

REVISTA

**ABPV**

Associação Brasileira de Pavimentação



**PAVIMENTAÇÃO**

Ano II – Nº 6 – Junho de 2007 – [www.abpv.org.br](http://www.abpv.org.br) – ISSN 1809-1865

3

## **ACIDENTES NAS RODOVIAS**

- **As tristes estatísticas da realidade brasileira**
- **Os prejuízos sociais e econômicos**
- **A implementação de políticas públicas**

Conheça os projetos desenvolvidos pelo CENTRAN

[www.centran.eb.br](http://www.centran.eb.br)



Resultado de sólida parceria entre o **Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT)** e o **Exército Brasileiro**, o **Centro de Excelência em Engenharia de Transportes (CENTRAN)** realiza pesquisas, estudos e projetos direcionados para a evolução tecnológica da infra-estrutura nacional de transportes. Para isso, aplica inteligência e inovações técnico-construtivas, ambientais, metodológicas ou de gestão. O objetivo é promover o desenvolvimento socioeconômico inovador e sustentado, com foco na proteção do meio ambiente, na justiça social e na riqueza nacional.



**DNIT** Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes



Rua Miguel Couto, 105 — Sobrelojas 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** JORNALISTA RESPONSÁVEL  
Arq<sup>ta</sup> Georgina Libório Azevedo Jean Pierre M. Santiago  
georgina@abpv.org.br MTb 27170-RJ  
redacao@revistapavimentacao.org.br

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO**

Presidente: ENG<sup>o</sup> EDUARDO ALBERTO RICCI  
Vice-Presidente: ENG<sup>o</sup> JORGE PAULO MORO  
Diretor Administrativo: ENG<sup>a</sup> LAURA M<sup>a</sup> GORETTI DA MOTTA  
Diretor Técnico: CEL ENG<sup>o</sup> PAULO ROBERTO DIAS MORALES  
Diretor Financeiro: ENG<sup>o</sup> SILVIO RODRIGUES FILHO  
Diretor de Divulgação: ENG<sup>o</sup> RONALDO VIZZONI  
Assessora de Diretoria: Arq<sup>ta</sup> GEORGINA LIBÓRIO AZEVEDO

**COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO**

Eng<sup>o</sup> Alexandre Zupolini Neto; Eng<sup>o</sup> Alvaír Pinto Barbosa; Eng<sup>o</sup> Antônio Fortunato Marcon; Eng<sup>o</sup> Armando Martins Pereira; Eng<sup>o</sup> Atahualpa Schmitz da S. Prego; Eng<sup>o</sup> Carlos Yukio Suzuki; Eng<sup>o</sup> Cássio Eduardo Lima de Paiva; Eng<sup>o</sup> Chequer Jabour Chequer; Eng<sup>o</sup> Djalma Rocha A. M. Pereira; Eng<sup>o</sup> Douglas Fadul Villibor; Eng<sup>o</sup> Dultevir Guerreiro Vilar de Melo; Eng<sup>o</sup> Edinaldo Afonso Marques de Melo; Eng<sup>o</sup> Eduardo Alberto Ricci; Eng<sup>o</sup> Ernesto Simões Preussler; Eng<sup>o</sup> Fernando Augusto Jr.; Eng<sup>o</sup> Francisco Samuel Pithon Barreto; Eng<sup>o</sup> Genésio Almeida da Silva; Arq<sup>ta</sup> Gilda Collet Bruna; Eng<sup>o</sup> Glicério Trichês; Eng<sup>o</sup> Heitor Roberto Giampaglia; Eng<sup>o</sup> Humberto Santana; Eng<sup>o</sup> Jacques de Medina; Eng<sup>o</sup> João Menescal Fabrício; Eng<sup>o</sup> João Virgílio Merighi; Eng<sup>o</sup> Jorge Augusto Pereira Ceratti; Eng<sup>o</sup> Jorge Eduardo Salathé; Eng<sup>o</sup> Jorge Paulo Moro; Eng<sup>o</sup> José Franklin Moreira; Eng<sup>o</sup> José Leomar Fernandes Junior; Eng<sup>o</sup> José Pedro dos Santos Vieira Costa; Eng<sup>o</sup> José Tadeu Balbo; Eng<sup>o</sup> Laiz de Souza; Eng<sup>o</sup> Laura M<sup>a</sup> Goretti da Motta; Eng<sup>o</sup> Leni F. M. Leite; Eng<sup>o</sup> Leto Momm; Eng<sup>o</sup> Liedi Legi B. Bernucci; Eng<sup>o</sup> Luciana Nogueira Dantas; Eng<sup>o</sup> Luiz Miguel de Miranda; Eng<sup>o</sup> Marcello Roberto Rangel Pestana; Eng<sup>o</sup> Maria da Conceição M Azevedo; Eng<sup>o</sup> Márcio Muniz de Farias; Eng<sup>o</sup> Marcílio Augusto Neves; Eng<sup>o</sup> Mario Henrique Furtado Andrade; Eng<sup>o</sup> Nilton de Souza Campelo; Eng<sup>o</sup> Otacílio Alves de França Junior; Eng<sup>o</sup> Paulo Roberto Belisário S. de Souza; Eng<sup>o</sup> Paulo Romeu Assunção Gontijo; Eng<sup>o</sup> Prepredigna D. E. Almeida da Silva; Eng<sup>o</sup> Rita Moura Fortes; Eng<sup>o</sup> Salomão Pinto; Eng<sup>o</sup> Silvio Rodrigues Filho; Eng<sup>o</sup> Saul Birman; Eng<sup>o</sup> Walter Canales Sant'ana; Eng<sup>o</sup> Wanda Trigo Loureiro; Eng<sup>o</sup> Washington Pérez Nuñez.

Editoração Eletrônica: marcelovieiradesigner  
mvcostta@yahoo.com.br

Fotolito e Impressão: Rona Editora Ltda.  
Tiragem: 5.000 exemplares — Periodicidade: Trimestral



**Nossa capa:**

Foto: Igor Aleksander

# Sumário

- 2 Editorial
- 3 Seção de notas
- 5 Carta dos leitores
- 6 Nomenclatura das rodovias federais

## REPORTAGEM

- 9 **Acidentes em rodovias**  
O desafio brasileiro de redução dos altos índices de mortes e os prejuízos sociais e econômicos.

## ARTIGOS TÉCNICOS

- 16 **Processos para reciclagem de pneus inservíveis**  
Jacqueline Aparecida Marques  
Elaine Carvalho Da Paz
- 24 **Contribuição para estudo do comportamento mecânico de misturas asfálticas executadas no Estado de Santa Catarina**  
Antonio Carlos Rodrigues Guimarães  
Laura Maria Goretti da Motta  
Álvaro Vieira
- 33 **A notificação da resistência dos pavimentos em aeroportos**  
Um problema para a administração aeroportuária  
Marcello Roberto Rangel Pestana  
Silvio Rodrigues Filho
- 40 **Avaliação estrutural de trecho rodoviário no Estado da Paraíba através de ensaios destrutivos e não-destrutivos**  
Fabiano José Afonso  
LauraIVALDO DÁRIO
- 54 **Fatos históricos**

# Editorial

---

Nesta edição de número 6, a Revista PAVIMENTAÇÃO traz para discussão um tema que tem sido uma constante no noticiário nacional: os acidentes com meios de transportes.

Em outubro do ano passado o País ficou chocado e comovido com a colisão do Boeing 737-800 da Gol com um jatinho executivo Legacy na região amazônica, causando na época a maior tragédia da aviação brasileira com 154 vítimas fatais. Abriu-se, então, uma crise no setor aéreo brasileiro, expondo os graves problemas de um sistema que não acompanhou o crescimento da demanda pelo transporte aéreo, bem como instalou-se um conflito de autoridade nos órgãos competentes.

Dada a pujança com que é revestido o transporte aéreo, as impressões são vultosas, causando comoção e medo na sociedade. No entanto, a aviação está longe de ser o meio de transporte que mais causa vítimas fatais. As estatísticas mostram que este triste título está com o transporte rodoviário.

Os acidentes nas rodovias brasileiras matam 35 mil pessoas por ano, o equivalente a 194 boeings lotados. São números quase surreais que deveriam causar comoção acima de qualquer outra tragédia.

Diversos são os fatores que se conjugam para os acidentes rodoviários, o veículo, a via, o ambiente e o condutor, este, por sua vez, o grande responsável pela maioria dos casos, dado que o fator humano é preponderante em toda atividade.

Os prejuízos são também diversos. Primeiramente porque as vidas que são ceifadas causam danos irreparáveis às famílias desde o aspecto emocional como também econômico. Ao País, o Erário tem que arcar com o ônus de todas as atividades periféricas ligadas aos acidentes, como o custo médico-hospitalar das vítimas, os danos às rodovias, as ações nas justiças etc. Acima de tudo, o País perde em capital humano.

Nesta edição, portanto, iniciamos a discussão deste tema procurando abordar os aspectos diversos que circundam os acidentes rodoviários.

A seção Fatos Históricos traz a lembrança meritosa do grande engenheiro Régis Bittencourt, um ícone da engenharia nacional. O Engenheiro Athaulpa Schimtz conta um pouco da vida e da obra desse personagem ilustre da história da pavimentação no Brasil.

O trecho da BR-101 que liga o Paraná a São Paulo leva o nome do Engenheiro Régis Bittencourt. Mas fora as homenagens *in memoriam* que são conferidas a personalidade emprestando seu nome a rodovias, como é estabelecida a nomenclatura das estradas federais? O que significa os algarismos após a sigla BR, como BR-040, BR-116, BR-365, entre outras? As informações foram fornecidas pela Gerência de Planejamento e Estudos do DNIT.

Completam a revista mais uma seleção de artigos técnicos inéditos que abordam temas relevantes que estão sendo trabalhados nas universidades e nos grandes centros de estudos da área de pavimentação: Processos de Reciclagem de Pneus Inservíveis; A Notificação da Resistência dos Pavimentos em Aeroportos; Avaliação Estrutural de Trecho Rodoviário da Paraíba; e Contribuição para Estudos do Comportamento das Misturas Asfálticas Executados no Estado de Santa Catarina.

Na próxima edição traremos a cobertura completa do maior evento rodoviário do País, a 38ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) e 12º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR), que este ano acontece em Manaus, entre os dias 12 e 16 de agosto. Antes, porém, haverá uma edição especial abordando o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) implementado pelo Ministério dos Transportes em cooperação com o Ministério da Defesa, através do CENTRAN - Centro de Excelência em Engenharia de Transportes.

# Seção de notas da Revista PAVIMENTAÇÃO

## PPP nas Rodovias

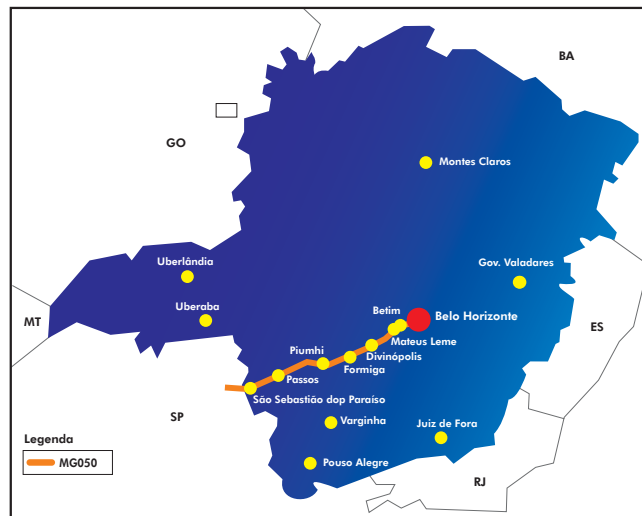
### Governo de Minas Gerais Assina Primeira Parceria Público Privada para Manutenção de Estrada

O governo de Minas Gerais assinou contrato inédito com a iniciativa privada para a manutenção da rodovia estadual MG-050. Trata-se da chamada PPP Parceria Público Privada que agora se estende ao setor rodoviário do País.

A parceria foi feita com a Concessionária da Rodovia MG-050 S/A no mês de maio passado. A estrada que liga o sudoeste de Minas a São Paulo passará por uma série de melhorias que a qualificará como "rodovia em bom estado de conservação" e estará em constante estado de manutenção.

De acordo com o governo do Estado, os usuários perceberão os benefícios dos serviços realizados pela concessionária no final do primeiro ano de contrato. O valor do pedágio estabelecido pelo Conselho Gestor de PPP do Estado de Minas Gerais para carros de passeio é de R\$ 3,00 em cada uma das seis praças de cobrança que serão implantadas. A previsão do governo é de que a cobrança só comece depois que a rodovia alcançar certo padrão de qualidade, o que deverá acontecer em cerca de 13 meses depois de iniciadas as obras. Somente após este período é será iniciada a cobrança efetiva do pedágio.

A concessionária ficará responsável pela operação da rodovia estadual pelo período de 25 anos. Estão incluídas também obras de recuperação e conservação das vias de ampliação da capacidade de tráfego de 372 quilômetros.



## Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projeto e Restauração, de José Tadeu Balbo

Uma obra altamente recomendada aos profissionais e estudantes de engenharia civil é o livro PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA Materiais, Projetos e Restaurações, de autoria do Prof. José Tadeu Balbo, lançado pela Editora Oficina de Textos.

Em suas 560 páginas, o livro expõe os principais conceitos e métodos da engenharia de pavimentos. Os pavimentos das estradas e dos aeroportos são parte essencial da infra-estrutura de um país e condicionam sua capacidade de crescimento. Daí a importância desta obra de referência. Abrangendo os materiais de pavimentação e o comportamento do pavimento, compreende análise estrutural e de tráfego, projeto de pavimentos novos e de



recuperação, além da avaliação estrutural. A prática brasileira é ilustrada com casos reais, e exercícios enriquecem ainda mais a obra.

A obra aborda também temas como: nomenclatura, bases classificatórias, resistência e elasticidade de pavimentos e materiais de pavimentação. Ainda, degradação dos pavimentos, interação de carga-estrutura, dimensionamento, avaliação estrutural, reforços estruturais para pavimentos asfálticos e análise mecanicista de estrutura de pavimentos.

## Misturas Asfálticas Tipo SMA Especificações Técnicas

Já se encontram disponibilizadas no site do DER/SP ([www.der.sp.gov.br](http://www.der.sp.gov.br)) as especificações técnicas para utilização de misturas asfálticas do tipo SMA Stone Mastic Asphalt aprovada pelo Departamento no início de 2007.

Dessa maneira, vislumbra-se que os próximos estudos de projetos de pavimentação poderão ter como base essa norma, possibilitando o crescimento do uso do SMA e aprovação junto aos órgãos estaduais, federais e privados.

Em perspectiva, a engenharia de pavimentação brasileira avançará vários passos rumo a uma nova cultura de utilização de pavimentos de alta durabilidade em obras rodoviárias e urbanas, já utilizada em larga escala na Europa e Estados Unidos.

## Lançado o 5º Livro da Coleção Disseminar

Foi lançado no dia 13 deste mês no Instituto Militar de Engenharia, IME o quinto livro da Coleção Disseminar, intitulado PLANEJAMENTO URBANO: Enfoque Operacional, de autoria do Cel. Paulo Roberto Dias Morales.



Partindo do histórico da evolução urbana, o livro aborda essencialmente a estrutura urbana, seu planejamento integrado, o planejamento físico-territorial, o planejamento de transportes e de tráfego e a elaboração de planos diretores.

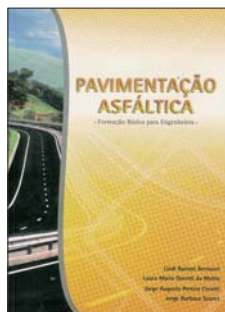
A coleção vem sendo capitaneada pelo IME juntamente com a Fundação Ricardo Franco e tem como objetivo publicar livros técnicos que mostrem as experiências dos professores e pesquisadores das áreas científica e tecnológica.



Foto: Geórgina Libório Azevedo

Engº Eduardo Ricci, Diretor-Presidente da ABPv, prestigia o Cel. Dias no lançamento de seu livro

## Pavimentação Asfáltica Formação Básica Para Engenheiros



As patrocinadoras BR Distribuidora, Petrobras Distribuidora S/A, Petróleo Brasileiro S/A e ADEBA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto), unidas em um empreendimento inova-

dor, conceberam uma ação para contribuir na formação de engenheiros civis na área de pavimentação: o Proasfalto - Programa Asfalto na Universidade. Para a elaboração do livro didático, foram convidados quatro professores de renomadas instituições de ensino superior do Brasil. Liedi Bariani Bernucci, da

Universidade de São Paulo, Laura Maria Goretti da Motta, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Jorge Augusto Pereira Ceratti, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e Jorge Barbosa Soares, da Universidade Federal do Ceará, que resultou no lançamento do livro *Pavimentação Asfáltica Formação Básica para Engenheiros*, que descreve os materiais usados em pavimentação e suas propriedades, além de apresentar as técnicas de execução, de avaliação e de restauração de pavimentação.

O livro é composto de 11 capítulos, com cerca de 500 páginas. O lançamento será em 29 de agosto de 2007.

### **Instituto Argentino Premia Artes Plásticas Que Expressem Segurança no Trânsito**

O Instituto argentino de Segurança e Prevenção Viária (ISEV) realiza a segunda edição do ComunicArte Prevención Vial, um concurso sobre a segurança nas rodovias e os acidentes de trânsito como "enfermidades sociais".

Trata-se de apresentação de artes plásticas em geral, como pintura, escultura, fotografia e arte digital impressa. Os organizadores acreditam que estas artes são um componente a mais no esforço de levarem as pessoas a refletirem sobre a condução de veículos com segurança e responsabilidade, criando a cultura da direção defensiva.

Os trabalhos podem ser enviados ao ISEV no período de 24 a 28 setembro. De 8 a 12 de outubro, o corpo de jurados fará a pré-seleção e a entrega dos prêmios será no dia 1º de novembro no Centro Cultural Recoleta, em Buenos Aires.

Mais informações,  
acesse o site:  
[www.isev.com.ar](http://www.isev.com.ar)



## **Cartas dos leitores**

Nós, leitores, também queremos homenagear, como na edição passada da Revista PAVIMENTAÇÃO, os ilustres e saudosos engenheiros José Eduardo Salathé e Albino Pereira Martins. Sem dúvida são personalidades que contribuíram sobremaneira para o desenvolvimento do setor de pavimentação no Brasil.

Cláudo Duailibi, Campo Grande, MS

Muito oportuna a reportagem de capa da última edição, pois a questão das tarifas é um assunto que não pode deixar de constar das discussões da sociedade. Como sempre neste País somos onerados de forma abusiva

Rubens Célio Guimarães, Águas da Prata, SP

Os artigos técnicos estão cada vez mais interessantes. Para mim, que sou estudante de engenharia, estes trabalhos têm dado um grande suporte aos meus estudos. Parabéns à ABPv.

Ariadne Peixoto Nogueira, Niterói, RJ



# Nomenclatura das Rodovias Federais

## Conheça o Processo de Nomeação das Estradas Federais Brasileiras

### DA REDAÇÃO

Recebemos um e-mail do leitor Matheus Almeida Lacerda, do Rio de Janeiro, com uma sugestão de pauta. Ele é um leitor leigo da Revista e como tal pedia que fosse feita uma matéria abordando os critérios para a nomeação das rodovias federais no Brasil.

De fato trata-se de um tema no mínimo curioso para quem milita fora da área da engenharia de pavimentação e também para os estudantes universitários.

Atendendo, portanto, ao pedido bastante sugestivo do leitor, apresentamos as informações

fornecidas pela Gerência de Planejamento e Estudos do DNIT.

A nomenclatura das rodovias é definida pela sigla BR, que significa que a rodovia é federal, seguida por três algarismos. O primeiro algarismo indica a categoria da rodovia, de acordo com as definições estabelecidas no Plano Nacional de Viação.

Os dois outros algarismos definem a posição, a partir da orientação geral da rodovia, relativamente à Capital Federal e aos limites do País (Norte, Sul, Leste e Oeste).

Estas definições são aplicadas da seguinte maneira:

### RODOVIAS RADIAIS

São as rodovias que partem da Capital Federal em direção aos extremos do país.

Nomenclatura: BR-0XX

Primeiro Algarismo: 0 (zero)

Algarismos Restantes:

A numeração dessas rodovias pode variar de 05 a 95, segundo a razão numérica 05 e no sentido horário. Exemplo: BR-040



### RODOVIAS LONGITUDINAIS

São as rodovias que cortam o país na direção Norte-Sul.

Nomenclatura: BR-1XX

Primeiro Algarismo: 1 (um)

Algarismos Restantes:

A numeração varia de 00, no extremo leste do País, a 50, na Capital, e de 50 a 99, no extremo oeste. O número de uma rodovia longitudinal é obtido por interpolação entre 00 e 50, se a rodovia estiver a leste de Brasília, e entre 50 e 99, se estiver a oeste, em função da distância da rodovia ao meridiano da Capital Federal. Exemplos: BR-101, BR-153, BR-174.



## RODOVIAS TRANSVERSAIS

São as rodovias que cortam o país na direção Leste-Oeste.

Nomenclatura: BR-2XX

Primeiro Algarismo: 2 (dois)

Algarismos Restantes:

A numeração varia de 00, no extremo norte do país, a 50, na Capital Federal, e de 50 a 99 no extremo sul. O número de uma rodovia transversal é obtido por interpolação, entre 00 e 50, se a rodovia estiver ao norte da Capital, e entre 50 e 99, se estiver ao sul, em função da distância da rodovia ao paralelo de Brasília. Exemplos: BR-230, BR-262, BR-290



## RODOVIAS DIAGONAIS

Estas rodovias podem apresentar dois modos de orientação:

Noroeste-Sudeste ou Nordeste-Sudoeste.

Nomenclatura: BR-3XX

Primeiro Algarismo: 3 (três)

Algarismos Restantes:

A numeração dessas rodovias obedece ao critério especificado abaixo:



### DIAGONAIS ORIENTADAS NA DIREÇÃO GERAL NO-SE

A numeração varia, segundo números pares, de 00, no extremo nordeste do país, a 50, em Brasília, e de 50 a 98, no extremo sudoeste. Obtém-se o número da rodovia mediante interpolação entre os limites consignados, em função da distância da rodovia a uma linha com a direção noroeste-sudeste, passando pela Capital Federal. Exemplos: BR-304, BR-324, BR-364.

### DIAGONAIS ORIENTADAS NA DIREÇÃO GERAL NE-SO

A numeração varia, segundo números ímpares, de 01, no extremo noroeste do país, a 51, em Brasília, e de 51 a 99, no extremo sudeste. Obtém-se o número aproximado da rodovia mediante interpolação entre os limites consignados, em função da distância da rodovia a uma linha com a direção nordeste-sudoeste, passando pela Capital Federal. Exemplos: BR-319, BR-365, BR-381.

### RODOVIAS DE LIGAÇÃO

Estas rodovias apresentam-se em qualquer direção, geralmente ligando rodovias federais, ou pelo menos uma rodovia federal a cidades ou pontos importantes ou ainda a nossas fronteiras internacionais.

Nomenclatura: BR-4XX

Primeiro Algarismo: 4 (quatro)

Algarismos Restantes:

A numeração dessas rodovias varia entre 00 e 50, se a rodovia estiver ao norte do paralelo da Capital Federal, e entre 50 e 99, se estiver ao sul desta referência. Exemplos: BR-401 (Boa Vista/RR Fronteira BRA/GUI), BR-407 (Piripiri/PI BR-116/PI e Anagé/PI), BR-470 (Navegantes/SC Camaquã/RS), BR-488 (BR-116/SP Santuário Nacional de Aparecida/SP).

### SUPERPOSIÇÃO DE RODOVIAS

Existem alguns casos de superposições de duas ou mais rodovias. Nestes casos usualmente é adotado o número da rodovia que tem maior importância (normalmente a de maior volume de tráfego), porém,

atualmente, já se adota como rodovia representativa do trecho superposto a rodovia de menor número, tendo em vista a operacionalidade dos sistemas computadorizados.

### **QUILOMETRAGEM DAS RODOVIAS**

A quilometragem das rodovias não é cumulativa de uma Unidade da Federação para a outra. Logo, toda vez que uma rodovia inicia dentro de uma nova Unidade da Federação, sua quilometragem começa novamente a ser contada a partir de zero. O sentido da quilometragem segue sempre o sentido descrito na Divisão em Trechos do Plano Nacional de Viação e, basicamente, pode ser resumido da forma abaixo:

#### **RODOVIAS RADIAIS**

O sentido de quilometragem vai do Anel Rodoviário de Brasília em direção aos extremos do país tendo o quilometro zero de cada estado no ponto da rodovia mais próximo à capital federal.

