVEM. 1962, Ann Arbor, Univ. Michigan, Ann Arbor, p. 667-79
- Medina, J., Motta, L.M.G. (2005) *Mecânica dos pavimentos*. 2. ed. Ed. UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 574 p.
- Mota, M. V. F. (2009) *Pavimento de baixo volume de tráfego: estudo comparativo da vida útil estimada e após abertura ao tráfego*. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, NUGEO, UFOP, Ouro Preto, MG, 146 p.
- Motta, L.M.G. (1991) *Métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis, critérios de confiabilidade e ensaios de carga repetida*. Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 382 p.
- Nogami, J.S., Villibor, D.F. (1995) *Pavimentos de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo, 1995. 213 p.
- Santos, J.D.G. (1998) *Contribuição ao estudo dos solos lateríticos granulares como camada de pavimento*. Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 342 p.

Considerações Sobre Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos Utilizando uma Abordagem Probabilística

Caio Rubens Gonçalves Santos

Doutor e Mestre em Engenharia de Transportes pela USP, e Professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Epusp), do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) e da Fundação Armando Álvares Penteado (Faap)
caiorubens@maua.br

Liedi Légi Bariani Bernucci

Doutora em Engenharia de Transportes pela USP, Mestre em Engenharia Geotécnica pela USP, Professora Titular da USP.
liedi@usp.br

Carlos Yukio Suzuki

Doutor e Mestre em Engenharia de Transportes pela USP, Graduado em Tecnologia em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia Industrial de Itatiba. suzuki@planservi.com.br

RESUMO

Frequentemente é utilizada a abordagem determinística em dimensionamentos de pavimentos rodoviários. A variabilidade inerente aos parâmetros pertinentes à implantação e ao desempenho de um pavimento é comumente desprezada, porém sua consideração pode ser contemplada com a utilização de uma abordagem probabilística, onde cada variável é caracterizada por meio de uma distribuição de probabilidade adequada. O método de dimensionamento de pavimentos asfálticos concebido pelo professor Murillo Lopes de Souza, ainda largamente utilizado no Brasil e constante do *Manual de Pavimentação* do DNIT, determina uma espessura de material granular a ser implantada sobre o subleito, sendo esta convertida em espessuras de camadas de acordo com coeficientes estruturais dos materiais a serem empregados no pavimento. Selecionando espessuras superiores aos valores mínimos calculados pelo método, pode-se afirmar que o resultado é uma estrutura com uma maior probabilidade de sucesso ou, em outras palavras, uma maior confiabilidade. O método norte-americano da AASHTO de 1993, por sua vez, majora o número estrutural mínimo requerido, que expressa a robustez da estrutura de pavimento, em função da confiabilidade desejada. Este artigo propõe a utilização da abordagem probabilística no dimensionamento de um pavimento asfáltico. O modelo proposto determina a confiabilidade de uma estrutura frente a um tráfego previsto, durante um período de análise. São comparados o tráfego admissível e o previsto, ambos determinados por meio de simulações utilizando o método Monte Carlo. O modelo proposto determina a confiabilidade tanto para a equação de dimensionamento do método do DNIT, quanto da AASHTO. O estudo de caso conduzido evidenciou a variação da estrutura adotando-se uma análise probabilística do problema, e como o desempe-

no previsto pode ser afetado por esta relação. A partir da variação das espessuras das camadas é possível, com o modelo proposto, o cálculo da confiabilidade, ou probabilidade de sucesso e falha, desta estrutura.

Palavras-chave: Pavimentos, Análise Probabilística, Dimensionamento, Confiabilidade, Simulação Monte Carlo.

ABSTRACT

The deterministic approach is frequently used in the design of highway pavements. The variability inherent to the construction and performance of pavements is usually neglected, although it could be considered using the probabilistic approach, where each variable is characterized by a suitable probabilistic distribution. The asphalt pavement design method developed by Prof. Murillo Lopes, present in the Paving Manual of the DNIT, is still the mostly used in Brazil and is based on the deterministic approach. This paper suggests the consideration of the probabilistic model for the design of asphalt pavements, using the reliability of a pavement structure based on the expected traffic, during the period of analysis. The acceptable and expected traffic are determined through simulations using the Monte Carlo method, and then compared. The proposed model determines the reliability for the DNIT and the AASHTO design methods. The paper presents a case study comparing the probabilistic and the deterministic analysis and shows how the pavement performance can be affected.

Keywords: Pavements, Probabilistic Analysis, Design, Reliability, Monte Carlo Simulation

I INTRODUÇÃO

Os parâmetros considerados em um projeto de pavimento de uma rodovia são de natureza probabilística. Nenhum deles possui um valor único, determinístico, de modo que o tratamento estatístico não pode ser dispensado (Motta, 1991). Em uma análise determinística de uma seção de pavimento, os modelos utilizam parâmetros de projeto, que se constituem no valor médio, ou ainda deste valor acrescido ou subtraído de parcela envolvendo o desvio-padrão, para a previsão dos principais indicadores funcionais e estruturais ao longo da vida útil do pavimento. Quando são empregados valores médios dos parâmetros considerados, o resultado da análise possui uma confiabilidade de 50%, ou seja, existe uma probabilidade de 50% de ser maior ou menor do que o previsto.

Atualmente no Brasil são utilizados largamente em projetos de pavimentos asfálticos, métodos de dimensionamento essencialmente determinísticos. Dentre eles destacam-se o método da resistência do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), originalmente concebido em 1966 pelo professor Murillo Lopes de Souza, o método do DER/SP e o da Prefeitura de São Paulo, todos com o mesmo tipo de abordagem determinística.

A introdução da abordagem probabilística no dimensionamento de um pavimento possibilita a determinação da confiabilidade, ou seja, da probabilidade de sucesso da estrutura segundo determinado modelo de dimensionamento ou desempenho. Nesse tipo de abordagem, tanto os resultados quanto os parâmetros de entrada devem ser caracterizados segundo sua probabilidade de ocorrência, e não somente por um valor médio discreto.

Em uma definição mais ampla, a confiabilidade pode ser definida como um atributo inerente ao projeto de um produto e representa a capacidade potencial que deveria ser atingida em condições habituais, desde que o produto seja fabricado exatamente conforme projetado e operado, e mantido exatamente nas condições prescritas. No âmbito rodoviário, a confiabilidade do processo de projeto-desempenho do pavimento é a probabilidade de que uma seção do pavimento projetado, usando o referido processo, irá trabalhar de maneira satisfatória sob as solicitações de tráfego e as condições ambientais durante o período de projeto (AASHTO, 1993).

O objetivo deste artigo é apresentar uma metodologia para a abordagem do aspecto probabilístico no dimensionamento de pavimentos asfálticos, verificando-se a dimensão do impacto das incertezas das variáveis no resultado. É utilizado o método de simulação Monte Carlo nessa análise. São utilizadas as equações de dimensionamento do DNIT (2006), essencialmente determinística, e da AASHTO (1993), que possui a consideração de níveis de confiabilidade.

2 AVALIAÇÃO PROBABILÍSTICA – INTRODUÇÃO À ANÁLISE DE RISCO

Análise de risco é um termo utilizado para descrever qualquer método quantitativo ou qualitativo para avaliar os impactos do risco em situações de decisão. Walls III e Smith (1998) definiram a análise de risco como uma combinação da descrição probabilística da variação de cada parâmetro de entrada da análise com simulações para caracterizar o risco associado aos possíveis resultados. Quantificar as incertezas e avaliar seus efeitos em projeto e no desempenho de uma estrutura assume uma grande importância na tomada de decisão. Segundo Tighe (1999) é evidente que na previsão do desempenho de uma estrutura de pavimento de uma rodovia, as incertezas devem ser consideradas para que os resultados sejam relevantes para o “mundo real”.

A abordagem probabilística, com a consideração das incertezas e variações inerentes aos parâmetros que compõem a análise vem ganhando destaque entre trabalhos e estudos de pavimentos. Tighe (2001) desenvolveu uma análise probabilística incorporando média, variância e distribuições probabilísticas típicas para variáveis da construção do pavimento, como espessura e custo. Li e Madanu (2009) propõem uma estrutura generalizada para uma análise dos benefícios decorrentes de um projeto. A estrutura para análise do custo-benefício em nível de projeto baseia-se nas incertezas associadas às variáveis de entrada, sendo esses parâmetros de entrada caracterizados de acordo com sua variabilidade, a saber:

- certeza (o parâmetro de entrada é puramente determinístico com um único valor);
- risco (o parâmetro de entrada possui uma série de possibilidades de acordo com uma distribuição probabilística conhecida); e
- incerteza (o parâmetro de entrada possui uma série de possibilidades com probabilidades desconhecidas).

Se um parâmetro de entrada está sob certeza, um único valor é utilizado, se está sob risco é utilizada uma probabilidade matemática e se esse parâmetro está sob incerteza, pode ser adotado um único valor determinado de acordo com regra de decisão do modelo de Shackle.

