

REVISTA

ABPV

Associação Brasileira de Pavimentação



# PAVIMENTAÇÃO

Ano I – Nº 3 – Julho de 2006 – [www.abpv.org.br](http://www.abpv.org.br) – ISSN 1809-1865

## **Operação tapa buraco concluída**

Os resultados do programa de socorro às rodovias do governo federal. O que ficou como lição?

## **Argila calcinada**

A metodologia de produção, a primeira produção experimental e a proteção da inovação tecnológica pelo IME



# Os Caminhos da Integração

**O MAIOR EVENTO RODOVIÁRIO DO PAÍS**

**DE 8 A 11 DE AGOSTO/2006,  
CENTRO DE CONVENÇÕES GOIÂNIA-GO**

Em 2006, a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv) e a Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem (ABDER) estarão unidas para a realização do maior evento rodoviário do País. A junção da 37ª RAPV e do 11º ENACOR visa atingir “Os Caminhos da Integração”, proporcionando uma maior percepção de valor no público alvo, fazendo com que mais setores da área rodoviária participem ativamente do evento, seja através de stands, envio de congressistas, exposição de trabalhos técnicos ou visitantes.

Nesse sentido todos estão convidados a participar da 37ª RAPV/11º ENACOR tanto através da apresentação de trabalhos bem como da presença no evento ou, ainda, com a colaboração na divulgação desse evento. Assim, todos estarão dando valiosa contribuição em prol da técnica e conferindo grande brilhantismo a esta integração.

[www.oscaminhosdaintegracao.com.br](http://www.oscaminhosdaintegracao.com.br)  
[www.rapv.org.br](http://www.rapv.org.br)      [www.abder.org.br](http://www.abder.org.br)

**Informações**  
**Eventus Assessoria e Organização de Eventos**  
**Falar com Isabel ou Kenya**  
**Fone: (62) 3285-4891 Fax: (62) 3251-1818**



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

Arq<sup>ta</sup> **Georgina Libório Azevedo**  
georgina@abpv.org.br

#### JORNALISTA RESPONSÁVEL

**Jean Pierre M. Santiago**  
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>o</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>a</sup> Laura M<sup>a</sup> Goretti da Motta; Eng<sup>a</sup> Leni F. M. Leite; Eng<sup>a</sup> Leto Momm; Eng<sup>a</sup> Liedi Legi B. Bernucci; Eng<sup>a</sup> Luciana Nogueira Dantas; Eng<sup>a</sup> Luiz Miguel de Miranda; Eng<sup>a</sup> Marcello Roberto Rangel Pestana; Eng<sup>a</sup> Maria da Conceição M Azevedo; Eng<sup>a</sup> Márcio Muniz de Farias; Eng<sup>a</sup> Marálio Augusto Neves; Eng<sup>a</sup> Mario Henrique Furtado Andrade; Eng<sup>a</sup> Nilton de Souza Campelo; Eng<sup>a</sup> Otaclio Alves de França Junior; Eng<sup>a</sup> Paulo Roberto Belisário S. de Souza; Eng<sup>a</sup> Paulo Romeu Assunção Gontijo; Eng<sup>a</sup> Prepredigna D. E. Almeida da Silva; Eng<sup>a</sup> Rita Moura Fortes; Eng<sup>a</sup> Salomão Pinto; Eng<sup>a</sup> Silvio Rodrigues Filho; Eng<sup>a</sup> Saul Birman; Eng<sup>a</sup> Walter Canales Santana; Eng<sup>a</sup> Wanda Trigo Loureiro; Eng<sup>a</sup> Washington Pérez Nuñez.

**Editoração Eletrônica:** MURO Produções Gráficas

**Revisão:** Elizabeth Vilar Pascoal Andrade

**Impressão:** Sermograf

**Tiragem:** 5.000 exemplares – **Periodicidade:** Trimestral

**Fotografias:** Engespro / Agetur / Via Lagos / DNIT



### Nossa capa:

Pavimento da  
Rodovia BR-101, no Estado  
do Rio de Janeiro.

Foto: Jean Pierre M. Santiago

# Sumário

**2** Editorial

**3** Carta dos leitores

**4** Seção de notas

### REPORTAGEM

**7** De volta às rodovias

Governo dá por concluída as obras do PETSE  
Chegou a hora de prestar contas

**12** Goiás – Nos Caminhos da Integração

### ARTIGOS TÉCNICOS

**14** Efeito do tipo de revestimento de pavimentos  
nos ruídos urbanos

Vânia Luzia do Espírito Santo Tizo Lao  
e Laura Maria Goretti da Motta

**28** Agregado artificial de argila calcinada

A metodologia de produção,  
a primeira produção experimental e a proteção  
da inovação tecnológica pelo IME  
Gustavo da Luz Lima Cabral e Álvaro Vieira