#### **RODOVIAS LONGITUDINAIS**

O sentido de quilometragem vai do norte para o sul. As únicas exceções deste caso são as BR-163 e BR-174, que têm o sentido de quilometragem do sul para o norte.

#### **RODOVIAS TRANVERSAIS**

O sentido de quilometragem vai do leste para o oeste.

#### **RODOVIAS DIAGONAIS**

A quilometragem se inicia no ponto mais ao norte da rodovia, indo em direção ao ponto mais ao sul. Como exceções pode-se citar as BR-307, BR-364 e BR-392.

#### **RODOVIAS DE LIGAÇÃO**

Geralmente a contagem da quilometragem segue do ponto mais ao norte da rodovia para o ponto mais ao sul. No caso de ligação entre duas rodovias federais, a quilometragem começa na rodovia de maior importância.

## **Cursos ABPv**

**Há 46 anos promovendo a técnica da pavimentação**

### **▶ CURSO DE DRENAGEM DE RODOVIAS**

Data: 23 a 25 de Outubro de 2007

Instrutor: Eng<sup>o</sup> Marcus Augusto Jabor - DER/MG (ABPv)

### **▶ CURSO DE ESTATÍSTICA**

Data: 16, 17 e 18 de Outubro de 2007

Instrutor: Prof<sup>a</sup> Verônica Calado (Professora Adjunto Escola de Química UFRJ)

Maiores Informações:

**[www.abpv.org.br](http://www.abpv.org.br)**



## ***ACIDENTES EM RODOVIAS***

**O desafio brasileiro de redução dos altos índices de mortes e os prejuízos sociais e econômicos.**

Reportagem: **Jean Pierre M. Santiago**  
Colaborou: **Georgina Libório Azevedo**

# Acidentes em Rodovias

## Uma questão de política pública

35 mil pessoas morrem por ano nas estradas brasileiras, o equivalente a 194 boeings lotados.



Foto: Georgina Libório Azevedo

Carga Perigosa:  
Propensão Fácil para Acidentes

São Paulo, 2007, feriado de Corpus Christi, milhares de paulistanos deixam a capital rumo ao interior ou para outros estados pela malha rodoviária. A mesma cena se repete nas principais capitais brasileiras. As saídas naturalmente não estão restritas à população da capital, porém o quantitativo maior de usuários das rodovias são os que partem dos grandes centros urbanos.

Encerrada a efeméride, o balanço da Operação Corpus Christi, realizado pela Polícia Rodoviária Estadual, em conjunto com o Departamento de Estradas de Rodagem (DER-SP), Desenvolvimento Rodoviário S.A. (DERSA), Agência de Transportes do Estado de São Paulo (ARTESP) e concessionárias, no período de 6 a 10 de junho, aponta redução de 22,6% no índice de acidentes e de 17,7% no índice de vítimas feridas nas estradas paulistas. No entanto, o número de mortos teve um acréscimo de 23,3% em comparação com o mesmo período do ano passado. No total, foram registrados 1.074 acidentes, que resultaram em 50 mortos e 601 feridos.

Em Minas Gerais, estado que possui a maior malha rodoviária federal do País, são 11.396 km, o balanço divulgado registrou somente nas estradas federais 14 mortes e 77 feridos em 138 acidentes. Nas estradas estaduais foram registradas seis mortes.

Um estudo do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (Ipea), com base em dados revisados recentemente pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), revelou que um caminhão se acidenta a cada cinco minutos nas estradas federais. Também foi feito um ranking de gravidade das rodovias, que apontou a Fernão Dias (que liga São Paulo a Belo Horizonte) como a pior estrada do País.

De acordo com o Ipea, a diminuição na quantidade de acidentes e o aumento do número de mortos indicam que a gravidade dos desastres nas estradas aumentou. E as más condições das rodovias brasileiras, somadas à imprudência dos motoristas, levam a outro recorde negativo: segundo o sistema de informações morbi-mortalidade do Ministério da Saúde, são registradas no País 35 mil mortes na área de transporte por ano. São quatro mortes por hora, ou seja, uma a cada 15 minutos.

Nas estatísticas federais de acidentes, são levadas em conta ainda os de transportes aéreo e hidroviário, mas o impacto de vítimas fatais nessas duas modalidades é, estatisticamente, bem menor na análise geral. No período de um ano somam aproximadamente 200 mortes. Segundo o jornal *O Estado de S. Paulo*, os acidentes com transporte são a segunda maior causa externa de morte no País. Perdem somente para as agressões físicas.



Acidente na Rodovia BR-116 Rio Teresópolis.



Acidente na Rodovia BR-116 Rio Teresópolis.

Fotos: Georgina Libório Azevedo

**Vítimas Fatais de acidentes de trânsito, segundo a fonte, por UF e Capital - Brasil  
2005 comparações com o Ministério da Saúde**

| <b>UNIDADE FEDERATIVA</b> | Mortos "In Loco" | Mortos Até 30 Dias | Ministério da Saúde (SIM) |
|---------------------------|------------------|--------------------|---------------------------|
| <b>BRASIL</b>             | <b>25.427</b>    |                    | <b>34.381</b>             |
| Acre                      | 96               |                    | 95                        |
| Amapá                     | 105              |                    | 98                        |
| Amazonas                  | 332              |                    | 391                       |
| Pará                      | 680              |                    | 951                       |
| Rondônia                  | 326              |                    | 329                       |
| Roraima                   | 112              |                    | 105                       |
| Tocantins                 | 169              |                    | 328                       |
|                           |                  |                    |                           |
| Alagoas                   | 258              |                    | 551                       |
| Bahia                     | 1.073            |                    | 1.721                     |
| Ceará                     | 1.481            |                    | 1.342                     |
| Maranhão                  |                  |                    | 918                       |
| Paraíba                   | 395              |                    | 647                       |
| Pernambuco                | 701              |                    | 1.394                     |
| Piauí                     | 400              |                    | 550                       |
| Rio Grande do Norte       | 435              |                    | 358                       |
| Sergipe                   | 50               |                    | 379                       |
|                           |                  |                    |                           |
| Espírito Santo            | 530              |                    | 869                       |
| Minas Gerais              | 1.248            |                    | 3.325                     |
| Rio de Janeiro            | 2.584            |                    | 2.181                     |
| São Paulo                 | 6.091            |                    | 7.265                     |
|                           |                  |                    |                           |
| Paraná                    | 1.631            |                    | 3.041                     |
| Rio Grande do Sul         | 1.153            |                    | 2.057                     |
| Santa Catarina            | 243              |                    | 1.921                     |
|                           |                  |                    |                           |
| Distrito Federal          | 442              |                    | 522                       |
| Goiás                     | 3.963            |                    | 1.500                     |
| Mato Grosso               | 508              |                    | 849                       |
| Mato Grosso do Sul        | 421              |                    | 694                       |

| <b>CAPITAIS</b> | Mortos "In Loco" | Mortos Até 30 Dias | Ministério da Saúde (SIM) |
|-----------------|------------------|--------------------|---------------------------|
| <b>CAPITAIS</b> | <b>5.128</b>     |                    | <b>6.302</b>              |
| Rio Branco      | 37               |                    | 61                        |
| Macapá          | 45               |                    | 73                        |
| Manaus          | 242              |                    | 279                       |
| Belém           | 116              |                    | 153                       |
| Porto Velho     | 90               |                    | 83                        |
| Boa Vista       | 90               |                    | 73                        |
| Palmas          | 22               |                    | 53                        |
|                 |                  |                    |                           |
| Maceió          | 36               |                    | 192                       |
| Salvador        | 212              |                    | 286                       |
| Fortaleza       | 344              |                    | 358                       |
| São Luís        | 93               |                    | 139                       |
| João Pessoa     | 90               |                    | 134                       |
| Recife          | 86               |                    | 226                       |
| Teresina        | 87               |                    | 167                       |
| Natal           | 54               |                    | 66                        |
| Aracaju         | 16               |                    | 93                        |
|                 |                  |                    |                           |
| Vitória         | 34               |                    | 60                        |
| Belo Horizonte  | 177              |                    | 379                       |
| Rio de Janeiro  | 818              |                    | 448                       |
| São Paulo       | 1.505            |                    | 1.534                     |
|                 |                  |                    |                           |
| Curitiba        | 91               |                    | 431                       |
| Porto Alegre    | 162              |                    | 221                       |
| Florianópolis   | 0                |                    | 93                        |
|                 |                  |                    |                           |
| Goiânia         | 519              |                    | 337                       |
| Cuiabá          | 81               |                    | 127                       |
| Campo Grande    | 81               |                    | 236                       |

\* Ver considerações sobre a Metodologia do SINET e do Sistema Sim na planilha documentação

\* Sujeito à alterações por parte do Ministério da Saúde

## AS CAUSAS

Segundo dados do Programa de Reeducação no Trânsito (PARE) do Governo Federal, as principais causas de acidentes nas estradas são trafegar em velocidade inadequada, digirir sob efeito de álcool e substâncias entorpecentes, inexperiência e falta de conhecimento, falta de atenção e falha de observação. Mas um dado que deve também constar dessa lista é a má conservação da via, abrangendo não só o pavimento, como também a sinalização. Sobre este ponto a ABPv vem promovendo ao longo de sua história esforços para que a boa técnica seja empregada na construção, conservação e manutenção das rodovias brasileiras. Todavia, se a rodovia se encontra em mau estado, os índices de acidentes são elevados, se a rodovia está em bom estado de conservação, a velocidade empregada pelos condutores resulta em acidentes fatais, incrementando as estatísticas.

No Rio de Janeiro, 41% dos acidentes são causados por excesso de velocidade. É o estado onde essas infrações são mais freqüentes, seguidos de São Paulo (28%) e pelo Distrito Federal (21%).

Os atropelamentos são responsáveis por 36% das mortes nas estradas brasileiras. O pedestre tem mais chance de sobreviver se o veículo estiver a 30km/h. Se o motorista estiver a 40km/h, a chance de óbito vai para 15%. A 60km/h, a chance de morte cresce assustadoramente, vai para 70%. E, caso o pedestre seja apanhado a 80km/h, provavelmente não terá qualquer chance de sobreviver.

Outro fator que concorre diretamente com o excesso de velocidade é dirigir sob efeito de álcool e substâncias entorpecentes. Metade das mortes no trânsito envolve motoristas embriagados. Mesmo em pequenas doses, o álcool prejudica a percepção de velocidade e distância, podendo causar dupla visão e incapacidade de coordenação. A pessoa alcoolizada tende também a fixar os olhos em movimento e não consegue observar tudo o que acontece no trânsito. Algumas drogas para tirar o sono podem fazer o condutor dormir de olhos abertos, dizem os especialistas.



Foto: Cezarina Libório Azevedo

## ALTO CUSTO PARA O PAÍS

O Brasil tem prejuízo anual de R\$ 22 bilhões com acidentes de trânsito. São custos com perdas em produção, custos médicos, previdência social, custos legais, perdas materiais, despesas com seguro e custos com emergências entre outros.

Cerca de 30 mil pessoas morrem por ano nas ruas e rodovias brasileiras e mais de 100 mil são internadas por lesões decorrentes de acidentes. Estudo da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP/USP), realizado pelas pesquisadoras Maria Helena de Mello Jorge, do Departamento de Epidemiologia da FSP, e Maria Sumie Koizumi, da Escola de Enfermagem da USP, revelou os altos custos dos acidentes para o setor. Eles representam cerca de 6% das internações do Sistema Único de Saúde (SUS) e custam 8% do total de gastos do sistema. O gasto por dia é 50% superior ao custo médio das demais internações, o que faz com que o SUS gaste mais com internações por trauma do que com doenças, embora o tempo de permanência no hospital seja, em média, menor.

Para as pesquisadoras, os acidentes de trânsito não são obras do acaso, suas causas são em menor ou maior grau previsíveis e passíveis de prevenção. Elas defendem que sejam seguidas as diretrizes da Política Nacional para a Redução da Morbi-mortalidade por Acidentes e Violências, do Ministério da Saúde, que institui diversos níveis de prevenção.

Na edição de abril de 2006 da Revista PAVIMENTAÇÃO, na reportagem Socorro às Rodovias, que abordava a Operação Tapa-Buraco do Governo Federal, o eng<sup>o</sup> Eduardo Alberto Ricci, Diretor-Presidente da ABPv, chamava a atenção para a questão dos prejuízos econômicos resultantes dos acidentes nas estradas. Segundo Ricci, é muito alto o número de acidentes que resultam em mortes no Brasil, e é preciso pensar no custo dessas vidas que são perdidas, ou seja, qual é o prejuízo para a nação das forças de trabalho que são desperdiçadas.

A dimensão que eleva os custos provocados pelos acidentes nas estradas é bem maior que um leigo possa imaginar. Nos estudos do Ipea sobre o tema são considerados, entre outros, os seguintes custos:

## **CUSTO DA PERDA DE PRODUÇÃO**

Corresponde às perdas econômicas sofridas pelas pessoas, pela interrupção temporária ou permanente de suas atividades produtivas, em decorrência de envolvimento em acidentes de trânsito.

## **CUSTO DOS DANOS AOS VEÍCULOS**

Custo de recuperação ou reposição dos veículos danificados em acidentes de trânsito.

## **CUSTO DE PROCESSOS JUDICIAIS**

Custo do funcionamento da estrutura judicial em função de acidentes de trânsito.

## **CUSTO DE CONGESTIONAMENTO**

Soma dos custos relativos ao tempo perdido pelos ocupantes de veículos retidos no tráfego e ao aumento do custo de operação destes veículos, em função de congestionamentos gerados por acidente de trânsito.

## **CUSTO PREVIDENCIÁRIO**

Custo que recai sobre a Previdência Social em função da impossibilidade de trabalhar de vítimas de acidentes de trânsito, temporária ou permanente, sendo sustentadas parcialmente pela Previdência. Esse custo inclui despesas com pensões e benefícios.

## **CUSTO DO RESGATE DE VÍTIMAS**

Custo do transporte das vítimas de acidentes de trânsito do local do acidente até o hospital ou pronto-socorro. Inclui o custo da utilização de equipamentos especiais e do deslocamento das equipes de resgate, com veículos e profissionais especializados (ambulâncias, médicos, paramédicos).

## **CUSTO DE REMOÇÃO DE VEÍCULOS**

Custo de utilização de guinchos ou outros meios para remover os veículos avariados do local do acidente até uma oficina, pátio ou delegacia. Inclui o aluguel do veículo e o tempo de serviço do técnico responsável.

## **CUSTO DOS DANOS AO MOBILIÁRIO URBANO E À PROPRIEDADE DE TERCEIROS**

Custo de reposição/recuperação de equipamentos urbanos e de propriedades de terceiros danificados ou destruídos em função de acidentes de trânsito. O mobiliário urbano compreende abrigos de ônibus, postes, orelhões, bancas de revistas, caixas de correio e gradis.

## **CUSTO DE OUTRO MEIO DE TRANSPORTE**

Soma das despesas do acidentado com passagens de ônibus, táxi e aluguel de veículo decorrentes de necessidade de locomoção no período posterior ao acidente em que o veículo ficar sem condições de uso.

## **CUSTO DOS DANOS À SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO**

Custo de reposição ou recuperação da sinalização danificada ou destruída em função de acidentes de trânsito. Consiste em elementos tais como postes de sustentação de sinalização, placas de sinalização, equipamento semafórico.

## **CUSTO DO ATENDIMENTO POLICIAL E DOS AGENTES DE TRÂNSITO**

Soma dos custos do tempo dos policiais e/ou agentes de trânsito e da utilização de veículos para atendimento no local do acidente, hospital ou delegacia.

## **IMPACTO FAMILIAR**

Custo que representa o impacto do acidente no círculo familiar das vítimas. É representado, principalmente, pelas despesas para readaptação da estrutura familiar (moradia, transporte) devido ao acidente.



## OPINIÃO

José Luiz Fuzaro Rodrigues

Eng° Civil especialista em segurança e sinalização viária; Coordenador da Comissão de Estudos de Segurança no Tráfego da ABNT.

Foto: Arquivo Pessoal

Para quem lida com os dados de acidentes no Brasil, fica claro o quanto nosso país precisa melhorar em relação à segurança das nossas vias.

Ao analisar os índices de acidentes e, principalmente, os índices de fatalidade dos acidentes, é possível constatar o atraso que nos encontramos, e o baixo investimento em segurança viária.

Enquanto em países com maior ênfase na segurança viária encontramos índices de fatalidades no trânsito da ordem de 4,6 mortos por 100.000 habitantes na Holanda, 4,9 mortos por 100.000 habitantes na Suécia, 5,5 mortos por 100.000 habitantes na Inglaterra, e 6,1 mortos por 100.000 habitantes na Dinamarca, no Brasil encontramos números da ordem de 18,5 mortos por 100.000 habitantes, demonstrando o grande caminho que temos e podemos percorrer.

Segundo recente pesquisa "Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras", publicada pelo C.A.B. e DENATRAN em dezembro de 2006 sobre o custo dos acidentes rodoviários no Brasil, nosso país gasta cerca de R\$ 22 bilhões ao ano com acidentes nas estradas. São cerca de 35.000 mortos por ano em nossas rodovias. O custo médio de uma vítima ferida é de R\$ 38.256, enquanto uma vítima fatal, por sua vez, representa um custo médio de R\$ 281.216. São valores altíssimos para a nossa sociedade.

As estatísticas brasileiras se mostram ainda limitadas e deficientes na sua abrangência, com dados pouco confiáveis em vários estados e na maioria das nossas cidades, sem haver um banco de dados que possa ser utilizado, sendo necessário ainda trabalhar com estimativas e amostragens.

Quando se utiliza ferramentas mais modernas de análise da segurança viária das rodovias brasileiras, como as técnicas de Auditoria de Segurança Viária, é possível identificar problemas recorrentes de segurança nas vias. Alguns desses problemas estão relacionados a falhas de manutenção e de operação das vias,

outros problemas são congênitos, oriundos de projetos mal concebidos e de etapas construtivas que não consideraram a segurança viária em sua totalidade. Estes problemas poderiam ser grandemente minimizados com a aplicação de procedimentos e técnicas mais modernas, incorporando as práticas de segurança correntes nos países mais desenvolvidos nesta área. É interessante notar que a adoção de projetos mais seguros e aplicação de conceitos de segurança mais modernos não implicam necessariamente maiores custos de implantação. Em muitos casos projetos mais seguros são mais econômicos.

Isto sem contar que o investimento em segurança viária traz alto retorno com a redução esperada deste número alarmante de gastos de R\$ 22 bilhões com os acidentes no Brasil.

O Brasil historicamente apresenta grande atraso na aplicação de técnicas e elementos de segurança viária, destoando dos esforços e avanços dos países mais desenvolvidos desta área. O conceito de uma rodovia que perdura, possui elementos geométricos seguros e com entorno que minimize as conseqüências de eventuais impactos, como as zonas livres de impacto, dispositivos de contenção viária corretamente projetados e implantados, e a utilização de dispositivos amortecedores de impacto.

Um enorme passo foi dado recentemente com a publicação por parte da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), através do seu Comitê Brasileiro de Transporte e Tráfego CB-16, da norma "NBR 15486 Segurança no Tráfego Dispositivos de Contenção Viária Diretrizes", que lança luz sobre como implantar os dispositivos de contenção viária, como tratar com segurança as laterais das vias e tira o atraso histórico neste setor.

Dispositivos de contenção bem projetados e corretamente instalados têm um papel fundamental em reduzir a severidade dos acidentes, a gravidade dos ferimentos e as fatalidades.

Precisamos ver em breve uma mudança na forma como são instaladas as proteções laterais das rodovias, aumentando a segurança nas áreas de risco, utilizando dispositivos que atenuem os impactos e auxiliando, assim, a reduzir esta tragédia que é ter um número tão elevado de fatalidades e de feridos nas rodovias brasileiras e também de reduzir o custo tão elevado que resulta para a nossa sociedade.

## CAMPANHA ALERTA MOTOCICLISTAS

Ação educativa da AutoBAn busca mudança de comportamento de motociclistas e de empresas de motofrete para reduzir número de acidentes nas rodovias

Cerca de 1,6 mil motociclistas e garupas que passaram pelo Sistema Anhangüera-Bandeirantes foram orientados e alertados sobre a importância do tráfego responsável nas rodovias na campanha de segurança "Motociclista consciente evita acidente". Realizada pela AutoBAn entre os dias 18 e 22 de junho, em quatro pontos simultâneos nas rodovias Anhangüera e Bandeirantes, a ação teve como objetivo conscientizar sobre a maneira segura de conduzir uma moto em rodovias para aumentar a segurança desses condutores e passageiros de motos e, assim, reduzir o crescente índice de acidentes envolvendo esse tipo de veículo.

Nos primeiros quatro meses deste ano, o tráfego de motos no Sistema Anhangüera-Bandeirantes cresceu em média 20% em relação ao mesmo período do ano passado. Nos primeiros cinco meses de 2007, 15 pessoas já morreram em decorrência de acidentes com motos nas rodovias Anhangüera e Bandeirantes. Em comparação com o mesmo período do ano passado, as mortes de condutores ou passageiros de motos cresceram 88%. As motos estão envolvidas em 20% do total de acidentes registrados pela AutoBAn.

A redução dos acidentes também passa pela conscientização daqueles que contratam serviços de

motofrete. Quem utiliza esse tipo de serviço deve agir com responsabilidade, contratando somente empresas compromissadas com a segurança de seus funcionários e programando com antecedência suas encomendas, para evitar que a pressão do curto prazo faça mais vítimas no trânsito. Já o motociclista e o garupa precisam ficar atentos às características e riscos do tráfego rodoviário, muito diferentes do tráfego urbano, alerta Odair Tafarelo, Gestor do Atendimento da AutoBAn.

Nos locais da campanha (km 26, 99 e 118 da Via Anhangüera e km 39 da Bandeirantes), os motociclistas receberam um folheto com dicas de segurança e, após assistir a um vídeo educativo sobre frenagem e pilotagem em condições adversas (chuva, neblina etc.) e imagens das infrações e imprudências mais frequentes, foram orientados sobre direção defensiva e como trafegar de forma segura nas rodovias.

Além disso, as motos dos participantes passaram por inspeção técnica gratuita feita por mecânicos das concessionárias Honda, além de receber brindes como roupas impermeáveis da marca Alba, alarmes da Positron e capacetes oferecidos pelas concessionárias Honda.

A campanha da AutoBAn teve a parceria da Polícia Militar Rodoviária e apoio da Abraciclo (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares), Fenabreve (Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores) e Assohonda (Associação Brasileira de Distribuidoras Honda).



Fotos: Autoban



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](mailto:redacao@revistapavimentacao.org.br) de acordo com as normas vigentes no sítio [www.revistapavimentacao.org.br](http://www.revistapavimentacao.org.br).

Os trabalhos são apresentados na íntegra sendo de responsabilidade do autor a revisão ortográfica.

# Processos para Reciclagem de Pneus Inservíveis

Jacqueline Aparecida Marques<sup>1</sup>  
Elaine Carvalho Da Paz<sup>2</sup>

## RESUMO

Este trabalho objetiva apresentar os diversos processos e aplicações existentes atualmente para reciclagem de pneus inservíveis, uma vez que este tipo de resíduo sólido, mesmo quando descartados em aterros sanitários, na prática é responsável pela ocorrência de problemas de ordem ambiental e sanitária.

Dentro os processos de recuperação e reciclagem de

pneus usados destacam-se os processos de pirólise e o asfalto-borracha, bem como sua utilização como combustível, que se mostram como alternativas adequadas de reciclagem de pneus inservíveis diminuindo assim o passivo ambiental existente.

**PALAVRAS-CHAVE:** reciclagem, pirólise, asfalto-borracha.

1 Departamento de Química, Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, Av. Carlos Cavalcanti, 4748, Uvaranas, CEP 84030-000, Ponta Grossa-Paraná, Brasil, e-mail [jmarques@uepg.br](mailto:jmarques@uepg.br)

2 Prefeitura Municipal de Ventania – PMV, Av. Anacleto Bueno de Camargo, 561, Centro, CEP 84345-000, Ventania-Paraná, Brasil, e-mail [epaz@bol.com.br](mailto:epaz@bol.com.br)

## 1. INTRODUÇÃO

O pneu, material capaz de permanecer 400 anos no ambiente sem se degradar, é composto basicamente por: estrutura em aço; lonas de náilon ou poliéster, ou fibra de aramid e/ou de vidro; borracha natural e sintética (SBR - copolímero de estireno e butadieno), incorporando nesta, centenas de tipos diferentes de polímeros; substâncias químicas de reforço (negro de fumo ou carbono preto, sílica e resinas); substâncias antidegradantes (ceras de parafina antioxidantes e inibidoras da ação do gás ozônio); agentes de cura (aceleradores de cura, ativadores, enxofre); óleos e

agentes promotores de adesão e flexibilidade (sais de cobalto, banhos metálicos nos arames e resinas) (YAMAGUCHI, 2000) (Figura 1).