Whiteley, Tighe e Zhang (2005) estudaram os efeitos das variações de alguns parâmetros na análise de custo do ciclo de vida e propõem a incorporação probabilística dessas variações. Foram avaliadas variações no desempenho em até 30%. As diferenças calculadas por meio das análises de ciclo de vida são então utilizadas para a especificação de um fator de pagamento. A execução de pavimentos com desempenho inferior ao desejado, ou projetado, implicaria em descontos diretamente proporcionais às variações de custo calculadas nas análises LCCA (Life Cycle Cost Analysis). Para a incorporação de conceitos de incerteza e/ou de risco em uma análise qualquer, a definição das distribuições probabilísticas mais adequadas para cada parâmetro assume grande importância.

3 PAVIMENTOS E AS DISTRIBUIÇÕES PROBABILÍSTICAS

A escolha da distribuição probabilística que melhor represente cada característica do pavimento é fator de extrema importância para o sucesso de uma análise de risco. Geralmente, essas distribuições são determinadas a partir de amostras significativas. Em um pavimento asfáltico, as principais características que influem no desempenho global da estrutura são a espessura, a homogeneidade dos materiais e o módulo de resiliência de cada camada, inclusive do subleito.

A distribuição normal é largamente utilizada em diversos trabalhos. Vennalaganti, Ferregut e Nazarian (1994) utilizaram a distribuição normal na modelagem de seu experimento. Para todos os parâmetros de entrada, deflexões, espessuras das camadas, carga do ensaio e coeficiente de Poisson, a caracterização seguiu uma distribuição normal, com uma média e desvio-padrão. Como resultado, concluíram que os módulos de resiliência das camadas do pavimento analisado seriam mais bem caracterizados por uma distribuição lognormal. Mladenovic et al. (2003) utilizaram os dados de espessuras de projeto e de *as-built* provenientes do projeto norte-americano LTPP (Long-Term Pave-

ment Performance), no ano de 2001, visando verificar eventuais diferenças entre as espessuras projetadas e as efetivamente implantadas. Como resultado, obtiveram que na maioria dos casos esta diferença, para camadas com mesmo material, segue uma distribuição normal. Reigle e Zaniewski (2002) utilizaram em seu modelo de análise, a modelagem de todas as variáveis segundo uma distribuição normal. Nesse modelo, tanto os parâmetros de entrada como de saída foram caracterizados pela distribuição gaussiana, porém houve a preocupação de se utilizar a distribuição normal truncada (evitando valores menores que zero na análise).

A seleção da distribuição probabilística na caracterização dos parâmetros em uma análise probabilística de pavimento tem vital importância na qualidade dos resultados. Além disso, a utilização de bancos de dados para a identificação de distribuições mais adequadas para cada característica do pavimento parece ser o caminho mais seguro para uma análise de qualidade, porém na ausência desses dados, a distribuição normal apresenta-se como uma boa solução nessa etapa da análise (Reigle, 2000).

4 CONFIABILIDADE

Em 1971, Lemer e Moavenzadeh¹ (apud Reigle, 2000) avaliaram a incerteza envolvida em todos os aspectos do processo de concepção do pavimento, desde o planejamento e projeto até a construção, operação e manutenção. Os autores discutiram a importância da consideração da confiabilidade como um parâmetro de projeto, e concluíram que sua inclusão nessa etapa tem o potencial para o dimensionamento de pavimentos economicamente eficientes. O conceito de confiabilidade foi incorporado no guia da AASHTO de 1986, utilizando os conceitos desenvolvidos por Irick, Hudson e McCullough (1987).

Em um método de concepção determinística, o projetista normalmente atribui um fator de segurança para os parâmetros que são incertos ou têm um efeito significativo sobre o dimensionamento final. No entanto, essa abordagem de dimensionamento tradicional pode resultar em estruturas tanto superdimensiona-

¹ LEMER, A.C.; MOAVENZADEH, F. *Reliability of highway pavements*. Highway Research Record 362. Washington D.C., 1971. p. 1-8.

das quanto subdimensionadas, dependendo da magnitude dos fatores de segurança aplicados e da sensibilidade dos modelos de dimensionamento (Huang, 2004). Em um método probabilístico de projeto de pavimentos, cada parâmetro de projeto é descrito por uma distribuição de probabilidade, e a confiabilidade do projeto pode ser avaliada.

Os métodos de dimensionamento da United States Army Corps of Engineers (USACE) são puramente determinísticos (Pittman; Opelika, 1996). O método da resistência, empregado pelo DNIT em seu manual, concebido pelo professor Murillo Lopes de Souza, tem por base o trabalho *Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume* de autoria de Turnbull, Foster e Ahlvin (1962), do USACE, e conclusões obtidas na pista experimental da AASHTO, sendo que o principal objetivo da estrutura dimensionada é a proteção contra a ruptura por tensões de cisalhamento no subleito. Nesses métodos, puramente determinísticos, as possíveis variações inerentes a cada uma das variáveis de entrada do processo não são consideradas. A grande maioria dos métodos que tomam por base o método do USACE adota a abordagem determinística. O método de dimensionamento da AASHTO, desde sua primeira concepção utiliza conceitos probabilísticos.

Motta (1991) introduz pioneiramente no Brasil a discussão de adoção da confiabilidade em dimensionamento de pavimentos. Suzuki et al. (2001, 2004) ressaltaram a necessidade de se incorporar o conceito de confiabilidade nos métodos brasileiros puramente determinísticos. A análise de sensibilidade conduzida por Suzuki et al. (2004) permitiu constatar a necessidade da utilização de procedimentos de dimensionamento probabilísticos, em função da variabilidade dos resultados encontrados ao se aplicar um procedimento simplificado para consideração da confiabilidade no dimensionamento. Verificaram que para uma confiabilidade de 99,9%, há necessidade de majorar a espessura (determinada pelo método de resistência do DNIT), expressa em termos de material granular, da ordem de 10% a 20%. Esses autores concluem ainda que em termos de confiabilidade estatística pode-se, em função dos resultados de campo do pavimento construído (“*as built*”), estimar o acréscimo ou redução da vida útil e com isso estabelecer políticas de penalização ou bonificação nas obras futuras de pavimentação.

5 CONFIABILIDADE NO DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS – MODELO PROPOSTO

O modelo proposto está configurado em planilhas do programa Microsoft Excel®. A figura 1 ilustra resumidamente o fluxo de informações, desde os dados de tráfego e a estrutura de pavimento asfáltico a ser testada, até o cálculo da confiabilidade dessa estrutura ante o tráfego previsto. Para a determinação da confiabilidade, o modelo utiliza o número N – repetições de carga do eixo padrão – como critério de ruptura, conforme demonstrado em Huang (2004). São calculados e comparados dois tipos de números N: o previsto e o admissível. Segundo Huang (2004), o uso das repetições de carga do eixo padrão como critério de ruptura é apenas um dos vários métodos para avaliar a confiabilidade de um projeto. Cita ainda como exemplo o software VESYS, que é um modelo probabilístico e mecanicista de análise de pavimentos flexíveis. Esse modelo (VESYS) emprega a serventia como critério de ruptura, e o tráfego é tratado como uma das muitas variáveis que afetam a serventia do pavimento.

No modelo proposto, que utiliza abordagem probabilística, tanto a caracterização do número de repetições previsto (n) durante o período de projeto, quanto o número de repetições admissível (N) são definidos por distribuições de probabilidade provenientes de simulações estocásticas de modelos determinísticos. Para as simulações, as variáveis de entrada dos modelos são definidas através do valor médio e desvio-padrão, segundo uma distribuição normal.

O tráfego, caracterizado pelo número de repetições do eixo padrão (número N), é um dos mais importantes fatores de projeto de pavimentos. Existem dois tipos de números N: o previsto e o admissível. Em um método determinístico, ambos os números N (previsto e admissível) são caracterizados por um único valor, já nos métodos probabilísticos são caracterizados por uma média e o respectivo desvio-padrão. Em um projeto com abordagem determinística, os dois valores de número N são comparados diretamente, a estrutura proposta sempre deve apresentar valor admissível de aplicações do eixo padrão superior ao previsto. Já na abordagem probabilística, onde o projeto está baseado na variabilidade das aplicações de carga, deve ser utilizado o conceito de índice de dano.

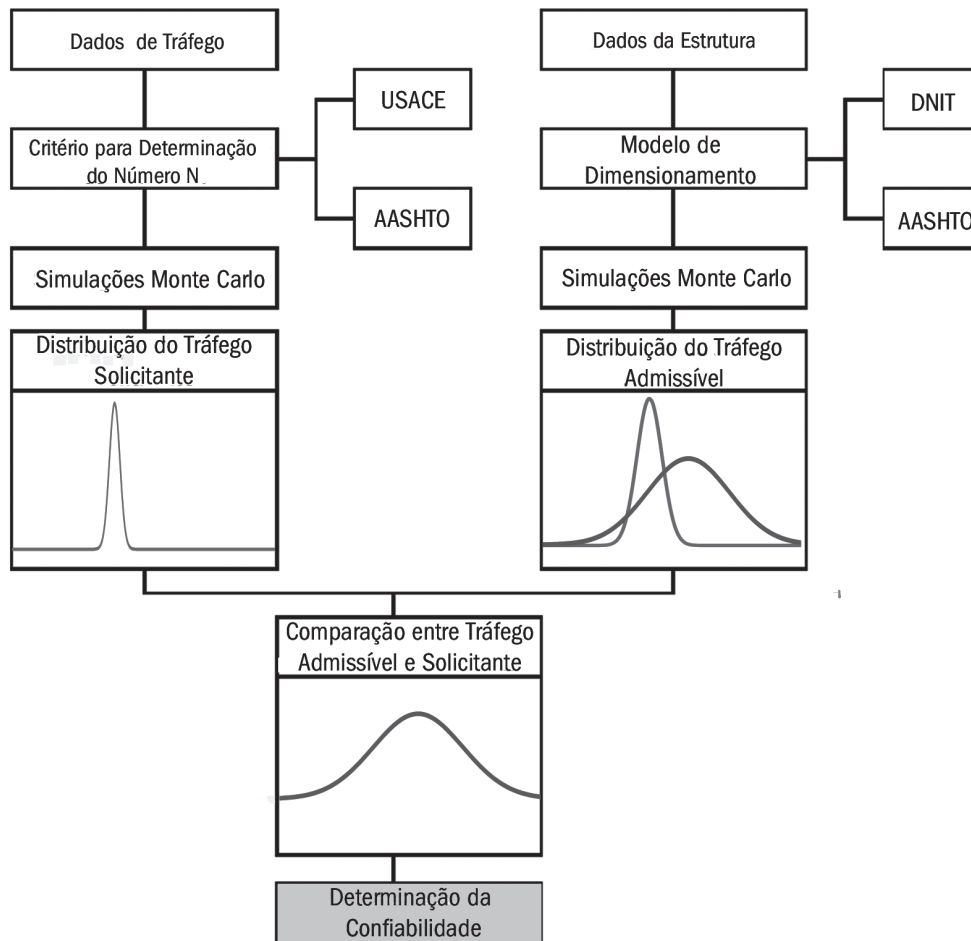


Figura 1 – Esquema do modelo para determinação de confiabilidade no dimensionamento de pavimentos asfálticos

O índice de dano, que é a relação entre o número atuante previsto e o admissível de repetições, deve ser calculado para cada grupo de cargas em cada período do ano, e é determinado pela equação (1).

$$D_R = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \frac{n_{ij}}{N_{ij}} \quad (1)$$

Onde:

D_R = índice de dano;

n_{ij} = número de repetições previsto para uma carga j em um período i ;

N_{ij} = número de repetições admissível para uma carga j em um período i ;

p = número de períodos considerados na análise;

m = número de cargas consideradas na análise.

Para a caracterização do número de repetições previsto (n) durante o período de projeto definido, utilizam-se a equação (2) a seguir.

$$n = (365) \cdot (VDM_i) \cdot (VP) \cdot (FV) \cdot (FD) \cdot (FF) \cdot (P) \cdot (TC_A) \quad (2)$$

Onde:

VDM_i = volume diário médio no ano inicial;

VP = porcentagem de veículos pesados;

FV = fator de veículos;

FD = fator direcional;

FF = fator de faixa;

P = período de projeto, em anos;

TC_A = fator de crescimento acumulado no período de projeto.

O fator de crescimento pode ser calculado de maneiras diferentes, assumindo-se diferentes formas de progressão, neste artigo utiliza-se a formulação de crescimento geométrico usada no guia da AASHTO (1993) dada pela equação (3).

$$TC_A = \frac{(1+i)^p - 1}{i} \quad (3)$$

Onde:

i = taxa anual de crescimento;

p = período de projeto, em anos.

O número de repetições admissível (N) deve ser calculado por meio do modelo de dimensionamento da estrutura. Nesse ponto deve ser selecionado um modelo para a condução da análise, e sempre verificando a compatibilidade entre o cálculo do tráfego previsto e o admissível. Ambos devem ser determinados utilizando-se o mesmo conceito de dano, ou seja, aquele também utilizado no cálculo do Fator de Veículos do tráfego previsto. Para dimensionamentos que se utilizam do tráfego caracterizado segundo a metodologia da AASHTO, segundo a mesma metodologia deve ser determinado o Fator de Veículos. O mesmo deve ocorrer se a metodologia for USACE (United States Army Corps of Engineers). Os métodos de dimensionamento de pavimentos selecionados para a determinação do número N admissível no modelo proposto são apresentados adiante.

Para a determinação da confiabilidade do dimensionamento, os tráfegos, previsto e admissível, devem ser calculados probabilisticamente, ou seja, devem ser caracterizados por um valor médio e uma variância. Quanto maior o universo amostral, mais a distribuição se aproxima de uma curva gaussiana (normal), sendo assim, deve ser utilizado um número elevado de simulações ou de amostras. A distribuição estatística selecionada para caracterizar o tráfego foi a distribuição lognormal. Portanto, utilizando o conceito de Índice de Dano, tem-se a equação (4).

$$D_R = \frac{n}{N} \quad \text{ou} \quad \log D_R = \log n - \log N \quad (4)$$

Conhecidos os valores de $\log n$, $\text{Var}[\log n]$, $\log N$, $\text{Var}[\log N]$, a confiabilidade R é caracterizada pela probabilidade da diferença entre o logaritmo do tráfego admissível e o logaritmo do tráfego previsto ser menor que 0, conforme a equação (5).

$$R (\%) = p(\log n - \log N < 0) \quad (5)$$

Sendo $\log(n)$ e $\log(N)$ os valores médios das distribuições tipo lognormal que caracterizam os tráfegos

previsto e admissível, respectivamente, e $\log(D_R)$ a distribuição, também lognormal, do índice de dano, por sua vez caracterizado pela relação entre n e N ($D_R = n/N$), a variância e o desvio-padrão de $\log(D_R)$ podem ser descritos pelas equações (6) e (7).

$$\text{Var}[\log D_R] = \text{Var}[\log n] + \text{Var}[\log N] \quad (6)$$

$$s[\log D_R] = \sqrt{\text{Var}[\log D_R]} \quad (7)$$

Portanto, assumindo que o índice de dano é descrito por uma distribuição lognormal, o valor da confiabilidade pode ser calculado aproximando a distribuição resultante para uma distribuição normal padrão, utilizando as equações (8) e (9).

$$Z_R = \frac{0 - \log D_R}{s} \quad (8)$$

$$R(\%) = p(Z_R) \quad (9)$$

Onde:

Z_R = variável aleatória padronizada;

s = desvio-padrão de D_R ;

R = confiabilidade.

Modelos de dimensionamento onde a confiabilidade é avaliada são notadamente mais adequados para o projeto de pavimentos. Visando esses modelos de dimensionamento, estudos no sentido de introduzir o conceito da confiabilidade nos dimensionamentos têm ocorrido. No campo dos pavimentos de aeroportos, Chou (1997) e Chen e Flintsch (2007) propuseram a avaliação da confiabilidade nessas estruturas. Sanchez-Silva et al. (2005) é outro exemplo acerca da introdução da confiabilidade no dimensionamento de estruturas asfálticas.

Em suma, a confiabilidade está diretamente ligada à variabilidade dos parâmetros que descrevem tanto o tráfego solicitante quanto o admissível. Nessa abordagem, probabilística, cada parâmetro é descrito por uma distribuição probabilística. Huang (2004) resumiu diversos valores de coeficientes de variação que foram usados em experiências anteriores para definir as distribuições de probabilidade para parâmetros, tanto do tráfego quanto do desempenho da estrutura.

As tabelas 1 e 2 apresentam os valores de coeficientes de variação para os parâmetros de previsão do tráfego, de desempenho de pavimentos asfálticos, respectivamente. Esses valores, retirados por Huang (2004) do guia de dimensionamento de pavimentos flexíveis da AASHTO de 1986, são utilizados como referência no modelo proposto.

Tabela 1 – Coeficientes de variação para parâmetros de previsão do tráfego (adaptado de Huang, 2004)

Descrição	Coefficiente de Variação (%)
Somatória Fator de carga vezes Distribuição de eixos	35
Volume Médio Diário Inicial	15
Fator de Crescimento	10
Porcentagem de Veículos Pesados	10
Número Médio de Eixos por Veículo	10
Previsão Global do Tráfego	42

Fonte: AASHTO (1985)

Tabela 2 – Coeficientes de variação para parâmetros de desempenho de pavimentos asfálticos (adaptado de Huang, 2004)

Descrição	Coefficiente de Variação (%)
Índice de Serventia Inicial	6,7
Coefficiente Estrutural do Revestimento	10,0
Espessura do Revestimento	10,0
Coefficiente Estrutural da Base	14,3
Coefficiente Drenagem da Base	10,0
Espessura da Base	10,0
Coefficiente Estrutural da Subbase	18,2
Coefficiente Drenagem da Subbase	10,0
Espessura da Subbase	10,0
Módulo de Resiliência do Subleito	15,0

Fonte: AASHTO (1985)

6 MODELOS PARA DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO ADMISSÍVEL

6.1 MÉTODO DO DNIT

A última revisão do método de dimensionamento do DNIT é parte integrante da edição do *Manual de Pavimentação* do DNIT de 2006 (DNIT, 2006). Segundo tal procedimento, determina-se a espessura total necessária para o pavimento, dada em termos de material granular, em função dos dados geotécnicos e das características de tráfego solicitante. Este último parâmetro também é utilizado para a seleção da espessura mínima do revestimento asfáltico.