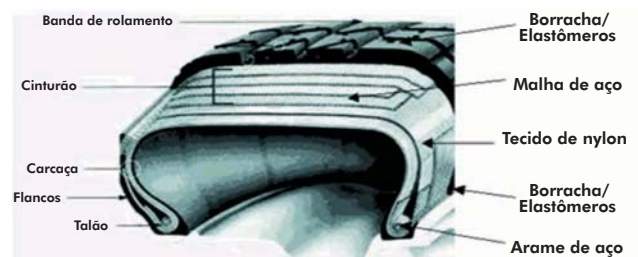


Figura 1 – Composição do pneu

Devido a esta composição um tanto complexa, suas propriedades físicas têm limitado seu uso em processos de reciclagem, contudo, suas propriedades químicas, que incluem a recuperação de energia, o torna atualmente um produto de interesse para usinas de reciclagem (HARVEY, 1992).

A reciclagem de pneus inservíveis a nível nacional foi estimulada a partir de 1999, em virtude da publicação da Resolução Nº 258, do Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama, de 26/08/1999, que estabeleceu prazos e quantidades para coleta e destinação finais ambientalmente adequadas para os pneus inservíveis, a cargo das indústrias de pneus e importadoras de pneus novos existentes no território nacional (CONAMA, 1999).

Existem hoje várias alternativas para a utilização de pneus inservíveis, desde a utilização de pneus como vasos até processos químicos que envolvem tecnologias de ponta para a eliminação de grandes quantidades de pneus usados (CAPONERO, 2002), a saber: como componente do asfalto, na forma de combustível em processos industriais, para extração de óleo, como matéria-prima na confecção de solados de sapatos, tapetes de decoração etc..

De acordo com a EPA (MORAES, 2005), são três as possibilidades de reciclagem dos pneus usados: aplicação física, extração de energia e aplicação química.

A aplicação física dos pneus inservíveis se processa quando esse resíduo não sofre alterações na sua composição através de processos químicos, sendo utilizado na forma original ou retalhado (ODA, 2002). Por exemplo, podem ser empregados como: barreiras contra colisões em pistas de corrida; marinas como anteparos para a atracação de barcos, recifes artificiais ou barreiras no mar; material de superfície em parques e playgrounds; muros de arrimo e taludes; canalização de águas pluviais; laminação; artefatos de borracha e cimento; material de pesca etc..

Como extração de energia, os pneus são utilizados como combustíveis em vários processos, devido a seu poder calorífico que é 33,60 MJ/kg, sendo este maior que do carvão mineral (25,20 - 29,40 MJ/kg). Este alto poder calorífico incentiva sua utilização como combustível em processos de incineração, economi-

zando recursos naturais como carvão e petróleo. O calor produzido pode ser utilizado nas indústrias de aço e de cimento (MORAES, 2005).

Por exemplo, a indústria de cimento é uma das indústrias de maior consumo de energia, na qual os fornos de clínquer requerem altas temperaturas (cerca de 1800°C) e a energia consumida está entre 800 e 1.200 unidades de calor por tonelada de clínquer, dependendo da tecnologia utilizada, onde a utilização de pneus como combustível torna-se atrativa (CAPONERO, 2002).

Na aplicação química, tem-se a utilização de pneus inservíveis como componente de asfalto e formador de produtos combustíveis através da pirólise e despolimerização (ZANZOTTO & SVEC, 1996).

A modificação ou melhoria dos ligantes asfálticos utilizados em pavimentação de estradas urbanas, montanhosas, em áreas com oscilação de temperatura, aeroportos, pontes, de tráfego de veículos pesados e próximas a hospitais (para minimização de ruído e vibrações), com adição de borracha de pneus, é considerada uma alternativa atraente para o melhoramento das propriedades dos materiais betuminosos, uma vez que o resultado final é um revestimento com características técnicas superiores às verificadas em misturas asfálticas convencionais (BERTOLLO, 1999).

A borracha constituinte do pneu possui excelentes propriedades físico-químicas para ser incorporada ao ligante convencional, trazendo uma série de melhorias que se refletem diretamente na durabilidade do pavimento (LEITE et al., 2000), a saber: a incorporação de agentes antioxidantes e inibidores da ação de raios ultravioleta que diminuem, sensivelmente, o envelhecimento do CAP, o aumento da resistência à ação química de óleos e combustíveis, a diminuição da suscetibilidade térmica e o aumento da deformação de tração admissível (melhorando o comportamento à fadiga).

## **2. RESÍDUOS DE PNEUS UTILIZADOS COMO COMBUSTÍVEL**

O alto valor calorífico de um pneu torna seu uso como combustível uma alternativa bastante atraente. Esta alternativa responde por 73% da disposição

de pneus inservíveis nos Estados Unidos e no Brasil a 57%. (CEMPRE, 2005)

As principais indústrias que utilizam a queima de pneus como combustível são: indústria de cimento, plantas de geração de energia, indústria de papel e celulose e caldeiras. Como fonte de energia o combustível derivado do pneu (CDP) tem um poder calorífico de 36.000 KJ/kg, superior ao do carvão (31.000 KJ/kg), da madeira (10.000 KJ/kg) ou do bagaço de cana (7.530 KJ/kg) (YAMAGUCHI, 2000).

### 3. O PROCESSO DE PIRÓLISE DE RESÍDUOS DE PNEUS

Na aplicação química, a destruição térmica ou pirólise de resíduos de pneus tem recebido grande atenção devido aos seguintes motivos: o processo pode ser auto-suficiente, pois o processo emprega parte dos gases e líquidos produzidos como combustível; baixo investimento, pois o processo emprega baixas temperaturas, opera sem ar e não produz grandes quantidades de gases combustíveis que requerem complicados processos de purificação; o líquido e o sólido produzidos são facilmente transportáveis ou estocáveis, caso o seu uso imediato não seja requerido.

A pirólise é um processo de quebra das ligações químicas das cadeias orgânicas pelo calor, sendo também conhecida como destilação destrutiva. Os produtos tipicamente obtidos são o carvão, o gás, o

óleo e o aço (CAPONERO & TENÓRIO, 2000).

Apesar de ser comum tratar a pirólise como queima de pneus, esta é uma maneira errônea de se conceituar tal processo. Na pirólise não há a combustão, ocorrendo uma destilação destrutiva, ou seja, este material é fracionado com a ação de baixa temperatura, e este fracionamento facilita a extração dos materiais que se deseja, diferentemente da queima, onde pela ação das altas temperaturas os elementos são total ou parcialmente destruídos (CAPONERO, 2002).

O processo pode ser efetuado de quatro formas (CAPONERO & TENÓRIO, 2000): inerte, na qual a atmosfera do reator é formada por gases que não participam das reações da pirólise; oxidante, onde o vapor ou oxigênio é injetado e a combustão de uma parte do material ocorre sob condições sub-estequiométricas; redutor, onde o hidrogênio é introduzido a fim de se obter uma atmosfera redutora e hidrogenar o material, produzindo gás sulfídrico e, conseqüentemente, diminuindo o teor de enxofre dos subprodutos obtidos; vácuo, que minimiza as reações secundárias como o rompimento das cadeias devido à temperatura alta, a re-polymerização e reações de condensação, colisão gasosa, reações de rompimento catalítico e redução e oxidação, resultando em maior produção de óleo com determinadas características.

A Tabela 1, a seguir, apresenta os produtos básicos obtidos através da pirólise de pneus inservíveis.

**Tabela 1 – Produtos Básicos da Pirólise**

| PRODUTO          | % OBTIDA  |
|------------------|-----------|
| Óleo da pirólise | 45 - 50 % |
| Negro de fumo    | 25 - 30 % |
| Resíduo de metal | 5 - 6 %   |
| Gases            | 15 - 25 % |

O óleo de pirólise pode ser utilizado como combustível, o carbono preto (negro de fumo) poder ser usado como lápis de carvão ou como combustível de caldeira. Pode também ser purificado e usado como filtro na indústria de borracha ou como absorvente na indústria química (CAPONERO & TENÓRIO, 2000). O gás fracionado produzido pela pirólise de resíduos de borracha é similar em qualidade aos gases naturais

(ANIP, 1997). Uma parte do gás pode ser usada na manutenção do processo de pirólise e uma parte é queimada em fornos de produção de aço.

O óleo de pirólise, gerado a baixa temperatura, é constituído de cerca de 20% em peso de óleo puro de pneu aromático, com poder calorífico superior de 10.262 kcal/kg.

A Tabela 2, a seguir, segundo Caponero (2002), apresenta a composição química típica do óleo puro de pneu.

**Tabela 2 – Composição química do óleo puro de pneu**

| COMPOSIÇÃO QUÍMICA | % EM PROPORÇÃO |
|--------------------|----------------|
| Carbono Hidrogênio | 82,73          |
| Hidrogênio         | 10,84          |
| Enxofre            | 1,70           |
| Nitrogênio         | 0,40           |
| Oxigênio           | 4,33           |

A Tabela 3, a seguir, segundo Caponero (2002), apresenta o rendimento típico de produtos obtidos a partir da destilação fracionada do óleo puro de pneu.

**Tabela 3 – Rendimento de produtos do óleo puro de pneu após destilação fracionada**

| PRODUTO                            | % RENDIMENTO EM VOLUME |
|------------------------------------|------------------------|
| Nafta                              | 38                     |
| Querosene                          | 17                     |
| Óleo diesel                        | 19                     |
| Carga para craqueamento catalítico | 29                     |

O gás produzido no processo de pirólise de pneus é utilizado como combustível. No Paraná, esta técnica já é empregada e, atualmente, o gás combustível é consumido integralmente pela Indústria Cerâmica do Paraná- INCEPA e o gás liquefeito de petróleo é engarrafado e distribuído pelas revendedoras regiona-

is de gás de cozinha.

A Tabela 4, a seguir, segundo Caponero (2002), apresenta a composição química típica do gás combustível obtido a partir da pirólise de pneus inservíveis.

**Tabela 4 – Composição química do gás combustível de pneu**

| COMPOSIÇÃO QUÍMICA    | % MOLAR |
|-----------------------|---------|
| Hidrocarbonetos       | 69,20   |
| Dióxido de Carbono    | 22,46   |
| Monóxido de Carbono   | 6,90    |
| Sulfeto de Hidrogênio | 1,44    |

### 3.1. O PROCESSO DE DESPOLIMERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PNEUS

Outra forma de aplicação química é a despolimerização, processo patenteado pela Compiengne University of Tecnology - UTC e desenvolvido pelo Institut Francais du Pétrole - IFP, em associação com a Michelin.

O princípio constitui-se na despolimerização da borracha em contato com o mineral xisto a uma

temperatura de 400°C. No final de 8 horas do ciclo, um hidrocarboneto é obtido, similar ao óleo extraído do xisto (CAPONERO, 2002; ODA, 2002).

A Petrobrás, em São Miguel do Sul, em conjunto com a Associação Brasileira de Importadores de Pneus (ABIP), vem utilizando este processo, no qual se estima o processamento de aproximadamente cerca de 140 mil ton/de pneus/ano de pneus inservíveis (ANIP, 2005).

#### 4. APLICAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS EM MISTURAS ASFÁLTICAS

A incorporação de borracha de pneus inservíveis em revestimentos asfálticos de pavimentos rodoviários e urbanos tem sido empregada há algumas décadas em países como Canadá, Portugal, Austrália e principalmente nos Estados Unidos da América (SALINI, 2000).

Historicamente, o asfalto borracha surgiu na década de 40, quando a Companhia de Reciclagem de Borracha, U.S. Rubber Reclaiming Company, introduziu no mercado um produto composto de material asfáltico e borracha desvulcanizada reciclada denominada Ramflex (HARVEY, 1992).

No ano de 1963, o norte-americano Charles H. MacDonald desenvolveu um material altamente elástico para ser utilizado na manutenção de pavimentos asfálticos (ADOT, 1996). O produto era composto de ligante asfáltico e 25% de borracha moída de pneu (de 0,6 a 1,2 mm), misturados a 190°C durante vinte minutos, para ser utilizado em remendos, conhecidos como "band-aid". Sua patente somente foi registrada depois de 10 anos de experiências, estudos e análises experimentais da utilização de borracha oriunda da moagem de pneus em revestimento asfálticos de rodovias.

Esta mistura, além de promover a eliminação limpa e segura de pneus inutilizáveis, apresentou sensíveis melhoras nas características do asfalto e da pavimentação. Desde então, as misturas borracha de pneus/asfalto evoluíram, e o produto atualmente comercializável é denominado de asfalto-borracha (AR).

O asfalto-borracha (AR) é uma mistura composta em média por 70% de revestimento asfáltico derivado de petróleo e 30% de elastômero, sendo destes 20% de pó de pneu inservível (borracha moída de pneus-BMP), bem como diluentes e alguns aditivos especiais (TAKALLOU et al., 1986 apud RPA, 2005; ASTM, 1997; DNER, 1998; DNER/PR, 2005). Além de ser uma forma nobre de dar destino aos pneus inservíveis, resolvendo um grande problema ecológico. O uso de borracha moída de pneus no asfalto melhora em muito as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico, por exemplo, o asfalto-borracha aumenta em 43% a durabilidade da superfície da pista, melhorando

significativamente a aderência e diminuindo a ocorrência de acidentes ocasionados por derrapagens e aquaplanagem (FHWA, 1995; MORILHA et al., 2002).

Este novo tipo de revestimento asfáltico torna-se uma a solução promissora para os 30 milhões de pneus descartados por ano no Brasil. Esta mistura é efetuada a quente, sob condições controladas, e o produto final obtido, o asfalto-borracha, apresenta algumas vantagens com relação ao asfalto convencional, sendo as principais delas (MORILHA et al., 2002; MORILHA & TRICHÊS, 2003): a maior resistência ao envelhecimento (melhor durabilidade), melhor comportamento em altas e baixas temperaturas e maior flexibilidade, alta coesividade e excelente relação custo/benefício, maior resistência à fadiga e trincas, menor custo de manutenção em função da maior durabilidade, aumento na segurança proporcionada pelo maior atrito entre os pneus dos veículos e o pavimento e pelo contraste em cor, pois o negro de fumo na borracha funciona como pigmento, que mantém a cor negra do pavimento por mais tempo (RUWER et al., 2001) (Figura 2).



FIGURA 2 – Trecho da BR-116 revestido com asfalto-borracha

Do ponto de vista ambiental, o asfalto borracha oferece uma vantagem a mais, pois há uma redução do ruído provocado pelo tráfego, em virtude do maior atrito pneu/pavimento, que varia entre 40% a 80%. O nível de ruído também se mantém baixo por períodos maiores do que a do asfalto convencional quando comparado com um pavimento não asfaltado (RPA, 2005).

Nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul está sendo adotado o asfalto-borracha nos trechos rodoviários cobertos pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná (DER/PR) e pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER), órgãos oficiais responsáveis pela manutenção das rodovias controladas na esfera estadual.

Em São Paulo e no Rio de Janeiro o asfalto borracha está sendo aplicado também em recuperação de vias urbanas, onde a relação custo-benefício supera em 30% a utilização de materiais convencionais (Figuras 3 e 4).



FIGURA 3 – Trecho de via urbana em São Paulo, recuperado com asfalto-borracha



FIGURA 4 – Trecho da BR-040, no Rio de Janeiro, recuperado com asfalto-borracha

Duas são as maneiras mais empregadas de adição da borracha de pneus às misturas asfálticas (LEITE, 1999), a saber:

Via seca - a borracha é introduzida diretamente no misturador da usina de asfalto. Neste caso a borracha entra como um agregado na mistura e a transferência de propriedades importantes da borracha ao ligante é prejudicada, embora seja

possível agregar melhorias à mistura asfáltica, desde que na sua fabricação seja possível obter uma mistura homogênea;

Via úmida - a borracha é previamente misturada ao ligante, modificando-o permanentemente, assim ocorre a transferência mais efetiva das características de elasticidade e resistência ao envelhecimento para o ligante asfáltico original.

A borracha utilizada no ligante asfalto-borracha pode ser proveniente de pneus de veículos leves ou pesados, podendo ser utilizada uma mistura de ambos (SEVERO et al., 2002).

Os pneus de veículos leves apresentam uma maior quantidade de borracha sintética, que proporciona a estabilidade térmica, enquanto os pneus de veículos pesados apresentam uma quantidade maior de borracha natural, que fornece as propriedades elásticas ao ligante (RUTH et al., 1997 apud ODA, 2002).

A composição química da borracha depende do processo de produção e influencia a elasticidade do asfalto-borracha e a estabilidade do produto (ASTM, 1997), por exemplo, o tipo de borracha, influencia a viscosidade e a ductilidade do ligante asfalto-borracha.

Em relação à sua aplicação, o asfalto-borracha pode ser aplicado por equipamentos convencionais de pavimentação (Figura 5), sendo recomendado para revestimentos que requeiram do ligante asfáltico um desempenho superior, alta elasticidade e resistência ao envelhecimento, tais como revestimentos drenantes, SMA (Stone Mastic Asphalt), camadas intermediárias de absorção de tensões, camadas anti-reflexão de trincas e outras.



Figura 5 – Exemplificação de aplicação de asfalto borracha

## 5. CONCLUSÃO

O descarte de carcaças de pneus constitui-se em um problema mundial, que se não for tratado de maneira correta, com certeza será responsável por enormes danos ambientais, alguns de difícil reparação.

A utilização de pneus inservíveis em processos de reciclagem e/ou reutilização tem as seguintes vantagens do ponto de vista ambiental: inibição dos focos de criação de insetos prejudiciais à saúde; redução da poluição visual causada pelo descarte de pneus em locais impróprios; diminuição do assoreamento de rios, lagos e baías, causados em parte pelo indevido descarte de pneus; diminuição do número de pneus

inservíveis em depósitos, com a conseqüente redução do risco de incêndios incontroláveis e a não deposição de pneus sob qualquer formato em aterros sanitários; conservação de outras fontes de energia.

A utilização de pneus inservíveis na fabricação de asfaltos modificados, em comparação aos outros processos de reciclagem, é ainda bastante modesta. Apesar de ainda pouco utilizado, talvez devido até mesmo ao desconhecimento, seu emprego vem crescendo em escala mundial e nacional, onde em curto prazo tende a se tornar o processo de reciclagem deste resíduo de maior interesse tanto comercial como ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS - ANIP. Reciclagem: destinação de pneus inservíveis. Disponível em <<http://www.anip.com.br>>. Acessado em 15/12/2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. D 6114-97: Standard specifications for asphalt-rubber binder. In: ASTM Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, v 4.03, p. 659-661, 1997a.

ARIZONA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION - ADOT. Standard Specifications for Road and Bridge Construction. Section 413 and 1009, 1996.

BERTOLLO, S.A.M; JÚNIOR, J.K.F; VILLAYERDE, R.B; FILHO, D.M. Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados. Revista Limpeza Pública, n. 54. Associação Brasileira de Limpeza Pública - ABPL, 2000.

CAPONERO, J.; TENÓRIO, J.A.S. Estudo da Cinética das Reações de Pirólise de Pneu Utilizando DTA e TGA. In: 55º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro, 2000.

CAPONERO, J. Reciclagem de Pneus. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo - USP, 2002.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. Pneus: o mercado para reciclagem. Disponível em <<http://www.cempre.org.br>>. Acessado em 15/12/2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução CONAMA Nº 258/99, de 26/08/1999. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acessado em 15/12/2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DER. Pesquisa de asfaltos modificados por polímeros. DNER/ME, Rio de Janeiro, tomos I, II e III, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ - DER/PR. ES-P28-05, Pavimentação: Concreto Asfáltico Usinado à Quente com Asfalto-Borracha, 2005.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA. Crumb Rubber Modifiers (CRM) in asphalt pavements - Summary of practices in Arizona, California and Florida, September, 1995. Disponível em <<http://www.fhwa.dot.gov/>>. Acessado em 15/12/2005.

HARVEY, J. T. Mix design and compaction procedures for hot-mix asphalt concrete and rubber-modified concrete mixtures. Dissertation (Doctor of Philosophy), University of California at Berkeley, 1992.

LEITE, L. F. M.; MOTTA, L. M. G.; BERNUCCI, L. B.; SOARES, J. B. Mechanical behavior of asphalt rubber mixes prepared in laboratory. In: Asphalt Rubber 2000, Vilamoura-Portugal, p. 309-318, 2000.

MORAES, C.M.P. Reciclagem de pneus, viabilidade de aplicação de alternativas para utilização de pneus usados em grande escala. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Saúde Pública da USP, 2005.

MORILHA JR, A.; DANTAS, G. A; VASCONCELLOS, R. Aplicações práticas de ligante asfáltico modificado por borracha de pneus de alta viscosidade. 11ª Reunião de Pavimentação Urbana, ABPv. Porto Alegre/RS, 2002.

MORILHA JR, A.; TRICHÊS, G. Análise comparativa de envelhecimento em laboratório de nove ligantes asfálticos. 34ª Reunião Anual de Pavimentação, APBv, Campinas/SP, 2003.

ODA, S. Reutilização de pneus como alternativa para aumento de vida útil de aterros. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, 2002.

RUBBER PAVEMENTS ASSOCIATIONS - RPA. Life Cycle Cost Analysis: Conventional Versus Asphalt-Rubber Pavements, By Maghsoud Tahmoressi, P.E.

PaveTex Engineering and Testing, Inc. January, 2001; Life Cycle Cost Analysis of Asphalt-Rubber Paving Materials By R. Gary Hicks, PE and Jon A Epps, PE; Noise Reduction with Asphalt-Rubber. Disponível em <<http://www.rubberpavements.org/library/>>. Acessado em 15/12/2005.

RUBBER PAVEMENTS ASSOCIATIONS - RPA. Crumb Rubber Modifiers in Asphalt Pavements, by Takallou et al. 1986. Disponível em <<http://www.rubberpavements.org/library/>>. Acessado em 15/12/2005.

RUWER, P., MARCON, G., MORILHA JR., A, CERATTI, J.A. Aplicação de concreto asfáltico com borracha no trecho Guaíba-Camaquã da rodovia BR 116. 33ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Florianópolis/SC, 2001.

SALINI, R.B. Utilização de borracha reciclada de pneus em misturas asfálticas. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

SEVERO, L.E.P.; RUWER, P.; MORILHA JR, A, ET AL. Avaliação da aplicação de concreto asfáltico com ligante modificado por borracha de pneu. 11ª Reunião de Pavimentação Urbana, ABPv, Porto Alegre/RS, 2002.

ZANZOTTO, L.; SVEC, O. Utilization of recycled tire rubber in asphalt pavement. In: Transportation Association of Canada, Ottawa, 1996.

YAMAGUCHI, E. Waste Tire Recycling. Dissertation (Master of Engineering), University of Illinois at Urbana-Champaign, 2000.

# Contribuição para Estudo do Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Executadas no Estado de Santa Catarina

**Antonio Carlos Rodrigues Guimarães, M.Sc.**  
Doutorando COPPE/UFRJ

**Laura Maria Goretti da Motta, D.Sc.**  
Prof<sup>ª</sup> COPPE/UFRJ

**Álvaro Vieira, M.Sc.**  
Prof<sup>º</sup> Instituto Militar de Engenharia

## RESUMO

O presente trabalho destina-se a apresentar parâmetros técnicos relacionados ao comportamento mecânico de misturas asfálticas utilizadas em algumas obras e projetos de pavimentação no estado de Santa Catarina, no período de 2002 a 2005, obtidos através dos ensaios fundamentais da mecânica dos pavimentos.

Constituem objeto de análise as obras de pavimentação da BR-282/SC, no trecho entre Lages/SC e São José do Cerrito/SC, a duplicação, ou alargamento, do acesso a Chapecó/SC e a recuperação dos berços de atracação do porto de São Francisco do Sul. O trabalho apresenta algumas características técnicas das obras, tais como perfis do pavimento e estabelece comentários a respeito da seqüência construtiva das camadas do pavimento.

Ao todo foi possível selecionar sete amostras de misturas asfálticas distintas, sendo apresentados os respectivos tipos de Cap, teor de ligante e faixa

granulométrica dos agregados, entre outras características. São apresentados resultados de ensaios de resistência à tração indireta (RT), módulo resiliente (MR) e vida de fadiga por compressão diametral, sendo os valores obtidos comparados com valores disponíveis na literatura, a fim de se verificar a qualidade da misturas asfálticas analisadas.

A título complementar são apresentados dados de levantamentos deflectométricos realizados com a viga Benkelman de alguns dos trechos cujas misturas asfálticas foram analisadas, sendo que no caso específico da construção do trecho da BR-282/SC, entre Lages e São José do Cerrito, faz-se uma comparação entre os dados deflectométricos de campo e aqueles obtidos através de simulação numérica com o programa Fepavell.

Apresenta-se, também, uma tabela com o resumo das características físicas e resistência mecânica obtidos para as misturas analisadas.

## 1. INTRODUÇÃO

A aplicação prática dos fundamentos conceituais inerentes a Mecânica dos Pavimentos, seja em projeto

ou em execução de obras de pavimentação, torna-se muito mais consistente quando são realizados ensaios de laboratório para a quantificação das propriedades dos materiais empregados.

Para a avaliação de misturas asfálticas têm-se os ensaios de tração indireta (ensaio Brasileiro), ensaio de Módulo Resiliente e ensaio de Fadiga por Compressão Diametral, todos amplamente divulgados na literatura especializada nacional, tal com em Medina e Motta (2005), Pinto e Motta (1995), Motta (1991) e Pinto (1991).

Porém, a viabilidade técnica-econômica para a incorporação definitiva desses ensaios na prática é função direta do conhecimento técnico adquirido pelos projetistas, consultores, fiscais ou executores das obras e da proximidade entre o local da obra e os principais centros de pesquisas ou laboratórios especializados do Brasil, além, obviamente, do interesse dos envolvidos.

Tais fatos ainda constituem uma barreira a ser superada para a ampla utilização dos princípios da Mecânica dos Pavimentos no país, e os autores do presente trabalho consideram que os custos envolvidos na construção de obras rodoviárias são suficientemente elevados para que se justifique a realização de ensaios de cargas repetidas.

Assim, entende-se que publicações técnicas referentes à análise do comportamento mecânico de materiais de pavimentação efetivamente empregados em obras rodoviárias podem vir a contribuir para a superação de barreiras, e para uma melhor compreensão do comportamento tensão versus deformação de pavimentos, além da divulgação do conhecimento científico.

O texto constitui um breve resumo de um árduo trabalho de campo e laboratório desenvolvido ao longo de mais de quatro anos no estado de Santa Catarina e gerou como principais contribuições os seguintes itens:

- Garantia da qualidade dos serviços executados,
- Modernização das técnicas de projeto e controle da execução de pavimentos asfálticos,
- Caracterização resiliente dos materiais de pavimentação utilizados,
- Montagem de um banco de dados para desenvolvimento de projeto futuros.

O estudo em questão foi possível devido à união de esforços e meios entre o 10º Batalhão de Engenharia de Construção, sediado em Lages/SC e responsável pela execução das obras, e o Instituto Militar de Engenharia, no Rio de Janeiro, no qual os ensaios de cargas repetidas citados foram conduzidos.

## 2. SEGMENTOS SELECIONADOS

Entre os anos de 2002 e 2006 o primeiro autor do presente trabalho teve a oportunidade, na condição de membro do quadro técnico do 10º Batalhão de Engenharia de Construção, de participar de algumas obras de pavimentação asfáltica no estado de Santa Catarina, procurando estabelecer uma análise mecanística-empírica do comportamento estrutural desses pavimentos, tal como indicado por Medina e Motta (2005).

As seguintes obras foram executadas: pavimentação asfáltica do trecho da BR-282/SC entre Lages e São José do Cerrito, duplicação do acesso a BR-282/SC em Chapecó e recuperação da infraestrutura dos berços de atracação do porto de São Francisco do Sul.

Na figura 1 encontram-se ilustrados os locais onde foram retirados os corpos-de-prova analisados ou onde se localizam as obras realizadas, sendo que mais informações são mostradas na tabela 1.



Figura : Localização das Obras Avaliadas. Fonte: Mapa Rodoviário de SC, DNIT (2002).

### 3. MISTURAS ASFÁLTICAS ANALISADAS

Na tabela 1 encontram-se numeradas e listadas as misturas asfálticas estudadas, associadas aos locais e categoria das obras. As misturas 1, 2 e 3 correspon-

dem a novos projetos de misturas asfálticas elaborados, tendo sido realizados ensaios de fadiga por compressão diametral, enquanto que as mistura 4, 5 e 6 correspondem a misturas executadas anteriormente e em plena operação.

**Tabela: Relação das Misturas Asfálticas Analisadas.**

| MISTURA | OBRA RELACIONADA                                     | LOCAL (SC)           |
|---------|--|----------------------|
| 1, 2    | Construção da BR-282/SC: Lages - São José do Cerrito | São José do Cerrito  |
| 3       | Duplicação do Acesso a Chapecó                       | Chapecó - Projeto    |
| 4, 5    | Duplicação do Acesso a Chapecó                       | Chapecó - Pista      |
| 6, 7    | Recuperação dos Berços de Atracação                  | São Francisco do Sul |

### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Na seqüência do presente estudo serão apresentados os resultados de ensaios de laboratório e de campo obtidos para as diversas misturas asfálticas analisadas, e agrupados de acordo com a obra ou projeto que lhe está associado. O preparo dos corpos-de-prova bem como demais procedimentos inerentes às práticas de pavimentação seguiram as orientações previstas no Manual de Pavimentação do DNER de 1997.

#### 4.1. MISTURAS 1 E 2: PAVIMENTAÇÃO DA RODOVIA BR-282/SC - LAGES A SÃO JOSÉ DO CERRITO

O subtrecho da rodovia BR-282/SC entre as cidades de Lages e São José do Cerrito totaliza 16,84 quilômetros de extensão, e foi planejado para a execução em duas etapas. A primeira corresponde à

execução de base de Brita Graduada Simples, sub-base de Macadame Seco e uma camada de revestimento asfáltico do tipo CBUQ, faixa C do DNIT, com espessura de 5,0 centímetros. A segunda camada corresponde à execução de uma cada porosa de atrito sobre as demais.

Durante a fase de projeto do revestimento asfáltico duas misturas de distintos teores de Cap-20 foram analisadas. A mistura 1 possui teor de Cap-20 de 7% e a mistura 2 teor de 6,3%, que corresponde a uma taxa de ligante efetivamente utilizada. Corpos-de-prova foram moldados no laboratório do 10º BECnst e enviados para análise no Instituto Militar de Engenharia. A vida de fadiga das misturas analisadas está representada nas equações 1 e 2, e na tabela 2.

$$\blacktriangleright N_1 = 14.850.(\Delta\sigma)^{-1,64} \quad MR_{rev\ 1} = 4.355 \text{ MPa} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\blacktriangleright N_2 = 22.268 (\Delta\sigma)^{-4,32} \quad MR_{rev\ 2} = 5.495 \text{ MPa} \quad (\text{Equação 2})$$

**Tabela 2: Dados da Vida de Fadiga das Misturas Analisadas.**

| MISTURA | RT   | MR    | $N = K_1.(1/\Delta\sigma)^{n_1}$ |       |
|---------|------|-------|----------------------------------|-------|
|         | 25°C | 25°C  | $K_1$                            | $n_1$ |
| 1       | 1,43 | 4.355 | 14.850                           | 1,64  |
| 2       | 1,15 | 5.495 | 22.268                           | 4,32  |

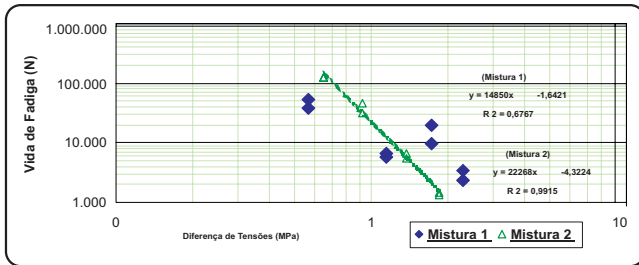


Figura 2: Vida de Fadiga Função da Diferença de Tensões de CBUQ Faixa "C".

Os valores de  $K_i$  e  $n_i$  obtidos para ambas as misturas asfálticas analisadas são compatíveis com aqueles apresentados por Motta e Pinto (1995) para misturas asfálticas semelhantes, indicando tratar-se de material de boa qualidade.

Na figura 3 são ilustrados os perfis do pavimento relativos às fases executivas 1 e 2 respectivamente, sendo que até o momento presente toda a extensão do trecho já passou pela 1ª fase executiva.

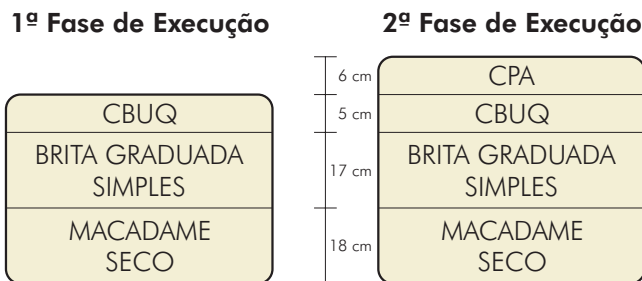


Figura 3: Perfil do Pavimento da BR-282/SC Trecho entre Lages e São José do Cerrito.

Uma simulação prévia do comportamento estrutural do pavimento correspondente a 1ª Fase de execução, utilizando-se o programa Fepavell, indicou uma deflexão total do pavimento de  $37 \times 10^{-2}$  mm, tendo sido realizados levantamentos deflectométricos subseqüentes com a viga Benkelman para a verificação desse valor.

Na primeira fase executiva da obra foram realizados dois levantamentos deflectométricos, sendo o primeiro imediatamente após a execução da obra e o segundo após alguns meses de operação. Os valores correspondentes ao primeiro levantamento são mostrados na figura 4, enquanto que os valores médios obtidos são os seguintes: 57,5; 45,9 e 58,6; para bordo esquerdo, eixo e bordo direito, respectivamente.

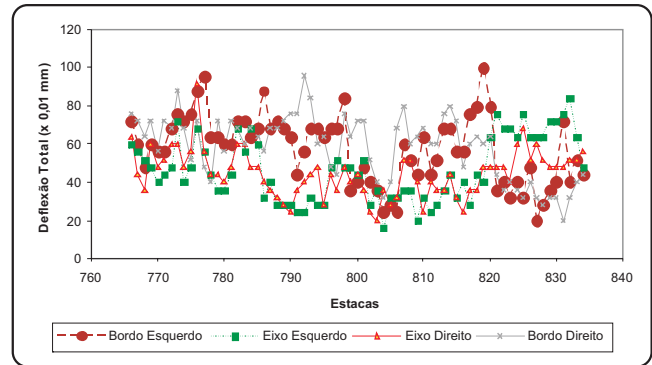


Figura 4: Levantamento Deflectométrico com a Viga Benkelman - Rodovia BR-282/SC, Lages a São José do Cerrito (Novembro de 2003).

No segundo levantamento deflectométrico realizado foram considerados um número maior de estacas, tal como ilustrado na figura 5. Os valores médios para bordo esquerdo, eixo e bordo direito foram, respectivamente: 38,7; 37,3 e 40,8.

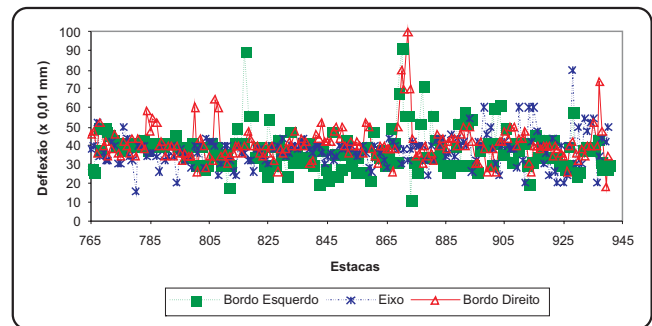


Figura 5: Levantamento Deflectométrico com a Viga Benkelman - Rodovia BR-282/SC, Lages a São José do Cerrito (Abril de 2004).

Foi possível observar uma significativa queda nos valores de deflexão total do pavimento, tal como observado na figura 6, assim como uma acurada relação entre a deflexão real e teórica ( $37 \times 10^{-2}$  mm), indicando tratar-se de um pavimento com boa qualidade. Demais considerações a respeito do pavimento global, incluindo a camada porosa de atrito (CPA) serão objetos de trabalhos futuros.

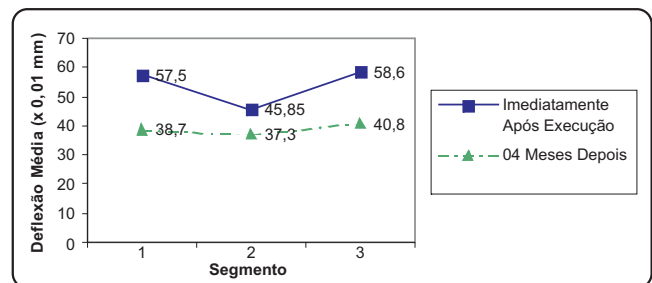


Figura 6: Deflexão Média por Segmento ao Longo do Tempo. Bordo Esquerdo (1), Eixo (2) e Bordo Direito (3). BR-282/SC - Lages a São José do Cerrito.

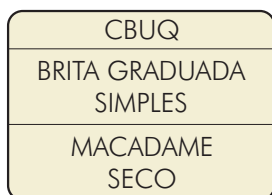
## 4.2. MISTURA 3: DUPLICAÇÃO DO ACESSO A CHAPECÓ - PROJETO

Essa obra consistiu, essencialmente, na execução de uma capa asfáltica sobre o acostamento existente (2,5 metros de largura) de maneira a ficar nivelada com a faixa de rolamento, conforme ilustrado na figura 7 juntamente com demais características geométricas do perfil do pavimento. Após a execução da massa asfáltica uma nova pintura de sinalização garantiria a existência de duas faixas de rolamento com 3,0 de largura cada. Posteriormente, a prefeitura municipal de Chapecó se encarregou de executar novos acostamentos, ou áreas de refúgios, nos locais onde houvesse espaço físico para tanto.

Embora a denominação oficial da obra seja de Execução de Melhorias no Acesso a BR-282 em Chapecó, consagrou-se, na prática, a nomenclatura de Duplicação do Acesso, tendo em vista que, de fato, uma outra faixa de rolamento seria efetivamente disponibilizada aos usuários. A extensão total do trecho é de 7,6 quilômetros.

Duas misturas asfálticas puderam ser analisadas por ocasião da execução dessa obra: a primeira se refere à nova mistura asfáltica utilizada no recapeamento do acostamento existente, e a segunda trata da mistura asfáltica pré-existente e em plena operação na via. No item 4.2 comenta-se o primeiro caso e o item 4.3 o segundo.

### 1ª Fase de Execução



### 2ª Fase de Execução

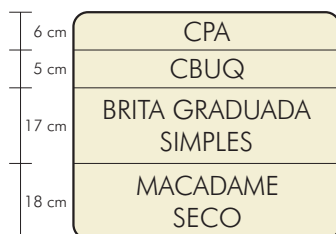


Figura 3: Perfil do Pavimento da BR-282/SC Trecho entre Lages e São José do Cerrito.

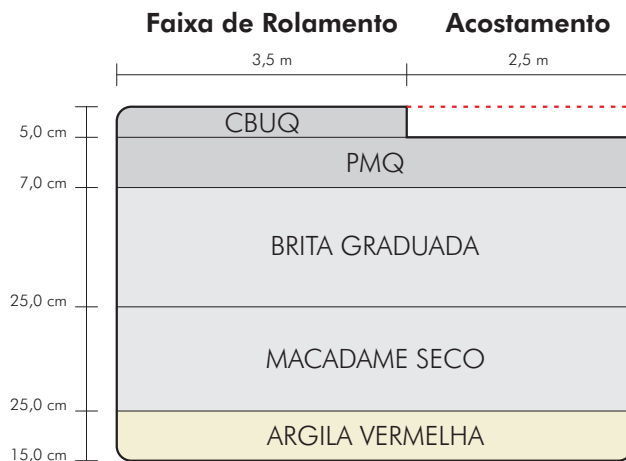


Figura 7: Perfil do Pavimento do Acesso a Chapecó/SC.

A partir da análise de corpos-de-prova moldados na usina de asfalto da empresa Planaterra, localizada no município vizinho de Guatambu, pôde-se ter uma idéia das características mecânicas da mistura de projeto. O enquadramento granulométrico dos agregados corresponde à faixa "C" do DER/SC. Na tabela 3 são apresentados os valores de Módulo Resiliente (MR) e Resistência a Tração Indireta (RT).

**Tabela : Ensaios Realizados com Cps Moldados na Usina de Asfalto da Empresa Planaterra Guatambu/SC.**

| ENSAIO | VALOR (MPa) | TEMPERATURA (C) |
|--------|-------------|-----------------|
| RT     | 1,59        | 25°             |
| MR     | 7.005       | 25°             |

Na figura 8 é mostrada a curva de fadiga obtida com os corpos-de-prova moldados na usina, sendo observado um excelente enquadramento dos dados da curva.

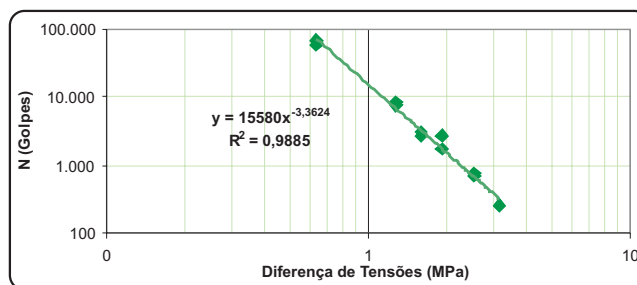


Figura 8: Vida de Fadiga da Mistura Asfáltica Utilizada na Duplicação do Acesso a Chapecó/SC.

No sentido de se ilustrar a comparação entre os valores obtidos e aqueles obtidos por Motta e Pinto (1995) foi montada a tabela 4, na qual se encontram resumidos os parâmetros de resistência e deformabilidade das misturas asfálticas submetidas a ensaios de fadiga.

Observa-se que os valores obtidos para Resistência a Tração e Módulo Resiliente das misturas 1, 2 e 3 pertencentes a esse trabalho são ligeiramente superiores àqueles disponíveis para comparação, fato que comprova a boa qualidade dos materiais analisados.

**Tabela 4: Comparativo Entre os Parâmetros de Deformabilidade de Misturas Asfálticas.**

| MISTURA | $K_1$  | $n_1$ | RT (MPa) | MR (MPa) | FONTE                |
|---------|--------|-------|----------|----------|----------------------|
| 1       | 14.850 | -1,64 | 1,43     | 4.355    | Presente Trabalho    |
| 2       | 22.268 | -4,32 | 1,15     | 5.495    | Presente Trabalho    |
| 3       | 15.580 | -3,37 | 1,59     | 7.005    | Presente Trabalho    |
| 1       | 2.200  | -2,89 | 0,56     | 3.700    | Motta e Pinto (1995) |
| 2       | 4.200  | -3,47 | 0,86     | 3.900    | Motta e Pinto (1995) |
| 15      | 1.400  | -2,61 | 0,83     | 3.600    | Motta e Pinto (1995) |

#### 4.3. MISTURAS 4 e 5: DUPLICAÇÃO DO ACESSO A CHAPECÓ - PISTA EXISTENTE

As misturas 4 e 5, cujos resultados encontram-se listados nas tabelas 5 e 6, correspondem a misturas asfálticas pré-existentes na faixa de rolamento em operação e acostamento, com idade superior a cinco anos, sendo a primeira de CBUQ da capa de rolamento e a segunda de PMQ, ou base quente, constituinte do acostamento.

A faixa de rolamento pré-existente apresentava uma taxa de trincamento inferior a 10% e foi submetida a um processo de restauração, a partir da remoção localizada da camada trincada e substituição por nova camada de CBUQ.

**Tabela 5: Ensaios Realizados com CP's Retirados da Faixa de Rolamento Pré-Existente (CBUQ).**

| ENSAIO | VALOR (MPa) | TEMPERATURA (C) |
|--------|-------------|-----------------|
| RT     | 1,07        | 25°             |
| MR     | 4.273       | 25°             |

**Tabela 5: Ensaios Realizados com CP's Retirados da Faixa de Rolamento Pré-Existente (CBUQ).**

| ENSAIO | VALOR (MPa) | TEMPERATURA (C) |
|--------|-------------|-----------------|
| RT     | 0,84        | 25°             |
| MR     | 3.722       | 25°             |

Os valores constantes das tabelas 5 e 6 são inferiores ao demais já apresentados no presente trabalho, embora não possam ser considerados como valores baixos.

#### 4.4. MISTURA 6: BERÇOS DE ATRACAÇÃO DO PORTO DE SÃO FRANCISCO DO SUL/SC

As obras de recuperação dos berços de atracação do porto de São Francisco do Sul, no litoral norte de Santa Catarina, envolveram a execução de estacas prancha, estacas raiz e blocos estruturais de concreto, sendo necessária uma intervenção no pavimento asfáltico existente para fins de nivelamento geométrico da camada. A partir da necessidade dessa intervenção fez-se uma análise do comportamento mecânico da mistura asfáltica existente.

Foram extraídos corpos-de-prova com sonda rotativa, sendo possível identificar dois tipos de revestimentos distintos: uma camada de capa asfáltica e outra de binder, ambas usinadas a quente, cujos valores de módulo resiliente e resistência à tração estão apresentados nas tabelas 7 e 8.

**Tabela 7: Valores de Resistência a Tração e Módulo Resiliente - Capa.**

| CAPA   |       |                 |
|--------|-------|-----------------|
| ENSAIO | VALOR | TEMPERATURA (C) |
| RT MPa | 1,8   | 25°             |
| MR MPa | 7.729 | 25°             |

**Tabela 8: Valores de Resistência a Tração e Módulo Resiliente - Binder.**

| BINDER |       |                 |
|--------|-------|-----------------|
| ENSAIO | VALOR | TEMPERATURA (C) |
| RT MPa | 1,18  | 25°             |
| MR MPa | 5.945 | 25°             |

Os valores de módulo resiliente das camadas podem ser considerados como compatíveis àqueles

verificados na literatura, se considerado que o pavimento já possuía idade de operação superior a 04 anos.

Simultaneamente à extração dos corpos-de-prova foram realizados levantamentos deflectométricos com a viga Benkelman, apresentados na figura 10, sendo que as deflexões obtidas são de fato muito baixas, com exceção das estacas 5 e 17, sendo no caso da estaca vinte e um (21) inferior a 10x10-2 mm, constituindo um forte indicativo de boa qualidade do pavimento.

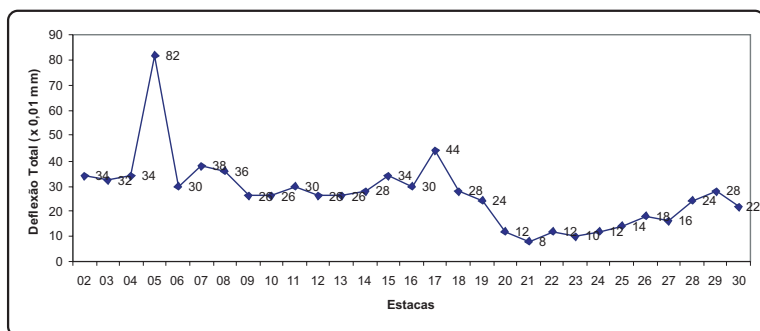


Figura 9: Levantamentos Deflectométricos com a Viga Benkelman no Eixo dos Berços de Atracação 102 e 103 - Porto de São Francisco do Sul/SC.

## 5. RESUMOS DOS RESULTADOS OBTIDOS

Observou-se que a apresentação de dados físicos e mecânicos relativos a misturas asfálticas em forma de tabelas mostrou-se particularmente útil para fins de aplicação prática, e em estudos comparativos. Com esse objetivo foi montada a tabela 9, que inclui um resumo da contribuição do presente trabalho.