Definidas essas espessuras, procede-se ao cálculo das espessuras das demais camadas constituintes da estrutura do pavimento. Dadas em termos de material granular, as camadas são convertidas para espessuras reais dos materiais utilizados através dos coeficientes de equivalência estrutural, que expressam a relação entre a espessura de material granular e do material utilizado, de forma que ambos, nas respectivas espessuras, apresentem desempenho estrutural semelhante. As equações (10) e (11) representam o ábaco de dimensionamento apresentado no método, pela determinação da espessura total em termos de material granular em função do tráfego solicitante e da capacidade de suporte do solo (CBR) do subleito.

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (10)$$

$$N = 6,069 \times 10^{-40} \times H_t^{20,747} \times CBR^{12,407} \quad (11)$$

Onde:

H_t = espessura total do pavimento (cm);

N = número de repetições do eixo padrão de 80 kN;

CBR = índice de suporte Califórnia do subleito (%).

A equação (12) ilustra a relação entre a espessura granular total e as espessuras e coeficientes estruturais de cada camada de um pavimento asfáltico.

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + H_{SB} \cdot K_{SB} \geq H_t \quad (12)$$

Onde:

R = espessura do revestimento;

B = espessura da base;

H_{SB} = espessura da sub-base;

K_R, K_B, K_{SB} = coeficientes de equivalência estrutural.

6.2 MÉTODO DA AASHTO

A concepção do método de dimensionamento da AASHTO teve seu início na década de 50 nos Estados Unidos quando foi realizado um estudo do desempenho de vários tipos de estruturas de pavimento por meio da avaliação dos efeitos das cargas do tráfego de magnitude e frequência conhecidas. As informações adquiridas na pista experimental da AASHO Road Test foram cruciais para o progresso dos estudos de desempenho de pavimentos, dimensionamento estru-

tural, equivalência de carga e efeitos climáticos. Com as informações, vieram os gráficos e as equações de dimensionamento utilizadas no guia de dimensionamento de pavimentos da AASHTO. Foi durante a avaliação da pista experimental da AASHTO que surgiu o conceito de serventia (PSI – *Present Serviceability Index*) e de desempenho que, hoje, norteia alguns projetos de pavimento.

A equação preconizada no método, que relaciona o tráfego (número N), serventia e as espessuras de camadas para descrever o desempenho de dado pavimento asfáltico no tempo, para pavimentos asfálticos, é descrita a seguir na equação (13).

$$\log(N) = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{p_0 - p_t}{p_0 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1) \cdot 5,19}} + 2,32 \cdot \log(M_r) - 8,07 \quad (13)$$

Onde:

SN = número estrutural do pavimento (pol);

p_0 = serventia inicial (após a construção) do pavimento asfáltico;

p_t = serventia terminal (final do período de projeto);

M_r = módulo de resiliência efetivo do subleito, em lb/pol²;

Z_R = nível de confiabilidade (Confiabilidade Estatística);

S_0 = desvio padrão.

O número estrutural SN (*Structural Number*) é calculado pela equação (14) apresentada a seguir.

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + H_{SB} \cdot K_{SB} \geq H_t \quad (14)$$

Onde:

a_i = coeficiente estrutural da i-ésima camada;

D_i = espessura (em polegada) da i-ésima camada;

m_i = coeficiente de drenagem da i-ésima camada.

Para o dimensionamento convencional utilizando o método da AASHTO (equação 13), é introduzida a confiabilidade pela consideração dos termos Z_R e S_0 . São recomendados no guia valores para esses dois termos em função do tipo e importância do projeto em estudo. Esses valores são provenientes das análises de dados realizadas na pista experimental do mesmo órgão.

Note-se que o modelo de dimensionamento da AASHTO (1993) descrito na equação (15) está apresentado segundo uma abordagem determinística, sendo que a abordagem probabilística do dimensionamento será considerada na variabilidade dos parâmetros in-

dependentes do modelo. A modificação foi a exclusão do termo $Z_R \cdot S_0$, referente à confiabilidade. As pesquisas realizadas na pista experimental da AASHO Road Test, que mais tarde resultariam no método da AASHTO/93, representaram um grande salto de qualidade para os novos métodos de dimensionamento de estruturas de pavimento. O método da AASHTO/93, embora seja um método desenvolvido com bases empírico-estatísticas, leva em consideração uma maior quantidade de variáveis que podem influenciar no desempenho da estrutura, em comparação ao método do Corpo de Engenheiros (USACE).

Em suma, para se considerar as incertezas dos parâmetros em um método de dimensionamento de pavimentos, deve-se verificar a concepção do método. O método da AASHTO possibilita, por exemplo, a variação das características dos materiais constituintes das camadas do pavimento, pelos coeficientes estruturais. Esses coeficientes são caracterizados, no método, por meio de valores variáveis em função dos módulos de elasticidade, para revestimento asfáltico, resistência à compressão para materiais cimentados, CBR para solos e materiais granulares, entre outros. Já o método da resistência do DNIT, baseado no método do USA-CE, utiliza coeficientes estruturais caracterizados por valores discretos para cada tipo de material. Nesse último método, é difícil a distinção, por exemplo, de um dimensionamento onde é utilizado um revestimento com ligante asfáltico modificado por polímero ou por borracha de um com ligante convencional; já no método da AASHTO, essa consideração pode ser represen-

No modelo proposto, o tráfego admissível (N) é determinado utilizando a equação de dimensionamento da AASHTO (1993) sem os parâmetros relativos à confiabilidade, que é apresentada na equação (15).

$$\log(N) = 9,36 \cdot \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{p_0 - p_t}{p_0 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1) \cdot 5,19}} + 2,32 \cdot \log(M_r) - 8,07 \quad (15)$$

tada pela variação do coeficiente estrutural em função do módulo de resiliência da mistura asfáltica.

Na fase do projeto da estrutura de pavimento, quando da determinação das características dos materiais e espessuras das camadas, é recomendado que se defina, em alguns métodos de dimensionamento, qual a probabilidade de falha que se admitirá para o pavimento. Essa probabilidade é a confiabilidade da estrutura. O método de dimensionamento americano da AASHTO (1993) majora a estrutura resultante em decorrência da confiabilidade atribuída ao projeto e ainda recomenda níveis mínimos em função da importância da via.

7 METODOLOGIA DE ANÁLISE E ESTUDO DE CASO

Neste artigo, emprega-se uma abordagem probabilística, considerando as variações inerentes aos parâmetros, por meio de simulações Monte Carlo. Definidas as equações para o cálculo do tráfego admissível, devem ser informadas as espessuras e os coeficientes estruturais. Após a caracterização das espessuras e dos coeficientes de variação, por meio de 5.000 simulações, determinam-se os diversos valores de tráfego admissível, tanto usando o método de resistência do DNIT, como da AASHTO/93. Para esse modelo estabelece-se um erro de 2% para as estimativas das variáveis aleatórias, sendo apresentada no modelo proposto a quantidade mínima de iterações a ser realizada e a verificação confrontando esse valor com o número de simulações (5.000) realizadas pelo programa. Caso esse valor seja inferior a 5.000, a simulação está validada, caso contrário, devem ser revistos os coeficientes de variação de cada variável. Como resultado da determinação da confiabilidade, são apresentados também os gráficos das distribuições, tanto para o tráfego previsto como o admissível.

O objetivo final é projetar o pavimento que seja capaz de suportar as cargas do tráfego previsto para o período do projeto. Portanto, deseja-se limitar a probabilidade de falha do pavimento, ou seja, a probabilidade de que o desempenho seja inferior ao tráfego solicitante. Com duas distribuições distintas, uma para o tráfego previsto e outra para o admissível (desempenho), o ajuste da confiabilidade pode ser feito moven-

do-se as distribuições até se determinar a confiabilidade superior a um valor mínimo especificado. A curva do tráfego previsto é regida por informações, sendo que esta distribuição não pode ser ajustada. Consequentemente, a distribuição que deve ser ajustada é a do tráfego admissível (desempenho), que corresponde ao projeto das camadas do pavimento.

As características do tráfego e a capacidade de suporte do subleito são parâmetros associados com o desempenho da estrutura que são fixados no projeto. Portanto, as espessuras e materiais (coeficientes estruturais) a serem utilizados no pavimento são os parâmetros que se referem ao desempenho que podem, e devem, ser ajustados no processo de concepção da estrutura. As espessuras das camadas e os coeficientes estruturais podem ser aumentados ou diminuídos para que se obtenha uma confiabilidade superior a um valor mínimo especificado.

Para os modelos de confiabilidade que utilizam as equações de dimensionamento da AASHTO, é calculado o SN_{REQ} . Esses valores não devem ser utilizados como resultado de dimensionamento, uma vez que o método da AASHTO preconiza a consideração da parcela referente à confiabilidade ($Z_R \cdot S_0$) e essa parcela foi convenientemente removida das equações, resultando em uma confiabilidade de aproximadamente 50%.