**Tabela 9: Resumo das Características Mecânicas das Misturas Analisadas no Presente Trabalho.**

| MISTURA                              | 1               | 2               | 3                 | 4         | 5           | 6               | 7         |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------|-------------|-----------------|-----------|
| <b>Referência</b>                    | BR-282          | BR-282          | Acesso à          | Acesso à  | Acesso à    | Porto de        | Porto de  |
| <b>XX</b>                            | (S. J.          | (S. J.          | BR-282            | BR-282    | BR-282      | São             | São       |
| <b>XX</b>                            | Cerrito)        | Cerrito)        | (Chapecó)         | (Chapecó) | (Chapecó)   | Francisco       | Francisco |
| <b>Discriminação</b>                 | Pista           | Pista           | Pista             | Pista     | Acostamento | Capa            | Binder    |
| <b>Cap</b>                           | 20              | 20              | 20                | -         | -           | -               | -         |
| <b>Granulometria</b>                 | Faixa C<br>DNER | Faixa C<br>DNER | Faixa C<br>DER/SC | -         | -           | Faixa C<br>DNER | -         |
| <b>%Cap</b>                          | 7,0             | 6,3             | 5,58              | -         | -           | -               | -         |
| <b>RT (MPa)</b>                      | 1,43            | 1,15            | 1,59              | 1,07      | 0,84        | 1,8             | 1,18      |
| <b>MR (MPa)</b>                      | 4.355           | 5.495           | 7.005             | 4.273     | 3.722       | 7.729           | 5.945     |
| $N=K_1(\Delta\sigma)^{n_1}$<br>$K_1$ | 14.850          | 22.268          | 15.580            | -         | -           | -               | -         |
| <b>n<sub>1</sub></b>                 | -1,64           | -4,32           | -3,37             | -         | -           | -               | -         |

## 6. CONCLUSÃO

Foram apresentadas características mecânicas, obtidas através dos ensaios fundamentais da mecânica dos pavimentos, de algumas misturas asfálticas executadas no estado de Santa Catarina no período entre 2002 e 2005. Mostrou-se que as misturas asfálticas, seja retirada da pista ou moldadas em laboratório, apresentaram resultados compatíveis com aqueles disponíveis na literatura, indicando, tratar-se de misturas asfálticas de boa qualidade.

Mostrou-se, no caso da construção do trecho entre Lages e São José do Cerrito da BR-282/SC, que

ocorreu uma excelente correlação entre os levantamentos deflectométricos de campo e a deflexão total calculada a partir de simulação numérica.

## 7. AGRADECIMENTOS

A equipe de alunos de pós-graduação do IME, entre os anos de 2003 e 2005, que realizou os ensaios de cargas repetidas, e a equipe do laboratório Ricardo Franco, do 10º Batalhão de Engenharia de Construção, que realizou os levantamentos deflectométricos com a viga Benkelman.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

DNIT (2002) - Mapa Rodoviário de Santa Catarina.

DNER. Especificações gerais para obras rodoviárias do DNER. Volume III/IV Pavimentos Flexíveis, 1997.

MEDINA, J e MOTTA (2005). "Mecânica dos Pavimentos", 2ª Edição Revisada e Ampliada.

MOTTA, L. M. G da. (1991). "Método e Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis; Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas". Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Civil - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.

PLANATERRA (2004). Projeto de Mistura Asfáltica Tipo CBUQ

PINTO, S. (1991). "Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos". Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Civil - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.

PINTO, S e MOTTA, L. M. G da (1995). Catálogo de Curvas de Fadiga. Boletim Técnico nº 16 da ABPv.

## 9. RELATÓRIO FOTOGRÁFICO



Figura 10: Execução de Revestimento Asfáltico na BR-282 Trecho Lages a São José do Cerrito.



Figura 13: Abertura de Poço de Sondagem. Acesso a BR-282/SC em Chapecó/SC.



Figura 11: Execução de Revestimento Asfáltico na BR-282 Trecho Lages a São José do Cerrito.



Figura 14: Abertura de Poço de Sondagem. Acesso a BR-282/SC em Chapecó/SC.



Figura 12: Vista Geral da Rodovia BR-282/SC, Trecho Lages a São José do Cerrito.



Figura 15: Alargamento da Faixa de Rolamento. Obras de Melhorias no Acesso a BR-282/SC em Chapecó/SC.



Figura 16: Controle da Temperatura. Obras de Melhorias no Acesso a BR-282/SC em Chapecó/SC.



Figura 16: Melhorias no Acesso a BR-282/SC em Chapecó/SC.



Figura 17: Execução de Novo Revestimento Asfáltico. Obras de Melhorias no Acesso a BR-282/SC em Chapecó/SC.



Figura 20: Extração de Corpos-de-Prova da Pista. Obras de Melhorias no Acesso a BR-282/SC em Chapecó/SC.

# A Notificação da Resistência dos Pavimentos em Aeroportos

Um problema para a administração aeroportuária

**Marcello Roberto Rangel Pestana - INFRAERO**

**Silvio Rodrigues Filho**

ESA ENGENHARIA E SISTEMAS LTDA

esasistemas@alternex.com.br

www.esasistemas.com.br

## RESUMO

A DIRENG introduziu no Brasil em novembro de 1981 a notificação da resistência dos pavimentos de aeroportos baseado no sistema ACN/PCN decorrente de estudos desenvolvidos inicialmente pela ICAO em 5 de dezembro de 1974 e apresentados ao Brasil em 10 de julho de 1980. Nesses quase 27 anos de existência, diversas incursões em pista de pouso, pista de táxi e pátio de aeronaves foram desenvolvidas e valores de PCN foram arbitrados em função da tecnologia disponível. Hoje, com o avanço de novas tecnologias, inclusive decorrentes de estudos em escala 1:1 do National Airport Pavement Test Facility (NAPTF) localizado no FAA, William J. Hughes Technical Center, Atlantic City International Airport, New Jersey, USA, que introduziu alterações na AC 150/5320-6D, se busca, entre outras atividades, padronizar os procedimentos metodológicos na definição do PCN. Portanto, esse trabalho mostra essa evolução e o que vem ocorrendo com os pavimentos em face de diversidade de métodos disponíveis para obtenção da Carga Equivalente por Roda Simples, elemento fundamental na definição do ACN.

**PALAVRAS-CHAVE:** ACN, PCN, estágio evolutivo, Carga Equivalente por Roda Simples, fator alfa.

## ABSTRACT

In November of 1981, DIRENG introduced in Brazil the notification of the airport pavement load capacity based on the CAN/PCN system resulted by studies developed initially by ICAO on December 5, 1974 and presented to Brazil on July 10, 1980. Within almost 27 years of existence, several incursions in runway, taxiway and aprons were developed and the values of PCN were arbitrated based on the technology available. Today, with the progress of the new technologies, including current of studies in scale 1:1 of National Airport Pavement Test Facility (NAPTF) located in FAA, William J. Hughes Technical Center, Atlantic City International Airport, New Jersey, USA, that introduced alterations in AC 150/5320-6D, it seeks, among other activities, to standardize the methodological procedures in the PCN definition. Therefore, this paper shows that evolution and what is happening with the pavements considering the diversity of available methods to arbitrate the Equivalent Single Wheel Load fundamental element in the ACN definition.

**KEY WORDS:** ACN, PCN, evolutionary apprenticeship, Equivalent Single Wheel Load, alpha factor.

## INTRODUÇÃO

Nesses quase 27 anos de existência do sistema de notificação da resistência dos pavimentos, o sistema ACN/PCN (Aircraft Classification Number/ Pavement Classification Number) decorrente de estudos desenvolvidos inicialmente pela ICAO (International Civil Aviation Organization) em 5 de dezembro de 1974 e

apresentados ao Brasil em 10 de julho de 1980, diversas incursões em pista de pouso, pista de táxi e pátio de aeronaves foram desenvolvidas e valores de PCN foram arbitrados em função da tecnologia disponível no Brasil.

Em decorrência desses valores de PCN arbitrados, ora lançando mão do método da avaliação técnica ora do método que se utiliza da aeronave que

opera no local onde o pavimento está sendo avaliado, os pavimentos passaram a ter uma maior ou menor vida útil. Isso se justifica haja vista que o PCN é arbitrado em função da metodologia de projeto do pavimento em avaliação. O inverso da metodologia de projeto é a base de avaliação do PCN. O parâmetro PCN representa a relação entre a carga admissível e a aeronave que mais danos causam ao pavimento e à vida estrutural deste através do parâmetro ACN. Portanto o PCN expressa um valor que é resultado de uma avaliação da capacidade de suporte do pavimento para operações irrestritas de uma aeronave que tenha um ACN e pressão de pneu que não exceda os limites reportados pelo PCN.

O ACN por sua vez está ligado à definição do valor da Carga Equivalente por Roda Simples (ESWL). O ACN de uma aeronave é definido como sendo o dobro do valor da ESWL, para dadas condições de configuração de trem de pouso, a uma pressão de pneu de 1.25 MPa (181 psi).

Como o ACN está relacionado com a ESWL tende a ocorrer o super ou subdimensionamento desse parâmetro, haja vista a gama de procedimentos metodológicos empíricos, semi-empíricos ou mecânicos disponíveis no mercado. Portanto, dependendo do procedimento metodológico adotado na definição do ACN, há um reflexo imediato nas intervenções passíveis de ocorrerem na área de movimento de aeronaves (pista de pouso, pista de táxi e pátio) que tem ingerência direta na vida útil do pavimento. A figura 1 a seguir, apresenta uma curva de desempenho típica de um pavimento e os resultados decorrentes ao proceder ou não uma intervenção no momento adequado.

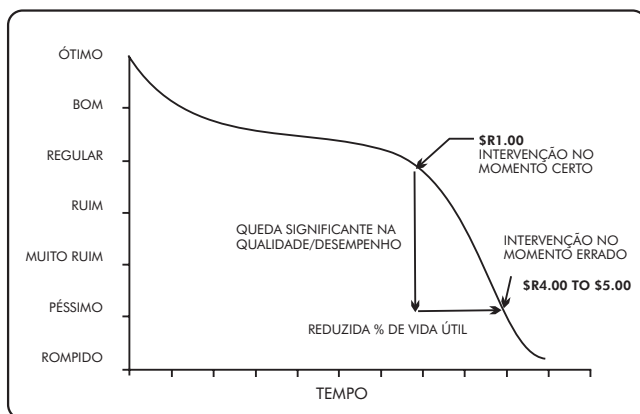


Figura 1 - Curva de desempenho com a influência do momento de intervenção (Adaptado da AC 150/53380-7A)

O que se pretende mostrar, então, é a evolução na determinação da ESWL e o que vem ocorrendo com o desempenho dos pavimentos em face de diversidade de métodos disponíveis para a avaliação desse elemento fundamental na definição do ACN.

## O PARÂMETRO ACN E SUA RELAÇÃO COM A ESWL

Com a evolução das aeronaves e o surgimento da geração de aeronaves de fuselagem larga tipo B777, B747 alongado e Airbus A380 se impôs a necessidade dos aeroportos se adaptarem tanto no que diz respeito ao traçado de projeto em termos de raio de giro, largura de pista, etc, quanto no que diz respeito a capacidade de suporte do pavimento.

O B777 previsto para iniciar suas operações em 1995, viria com um ACN muito maior do que aeronaves do tipo B747-400 cuja adaptação iria permitir sua operação, nos aeroportos internacionais, com restrição de PMD (Peso máximo de Decolagem).

Esse tipo de aeronave, mesmo com restrição de PMD, causaria danos aos pavimentos flexíveis, principalmente em se tratando de estruturas de pavimentos assente em CBR com baixa (código: C) ou CBR muito baixa (código: D) capacidade de suporte, considerando, especificamente o peso do fator alfa, usado como elemento de definição da repetição de cargas e número de coberturas para determinadas configurações de trem de pouso.

Em face desse problema que afetava a evolução das aeronaves, tendo como elemento balizador o B777, a ICAO resolve criar em 1992, um grupo internacional de estudos para analisar melhor o fator alfa, chegando a conclusão que o procedimento para definição do ACN deveria ser revisado completamente usando a teoria de multicamadas elásticas aliado a verificações e testes de campo.

O fator alfa para 10000 coberturas considerando trem tipo de 6 rodas, até então apresentava um efeito de dano de 0,788. Conforme PRESTON e MCBEE (1991), STET e BEUVING (1993) após diversos estudos a ICAO passa esta a recomendar um novo valor para o fator alfa de 0,72. Com essa redução no fator alfa em aproximadamente 8,6%, o ACN do B777 para subleito código D: CBR de 3% saiu de 131

para 106, representando uma queda de, aproximadamente 19%. Essa consideração foi aceita pela ICAO com um fator "in hold", ou seja, passível de utilização, porém, passível de modificação.

Problemas também foram apontados na ocasião, para o caso de pavimentos rígidos, no que concerne a valores para PCN e ACN, principalmente em se tratando de aeronaves de complexas configurações de trem de pouso.

Desse primeiro embate que mexeu com os conceitos lançados inicialmente pela ICAO, no que concerne a novas aeronaves de fuselagem larga sentiu-se a necessidade de se rever os métodos de projeto disponíveis de forma a identificar procedimentos internacionalmente aceitos. Portanto, em 1997, iniciou-se estudos em Moscou, França e Estados Unidos como forma de contribuição ao desenvolvimento de procedimentos alternativos utilizando-se de modelos mecânicos-empíricos tendo como base a teoria de camadas elásticas.

Testes em pavimentos já implantados passaram, então, ser conduzidos pela FAA (Federal Aviation Administration) e Boeing (Boeing Commercial Airplane Group) em 1970 estendendo-se posteriormente em 1972, tais testes a estudos em escala 1:1 no National Airport Pavement Test Facility (NAPTF) localizado no FAA, William J. Hughes Technical Center, Atlantic City International Airport, New Jersey, USA (2004) cujo objetivo seria a definição do fator alfa para configurações de trem de pouso de 6 rodas.

Os resultados dos testes indicaram que o fator alfa para 10.000 coberturas considerando trem tipo de 6 rodas, apresentou um efeito de dano de 0,679,

indicando que o ACN poderia ainda ser menor do que o considerado para o fator alfa de 0,72 ou seja a redução não foi somente de 8,6% e sim de aproximadamente 13,8%. Entretanto, em correspondência à ICAO (2004) a FAA recomenda o uso do fator alfa para 10000 coberturas considerando trem tipo de 6 rodas, que apresenta um efeito de dano de 0,72 portanto, conservativo. Posteriormente GORDON (2006), apresentou o relatório final desses estudos.

## O PARÂMETRO PCN EM FUNÇÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

O valor do PCN é dependente do tipo de CBR do subleito e da espessura total do pavimento considerado na avaliação que por sua vez é dependente da metodologia de avaliação dessa espessura total que pode envolver procedimentos empíricos, semi-empíricos, empíricos mecânicos e mecânicos nos seus vários segmentos.

Portanto, também sujeito a variações que podem impedir ou não o uso de determinado tipo de aeronave. A tabela 1 a seguir, apresenta restrições de uso por tipo de aeronave em função da metodologia de avaliação do PCN.

**Tabela 1 - Restrições de uso de aeronaves em função do PCN**

| AERONAVE        | PMD<br>(Kgf) | P. PNEU<br>(MPa) | ACN  | PCN - Método CBR <sub>1</sub><br>PCN - PCA - PDILB <sub>3</sub> | PCN-USCE <sub>2</sub><br>PCN-USCE <sub>2</sub> |
|-----------------|--------------|------------------|------|---|--|
| <b>B737-300</b> | 59.020       | 1,38             | 34FB | 55/F/B/W/T  | 64/F/B/W/T                                     |
|                 |              |                  | 41RC | 77/R/C/W/T  | 81/R/C/W/T                                     |
| <b>B747-400</b> | 363.200      | 1,37             | 60FB | 55/F/B/W/T  | 64/F/B/W/T                                     |
|                 |              |                  | 67RC | 77/R/C/W/T  | 81/R/C/W/T                                     |
| <b>B777-200</b> | 272.400      | 1,47             | 51FB | 55/F/B/W/T  | 64/F/B/W/T                                     |
|                 |              |                  | 76RC | 77/R/C/W/T  | 81/R/C/W/T                                     |

NOTAS: (1) Método S-77-1 / (2) Portland Cement Association / (3) Corpo do Exército Americano, usados para definir a espessura total do pavimento ou da placa e, conseqüentemente, em função do subleito, o valor do PCN.

Pelo método da USCE2 (United State Corps of Engineers) as aeronaves alencadas na tabela podem operar sem restrição. Entretanto, pelo método CBR1 a aeronave B747-400, não poderia operar sem restrição de carga no caso de pavimento flexível podendo operar, entretanto, sem restrição de carga, para o caso de pavimento rígido.

O modelo mecânico que vem sendo utilizado no Brasil, atualmente, juntamente com o método AC 150/5320-6D é o programa LEDFAA 1.3, revisado com base nos testes do NAPTF, que leva em consideração deformações no subleito decorrente de todas as rodas do trem de pouso principal. Para pavimentos rígidos além do LEDFAA 1.3 estará sendo incorporado em 2008 o programa 3D de elementos finitos denominado FEDFAA 2.0 Beta.

Em decorrências dos estudos do NAPTF conclui-se que pavimentos dimensionados pela Advisory Circular (AC) 150/5320-6D têm espessura suficiente para garantir 20 anos de vida útil estrutural desde que os materiais aplicados, a construção e manutenção, atendam as especificações decorrentes do método proposto. Portanto dentro do mesmo princípio do FAA onde este recomenda o uso do fator alfa para 10000 coberturas considerando trem tipo de 6 rodas, que apresenta um efeito de dano de 0,72 portanto conservativo, a AC 150/5320-6D, tem sido usada no Brasil para definição da espessura total de um pavimento em avaliação e, conseqüentemente em função do CBR do subleito, o valor do PCN.

Acompanhar a capacidade de suporte do pavimento decorrente das tensões e deformações induzidas pelo tráfego de aeronaves considerando o manifesto das aeronaves, segundo MOTTA e RODRIGUES FILHO (1984) é extremamente importante haja vista o nível de trafego (tipo de configuração de trem de pouso, carga, número de decolagens) que tem influência direta no dimensionamento da estrutura do pavimento de forma a evitar superdimensionamento.

A figura 2, a seguir, mostra os efeitos da redução percentual do Peso Máximo de Decolagem (MOTW) na redução percentual da espessura total (Ht) do pavimento ao aplicar tais efeitos ao método recomendado pela FAA AC 150/5320-6D.

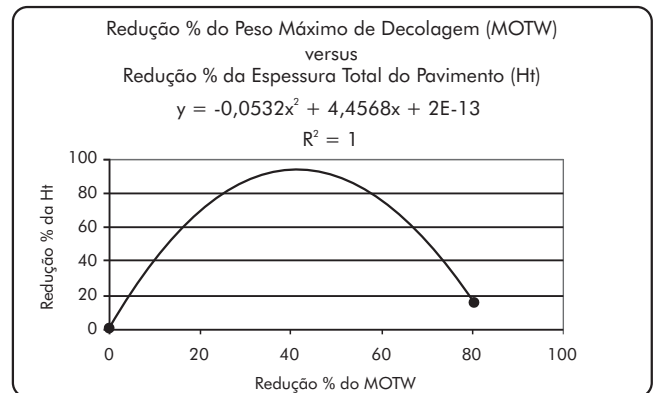


Figura 2 - Relação de variação percentual entre MOTW e Ht

Pode-se observar pela figura 2 que tem a forma de uma curva de Gauss que o método embute certo limite mínimo ao se ponderar para cada redução no valor do MOTW uma espessura total obtida pelo método da FAA AC 150/5320-6D com a variação do CBR de subleito.

Portanto fica caracterizado a importância de se dispor de modelos mecânicos para avaliar os limites aceitáveis de forma a se otimizar os custos iniciais e os custos de intervenção ao longo da vida útil de um pavimento. No caso de pavimentos flexíveis tradicionais, sabe-se hoje em dia que 10 (dez) anos tem se tornado um período saudável economicamente para seu dimensionamento.

Dentre os modelos mecânicos, pode-se citar o software Waterways Experiment Station Layered Elastic Design (WESLEA), o software Layer Elastic Analysis (LEAF), o software Finite Element Analysis-FAA (FEAFAA).

Existem outros softwares, mais conhecidos e com larga utilização no Brasil, como é o caso do software KENLAYER de comportamento linear, o software FEPAVE 2 de comportamento não linear entre outros, que se utiliza de modelos elásticos, visco-elástico ou visco-elasto-plástico.

O software PAVERS, de origem Holandesa, ainda não conhecido no Brasil é um software completo, tanto

para Pavimento Rígido como para Flexível que já fornece a notificação da resistência do pavimento decorrente de retroanálise ou do dimensionamento, utilizando-se do conceito PCN.

A vantagem dos modelos mecânicos aplicados a Pavimentos flexíveis, sobre os métodos empíricos ou semi-empíricos é a possibilidade de se visualizar ou vir a ter sensibilidade numérica, que facilita a vida do projetista. Portanto permite flexibilidade no uso de diversos tipos de materiais, sobre a ocorrência de tensões randômicas e deformações permanentes excessivas das diversas camadas e do subleito decorrentes do tipo de material usado na estratificação das camadas do pavimento ou o seu rompimento por cisalhamento.

Atualmente vem se tornando uma prática cada vez mais corriqueira o uso de modelos mecânicos para dimensionamento e análises de desempenho de pavimentos em aeroportos, em face à possibilidade de se estimar a ocorrência de ruptura de subleito e de flexão excessiva da capa asfáltica considerando dois critérios de análise em pavimento flexível:

-A Tensão Vertical Máxima ( $\sigma_v$ ) ou a Deformação Vertical Máxima ( $\epsilon_v$ ) atuante no subleito que previne a ruptura total do pavimento e a deformação permanente excessiva;

-A deformação de Tração Máxima ( $\epsilon_t$ ) na fibra inferior do revestimento ou camada estabilizada com cimento que previne a ruptura por fadiga e o decorrente reflexo de trinca mento na superfície do pavimento.

Estudos recentes desenvolvidos por HALIM et al. (2002), inserem mais um dado de campo na análise de deformações permanentes decorrentes de aeronaves pesadas através da verificação das propriedades de cisalhamento de camadas de concreto asfáltico compactadas em campo, de forma a não permitir fadigas prematuras no pavimento.

Correlaciona-se a resistência ao cisalhamento do concreto asfáltico in-situ com a deformação permanente, através do teste creep estático não confinado em laboratório, usando o método da Shell.

O importante, tanto no dimensionamento quanto na avaliação de estruturas de pavimentos em aeroportos é a qualidade das informações disponíveis decorrente da coleta de dados no campo, do histórico de

sucesso e de insucesso no uso de determinados materiais que irão compor a estrutura do pavimento. Soma-se a esses fatores a conscientização do projetista de que a estrutura de pavimento adequada a um determinado local, pode não o ser para outro local.

## CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Avaliações e retroanálise de estruturas de pavimento através de medições de deflexões com cargas estáticas - viga Benkelman (VB) ou cargas dinâmicas - Falling Weigh Deflectometer (FWD), têm sido desenvolvidas visando estabelecer vida de fadiga ou vida útil remanescente.

Atualmente tem sido comum nos Estados Unidos o desenvolvimento de PMS (Pavement Management System) que se propõem a responder perguntas do tipo onde?, quando? e como? Considerando:

-Avaliações estruturais como medições de deflexões e avaliações funcionais com o emprego de ferramentas do tipo Pavement Condition Index (PCI);

-Atrito (mancha de areia, Pêndulo britânico, Grip tester, mu-meter ou outro equipamento qualquer para medição de atrito); e

-Irregularidades (através de topografia convencional, maysmeters ou outro tipo de perfilômetro). O objetivo é traçar 3 linhas de perfil um no greide e outros dois a 5 metros de cada lado do greide da pista de pouso, de forma a permitir verificar a resposta da aeronave à irregularidade da pista, inclusive em relação a existência de longos comprimentos de onda - acima de 150 m.

No Brasil tem sido adotada a avaliação da capacidade de suporte de uma pista de pouso através de métodos convencionais de ensaios de laboratório com retirada de amostras in situ das camadas que constituem a estrutura do pavimento, objeto do estudo e utilizando-se nessa análise, o inverso do método de dimensionamento adotado na implantação do pavimento.

Em alguns caso se utilizam de avaliação estrutural através de VB com artifícios para definir a bacia de deflexão de campo e posterior ajuste de parâmetros elásticos das camadas que compõem a estrutura do pavimento em estudos de retroanálise, utilizando-se da

teoria de camadas elásticas, nos seus vários segmentos. Em alguns casos específicos se utiliza para medições de deflexão de campo do equipamento FWD (Falling Weight Deflectometer).

Entretanto, são raras as vezes que são feitas avaliações funcionais com o emprego do PCI (Pavement Condition Index), restringindo as medições de atrito. Contudo se negligencia os efeitos da irregularidade na segurança das operações decolagem.

Entretanto a qualidade de rolamento a que está sujeito uma aeronave é diretamente proporcional à suavidade do perfil do pavimento. Considera-se, extremamente importante, monitorar o comportamento de um pavimento em relação a essa suavidade, por diversas razões.

Primeiro, pavimentos suaves têm maior longevidade. Estudos têm indicado que cargas dinâmicas, em estruturas de pavimento, podem reduzir, significativamente sua vida útil.

Segundo, pavimentos suaves causam menos danos de fadiga à aeronave e reduz as reclamações de pilotos e passageiros.

Cargas dinâmicas são causadas pelas irregularidades observadas nas superfícies dos pavimentos.

Tais irregularidades causam o quicar constante da aeronave na superfície do pavimento, gerando desconforto ao piloto, passageiros e, muitas vezes, afetando a performance dos componentes avionics de uma aeronave, causando falhas prematuras à superfície dos pavimentos e danos decorrentes de fadigas prematuras às aeronaves.

A qualidade de rolamento a que deva estar sujeita

uma aeronave conforme recomendações do fabricante é o melhor método para se medir a rugosidade de um pavimento. A qualidade de rolamento de uma aeronave é, geralmente, medida como a aceleração vertical ou  $g$ s experimentado pelo assento do piloto (PSA) e o Centro de Gravidade da Aeronave (CGA). Caso a aceleração exceda a  $\pm 0.4g$ , a qualidade de rolamento, no trecho objeto do estudo, é considerada como sendo área de desconforto humano (1961)

Os dados decorrentes de um perfil de pavimento devem ser usando para determinar o momento da intervenção ou seu nível de rugosidade aceitável. O novo Aeroporto Internacional de Hong Kong Chek Lap Kok (CLK), usa tal tecnologia, como ferramenta adicional, de um Sistema de Gerência de Pavimentos (PMS). Relacionado irregularidade com deflexões superficiais.

Portanto seria de boa norma se no Brasil fosse utilizado a mesma sistemática citada no parágrafo anterior com mais um ingrediente que seria o PCN, de forma a definir as intervenções em função do trinômio Irregularidade, Deflexões e PCN.

A estrutura de pavimento adequada é a que proporciona um melhor desempenho ao longo de seu ciclo de vida com um menor custo final, considerando os aspectos estruturais e funcionais. O custo final de um pavimento não se mede apenas pelo seu custo inicial. O custo final de um pavimento, segundo RODRIGUES FILHO (2006) se mede pelo custo inicial acrescido do custo de intervenções ao longo de seu ciclo de vida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Federal Aviation Administration (FAA). Letter Report. Alpha factor determination from NAPTF test data. Aircraft technology research and development branch. AAR-410. U.S. Federal Aviation Administration, 2004.

Federal Aviation Administration (FAA), Guidelines and procedures for maintenance of airport pavements, Draft AAS-100

GOLDMAN, D. E., and VON GIERKE, H.E., Effect of Shock and Vibration on Man, Volume III, Chap. 44, Shock and Vibration Handbook (C.M. Harris and C. E. Crede, editors) McGraw Hill Book Co., New York, 1961

GORDON, F.H. - Alpha Factor Determination Using Data Collected at the National Airport Pavement Test Facility, DOT/FAA/AR-06/7, Federal Aviation Administration (FAA), march 2006.

HALIM,A.E et al. - Rapid In-situ Shear Testing of Asphalt Pavement for Runway Construction Quality Control and Assurance. Federal Aviation Administration Airport Technology Transfer Conference, MAI 2002.

MOTTA, L.M.G e RODRIGUES FILHO,S. - Estudo de Dimensionamento de um Pavimento de Aeroporto Utilizando o Conceito de Fadiga, 19<sup>º</sup>. Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, OUT 84.

PRESTON and MCBEE An improved method for determining aircraft flexible pavement requirement. Report No. MDC K5509, Douglas Aircraft Company, McDonnell Douglas, 1991

RODRIGUES FILHO, S. - Estudo econômico comparativo entre tipos de pavimentos, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas-SP, 2006.

STET,M. and BEUVING,E. ICAOs CAN-PCN method and aircraft pavement interaction using energy approach. Airport pavement innovations theory to practice. ASCE conference, Vicksburg, 1993.

U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, DOT/FAA/AR-04/46 Operational Life of Airport Pavement, December 2004.

# Avaliação Estrutural de Trecho Rodoviário no Estado da Paraíba Através de Ensaios Destrutivos e Não-Destrutivos

Fabiano José Afonso  
Laura Ivaldo Dário

## RESUMO

O presente trabalho compreende estudo da rodovia federal BR-230, lote III, do estado da Paraíba, onde se realizou análise comparativa entre a avaliação estrutural destrutiva, através de ensaios triaxiais a cargas repetidas e a não-destrutiva com base em módulos obtidos por retroanálise a partir de levantamentos deflectométricos realizados com o FWD. Os parâmetros elásticos obtidos em ensaios triaxiais de cargas repetidas foram empregados no programa de elementos finitos - FEPAVE2 que permitiu analisar a variação modular de cada camada na estrutura ensaiada, e também, verificar o desempenho da estrutura através da aplicação de modelos de fadiga obtidos em ensaios de compressão diametral a cargas repetidas.

**PALAVRAS-CHAVE:** avaliação estrutural, módulo de resiliência e retroanálise.

## ABSTRACT

The present work understands study of the federal highway BR-230, lot III, of the state of Paraíba, where took place comparative among the destructive structural evaluation, through triaxial tests to repeated and non-destructive loads with base in risings deflection accomplished with FWD. The elastic parameters obtained in triaxial tests of repeated loads, they were employees in the program of finite elements - FEPAVE2 that allowed analyzing the modulus variation of each layer in the tested structure, and also, to verify the acting of the structure through the application of models of fatigue obtained in dynamic diametral compression tests.

**KEY WORDS:** structural evaluation, resilient modulus and backcalculation.

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como escopo avaliar a condição estrutural do pavimento da duplicação da Rodovia BR-230/PB, trecho Cabedelo - Divisa PB/CE, sub-trecho Entroncamento BR-104 (A)/PB-408/B/PB-095 (Campina Grande), segmento: km 117,3 ao km 147,9, Lote III, através de ensaios destrutivos e não-destrutivos. A escolha da Rodovia BR-230/PB para a realização desta pesquisa, se deve à constatação de trincamentos prematuros generalizados nas trilhas de roda interna e externa, de defeitos do tipo couro de jacaré (classes 2 e 3) e de bombeamento de finos, que tiveram início a partir do 3º ano da rodovia em serviço. Os estudos basearam-se em ensaios triaxiais a cargas

repetidas para a determinação do módulo de resiliência das camadas do sistema pavimento/subleito e de levantamentos deflectométricos com o Falling Weight Deflectometer (FWD). Os resultados apresentados neste artigo complementam o trabalho de Cavalcante et al. (2004) apresentado na 36ª RAPV, o qual se baseou apenas nos ensaios deflectométricos.

## AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

A avaliação, de forma adequada, da condição estrutural do sistema pavimento/subleito é de fundamental importância em projetos de restauração, pois possibilita um melhor diagnóstico dos defeitos e das

suas possíveis gêneses. Marcon (1996), citando vários autores, define que os métodos de avaliação estrutural de pavimentos são classificados em ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos. A análise dos parâmetros elásticos obtidos nos levantamentos estruturais destrutivos e/ou não-destrutivos permite inferir a condição em que se encontra a estrutura, e assim dimensionar o reforço objetivando compatibilizar as diversas características resistentes dos materiais que compõem o pavimento reforçado frente às solicitações futuras do tráfego e efeitos climáticos (Cavalcante et al., 2004). Os métodos destrutivos implicam na remoção de partes das camadas do pavimento para avaliação das suas características e condições "in loco" e extração de amostras para ensaios de laboratório. Já os métodos não-destrutivos permitem inferir as condições estruturais sem danificar o pavimento, mediante ensaios executados na superfície do revestimento, em que se avalia a resposta do pavimento a uma carga. Segundo Motta (1991) e Thompson (1998), entre outros, a partir do início da década de 1960 foram estabelecidas curvas para projeto de pavimentos flexíveis que apontam desde então dois critérios principais de prevenção de falhas que devem ser usados em procedimentos de projeto de pavimentos novos ou reforço:

- (1) Limitação da deformação vertical de compressão no topo do subleito com vistas a se reduzir a presença de deformações permanentes no pavimento;
- (2) Limitação da deformação horizontal de tração na face inferior da camada de revestimentos asfáltico para minimizar a ocorrência de trincamento por fadiga.

## **AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A PARTIR DE ENSAIOS DESTRUTIVOS**

Os métodos de ensaios destrutivos baseiam-se na retirada de partes do pavimento para verificação das condições "in situ" e obtenção de amostras para ensaios de laboratório, sendo chamados de destruti-

vos porque invalidam, para futuros testes, as áreas do pavimento onde foram feitas as remoções. As propriedades medidas em ensaios destrutivos não refletem na sua totalidade, o estado de tensão e condições ambientais ao longo do tempo, pelo fato de não estarem bem representadas as condições dos materiais em campo (estado de tensões, índice de vazios, etc) sob a ação combinada de cargas e do clima já que em geral é preciso re-compactar as amostras. Porém, apesar destas ressalvas, os ensaios de laboratórios são bastante utilizados para determinação de parâmetros elásticos e de resistência e também, como ponto positivo, destaca-se nos ensaios de laboratórios, o fato que uma amostra pode ser ensaiada muitas de vezes sob condições de contorno controladas (Macêdo, 1996).

## **ENSAIOS TRIAXIAIS DINÂMICOS**

Hveem (1951) realizou o primeiro estudo sistemático para determinar a deformabilidade de pavimentos, estabelecendo valores máximos admissíveis para a vida de fadiga satisfatória de diferentes tipos de pavimentos. Hveem relacionou o trincamento progressivo dos revestimentos asfálticos à deformação resiliente (elástica) das camadas subjacentes dos pavimentos. O termo resiliente foi usado por Hveem em lugar de deformações elásticas sob o argumento de que as deformações nos pavimentos são muito maiores do que as que ocorrem nos sólidos elásticos (concreto, aço, etc.) (Medina et al., 1994). No Brasil, os estudos com este tipo de ensaio começaram a ser desenvolvidos no final da década de 70, através do convênio firmado entre a COPPE e o IPR, sob orientação do professor Jacques de Medina, o que possibilitou desenvolver um amplo programa de pesquisa, a partir do qual se acumulou uma gama de informações sobre as propriedades dos resilientes dos solos, das camadas asfálticas e cimentadas.

O módulo de resiliência pode ser definido como sendo a relação entre a tensão-desvio aplicada axial e ciclicamente em um corpo-de-prova e a correspondente deformação específica vertical recuperável conforme a expressão seguinte:

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \quad (1)$$

Onde:

$M_R$  = módulo de resiliência;

$\sigma_d$  = tensão desvio aplicada repetidamente ( $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ );

$\varepsilon_r$  = deformação específica axial resiliente.

Os comportamentos distintos dos solos arenosos e dos argilosos que se manifestam nas propriedades mecânicas sob carga estática, também se apresentam nos ensaios triaxiais a cargas repetidas. Estes são ensaios dinâmicos a baixa frequência de aplicação de carga, compatíveis com o tráfego dos veículos nas estradas. Existe uma grande variedade de modelos de comportamento resiliente dos solos granulares e finos. Atualmente, tem-se utilizado um modelo mais genérico para representar a variação do módulo de resiliência com o estado de tensões dos materiais de pavimentação que considera em conjunto, o efeito da variação da pressão confinante e da tensão desvio no módulo resiliente, denominado modelo composto que pode ser descrito pela expressão 2:

$$M_R = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3} \quad (2)$$

Onde:

$M_R$  = módulo de resiliência;

$\sigma_d$  = tensão desvio aplicada repetidamente ( $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ );

$\sigma_3$  = pressão confinante.

No que concerne as misturas asfálticas, segundo Preussler e Pinto (2002), resumidamente, pode-se dizer que o módulo de resiliência de misturas betuminosas é a relação entre a tensão desvio ( $\sigma_d$ ) aplicada repetidamente no plano diametral vertical de uma amostra cilíndrica de mistura betuminosa e a deformação específica recuperável ( $\varepsilon_r$ ) correspondente à tensão aplicada, numa temperatura T para certa frequência de aplicação de carga. Tem-se adotado a temperatura de 25°C, com frequência de 60 solicitações por minuto e duração da carga de 0,10s.

## AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A PARTIR DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS

Os métodos não destrutivos, quase que totalmente, se baseiam na determinação da deformação elástica que significa a resposta do pavimento sob efeito do carregamento dinâmico do tráfego. Este parâmetro sofre a influência do comportamento resiliente dos materiais, pelo teor de umidade e pela temperatura, que reduz o módulo de resiliência das misturas asfálticas (Macêdo, 1996). Segundo Medina et al. (1994), três classes de equipamentos não destrutivos são utilizadas rotineiramente para a aquisição de dados deflectométricos:

Equipamentos de carregamento quase-estático: são os que medem a deflexão do pavimento sob carregamento das rodas de veículos que se deslocam a baixa velocidade para que não ocorra a influência de forças inerciais (força associada a massa de um elemento multiplicada por sua aceleração). Cita-se como exemplo: ensaio de placa e viga Benkelman;

Equipamentos de carregamento dinâmico: são os que aplicam uma carga estática na superfície do pavimento e o caráter dinâmico do ensaio é obtido a partir da indução de uma vibração harmônica estável. Citam-se como exemplos: Dynaflect, Road Rater e o Vibrador WES-16 do Corpo de Engenheiros dos E.U.A.;

Equipamentos de carregamento por impulso: são os que aplicam uma força transiente ao pavimento pelo impulso causado por um peso aplicado a certa altura num sistema guia e, a seguir liberado. O peso ao cair choca-se com uma placa que transmite a força ao pavimento, força esta que pode ser variada pela alteração do conjunto de massas e/ou altura de queda através de um processo de tentativa e erro para a resposta conveniente da estrutura. Citam-se como exemplo: Dynatest FWD, Dynatest HWD, Phoenix FWD, Kuab FWD (versão sueca) e o Nagaoka Kuab FWD (versão japonesa).

## RETROANÁLISE EM PAVIMENTAÇÃO

A retroanálise pode ser entendida como sendo uma técnica utilizada para a obtenção dos módulos de resiliência do sistema pavimento-subleito, a partir das bacias de deflexões medidas em campo, espessuras das camadas e os seus respectivos coeficientes de Poisson. A retroanálise dos módulos de resiliência dá subsídios para a avaliação estrutural, fornecendo propriedades das camadas da estrutura "in situ", onde estes parâmetros são utilizados como dados de análise na manutenção e/ ou restauração das características aceitáveis do pavimento para o seu melhor desempenho ao longo de sua vida útil (Marcon, 2003). Watson e Rajapakse (2000 apud Rezende, 2003), concordam que a resposta do pavimento a um carregamento torna-se complexa devido à heterogeneidade e aos efeitos sazonais. Entretanto, nas retroanálises realizadas para o cálculo do módulo a partir de dados do FWD, várias hipóteses devem ser adotadas para simplificar as condições de campo. O comportamento elástico linear e a homogeneidade de cada camada do pavimento são geralmente assumidos, permitindo o uso da Teoria da Elasticidade. Estas simplificações são amplamente aceitas desde que as deformações induzidas sejam infinitesimais e as deflexões muito pequenas. Na verdade, a retroanálise de módulos de resiliência não representa uma solução fechada, pois os módulos são obtidos por processos iterativos, onde se busca o melhor ajuste entre as bacias medidas e calculadas dentro de um erro pré-estabelecido. Com isso, pode-se chegar a várias bacias com ajustes dentro do estabelecido, onde o conjunto de módulos obtidos represente uma resposta do problema, porém cabe ao projetista com base em sua experiência estabelecer qual o conjunto de módulos é mais compatível com as características elásticas dos materiais do local. Na figura 1 pode ser observado o esquema de como são obtidos os módulos de resiliência das camadas utilizando a técnica de retroanálise.

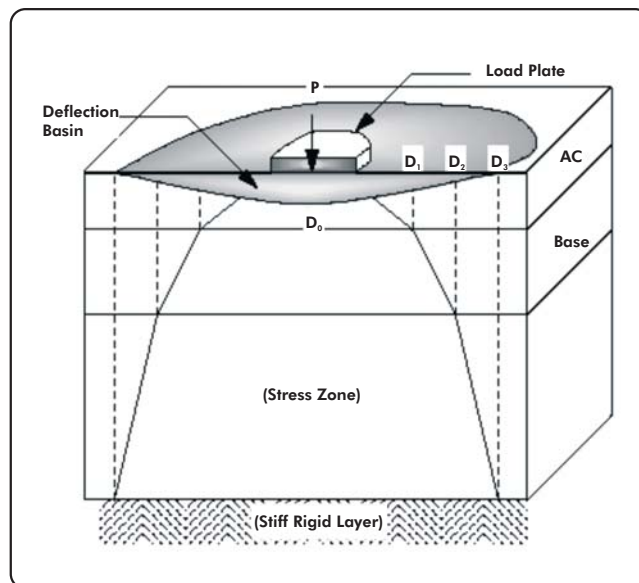


Figura 1 - Esquema ilustrativo da estimativa dos módulos obtidos por retroanálise (WSDOT, 1995).

## CARACTERÍSTICAS DA RODOVIA BR-230 LOTE III

O trecho da rodovia analisado foi duplicado a partir do ano de 2000 e inaugurado em outubro de 2001. Os serviços de duplicação foram realizados concomitantemente aos da restauração da rodovia existente. A concepção de projeto para a estrutura do pavimento da rodovia duplicada foi em pavimento flexível. A seguir serão transcritas as principais características da rodovia a partir dos dados coletados no relatório do DER/PB (1999).

## LOCALIZAÇÃO

Na figura 2 consta o mapa de localização do trecho estudado da Rodovia BR-230/PB.



Figura 2 - Localização do trecho estudado (Cavalcante, 2004).

## **CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS**

O subleito apresenta características granulares com CBR de projeto de 7%, tendo sido classificado como solo tipo II (%silte <35%). A sub-base é constituída de solo estabilizado granulometricamente provenientes de saibreiras, tem espessura de 15 cm, foi compactado na energia do Proctor intermediário (26 golpes). A camada de base por sua vez, é constituída de brita graduada simples obtida em usina de agregado, com características graníticas, com espessura de 20 cm e compactada na energia do Proctor modificado (56 golpes). O revestimento de concreto asfáltico é constituído de duas camadas, uma de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) na faixa B do DNIT (camada de ligação) e outra de CBUQ na faixa C (camada de rolamento), ambas confeccionadas com ligante asfáltico classificado por penetração como do tipo 50/60 (atualmente 50/70). A composição do concreto asfáltico é resultado das misturas de areia fina do rio Paraíba, agregado britado, filer e cimento asfáltico. A dosagem das misturas asfálticas foi realizada pelo Método Marshall.

## **CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E PLUVIOMÉTRICAS**

A classificação climática do trecho em análise segundo Wladimir Koppen é caracterizado como As: clima quente e úmido com chuvas de outono - inverno e período seco no verão. A temperatura média gira em torno de 20°C com uma amplitude térmica anual de 10°C e mensal de 9°C. A umidade relativa apresenta-se sempre elevada, com valores acima de 74%, principalmente no período de abril e agosto. A pluviometria média anual atinge valores superiores a

1.700 mm, sendo o trimestre de abril a Junho o mais Chuvoso e o de outubro a dezembro, o mais seco. O relevo é ondulado a partir da região de Ingá, passando a montanhoso após a localidade de Riachão do Bacamarte até as proximidades da cidade de Campina Grande.

## **CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS**

O trecho inicia-se no entroncamento para a cidade de Ingá no km 117,3 da rodovia BR-230/PB. A rodovia se desenvolve inicialmente por uma região de topografia ondulada apresentando em função dessa situação um traçado bem definido e reto até as proximidades da localidade de Riachão do Bacamarte. A partir daí a região passa de uma topografia ondulada para montanhosa cujo traçado é caracterizado pela incidência de curvas e rampas com maiores declividades. O lado a ser duplicado foi escolhido a partir da análise minuciosa em campo e escritório dos desenhos da topografia visualizando-se as seções transversais do levantamento topográfico. Dentro dessa filosofia considerou-se que a duplicação da pista deveria estar ora pelo lado direito, ora pelo lado esquerdo da pista existente, função de análise em cada caso específico.

## **CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO**

A projeção do número "N" seguindo as metodologias USACE e AASHTO, para a rodovia em questão, considerando uma vida útil de projeto de 15 anos e o ano de abertura 1999, resultou em 4,5x10<sup>7</sup> e 1,3x10<sup>7</sup>, respectivamente. Na tabela 1 consta a projeção do número "N" considerando os fatores de veículos da Lei da Balança e taxa de crescimento de 3%.

**Tabela 1 - Projeção do número N de projeto do trecho estudado (DER/PB, 1999).**

| ANO    | AUTOS | ÔNIBUS | CAMINHÃO |      | REB. S.REB. e | TOTAL | AASHTO  |         |         | USACE |         |         |
|--------|-------|--------|----------|------|---------------|-------|---|---------|---------|-------|---------|---------|
|        |       |        | 2C       | 3C   | nSi           |       | FVm   | ANUAL   | ACUMUL. | FVm   | ANUAL   | ACUMUL. |
| 1998   | 3841  | 309    | 624      | 985  | 246           | 2164  | 2,37  | 7,5E+05 | 7,8E+06 | 7,75  | 2,4E+06 | 1,4E+07 |
| 1999   | 3968  | 314    | 635      | 1013 | 255           | 2217  | 2,37  | 7,7E+05 | 7,7E+05 | 7,77  | 2,5E+06 | 2,5E+06 |
| 2000   | 4094  | 319    | 646      | 1040 | 264           | 2269  | 2,37  | 7,9E+05 | 1,6E+06 | 7,79  | 2,6E+06 | 5,1E+06 |
| 2001   | 4221  | 324    | 658      | 1068 | 274           | 2324  | 2,38  | 8,1E+05 | 2,4E+06 | 7,81  | 2,7E+06 | 7,7E+06 |
| 2002   | 4348  | 329    | 669      | 1096 | 283           | 2377  | 2,38  | 8,2E+05 | 3,2E+06 | 7,83  | 2,7E+06 | 1,0E+07 |
| 2003   | 4475  | 334    | 680      | 1124 | 292           | 2430  | 2,38  | 8,4E+05 | 4,0E+06 | 7,85  | 2,8E+06 | 1,3E+07 |
| 2004   | 4602  | 339    | 692      | 1152 | 301           | 2484  | 2,38  | 8,6E+05 | 4,9E+06 | 7,87  | 2,9E+06 | 1,6E+07 |
| 2005   | 4729  | 344    | 703      | 1180 | 310           | 2537  | 2,38  | 8,8E+05 | 5,8E+06 | 7,89  | 2,9E+06 | 1,9E+07 |
| 2006   | 4856  | 349    | 714      | 1208 | 319           | 2590  | 2,38  | 9,0E+05 | 6,7E+06 | 7,90  | 3,0E+06 | 2,2E+07 |
| 2007   | 4983  | 354    | 726      | 1236 | 328           | 2644  | 2,38  | 9,2E+05 | 7,6E+06 | 7,92  | 3,1E+06 | 2,5E+07 |
| 2008   | 5110  | 359    | 737      | 1264 | 337           | 2697  | 2,38  | 9,4E+05 | 8,5E+06 | 7,93  | 3,1E+06 | 2,8E+07 |
| 2009   | 5237  | 364    | 748      | 1292 | 346           | 2750  | 2,38  | 9,6E+05 | 9,5E+06 | 7,95  | 3,2E+06 | 3,1E+07 |
| 2010   | 5363  | 369    | 760      | 1320 | 355           | 2804  | 2,38  | 9,7E+05 | 1,0E+07 | 7,96  | 3,3E+06 | 3,5E+07 |
| 2011   | 5490  | 374    | 771      | 1348 | 364           | 2857  | 2,38  | 9,9E+05 | 1,1E+07 | 7,97  | 3,3E+06 | 3,8E+07 |
| 2012   | 5617  | 379    | 782      | 1376 | 373           | 2910  | 2,38  | 1,0E+06 | 1,2E+07 | 7,99  | 3,4E+06 | 4,1E+07 |
| 2013   | 5744  | 384    | 794      | 1404 | 382           | 2964  | 2,38  | 1,0E+06 | 1,3E+07 | 8,00  | 3,5E+06 | 4,5E+07 |
| AASHTO | 2,54  | 2,54   | 2,54     | 1,79 | 4,07          |       | <b>Annual = 365 x 0,5 x 0,8 FVmx (ônibus+2C+3C+nSi) anual</b> |         |         |       |         |         |
| CE     | 4,15  | 4,15   | 4,15     | 9,65 | 13,79         |       |   |         |         |       |         |         |

○ fator climático (FR) foi considerado como sendo igual a 1,0.