Visando ilustrar o funcionamento do modelo e seus resultados, apresenta-se neste artigo um estudo de caso. Utilizaram-se as características de tráfego e estruturas de pavimentos provenientes do projeto de implantação de uma rodovia com tráfego pesado. O dimensionamento das estruturas foi obtido de projetos de pavimento executados para rodovias no estado de São Paulo. Esses dimensionamentos foram realizados de acordo com os métodos vigentes nesse estado, puramente determinísticos, ou seja, a caracterização dos parâmetros pertinentes, tanto referentes ao tráfego solicitante quanto às camadas das estruturas, é realizada apenas por valores pontuais médios.

O objetivo deste artigo não é analisar a validade do dimensionamento das estruturas, mas visa verificar o resultado caso as hipóteses adotadas nos parâmetros de projeto não forem confirmadas ao longo do tempo. Ressalta-se que os modelos de dimensionamento que

integram as rotinas aqui apresentadas são parte do cálculo como usualmente é realizado e recomendado pelos órgãos competentes no país. A principal recomendação complementar é a verificação mecanicista, onde são determinados esforços e deformações críticas na estrutura. A tabela 3 apresenta os parâmetros de entrada no programa referentes ao tráfego solicitante.

Tabela 3 – Parâmetros de entrada para tráfego solicitante

Descrição	Unidade	Valor Considerado no Projeto	Tipo de Variável
Volume Diário Médio Inicial	veic.	27.807	Probabilística
Fator Direcional	%	53	Determinística
Porcentagem de Veículos Pesados	%	27	Probabilística
Fator de Veículos AASHTO Asfáltico	-	1,648	Probabilística
Fator de Veículos USACE	-	6,229	Probabilística
Taxa de Crescimento	%	7,15	Probabilística
Fator de Faixa	%	80	Determinística
Período de Projeto - Pav. Asfáltico	anos	10	Determinística

Inicialmente, para a determinação da confiabilidade, utilizou-se o período de projeto igual a 10 anos para os pavimentos asfálticos. Adiante, no fim desta seção é realizada uma verificação dos impactos da variação do período de projeto na determinação da confiabilidade. Embora em alguns procedimentos seja recomendado o período de 15 anos para rodovias com tráfego pesado, foi adotado, no presente caso o período de 10 anos para ilustração da metodologia.

As estruturas de pavimento foram dimensionadas para os valores de número N calculados deterministicamente, por meio dos valores médios dos parâmetros, como usualmente é recomendado nos procedimentos do DNIT. A tabela 4 apresenta os parâmetros de entrada referentes à estrutura de pavimento asfáltico, conforme o resultado do dimensionamento projetado.

Tabela 4 – Parâmetros de entrada para pavimento asfáltico – método DNIT

Descrição	Unidade	Valor Considerado no Projeto	Tipo de Variável
Coefficiente Estrutural do Revestimento	-	2,0	Determinística
Espessura do Revestimento	cm	12,5	Probabilística
Coefficiente Estrutural da Base	-	1,0	Determinística
Espessura da Base	cm	15,0	Probabilística
Coefficiente Estrutural da Subbase	-	1,0	Determinística
Espessura da Subbase	cm	30,0	Probabilística
CBR do Subleito	%	8,0	Probabilística

Apesar da estrutura não ter sido dimensionada pelo método da AASHTO (1993), pelo modelo de confiabilidade pode ser verificada a probabilidade de sucesso e falha dessa estrutura segundo essa metodologia, selecionando valores de coeficiente

estrutural adequados para cada camada. A tabela 5 apresenta, além dos coeficientes estruturais, todos os parâmetros utilizados nessa análise. A tabela 6 apresenta os resultados de cálculo para o tráfego solicitante.

Tabela 5 – Parâmetros de entrada para pavimento asfáltico – método AASHTO

Descrição	Unidade	Valor Considerado no Projeto	Tipo de Variável
Índice de Serventia Inicial	-	4,2	Probabilística
Índice de Serventia Final	-	2,5	Determinística
Coefficiente Estrutural do Revestimento	-	0,44	Probabilística
Espessura do Revestimento	pol	4,92	Probabilística
Coefficiente Estrutural da Base	-	0,16	Probabilística
Coefficiente Drenagem da Base	-	1,00	Probabilística
Espessura da Base	pol	6,00	Probabilística
Coefficiente Estrutural da Subbase	-	0,11	Probabilística
Coefficiente Drenagem da Subbase	-	1,00	Probabilística
Espessura da Subbase	pol	11,81	Probabilística
Módulo de Resiliência do Subleito	psi	12.000	Probabilística

Tabela 6 – Tráfego solicitante para período de 10 anos

Parâmetro Tráfego Solicitante	Cálculo	Valor Médio	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Número N USACE	Determinístico	1,01E+08	-	-
	Probabilístico	1,00E+08	4,08E+07	41%
Numero N AASHTO Asfáltico	Determinístico	2,66E+07	-	-
	Probabilístico	2,68E+07	1,06E+07	40%

Na tabela 7 são apresentados os valores médios e os coeficientes de variação das espessuras das camadas granulares e SN, determinísticos e probabilísticos, e o desempenho esperado probabilístico por essas estruturas pelo método da resistência do DNIT e pela AASHTO/93. A distribuição resultante do desempenho da estrutura de pavimento asfáltico analisada de acordo com o modelo do método da resistência do DNIT (2006) apresentou um coeficiente de variação bastante elevado, superior a 500%. Ressalta-se que nesse modelo as espessuras das camadas e o CBR do subleito são caracterizados probabilisticamente e os coeficientes estruturais são caracterizados deterministicamente. Para os modelos da AASHTO (1993), onde todos os parâmetros da estrutura são probabilísticos, os coeficientes de variação foram inferiores a 100%.

Tabela 7 – Resultados da análise de desempenho

Parâmetro Desempenho		Valor Médio	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Espessura em Termos de Material Granular (cm)	Determinístico	70	-	-
	Probabilístico	70,16	4,20	5,99%
Número Estrutural - SN (pol)	Determinístico	4,42	-	-
	Probabilístico	4,42	0,46	10,31%
Desempenho - Equação DNIT	Probabilístico	1,40E+11	7,48E+11	533,13%
Desempenho - Equação AASHTO Asfáltico	Probabilístico	6,74E+07	6,69E+07	99,18%

Para o tráfego solicitante no período de projeto previsto de 10 anos, verificou-se a partir do método aqui apresentado neste artigo – ilustrado pela figura 2 que traz uma das telas de saída da análise, com resultados resumidamente apresentados na tabela 8 – que a implantação das estruturas apresentadas na tabela 4 anterior, resultará para o pavimento asfáltico em uma probabilidade de sucesso de 98% referindo-se ao método de dimensionamento do DNIT (2006), e de 76%, referindo-se ao método da AASHTO (1993).

É importante observar que, segundo o método da resistência do DNIT, seria necessária a espessura total equivalente H_t de 54,24 cm, e a estrutura analisada

possui H_t igual a 70 cm (acréscimo de 29%). Por esse motivo a probabilidade de falha da estrutura dimensionada é de apenas 2%. Com relação ao modelo da AASHTO (1993), ocorre algo semelhante, o SN requerido é de 3,99, porém, a estrutura analisada possui SN igual a 4,42 (acréscimo de 10,8%). Embora tenham sido majoradas as espessuras das camadas, a probabilidade de falha é de 24% pelo método da AASHTO/93, valor elevado para o tráfego pesado. Quanto menor a diferença entre a estrutura mínima requerida e o resultado do dimensionamento, menor será a confiabilidade, ou probabilidade de sucesso. Verifica-se esta afirmação para os dimensionamentos realizados por meio dos métodos da AASHTO (1993).

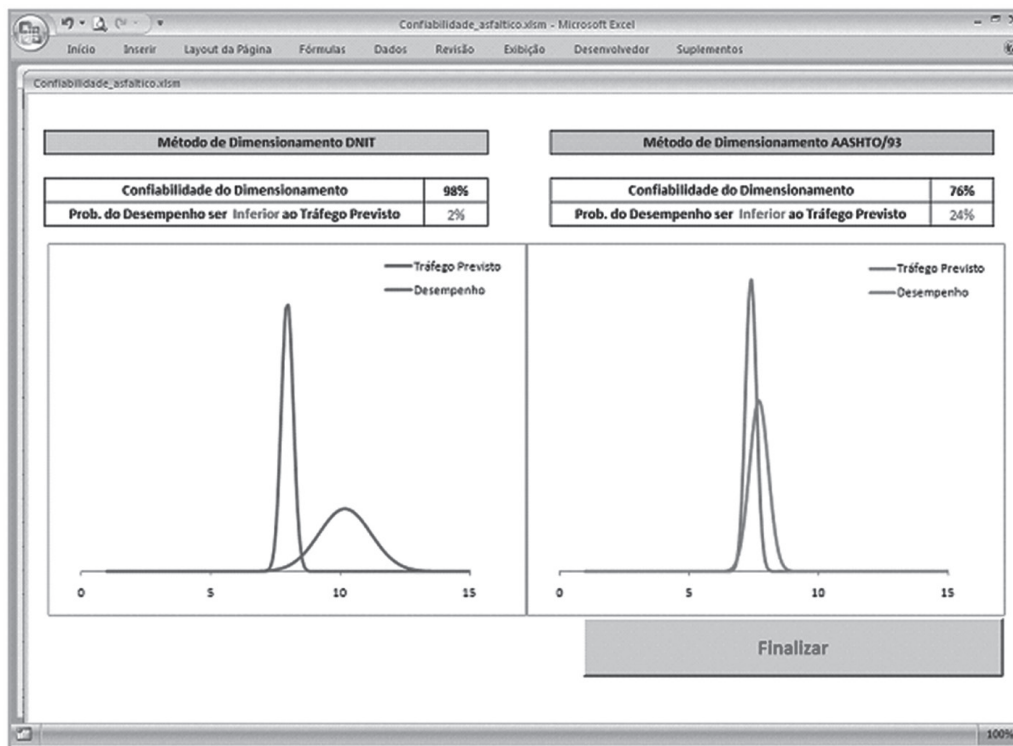


Figura 2 – Distribuições resultantes do estudo de caso

Tabela 8 – Resultados de confiabilidade do estudo de caso.