## METODOLOGIA UTILIZADA

No ano de 2001, o DER/PB enviou para o laboratório da COPPE/UFRJ amostras do concreto asfáltico das camadas de rolamento CBUQ faixa C, camada de ligação CBUQ faixa B, amostras de BGS (brita graduada simples) utilizada como material de base, do material de jazida utilizado como sub-base e amostras coletadas do subleito existente. Os ensaios triaxiais dinâmicos foram realizados com diferentes teores de umidade para os materiais de base, sub-base e subleito. Os ensaios realizados foram: triaxiais a cargas repetidas, compressão diametral, fadiga e de resistência à tração por compressão diametral estática para misturas betuminosas, para as amostras de solos e britas, ensaios triaxiais a cargas repetidas. Faz-se também uma análise considerando os módulos retroanalisados e comparando-os com os obtidos em laboratório. Por fim, são feitas algumas considerações a respeito das deflexões obtidas com a viga Benkelman e deflexão admissível proposta pelo método de reforço do DNER PRO-269/94 (DNER, 1994).

## APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Análise com Materiais Coletados em Jazida e Pedreira  
 Com os materiais coletados em jazida e pedreira foram realizados ensaios triaxiais para diferentes teores de umidade, ou seja, para cada ponto da curva no ensaio de compactação foram moldados corpos-de-prova com materiais constituintes das camadas de base, sub-base, reforço e subleito. Foi utilizado o modelo composto proposto por Macêdo (1996), por ser do ponto de vista estatístico, mais representativo do que os modelos tradicionais. No modelo composto, a deformação específica resiliente é obtida através da seguinte expressão:

$$\varepsilon_r = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3} \quad (3)$$

Onde:

$\varepsilon_r$  – deformação específica resiliente;

$\sigma_3$  – pressão confinante;

$\sigma_d$  – tensão desvio;

$k_i$  – parâmetros obtidos experimentalmente.

Sabe-se que o módulo resiliente é, por definição, dado pela expressão 1, mostrada anteriormente.

Substituindo (1) em (3), obtêm-se:

$$M_R = \frac{\sigma_d}{a \sigma_3^b \sigma_d^c} = \frac{1}{a} \sigma_3^{-b} \sigma_d \sigma_d^c = \frac{1}{a} \sigma_3^{-b} \sigma_d^{(1+c)} \quad (3)$$

E substituindo os parâmetros de regressão, tem-se:

$$\frac{1}{a} = k_1, \quad k_2 = -b \quad e \quad 1+c = k_3 \quad (4)$$

Logo, tem-se o modelo composto em função do módulo de resiliência conforme expressão 2 anteriormente apresentada.

Utilizou-se o programa SGPLUS para obtenção dos parâmetros a, b e c por regressão não-linear e a seguir os parâmetros ki. Na tabela 2 constam os resultados dos parâmetros de regressão do modelo composto, bem como a umidade e a densidade seca dos corpos-de-prova das amostras extraídas de cada camada do pavimento, ao longo da curva de compactação.

**Tabela 2 - Parâmetros de moldagem dos corpos-de-prova e de regressão do modelo composto para os materiais das camadas do pavimento (Cavalcante, 2004)**

| AMOSTRA          | PONTO COMPACTAÇÃO | CONDIÇÃO DE MOLDAGEM |                                   | $M_R = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3}$ |                |                |                |
|------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------|---|----------------|----------------|----------------|
|                  |                   | Umidade (%)          | Massa Espec. (g/cm <sup>3</sup> ) | k <sub>1</sub>                            | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> | R <sup>2</sup> |
| BASE             | 2°                | 2,91                 | 2,269                             | 6911                                      | 0,53           | -0,16          | 0,97           |
|                  | 3°                | 4,20                 | 2,308                             | 3846                                      | 0,44           | 0,13           | 0,94           |
|                  | 4°                | 6,16                 | 2,314                             | 4127                                      | 0,19           | 0,11           | 0,91           |
|                  | 5°                | 6,82                 | 2,269                             | 4655                                      | 0,45           | 0,04           | 0,97           |
| SUB-BASE         | 2°                | 5,68                 | 2,086                             | 3849                                      | 0,52           | -0,09          | 0,98           |
|                  | 3°                | 7,90                 | 2,090                             | 3382                                      | 0,45           | -0,07          | 0,99           |
|                  | 4°                | 9,37                 | 2,037                             | 3893                                      | 0,54           | -0             | 0,99           |
|                  | 5°                | 11,36                | 1,966                             | 2165                                      | 0,06           | 10             | 0,98           |
| REFORÇO SUBLEITO | 2°                | 5,56                 | 1,991                             | 3448                                      | 0,50           | 0,48           | 0,99           |
|                  | 3°                | 7,36                 | 2,017                             | 5076                                      | 0,63           | 0,03           | 0,95           |
|                  | 4°                | 9,46                 | 1,967                             | 2564                                      | 0,50           | -0,25          | 0,99           |
| SUBLEITO         | 2°                | 5,94                 | 1,891                             | 3030                                      | 0,52           | 0,00           | 0,99           |
|                  | 3°                | 7,69                 | 1,918                             | 3571                                      | 0,45           | -0,07          | 0,99           |
|                  | 4°                | 9,63                 | 1,851                             | 2475                                      | 0,47           | 0,02           | 0,99           |

Para as misturas asfálticas foram moldados em laboratório corpos-de-prova segundo a metodologia Marshall com 75 golpes em cada uma das faces do corpo-de-prova. Em seguida, realizaram-se ensaios por compressão diametral e de fadiga para as misturas de CBUQ faixa B e faixa C. Os módulos de resiliência médios obtidos foram 3800 MPa (38.070 kgf/cm<sup>2</sup>) e 3560 MPa (35.670 kgf/cm<sup>2</sup>), para as faixas B e C, respectivamente. Nas figuras 3 e 4 apresentam-se os modelos de fadiga das misturas B e C, em função da diferença de tensões, obtidos em ensaios de compressão diametral a tensão controlada.

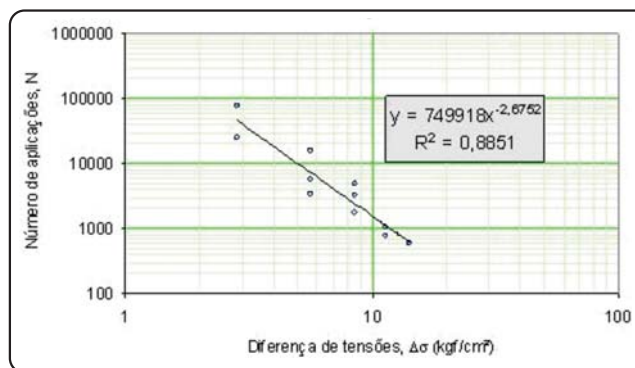


Figura 3 - Modelos de fadiga para a mistura de CBUQ faixa B do DNIT (Cavalcante, 2004)

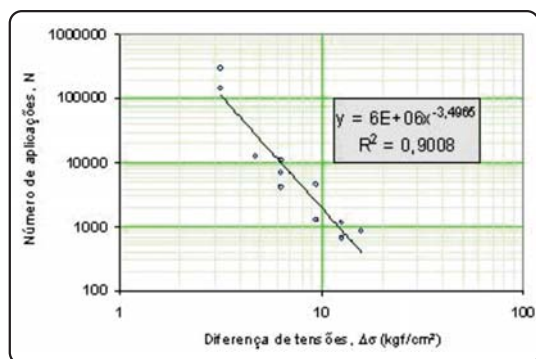


Figura 4 - Modelos de fadiga para a mistura de CBUQ faixa C do DNIT (Cavalcante, 2004).

A partir dos módulos de resiliência obtidos nos ensaios triaxiais e de compressão diametral, realizou-se uma análise mecânica com o programa FEPAVE2. Nesta análise, buscou-se apenas verificar a influência da variação modular da camada de base (BGS) no comportamento estrutural do pavimento, levando em conta os resultados de módulo de resiliência das amostras do material para diferentes pares de umidade versus massa específica seca, obtidos no ensaio de compactação. Para as camadas de sub-base, reforço e subleito os módulos de resiliência foram obtidos na condição de umidade ótima e massa específica seca máxima. Por fim, foram considerados os módulos médios das camadas de concreto asfáltico de rolamento (CBUQ faixa C) e de ligação (CBUQ faixa B) obtidos no ensaio de compressão diametral a cargas repetidas. No intuito de aplicar a confiabilidade na análise, que, segundo Medina e Motta (2005), pode ser definida como sendo a probabilidade de um sistema, equipamento ou estrutura desempenhar satisfatoriamente a função a que se destina com a expectativa de duração estabelecida, considerou-se os intervalos de confiança seguintes:

-50% para a média;

- 85% para a média + 1,04 × desvio padrão;
- 95% para a média + 1,65 × desvio padrão;
- 99,9% para a média + 3,09 × desvio padrão.

Os critérios admissíveis adotados para os parâmetros resposta foram os seguintes:

Deflexão máxima admissível medida na superfície do pavimento segundo o DNER PRO-269/94 (DNER, 1994):

$$D_{adm} = 10^{(3,148 - 0,188 \cdot \log N_p)} \quad (5)$$

Diferença de tensões na fibra inferior das camadas de Capa (CBUQ Faixa. C) e ligação (CBUQ Faixa. B) utilizando os modelos constantes nas figuras 3 e 4;

Tensão vertical admissível no topo do subleito proposta por Heukelom e Klomp (1962):

$$\sigma_v = \frac{0,006 \cdot Mr_{Sub}}{1 + 0,7 \cdot \log N} \quad (6)$$

Considerando o número N previsto para o trecho dado pela tabela 1, aplicando-se as expressões 5 e 6 e nas equações de fadiga tem-se os critérios admissíveis mostrados na tabela 3. Para os modelos de fadiga de deformação específica de tração e diferença de tensões considerou-se o fator campo-laboratório de FCL = 104 conforme os estudos realizados por Pinto (1991). Os resultados da simulação realizada com o FEPAVE2 e apresentados nas tabelas 3 e 4 permitem concluir que: o pequeno coeficiente de variação nos parâmetros resposta de deformabilidade para a camada de ligação é um indicativo de que a variação no teor de umidade da camada de BGS não é o fator preponderante no comportamento estrutural do pavimento, e sim, a diferença de rigidez desta em relação à camada de ligação conforme evidenciado nos valores de módulos encontrados na retroanálise para as camadas supracitadas mostrados em itens a seguir (tabela 7).

**Tabela 3 - Resultados dos parâmetros de deformabilidade obtidos a partir da simulação com FEPAVE2 (Cavalcante, 2004).**

| CONDIÇÃO DE ENSAIO DA BASE | PARÂMETROS CALCULADOS |   |   |                                     | PARÂMETROS ADMISSÍVEIS $N_{projeto} = 4,5 \times 10^7$ e $FCL = 10^4$ |   |                                     |
|----------------------------|-----------------------|---|---|-------------------------------------|---|---|-------------------------------------|
|                            | Superfície            | Capa                                    | Binder                                  | Subleito                            | Superfície  | Capa                                    | Binder                              |
|                            | D<br>( $10^{-2}$ mm)  | $\Delta\sigma$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\Delta\sigma$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_v$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | D<br>( $10^{-2}$ mm)  | $\Delta\sigma$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_v$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
| <b>2º PONTO</b>            | 54                    | 2,7                                     | 7,0                                     | 0,08                                | 51  | 7,8                                     | 6,8                                 |
| <b>3º PONTO</b>            | 59                    | 1,6                                     | 7,9                                     | 0,08                                |   |   |                                     |
| <b>4º PONTO</b>            | 49                    | 2,7                                     | 6,3                                     | 0,08                                |   |   |                                     |
| <b>5º PONTO</b>            | 56                    | 2,8                                     | 7,3                                     | 0,08                                |   |   |                                     |

**Tabela 4- Resultados da análise de confiabilidade (Cavalcante, 2004).**

| Camada     | Parâmetros Obtidos                      | Média | Desvio Padrão | CV (%) | Nível de Confiança (%) |       |       |       | Parâmetros Admissíveis para Solicitações do Eixo Padrão |                     |                     |                       |
|------------|---|-------|---------------|--------|------------------------|-------|-------|-------|---|---------------------|---------------------|-----------------------|
|            |   |       |               |        | 50                     | 85    | 95    | 99,9  | 1 x 10 <sup>6</sup>                                     | 5 x 10 <sup>6</sup> | 1 x 10 <sup>7</sup> | 4,5 x 10 <sup>7</sup> |
| Superfície | Do(10 <sup>-2</sup> mm)                 | 55    | 4,20          | 7,7    | 55                     | 59    | 61    | 67    | 105   | 77                  | 68                  | 51                    |
| Capa       | Δσ(kgf/cm <sup>2</sup> )                | 2,5   | 0,56          | 22,9   | 2,5                    | 3,0   | 3,4   | 4,2   | 23,6  | 14,9                | 12,2                | 7,9                   |
| Binder     | Δσ(kgf/cm <sup>2</sup> )                | 7,1   | 0,66          | 9,3    | 7,1                    | 7,8   | 8,2   | 9,1   | 28,1  | 15,4                | 11,9                | 6,8                   |
| Subleito   | σ <sub>max</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 0,08  | 0,002582      | 3,4    | 0,077                  | 0,080 | 0,081 | 0,085 | 0,58  | 0,53                | 0,51                | 0,47                  |

No que concerne ao critério de confiabilidade, constata-se que para a deflexão máxima na superfície a estrutura simulada no FEPAVE2 atenderia apenas a um número N de 1x10<sup>7</sup>, ou seja, quatro anos de serviço conforme a projeção mostrada na tabela 1, com 99,9% de confiabilidade. Para a deformação específica de tração e diferença de tensões na camada de rolamento a estrutura atenderia ao número de projeto com uma confiabilidade de 99,9%. Em contrapartida, a camada de ligação (Binder), quanto à diferença de tensões não atenderia ao número N preconizado em projeto (4,5x10<sup>7</sup>) - tabela 4. Como as manifestações de trincamento na superfície surgiram a partir do 3º ano de serviço, pode-se afirmar que as trincas tenham se propagado da camada de ligação para a camada de rolamento. Desse modo, a afirmação de que a camada de revestimento atenderia com 99,9% de confiabilidade não está correta porque ela sofre a influência da camada inferior. A condição de trincamento precoce do pavimento está de acordo com o previsto na análise mecânica. Quanto ao subleito, as tensões atuantes no topo do mesmo para as estruturas simuladas são bastante diminutas em comparação com a tensão admissível, prevendo-se o atendimento ao tráfego de projeto com 99,9% de confiabilidade, o que também foi comprovado até o momento no trecho, visto que as medições até o terceiro ano de tráfego mostram a pequena incidência

de trilha de roda interna e externa apresentando em média de 2,7mm para ambas as faixas, direita e esquerda.

### ANÁLISE COM MATERIAIS COLETADOS NO PAVIMENTO EXISTENTE

No ano de 2004, foram realizados dois furos de sondagem, um na estaca 4153 (lado direito) e outro na estaca 5381+15 (lado esquerdo), nos quais se coletaram amostras das camadas de subleito, sub-base e base para ensaios de laboratório, agora realizados no Laboratório de Engenharia de Pavimentação da UFCG. Os ensaios triaxiais a cargas repetidas foram realizados para as condições de campo de massa específica e teor de umidade. Para as camadas asfálticas foram realizados ensaios de módulo de resiliência por compressão diametral com corpos-de-prova extraídos através de sonda rotativa. Os resultados estão apresentados na tabela 5.

A partir dos resultados de laboratório da estaca 4153 lado direito, realizou-se uma simulação numérica com programa FEPAVE2 para a determinação da deflexão máxima medida na superfície, contribuição percentual das camadas na deflexão total e faixas de módulos para as camadas de subleito, reforço, sub-base e base, conforme evidenciado na tabela 6.

**Tabela 5- Resultado dos ensaios de módulo de resiliência das camadas do pavimento e subleito (Cavalcante, 2004).**

|                                |                     |        |        |        |      |        |        |        |  |
|--------------------------------|---------------------|--------|--------|--------|------|--------|--------|--------|--|
| FURO 1/LD<br>ESTACA 4153       | CBUQ Fx. C          | 48.180 |        |        |      |        |        |        |  |
|                                | CBUQ Fx. B          | 37.030 |        |        |      |        |        |        |  |
|                                | <b>COEFICIENTES</b> | a      | b      | c      | R2   | k1=1/a | k1=-b  | k1=1-c |  |
|                                | BASE                | 0,0002 | 0,4969 | 0,9829 | 0,98 | 5000   | 0,4969 | 0,0171 |  |
|                                | SUB-BASE            | 0,0004 | 0,3361 | 1,1778 | 0,97 | 2500   | 0,3361 | 0,1778 |  |
|                                | REFORÇO             | 0,0004 | 0,4793 | 1,1937 | 0,95 | 2500   | 0,4793 | 0,1937 |  |
|                                | SUBLEITO            | 0,0003 | 0,2587 | 1,3632 | 0,99 | 3333   | 0,2587 | 0,3632 |  |
| FURO 4/LE<br>ESTACA<br>5381+15 | CBUQ Fx. C          | 48.180 |        |        |      |        |        |        |  |
|                                | CBUQ Fx. B          | 37.030 |        |        |      |        |        |        |  |
|                                | <b>COEFICIENTES</b> | a      | b      | c      | R2   | k1=1/a | k1=-b  | k1=1-c |  |
|                                | BASE                | 0,0004 | 0,1659 | 0,8733 | 0,96 | 2500   | 0,1659 | 0,1267 |  |
|                                | SUB-BASE            | 0,0003 | 0,3556 | 1,3371 | 0,98 | 3333   | 0,3556 | 0,3371 |  |
|                                | SUBLEITO            | 0,0004 | 0,4016 | 1,1326 | 0,89 | 2500   | 0,4016 | 0,1326 |  |

Nota: módulos de resiliência em kgf/cm<sup>2</sup>

**Tabela 6 - Resultado da simulação com o FEPAVE2 a partir de resultados de laboratório (Cavalcante, 2004)**

| ESTACA | % DE CONTRIBUIÇÃO NA DEFLEXÃO TOTAL |                                  |          |          |         |           | TENSÃO VERTICAL NO SUBLEITO (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------------------|----------------------------------|----------|----------|---------|-----------|--|
|        | REVEST                              |                                  | BASE     | SUB-BASE | REF.    | SUBL.     |  |
|        | CAPA<br>(kgf/cm <sup>2</sup> )      | BINDER<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |          |          |         |           |  |
| 4153   | 2,2                                 | 3,5                              | 36       | 16,1     | 18,7    | 23,5      | 0,22   |
| ESTACA | FAIXA DE MÓDULOS                    |                                  |          |          |         |           | DEFLEXÃO MÁXIMA FEPAVE2                            |
|        | REVEST                              |                                  | BASE     | SUB-BASE | REF.    | SUBL.     |  |
|        | CAPA<br>(kgf/cm <sup>2</sup> )      | BINDER<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |          |          |         |           |  |
| 4153   | 48180                               | 37030                            | 484-1472 | 687-845  | 372-745 | 1797-2272 | (10 <sup>-2</sup> mm)<br>23                        |
| ESTACA | MÓDULOS OBTIDOS POR RETROANÁLISE    |                                  |          |          |         |           | DEFLEXÃO MÁXIMA FWD                                |
|        | REVEST                              |                                  | BASE     | SUB-BASE | REF.    | SUBL.     |  |
|        | CAPA<br>(kgf/cm <sup>2</sup> )      | BINDER<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |          |          |         |           |  |
| 4153   | 15000                               | 46056                            | 919      | 684      | -       | 2249      | (10 <sup>-2</sup> mm)<br>48<br>-                   |

### RETROANÁLISE DOS MÓDULOS DE RESILIÊNCIA - EVERCALC5

Cavalcante (2004) apresenta uma análise bastante detalhada dos resultados obtidos na retroanálise dos módulos de resiliência para as camadas de revestimento, base, sub-base e subleito. Nesta seção será apresentado o resumo estatístico dos módulos das faixas direita e esquerda, não se atendo a analisá-los por completo, apenas em particular o resultado obtido para a estaca 4153.

O EVERCALC5 foi desenvolvido pelo professor

Joe Mahoney da Universidade de Washington. Os deslocamentos são calculados através de sub-rotina utilizando o programa WESLEA do USACE e um argumento do algoritmo modificado de Gauss-Newton para otimizar o processo iterativo de retroanálise. As hipóteses consideradas atendem a teoria das camadas elásticas, assumindo que as mesmas são homogêneas, isotrópicas, linearmente elásticas. A retroanálise dos módulos de resiliência foi realizada considerando a estrutura constituída de quatro camadas - tabela 7.

**Tabela 7 - Faixa de módulos utilizada e espessuras das camadas (Cavalcante, 2004)**

| FAIXA  | REVESTIMENTO           | BASE                   | SUB-BASE               | SUBLEITO               | ESTRUTURA   |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---|
|        | (kgf/cm <sup>2</sup> ) | (kgf/cm <sup>2</sup> ) | (kgf/cm <sup>2</sup> ) | (kgf/cm <sup>2</sup> ) |   |
| MÍNIMO | 10.000                 | 300                    | 300                    | 300                    | <p>12 cm CBUQ Faixa C (Capa) <math>\mu=0,30</math><br/>CBUQ Faixa B (Binder)</p> <p>20 cm Brita Graduada Simples <math>\mu=0,35</math></p> <p>15 cm Solo Estabilizado Granulometricamente <math>\mu=0,35</math></p> <p>semi-infinito Subleito <math>\mu=0,45</math></p> |
| MÁXIMO | 70.000                 | 5.500                  | 5.500                  | 5.500                  |   |

Na tabela 8 está apresentado o resultado estatístico dos módulos obtidos na retroanálise, as observações pertinentes aos valores obtidos constam em Cavalcante (2004). No entanto, pode-se observar que, os módulos da camada granular são bastante baixos, o que evidencia uma condição estrutural insatisfatória para o bom desempenho do pavimento. Utilizando o programa ELSYM5 e os módulos retroanalizados, foi possível determinar a contribuição percentual de cada camada na deflexão total, e verificar qual a camada crítica da estrutura. A camada granular é responsável por contribuição percentual na deflexão máxima de 67,6% e 81,5%, para as faixas direita e esquerda, respectivamente, seguida do subleito com uma contribuição em torno de 30%, conforme figura 6. Nota-se que os módulos retroanalizados do revestimento, tomado como camada única, estão mais baixos do que os valores medidos em corpos-de-prova retirados da pista já denotando a influência do grau de trincamento nas deflexões. Outro ponto interessante, é que a faixa direita, neste caso correspondente a menos solicitada (foi considerado o sentido do estaqueamento, não o do tráfego para chamar de direita e esquerda), ou seja, a faixa por onde trafegam os veículos leves, apresenta-se superficialmente menos trincada em relação à faixa esquerda, na qual trafegam os caminhões e semi-reboques. Observando os valores médios obtidos na tabela 8, verifica-se que a relação modular entre a camada de revestimento e a camada

de base para a faixa direita é menor que a faixa esquerda. Para a faixa direita a relação MRREVEST./MRBASE é 19 e para a faixa esquerda está relação é 24, isto é uma das justificativas do menor percentual de trincamento na faixa direita. Outro fato interessante é que o módulo de resiliência da camada de BGS é muito mais sensível a pressão confinante do que a tensão desvio (ver figura 5) o que leva a baixos módulos de trabalho nesta camada quando não confinada adequadamente. De longa data se conhece que estruturas com camadas de brita devem ser cuidadosamente estudadas e construídas (Medina e Motta, 2005; Medina et. al., 1994; Motta e Mahler, 1982; Medina e Preussler, 1980). Estes autores entre outros mostram que os materiais granulares que geralmente compõem a camada de base dos pavimentos flexíveis, quando sob um revestimento pouco flexível, ficam sujeitos a baixos níveis de pressão confinante (s3) que correspondem a baixos valores de módulos resilientes, o que provoca grandes contribuições desta camada para a deflexão total. Acrescenta-se a este fato, como conseqüência, que as grandes deformações que ocorrem nestas camadas não podem ser acompanhadas pelo revestimento asfáltico se este tiver rigidez relativamente muito maior do que a da base gerando elevadas tensões de tração na fibra inferior da camada e levando-a ao trincamento prematuro frente as solicitações do tráfego.

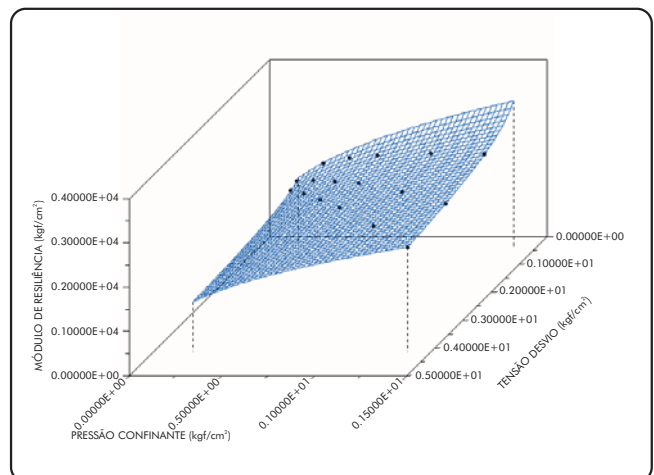
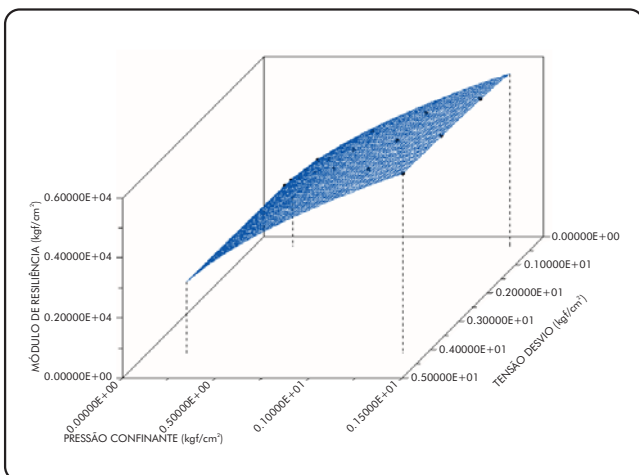


Figura 5 – Gráfico do modelo composto da BGS - estaca 4153-LD (Cavalcante, 2004).

**Tabela 8 – Resumo estatístico dos módulos de resiliência das faixas direita e esquerda (Cavalcante, 2004)**

| PARAMETROS ESTADÍSTICOS | CARGA | FAIXA DIREITA |                        |                        |                        |                        | CARGA | FAIXA ESQUERDA |       |                        |                        |                        |
|-------------------------|-------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------|----------------|-------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                         |       | MR1           | MR2                    | MR3                    | MR4                    | RMS                    |       | MR1            | MR2   | MR3                    | MR4                    | RMS                    |
|                         |       | (kN)          | (kgf/cm <sup>2</sup> ) | (kgf/cm <sup>2</sup> ) | (kgf/cm <sup>2</sup> ) | (kgf/cm <sup>2</sup> ) |       | (%)            | (kN)  | (kgf/cm <sup>2</sup> ) | (kgf/cm <sup>2</sup> ) | (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
| Média                   | 40    | 31,010        | 1,588                  | 536                    | 2.891                  | 2                      | 40    | 26,940         | 1,110 | 528                    | 2,908                  | 3                      |
| Desvio Padrão           | 0,5   | 15,815        | 763                    | 570                    | 885                    | 1,6                    | 0,7   | 12,201         | 636   | 573                    | 868                    | 2                      |
| N                       | 333   | 333           | 333                    | 333                    | 333                    | 333                    | 333   | 333            | 333   | 333                    | 333                    | 332                    |
| CV (%)                  | 1,1   | 51            | 48                     | 106                    | 31                     | 64,8                   | 1,7   | 45             | 57    | 109                    | 30                     | 64                     |
| Valor Mínimo            | 38    | 10.000        | 272                    | 110                    | 1,342                  | 1                      | 37    | 10.000         | 194   | 99                     | 1.233                  | 1                      |
| Valor Máximo            | 42    | 70.000        | 4.585                  | 3.800                  | 5.000                  | 18                     | 43    | 70.000         | 3.716 | 3.785                  | 5.000                  | 18                     |

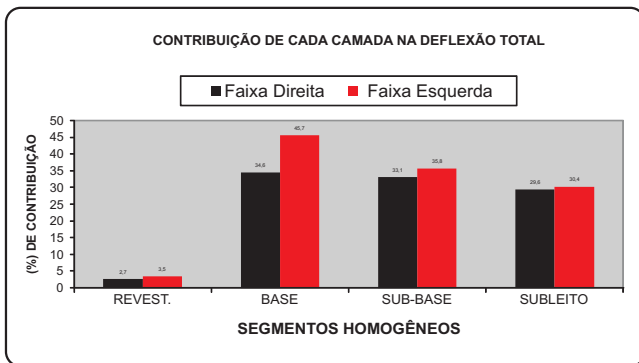


Figura 6 - Contribuição percentual das camadas na deflexão total medida na superfície (Cavalcante, 2004).

## COMPARATIVO ENTRE OS MÓDULOS DE LABORATÓRIO E OS DA RETROANÁLISE

Analisando-se os resultados apresentados nas tabelas 6 e 8, pode-se observar que a simulação realizada com o FEPAVE2 a partir de resultados de laboratório mostrou coerência entre os módulos das camadas de base, sub-base e subleito obtidos na retroanálise. Porém, os módulos do revestimento (tabela 9) foram obtidos para uma temperatura medida pelos sensores do FWD em torno de 51oC, ao serem corrigidos para a temperatura padrão de 25oC, conforme explicado a seguir, os resultados apresentam valores próximos aos obtidos em laboratório. A correção não foi realizada utilizando o modelo embutido no programa EVERCALC5, pois tal modelo só se aplica a temperatura de no máximo 40oC. Desta forma, a correção foi realizada utilizando o modelo de previsão que estima a temperatura em uma profundidade do revestimento proposta por RODRIGUES (1991) (equação 8). No presente estudo, as temperaturas foram calculadas nas profundidades 2,5 cm e

8,5cm, pontos médios das camadas de rolamento e de ligação. Em seguida, utilizou-se a equação 9 definida em laboratório por Pinto (1991) para determinar o módulo corrigido.

$$T(x) = T_{sup} + (T_{sup} - T_{ar}) \cdot [1 - \exp(0,06855 - 0,002633 \cdot x)] \quad (8)$$

Onde:

T(x) - Temperatura na profundidade x do revestimento, em °C;

Tsup - Temperatura da superfície do revestimento, em °C;

Tar - Temperatura do ar, em °C;

x - Profundidade no revestimento onde se deseja conhecer a temperatura, em cm.

$$M_R = e^{0,051(T_c - T_r)} M_C \quad (9)$$

Onde:

MR é o módulo de resiliência convertido para a temperatura padrão;

MC é o módulo de obtido em campo;

TR é a temperatura de referência, 25 °C;

TC é a temperatura de campo.

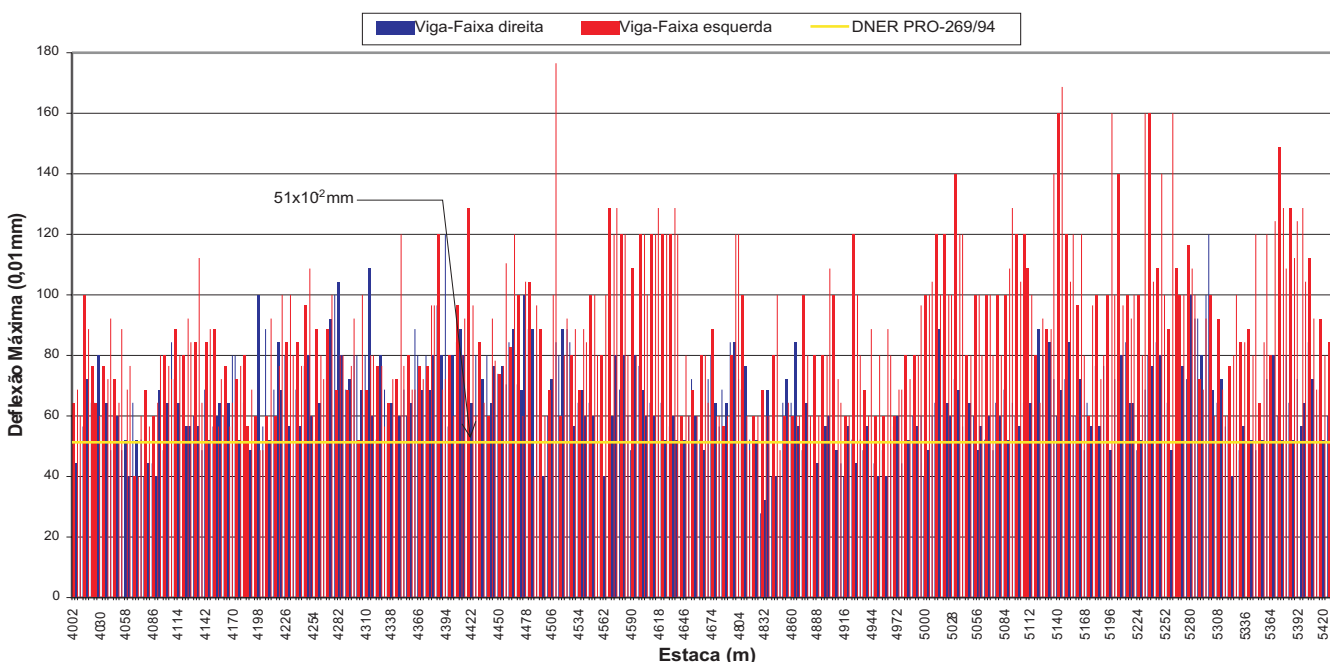
Quanto à deflexão medida na superfície, a simulação com o FEPAVE2 resultou em 23x10<sup>-2</sup>mm e a deflexão medida em campo pelo FWD foi de 48x10<sup>-2</sup> mm. Salienta-se que a diferença observada é atribuída ao fato da deflexão ter sido medida a uma temperatura na superfície de 51oC, pois simulando no FEPAVE2 a deflexão na superfície do pavimento, considerando a configuração de carga do FWD, têm-se 47,6 x10<sup>-2</sup> mm, ou seja, valor praticamente igual ao medido em campo.

## DEFLEXÕES MÁXIMAS OBTIDAS COM A VIGA BENKELMAN

Um ponto interessante a ser levantado é que para espessuras de revestimento de 10 cm ou mais as deflexões calculadas pela equação 6 do PRO 269/94 podem estar muito "folgadas" merecendo se resgatar a forma original dos autores do método. Na figura 7

pode-se observar que as deflexões medidas são em grande maioria maiores que a deflexão admissível proposta pelo referido método. Originalmente os autores Preussler e Pinto (1982) propuseram duas equações de deflexão admissível, uma que é a adotada no método e outra justamente para espessuras maiores que 10cm.

**Figura 7 - Comparação entre as deflexões medidas e a deflexão admissível ao longo do estaqueamento**



## CONCLUSÕES

Como o objetivo deste trabalho foi comparar os resultados de laboratório e de campo em termos de módulo de resiliência, pode-se concluir até o momento que:

A simulação realizada com o programa FEPAVE2, com os resultados de ensaios laboratoriais, apresentou valores bastante coerentes com os obtidos em campo a partir da retroanálise dos módulos de resiliência;

A incompatibilidade de rigidez entre as camadas de concreto asfáltico e base (BGS) foi um dos fatores que contribuíram significativamente para o surgimento prematuro de trincas na superfície do pavimento;

N a pista dupla, a faixa menos carregada apresenta-se menos trincada que a faixa mais carregada, o que pode ser atribuído tanto ao carregamento variável como à menor relação modular entre as

camadas de revestimento e base no primeiro caso;

A camada granular constituída de base e sub-base é excessivamente resiliente contribuindo com mais de 65% na deflexão total para ambas as faixas de tráfego;

A análise de confiabilidade, realizada com os materiais oriundos de jazida, da pedra e os moldados em laboratório, indicou antecipadamente que o pavimento não atenderia ao número de solicitações do eixo-padrão rodoviário projetado o que foi confirmado pelo tempo de uso.

## AGRADECIMENTOS

Ao DER/PB e a empresa JBR Engenharia Ltda pelos levantamentos apresentados nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cavalcante, F. P. (2004). Avaliação das Características Funcionais Estruturais da Rodovia BR-230/PB lote III. Dissertação de Mestrado. UFPE/PE, Recife.
- Cavalcante, F. P. et al. (2004). Avaliação Estrutural de Trecho Rodoviário no Estado da Paraíba. Anais da 36ª Reunião Anual de Pavimentação. Curitiba, PR, Brasil.
- DER/PB (1999). Projeto Final de Engenharia para Restauração e Duplicação. Memória Justificativa, Volume 3.
- DNER - PRO 269/94 (1994). Procedimento - Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis - TECNAPAV (Método da Resiliência). Rio de Janeiro.
- Gonçalves, F. P., (1999). O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis. Apostila do Curso de Graduação. UPF/RS.
- Heukelom, W; Klomp, A.J.G., (1962). Dynamic testing as a means of controlling pavements during and after construction. Proceedings, 1th. International Conference Structural Design of Asphalt Pavement.
- Macêdo, J. A. G., (1996). Interpretação de Ensaios Deflectométricos para Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis. Tese de Doutorado. COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro.
- Marcon, A.F., (1996). Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina. Tese de Doutorado. ITA, RJ.
- Medina, J e Motta, L. M. G., (2005). Mecânica dos Pavimentos. Rio de Janeiro. 2ª edição.
- Medina, J. e Preussler, E.S., (1980). Características Resilientes de Solos em Estudos de Pavimentos, Revista Solos & Rochas, vol. 3, no 1, 1980.
- Medina, J., Macêdo, J.A.G., Motta, L.M.G., et. al., (1994). Utilização de Ensaios Defletométricos e de Laboratório para a Avaliação Estrutural de Pavimentos. Anais da 28ª Reunião Anual de Pavimentação. V. 1, pp. 595-625, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Motta. L. M. G., Mahler. C. F. (1982). "Análise comparativa de diferentes métodos de cálculo de sistemas em camadas". 6º Encontro de Asfalto - IBP. Rio de Janeiro RJ, Brasil.
- Pinto, S. e Preussler, E. S., (2002). Pavimentação Rodoviária - Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis. Rio de Janeiro, Copiarte, Copiadora e Artes Gráficas.
- Pinto, S., (1991). Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos. Tese de Doutorado, COPPE/ufrrj, Rio de Janeiro.
- Preussler, E. S. e Pinto, S. Proposição de método para o projeto de pavimentos flexíveis, considerando a resiliência. Anais, 17. REUN. ANUAL PAVIM., Assoc. Bras. de Pavim., 1982, Brasília, DF, v. 1, p. 205-263.
- Rezende, L. R., (2003). Estudo do comportamento de materiais alternativos utilizados em estruturas de pavimentos flexíveis. Tese de Doutorado. UNB/DF, Brasília.
- Rodrigues, R.M. (1991). Estudo de Trincamento dos Pavimentos. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, RJ.
- WSDOT (1995). Pavement Analysis Computer Software and Case Studies. Vol.3. Washington State Department of Transportation.

# FATOS HISTÓRICOS

ATAHUALPA SCHMITZ DA SILVA PREGO

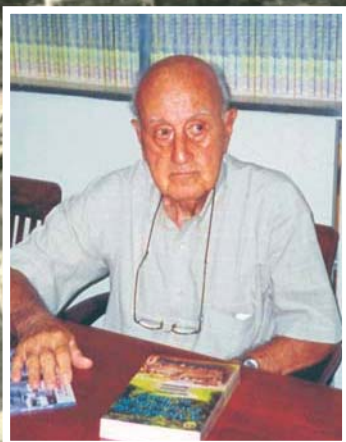


Foto: Georgina Libório Aguiar

## Edmundo Régis Bittencourt Recordemos o Mestre com Carinho



Considerado um dos maiores engenheiros rodoviários do Brasil, Edmundo Régis Bittencourt, era conhecido por praticamente todos os profissionais que trabalhavam na construção das estradas de rodagem. Ele deixou uma imensa contribuição ao processo de desenvolvimento da pavimentação em nosso País.

Nascido em 1897 no Rio de Janeiro e falecido em agosto de 1968, graduou-se na antiga Escola Politécnica do Rio de Janeiro em 1918, turma da qual foi orador, dada a sua eloquência indiscutível.

Com 22 anos incompletos, iniciou sua carreira como engenheiro da Inspetoria Federal de Obras Contra Secas (IFOCS), hoje Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), no interior dos estados da Bahia, Pernambuco, Paraíba e Ceará. A seu cargo estavam estudos e construção de açudes. A atividade perdurou por cinco anos.

Nos cinco anos seguintes, até janeiro de 1931, trabalhou como engenheiro no

AMIC Arsenal de Marinha da Ilha das Cobras (hoje Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro AMRJ) na construção do cais da Ilha das Cobras na Cidade do Rio (RJ).

Em julho de 1931, assumiu o cargo de Diretor de Obras da Prefeitura do Município de São Gonçalo (RJ), permanecendo até abril de 1932, voltando em maio para a Chefia do Departamento Técnico da IFOCS para construir rodovias até julho de 1937.

Com 42 anos, tornou-se engenheiro da Secretaria de Viação e Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro. Decorridos quatro anos daquela atividade, assumiu a Divisão de Estudos e Projetos do DER-RJ até dezembro de 1945. Como Chefe de Divisão, colaborou na elaboração de projeto de várias rodovias estaduais, sendo também um dos responsáveis pelos da nova rodovia Rio Petrópolis e da rodovia do Vale do Paraíba.

Nomeado pelo Interventor Almirante Ernani do Amaral Peixoto, o engenheiro Régis Bittencourt foi prefeito da cidade de Itaperuna (RJ).

Na Administração Francisco Saturnino Braga, no DNER, ocupou a Chefia da Divisão de Estudos e Projetos. Nesta época participou da elaboração do Plano Rodoviário Nacional. Desenvolveu estudos na preparação de Normas para Projeto das Estradas Nacionais, pelo que foi elogiado pelo Presidente do Conselho Rodoviário Nacional.

Em meados da década de 1940, tomou parte na elaboração dos textos das Leis Constitucionais e Decretos-Leis que criaram o Fundo Rodoviário Nacional, atribuindo ao DNER autonomia administrativa e financeira.

Em 1947, foi representante do DNER na 1ª Reunião de Administrações Rodoviárias (1ª RAR) realizada em São Paulo. Neste mesmo ano fez parte da Reunião do Conselho Diretor da ABNT Associação

Brasileira de Normas Técnicas. No ano seguinte, esteve na 2ª Reunião das Administrações Rodoviárias (2ª RAR) em Porto Alegre, na qualidade de membro auxiliar integrante da Delegação do DNER.

Nomeado pelo Presidente da República Eurico Gaspar Dutra Presidente da Comissão Especial da Construção da Nova Rodovia Rio São Paulo (1948-1951), o nobre engenheiro a entregou ao tráfego, concluída, no dia 19 de janeiro de 1951 com 405km de pavimentação, em 22 meses.

A 15 de fevereiro de 1951, sendo Ministro da Viação Álvaro de Souza Lima, foi nomeado Diretor Geral do DNER, no Governo Vargas, sendo exonerado em 9 de setembro de 1954.

Neste período reestruturou o DNER que mantinha a mesma organização experimental de 1945; criou os DRFs Distritos Rodoviários Federais e definiu suas atribuições por decreto presidencial, levando, assim, a presença do DNER a todas as unidades da Federação.

Integrou a Delegação Brasileira ao 5º Congresso Interamericano de Estradas de Rodagem, realizado em Lima, no Peru, em 1951.

Construiu o Centro Rodoviário de Parada de Lucas, em substituição a vários serviços mecanizados que se espalhavam por diversos terrenos ao longo da zona portuária do Rio de Janeiro. Nesse centro foi construída a sede do 7º DRF, o Serviço de Equipamento Mecânico e o Laboratório de Pesquisas Tecnológicas do DNER, embrião do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Como membro da Delegação do DNER tomou parte na 4ª RAR, no ano de 1952, em Recife (PE); na 5ª RAR realizada em Curitiba (PR) em 1953, também como membro da Delegação do DNER no 9º Congresso Nacional de Estradas de Rodagem, realizado em São Paulo em 1954.

Novamente Diretor Geral do DNER, no Governo Juscelino Kubistchek de Oliveira, nomeado em 4 de



fevereiro de 1956 e exonerado em 30 de agosto de 1960. Neste período, em 1958, participou da organização do XI Congresso Internacional de Estradas, no antigo Distrito Federal, como membro da Comissão Organizadora.

Durante sua segunda administração realizou um grande programa de construção rodoviária, do qual se destacam as rodovias Rio Belo Horizonte, Belo Horizonte Brasília, São Paulo Curitiba (rodovia que tem o seu nome), Cuiaba Porto Velho, Volta Redonda

Três Rios, a Nova Rio-Petrópolis, a Ponte da Amizade sobre o Rio Paraguai, ligando o Brasil ao Paraguai, e a ponte sobre o Rio Guaíba, em Porto Alegre (RS).

Na rodovia Brasília Belo Horizonte, foi batido o novo recorde: 1 km de estrada por dia, desde o desmatamento à sua pavimentação, colocação de cerca marginal e sinalização horizontal e vertical.

Escreveu diversos artigos técnicos e um livro, editado em 1958, sob o título *Caminho e Estradas na Geografia dos Transportes*. Esta obra foi comentada e recomendada para nossa leitura pelo Eng<sup>o</sup> Cláudio Ângelo Valadão Albernaz, representante da ABPv no Estado de Minas Gerais, que nos enviou também pelo fax cópia de um artigo interessante sobre a Estrada Real, publicado na edição 101, de maio/junho 1997, do jornal *Estradas de Rodagem* do DER-MG. Deste artigo transcrevemos "que o ponto inicial da estrada (Real) era Borda do Campo, perto da atual Barbacena, então Arraial dos Carijós. Em 1700, o Caminho Novo tornou-se praticável para pedestres. Foi proposta em 1704 uma abertura de nova estrada, pois a antiga não mais suportava e era imprópria ao trânsito de cavalgaduras e tropas de gado e não tinha recursos de pastagens.

O Caminho Novo, construído por Garcia Rodrigues Paes, filho do bandeirante paulista Fernão Dias Paes Leme, objetivou a ligação entre o Rio de Janeiro e Minas Gerais, passando a duração do percurso normal de 50 dias a ser em apenas 15 dias.

Com o crescimento do trânsito, Bernardo Soares Proença ofereceu-se e obteve autorização para abertura de uma variante. Sem ônus para o erário real, começou a obra em 1771 e deu-a pronta em 1773. O porto do Rio Inhomirim (no fundo da Baía da Guanabara RJ) estava assim ligado ao Vale do Paraíba.

O caminho percorrido correspondia à chamada "Estrada Real" e encurtou a ligação Rio Minas em mais quatro dias.

Desta estrada, o subtrecho da Serra da Estrela foi pavimentado com lajões por D. João VI (a 4<sup>a</sup> Residência do 7<sup>o</sup> DRF/DNER, sediada em Petrópolis terminou em meados de 1951 uma pavimentação em paralelepípedos ligando extensões com lajões ou, no meio deles, completando suas falhas.

Em outro subtrecho da Estrada Real, em 1825, D. Pedro I encarregou-se dos melhoramentos, com mais lajões nos piores segmentos, entre o Porto de Estrela e a Fazenda do Córrego Seco. Júlio Frederico Koeller, oficial do corpo de engenheiros do Exército Imperial, se encarregou dos reparos na estrada de Estrela, parte da Estrada Real.

O movimento contínuo por ela atraiu o banditismo organizado perturbando a segurança dos usuários. Então, à guisa da Polícia Rodoviária do final do século XVIII, chefiando o combate aos meliantes, a ponto de ganhar a patente de Comandante da Patrulha do Caminho Novo, por período de três anos, deparamo-nos com o Alferes Joaquim da Silva Xavier o Tiradentes. Sua alcunha surgiu no decorrer destes anos em conseqüência da sua popularidade devido às suas aptidões médicas e à perícia na área dentária." A história se desenrola cheia de detalhes inéditos e valiosos.

Lamentamos apenas que o Dr. Régis, em sua atividade contínua, não tenha conseguido tempo para nos relatar mais fatos preciosos de sua vida, que sem dúvida seriam de grande valia para as novas gerações de engenheiros. Ao grande mestre, a homenagem da Revista PAVIMENTAÇÃO.



Boas idéias e bons  
Momentos esperam  
por você.



**RPU**

Reunião de  
Pavimentação  
urbana

Setembro de 2007  
Ribeirão Preto - SP

Patrocínio Oficial



PETROBRAS



Maiores informações:

[www.rpu.org.br](http://www.rpu.org.br)



6/19. SEPT 30 1916. ASPHALT HEATER. QUEEN & DUNCAN STS. CITY OF TORONTO ARCHIVES