Dimensionamento	Método	Probabilidade de Sucesso	Probabilidade de Falha
Pavimento Asfáltico	DNIT (2006)	98%	2%
Pavimento Asfáltico	AASHTO (1993)	76%	24%

Em suma, a estrutura analisada possui espessuras e materiais que resultam em H_t e SN superiores aos mínimos requeridos pelos métodos de dimensionamentos. Essas parcelas de acréscimo nos valores mínimos requeridos reduzem o risco de falha da estrutura durante o período de projeto, e essa redução de risco é retratada pela confiabilidade, ou seja, quanto maior a

confiabilidade menor o risco de falha da estrutura, segundo o modelo de dimensionamento analisado.

O modelo de cálculo da confiabilidade pode ainda ser utilizado para determinar o período de projeto máximo para uma determinada combinação de estrutura e confiabilidade requerida. A tabela 9 apresenta o período de projeto máximo para o qual as estruturas ana-

lisadas apresentariam uma confiabilidade de 90%. Com esse tipo de utilização pode-se simular o período máximo onde o pavimento apresentaria um determinado risco de falha. Por meio desses resultados, verifica-se que a estrutura possui confiabilidade de 99% pelo método do DNIT (2006) e 76% quando utilizado AASHTO (1993). Fixando a confiabilidade em 90%, pode-se afirmar que, segundo a verificação do DNIT, o pavimento poderá ter um bom desempenho por um período maior, já que em 10 anos apresenta 2% de risco de falha, aumentando o nível de risco admitido para 10%, o período correspondente será de 28 anos. Utilizando os métodos da AASHTO (1993), ocorre o oposto de previsão. Se no período o risco já é superior a 10%, quando se fixar esse valor (confiabilidade 90%), o período máximo será reduzido para 5 anos, para a estrutura de pavimento asfáltico. Ressalta-se que esses períodos referem-se somente aos modelos de dimensionamento isolados. O sucesso do pavimento, seu bom desempenho, depende de

inúmeras variáveis, que vão desde a adequada estimativa de parâmetros de projeto, boa qualidade de execução e níveis de operação compatíveis com os considerados no projeto.

Tabela 9 – Período de projeto para as estruturas analisadas e confiabilidade de 90%

Dimensionamento	Método	Período de projeto para confiabilidade de 90%
Pavimento Asfáltico	DNIT (2006)	28 anos
Pavimento Asfáltico	AASHTO (1993)	5 anos

Com o objetivo de analisar o impacto do período de projeto na determinação da confiabilidade das estruturas de pavimento deste estudo de caso, foram calculados os valores de número N solicitante para os períodos de 15 anos (tabela 10) e 20 anos (tabela 11) para pavimentos asfálticos.

Tabela 10 – Tráfego solicitante para período de 15 anos

Parâmetro Tráfego Solicitante	Cálculo	Valor Médio	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Número N USACE	Determinístico	1,84E+08	-	-
	Probabilístico	1,82E+08	7,45E+07	41%
Numero N AASHTO Asfáltico	Determinístico	4,86E+07	-	-
	Probabilístico	4,88E+07	1,96E+07	40%

Tabela 11 – Tráfego solicitante para período de 20 anos

Parâmetro Tráfego Solicitante	Cálculo	Valor Médio	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Número N USACE	Determinístico	3,01E+08	-	-
	Probabilístico	3,00E+08	1,21E+08	40%
Numero N AASHTO Asfáltico	Determinístico	7,97E+07	-	-
	Probabilístico	8,02E+07	3,33E+07	42%

Para os períodos de projeto de 10, 15 e 20 anos, foram determinadas as confiabilidades das estruturas deste estudo de caso, cujos resultados são apresentados na tabela 12.

Tabela 12 – Resultados de confiabilidade do estudo de caso para outros períodos de projeto

Dimensionamento	Método	Período de Projeto (anos)	Ht _{REQ} (cm) SN _{REQ} (pol) D _{REQ} (pol)	Dif. entre (Ht, SN e D) e mín.req.	Probabilidade de Sucesso
Pavimento Asfáltico	DNIT (2006)	10	54,24	29%	99%
		15	55,83	25%	97%
		20	57,17	22%	95%
	AASHTO (1993)	10	3,992	11%	76%
		15	4,383	1%	53%
		20	4,719	-6%	35%

Os valores de confiabilidade determinados segundo o método da resistência do DNIT sofreram pequena variação para os períodos de 10, 15 e 20 anos. Esse fato decorre do pequeno aumento requerido na estrutura quando se aumenta o período de projeto, para o CBR do subleito adotado neste caso. A diferença entre a espessura em termos de material granular da estrutura e o valor mínimo requerido mantém-se entre 22% e 29%, e a confiabilidade varia entre 95% e 99%. Utilizando os métodos de dimensionamento da AASHTO (1993), o período de projeto (influenciado diretamente pelo tráfego solicitante) exerce grande impacto na probabilidade de falha da estrutura. Os valores mínimos requeridos sofrem aumentos mais representativos. Para o pavimento asfáltico aqui apresentado, o SN da estrutura quase que equivale ao mínimo para 15 anos (acréscimo de 1%) e é insuficiente para o período de 20 anos, resultando em uma representativa diminuição da confiabilidade de 76% (10 anos) para 35% (20 anos).

Visando caracterizar, para este estudo de caso, o comportamento dos acréscimos estruturais do pavimento na confiabilidade, foram submetidos ao modelo, com diversas espessuras, sempre em confronto com o tráfego solicitante, para períodos de projeto de 10, 15 e 20 anos. A figura 3 apresenta o gráfico resultante de todos os casos analisados anteriormente. Utilizando o modelo proposto neste artigo para o cálculo de confiabilidade de pavimentos asfálticos, foram determinadas as variações da confiabilidade (risco de falha) do pavimento em função do acréscimo estrutural, segundo os métodos de dimensionamento analisados. Para o método de resistência do DNIT (2006), verificou-se que, para as características do tráfego do estudo de caso, foram necessários menores acréscimos da espessura total para a elevação dos níveis de confiabilidade; com o aumento de aproximadamente 35% da espessura granular, o risco de falha já tende a zero. Para o modelo da AASHTO/93, para pavimentos asfálticos, esse valor de aumento na espessura, para a mesma redução do risco, foi de aproximadamente 50%.

Ainda na figura 3, pode-se determinar o acréscimo necessário na estrutura para um dado nível de confiabilidade. Por exemplo, buscando um projeto com 95% de confiabilidade, seria necessário para o dimensionamento com o método do DNIT, um acréscimo da espessura em termos de material granular de aproximadamente 23%. Se o dimensionamento seguir a metodologia pre-

conizada pela AASHTO, esse aumento deverá ser de aproximadamente 31% para pavimentos asfálticos.

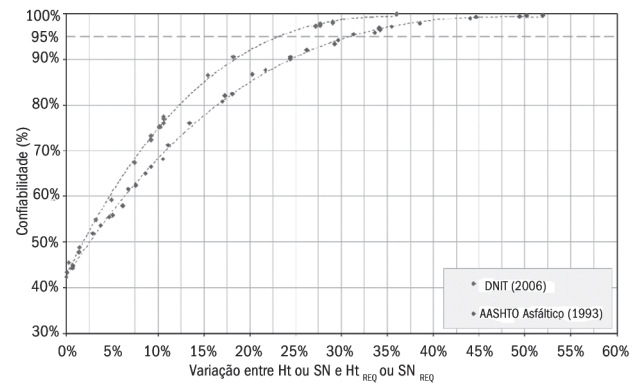


Figura 3 – Variação da confiabilidade em função do acréscimo de espessura requerido (DNIT) ou acréscimo de SN requerido (AASHTO) na estrutura de pavimento

Análise complementar foi conduzida para as estruturas de pavimento asfáltico, consideradas base e sub-base, ambas granulares com 15 cm cada uma, e variação de espessura do revestimento asfáltico, entre 12 cm e 32 cm, com o objetivo de determinar o impacto na confiabilidade do projeto. A camada de revestimento é, geralmente, composta pelos materiais mais nobres na hierarquia da estrutura. A partir da figura 4, pode-se observar que para o método do AASHTO (1993), o aumento do período de projeto acarreta necessidade maior na espessura do revestimento para uma mesma confiabilidade. Para a manutenção de 80% de confiabilidade, o aumento de espessura necessária no revestimento para a variação do período de projeto de 10 para 15 anos, seria de 0,8 cm para o método do DNIT e de aproximadamente 2,5 cm pelo método da AASHTO. Esta necessidade de aumento mantém-se praticamente as mesmas para o aumento do período de projeto de 15 para 20 anos.

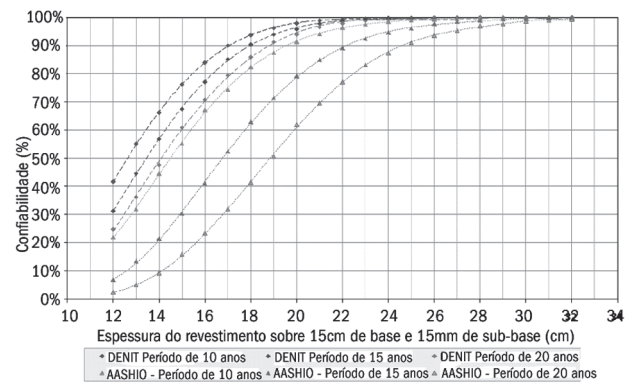


Figura 4 – Variação da confiabilidade do pavimento em função da espessura do revestimento asfáltico usando cálculo das espessuras pelo DNIT e pela AASHTO

A relevância do revestimento asfáltico em relação às outras camadas é mais pronunciada no dimensionamento da AASHTO (1993). A relação entre os coeficientes estruturais do revestimento (0,44) e da base (0,16), por exemplo, para este método é próximo de 3 vezes. Já para o método do DNIT (2006) esta relação é igual a 2.

Ressalta-se que as análises conduzidas nesta seção foram realizadas para uma frota de tráfego específica, caracterizada no início deste estudo. Vale lembrar ainda que os valores de SN mínimo requerido foram determinados para as equações de dimensionamento da AASHTO (1993), excluindo-se a parcela referente à confiabilidade, representada pelo produto $-Z_R \cdot S_0$.

7 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste artigo traz à discussão a utilização de técnicas e elementos da análise probabilística em projetos de pavimentação. Foi considerado o conceito de confiabilidade em dimensionamentos de pavimentos asfálticos rodoviários, sendo este um assunto já tratado em trabalhos acadêmicos nacionais, porém ainda de uso muito restrito na prática dos órgãos viários brasileiros. A técnica de simulação estocástica de dados, chamada de simulação Monte Carlo, foi utilizada para as análises probabilísticas. Esse método de simulação, já consolidado, é bastante utilizado internacionalmente, não restrito ao meio rodoviário.

Foi aplicado um método de análise estatística para a determinação da probabilidade de sucesso (confiabilidade) de uma estrutura de pavimento asfáltico, quando exposta a determinado tráfego solicitante, utilizando duas equações de dimensionamento, a primeira, preconizada pelo método da resistência do DNIT, e a segunda, proveniente do guia de dimensionamento de pavimentos da AASHTO de 1993.

A análise, utilizando o modelo do DNIT, revelou que as necessidades de aumento na espessura da estrutura, apontadas para o aumento nas solicitações de tráfego, são relativamente pequenas. Parece, portanto, inadequada a utilização dessa equação isoladamente para elevados níveis de tráfego. Tanto o estado da arte, quanto o estado da prática de dimensionamentos de pavimentos no Brasil não está restrito ao modelo de dimensionamento do DNIT (2006). Este mesmo órgão, em seus manuais, recomenda ainda que o dimensionamento de estruturas de pavimento considerem análises mecanicistas do pavimento.

Para o modelo de determinação de confiabilidade da AASHTO, para pavimentos asfálticos, observou-se um comportamento diferente do estudado pelo método da resistência do DNIT. Com aumentos do tráfego solicitante, são demandados aumentos na estrutura bastante mais expressivos que pelo método da resistência. Verificou-se que a consideração da variabilidade dos parâmetros de entrada segundo recomendações da AASHTO, resultaram em desvio-padrão após simulações Monte Carlo para a distribuição do tráfego admissível, da mesma ordem de grandeza preconizada pela AASHTO (1993). O valor determinado de desvio-padrão foi 0,41 para pavimentos asfálticos, sendo que a AASHTO indica o uso do valor de 0,44. Já para a equação de dimensionamento estrutural do DNIT, o desvio-padrão resultou próximo de 1,00. Pode-se concluir, com base nesse valor de desvio-padrão, que a equação brasileira está menos adequada para a consideração da variabilidade dos diversos parâmetros pertinentes ao dimensionamento.

O cálculo da confiabilidade de um dimensionamento de pavimento pode ser uma importante ferramenta para a tomada de decisão quanto à aceitação de uma estrutura de pavimento executada diferentemente das condições de projeto. É possível determinar qual o risco que se assume nessa aceitação pelo órgão viário ou órgão gestor. Pode-se ainda verificar qual dos parâmetros de entrada possui mais influência no desempenho do pavimento, podendo dispensar uma maior atenção nos controles geométrico e tecnológico de campo.

O método estatístico utilizado abre a possibilidade de se introduzir nos parâmetros do dimensionamento, utilizando o modelo do DNIT, variações em função das oscilações sazonais, principalmente para pavimentos asfálticos em que os revestimentos são constituídos de materiais de comportamento viscoelástico, de difícil consideração em modelos determinísticos.

Os modelos de dimensionamento essencialmente determinísticos resultam em estruturas com a probabilidade de sucesso da ordem de 50% e, em algumas situações, isto pode não ser suficiente, principalmente para os casos de pavimento com camadas cimentadas em que os materiais têm ruptura friável. Uma única carga de grandes proporções pode levar a camada cimentada à ruptura. Modelos com abordagem probabi-

lística podem ser utilizados para avaliar as possibilidades de variação no tráfego, por exemplo.

Não existem hoje no Brasil recomendações ou estudos referentes aos aspectos de variações que ocorrem em estruturas implantadas em nossos pavimentos. A pesquisa usou recomendações norte-americanas, provenientes da pista experimental – AASHO Road Test. Quanto maiores forem as variações de cada parâmetro de entrada, maior será o desvio-padrão da distribuição resultante da análise.

Os investimentos necessários para a implantação de uma rodovia são bastante elevados, e os custos da

estrutura do pavimento possuem relevante representatividade nesse montante. Com os resultados de análises com esse modelo pode ser realizada uma avaliação do que pode ocorrer com o pavimento caso as hipóteses de projeto não sejam confirmadas durante a execução. Deficiências na implantação certamente irão ocasionar aumentos nos investimentos necessários durante o ciclo de vida do pavimento. Para ilustração, materiais de baixa qualidade e pavimentos mal construídos com larga faixa de variação dos parâmetros devem ser mais espessos do que pavimentos bem construídos com controle tecnológico adequado, para uma mesma confiabilidade, ou ainda, para um mesmo risco de falha do pavimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO. **Guide for design of pavement structures**. Washington D.C., 1993. ISBN 1-56051-055-2.

CHEN, C.; FLINTSCH, G. W. Reliability design of flexible airfield pavements elastic layered method. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Washington D.C., v.1990, p. 80-91, 2007.

CHOU, Y. T. Reliability design of flexible airfield pavements elastic layered method. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Washington D.C., v.1568, p. 124-130, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. Publicação IPR-719. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274. p.

HUANG, Y. H. **Pavements analysis and design**. 2. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2004. ISBN 0-13-142473-4.

IRICK, P.; HUDSON, W. R.; McCULLOUGH, B. F. Application of reliability concepts to pavement design. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE STRUCTURAL DESIGN OF ASPHALT PAVEMENTS, 6., 1987, Ann Arbor. **Proceedings...** Ann Arbor: University of Michigan, 1987. p. 163-179.

LI, Z.; MADANU, S. Highway project level life-cycle benefit/cost analysis under certainty, risk, and uncertainty: methodology with case study. **Journal of Transportation Engineering**, Reston, v. 131, n. 8, p. 516-526, 2009.

MLADENOVIC, G. et al. Comparison of as-constructed and as-designed flexible pavement layer thicknesses. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Washington D.C., v.1853, n. 03-3067, p. 165-176, 2003.

MOTTA, L. M. G. **Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis; critério de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas**. 1991. 366 f. Tese (Doutorado) - Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

PITTMAN, D. W.; OPELIKA, A. **Development of a reliability-based design procedure for rigid and flexible airfield pavement**. U.S. Army Corps of Engineers, Washington D.C., 1996.

REIGLE, J. A. **Development of an integrated project-level pavement management model using risk analysis**. 2000. Dissertation (Doctor of Philosophy in Civil Engineering) - College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University, Morgantown, 2000.

REIGLE, J. A.; ZANIEWSKI, J. P. Risk-based life-cycle cost analysis for project-level pavement management. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Washington D.C., v.1816, n. 02-2579, p. 34-42, 2002.

SANCHEZ-SILVA, M. et al. Reliability based design optimization of asphalt pavements. **The International Journal of Pavement Engineering**, London, v.6, n. 4, p. 281-294, 2005.

SANTOS, C.R.G. **Dimensionamento e análise do ciclo de vida de pavimentos rodoviários: uma abordagem probabilística**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica de São Paulo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SUZUKI, C. Y.; KABBACH JUNIOR, F. I.; AZEVEDO, A. M.; PEREIRA, A. C. O. e VICENTE, P. R. F. Introdução do conceito de confiabilidade nos métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis utilizados no Brasil. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 35., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: RAPv, 2004.

SUZUKI, C. Y.; NAGAO, E. M.; OSÓRIO, C. C.; AZEVEDO, A. M. Considerações sobre o conceito de confiabilidade na análise mecânica de estruturas de pavimentos flexíveis. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 33., 2001, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: RAPv, 2001. p. 695-705.

TIGHE, S. L. Guidelines for probabilistic pavement life cycle cost analysis. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Washington D.C., v. 1769, p. 28-38, 2001.

TIGHE, S. L. **An integrated model to assess asphalt cement quality on low temperature performance and life cycle cost**. 1999. Ph. D. Thesis (Doctor of Philosophy in Civil Engineering), University of Waterloo, Ontario, 1999.

VENNALAGANTI, K. M.; FERREGUT, C.; NAZARIAN, S. Stochastic analysis of errors in remaining life due to misestimation of pavement parameters in NDT. In: NONDESTRUCTIVE TESTING OF PAVEMENTS AND BACKCALCULATION OF MODULI, 2., **ASTM STP 1198**, Philadelphia: ASTM, 1994.

WALLS III, J.; SMITH, M. R. **Life-cycle cost analysis in pavement design - Interim technical bulletin**. FHWA-AS-98-079, Federal Highway Administration, Washington D.C., 1998.

WHITELEY, L.; TIGHE, S.; ZHANG, Z. Incorporating Variability into Pavement Performance, Life-Cycle Cost Analysis, and Performance-Based Specification Pay Factors. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Washington D.C., v. 1940, p. 13-20, 2005.

Normas básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas 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, Aeroportuária e Urbana nacional e internacional.
2. A Revista pode também apresentar eventualmente matérias especiais redigidas pelo seu corpo técnico editorial e pela diretoria da ABPv como forma de divulgação de opiniões ou comentários considerados relevantes como “voz” da ABPv.
3. Os artigos e contribuições como nota técnica, inéditos, podem ser enviados em qualquer época do ano para serem publicados em uma das quatro edições anuais ou até no ano seguinte dependendo do número de matérias selecionadas.
4. Os trabalhos, sejam científicos, sejam técnicos ou de outra natureza encaminhados para eventual publicação, serão submetidos a avaliação de três profissionais que compõem o Comitê Técnico-Científico da Revista, escolhidos de acordo com o perfil do material a ser julgado. Aos avaliadores não será dado a conhecer os autores do artigo ou trabalho antes da avaliação e também é vedada a divulgação para os autores da identidade dos avaliadores.
5. Os avaliadores recebem da ABPv um questionário indicativo dos itens a serem avaliados em cada contribuição para Revista PAVIMENTAÇÃO, podendo sugerir três opções de encaminhamento:
 - (i) O trabalho é aceito para publicação;
 - (ii) O trabalho não é aceito para publicação e será então devolvido aos autores;
 - (iii) O trabalho poderá vir a ser aceito caso os autores concordem em fazer algumas modificações sugeridas por um ou mais avaliadores.
6. Cabe à Diretoria da ABPv julgar os casos omissos e autorizar a publicação de contribuições de caráter não técnico, eventualmente, em função dos assuntos abordados e da disponibilidade de espaço.
7. O resultado da avaliação de qualquer material encaminhado à Revista PAVIMENTAÇÃO será levado ao conhecimento dos autores dos mesmos informando o destino que será dado à sua contribuição que pode ser: publicação imediata no próximo número a ser lançado, publicação em número subsequente devido ao excesso de contribuições ou não publicação.
8. O Autor ou autores das contribuições aceitas para publicação devem concordar com a reprodução de seu material sem nenhum direito a qualquer custo de direitos autorais já que a ABPv é uma entidade sem fins lucrativos e a Revista PAVIMENTAÇÃO destina-se preferencialmente aos sócios e não será utilizada para venda com fins lucrativos.
9. As contribuições para a Revista PAVIMENTAÇÃO devem ser encaminhadas de preferência por meio digital, podendo estar em formato PDF somente na fase de julgamento pelo Comitê. Os originais deverão ser produzidos em programa Microsoft Word. As figuras deverão ser fornecidas em separado, com resolução mínima de 300dpi. Caso a foto seja digital, a resolução deverá ser de no mínimo de 3.2 mega pixels. Não sendo as fotos do(s) autor(es), este(s) será(ão) responsável(eis) por declarar os créditos das mesmas e obter a autorização para publicação. Nos gráficos, evitar utilizar cores e dar preferência a símbolos que possam distinguir claramente as informações relevantes da figura. Nas tabelas não devem ser utilizadas formatações, bordas ou sombreamentos. As tabelas devem ser bem nítidas, identificadas com numeração própria e título. As equações podem ser criadas por um aplicativo externo, podem ser feitas com fontes de símbolos ou com o editor de equações do próprio programa usado para o trabalho. Em qualquer caso, elas devem ser numeradas consecutivamente ao longo do documento. As unidades deverão ser expressas no SI.
10. As contribuições podem ser de no mínimo 2 e de no máximo 15 páginas em formato A4, editoradas em fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. Número maior de páginas poderá ser aceito em casos excepcionais a critério da Editoria da Revista.
11. Os textos deverão ser escritos em português, em linguagem adequada e correta, sendo de responsabilidade do(s) autor(res) a revisão ortográfica, as referências bibliográficas devem seguir o padrão ABNT, tipo por citação de sobrenome e ano (ex. MATHEUS, 1994) e preferencialmente os artigos devem apresentar um resumo de 200 a 300 palavras, resumo em inglês de igual conteúdo do resumo em português (ABSTRACT) e indicar de 3 a 5 palavras-chaves. Artigos em outros idiomas podem eventualmente serem aceitos a critério da Editoria da revista.
12. Estas 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.

PAVIMENTAÇÃO EM DESTAQUE NO CEARÁ!



Fortaleza irá sediar de 01 a 05 de outubro de 2012 a 41ª Reunião Anual de Pavimentação - RAPV e o 2nd International Symposium on Asphalt Pavements & Environment - ISAP, no Centro de Eventos do Ceará, novo centro de feiras e eventos do Estado do Ceará e um dos mais modernos do Brasil. A semana contará, com o maior evento nacional de pavimentação, em paralelo, acontecerá a primeira edição da ExpoPavimentação – Feira de Materiais e Equipamentos para Pavimentação, evento que promete revolucionar o mercado, trazendo as maiores novidades em tecnologia, produtos, soluções e equipamentos para o setor de infraestrutura ligados à área de pavimentação.

OBJETIVOS

- Discutir problemas e soluções existentes na área de pavimentação e conservação;
- Apresentar avanços nas pesquisas e no desenvolvimento tecnológico relacionados com a área;
- Demonstrar produtos, equipamentos e tecnologia usados para construção, restauração, conservação e/ou melhorias de vias urbanas e rurais;
- Promover a atualização dos participantes;
- Propiciar o intercâmbio entre os visitantes, empresas e instituições que estarão expondo seus produtos e serviços.

PÚBLICO ALVO

Construtores, consultores, fabricantes e locadores de equipamentos, produtores de agregados, executores, empreiteiros, investidores, projetistas, representantes comerciais, distribuidores, especificadores, prestadores de serviço, professores, pesquisadores, estudantes de graduação e pós-graduação, técnicos e profissionais da construção e órgãos públicos.

CONTATO abpv@abpv.org.br | 55 21 2233.2020 | www.rapv.org.br
pavimentacao@ikone.com.br | 55 85 3261.1111 | www.expopavimentacao.com.br

REALIZAÇÃO



COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria da Infraestrutura

ORGANIZAÇÃO



PAVIMENTANDO CAMINHOS QUE LEVAM AO DESENVOLVIMENTO

KMIntegrada.com

A Caterpillar oferece as melhores soluções em equipamentos para pavimentação. São máquinas de referência mundial no setor. Apresentam força, excelente performance e alta tecnologia, que otimizam a produção e geram os melhores resultados em sua construção.

Versatilidade e robustez para pavimentar obras com a eficiência de um equipamento Caterpillar e o melhor suporte ao produto que os revendedores autorizados podem oferecer.



- ▶ SUPORTE EM TODO BRASIL
- ▶ QUALIDADE COMPROVADA PELO MERCADO

©2008 Caterpillar. Todos os direitos reservados. CAT, CATERPILLAR, seus respectivos logotipos, "Amarelo Caterpillar" e o conjunto-imagem POWER EDGE™, assim como a identidade corporativa e de produto aqui usada, são marcas registradas da Caterpillar e não podem ser utilizadas sem permissão.

Marcosa 

Av. Visconde do Rio Branco, 6000
60850-012 | Fortaleza-CE
Fone: 0800 084 8585
www.marcosa.com.br

PESA 

BR 116, nº 11.807, Km 100
81690-200 | Curitiba-PR
Fone: 0800 940 7372
www.pesa.com.br

Sotreq 

Rod. Anhanguera, Km 111,5
13178-447 | Sumaré-SP
Fone: 0800 022 0080
www.sotreq.com.br