**42** Pavimentos compostos com escórias de aciara  
Análise e interpretação dos defeitos mais usuais,  
recomendações técnicas e considerações  
sobre as especificações brasileiras concernentes

Paulo Romeu Assunção Gontijo

### ESPAÇO ACADÊMICO

**55** Teses e dissertações defendidas  
na COPPE / UFRJ

**61** Normas básicas para submissão de artigos  
e contribuições técnicas

**62** Fatos históricos

## Editorial

---

O leitor já percebeu: estamos de roupa nova. Sim, a Revista PAVIMENTAÇÃO na sua edição de número 3 traz novas linhas gráficas e cores mais vivas e brilhantes. Ainda não é uma roupa de festa, para tanto vamos aguardar o primeiro ano de vida. Mas, como é do intuito da ABPv sempre primar pela boa técnica, inclusive gráfica, queremos que o leitor, de nós, tenha a melhor impressão.

Nesta edição cumprimos com o compromisso assumido da edição anterior de apresentar os resultados de um dos maiores programas de socorro às rodovias já implementado no País em caráter emergencial, o PETSE, mais conhecido como Operação Tapa-Buraco. Nossa reportagem conversou com autoridades no Rio de Janeiro e em Brasília para aferir dados e números que pudessem fornecer um retrato do resultado das obras. Ao leitor apresentamos um trabalho apurado do qual esperamos ter contribuído com o papel de observador independente nas ações ligadas à área de pavimentação no Brasil.

Os artigos técnicos apresentados abordam temáticas diversas e atuais: Argila Calcinada, dos engenheiros militares Cap. Lima e Cel. Álvaro; Pavimentos Compostos com Escórias de Aciaria, do engenheiro Paulo Romeu Assunção Gontijo; e Acústica nas Rodovias, das engenheiras Vânia Luzia do Espírito Santo Tizo Lao e Laura Maria Goretti da Motta.

Na edição passada, PAVIMENTAÇÃO trouxe uma reportagem sobre a cidade de Goiânia, onde será realizada a 37ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação – e o 11º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. O evento denominado Os Caminhos da Integração acontecerá entre os dias 08 e 11 de agosto. Nesta edição, trazemos uma nova reportagem, dessa vez sobre o Estado de Goiás, contando brevemente sua história e seus aspectos físicos e políticos.

A ênfase se deve à importância do evento. Os Caminhos da Integração será o maior encontro de profissionais, acadêmicos e autoridades do meio rodoviário do país, com a participação de convidados internacionais.

Como novidade, criamos uma nova seção na Revista: Fatos Históricos. Neste espaço queremos proporcionar aos leitores mais veteranos, por assim dizer, um ar de nostalgia dos casos de obras e histórias de vida de personalidades que contribuíram para a pavimentação no País desde os tempos pioneiros. E aos leitores mais contemporâneos, o registro e a lição histórica como perspectiva para o futuro.

Queremos ainda informar que página da Revista na internet está em construção e, brevemente, estaremos em pleno funcionamento, proporcionando, dessa forma, um contacto mais restrito dos leitores com a equipe da PAVIMENTAÇÃO.

A todos, uma boa leitura e um bom aproveitamento dos conteúdos aqui apresentados.

*Conselho Editorial*

# Cartas dos leitores

A seção de Cartas destina-se a colher opiniões dos leitores sobre as matérias veiculadas na Revista, bem como críticas, elogios e manifestações de assuntos inerentes ao objeto da publicação. A Coordenação da Revista reserva-se, no entanto, o direito de publicar o conteúdo das cartas no todo ou em parte, bem como fazer uma seleção das mesmas devido às limitações de espaço.

e-mail: [redacao@revistapavimentacao.org.br](mailto:redacao@revistapavimentacao.org.br)

*A Revista da ABPv surge com um papel importante no mundo da pavimentação, que é a promoção da tecnologia. Sua qualidade técnica está indiscutível e deve ser preservada pela sua equipe e colaboradores.*

*Engº Saul Birman – Rio de Janeiro, RJ*

*Muito oportuno o artigo sobre Critérios de Escolha de Solo Arenoso Fino Laterítico, do prof. Douglas Fadul Villibor, publicado na edição de nº 2.*

*É um assunto interessante e muito contribui para nós engenheiros. O autor está de parabéns.*

*Eduardo Lacerda – Ribeirão Preto, SP*

*A Revista PAVIMENTAÇÃO está agora fazendo parte do nosso book, o que está servindo como uma referência maravilhosa para a nossa companhia. Foi um grande prazer ter participado da abertura da 13ª RPU.*

*Karina Padilha Rebelo – Associação Artística Sururu de Capote. Maceió, AL*

*Fiquei pessoalmente muito feliz por saber que como membro do Comitê Técnico Científico da Revista PAVIMENTAÇÃO, da ABPv, um dos próximos números incluirá um artigo do qual sou co-autora.*

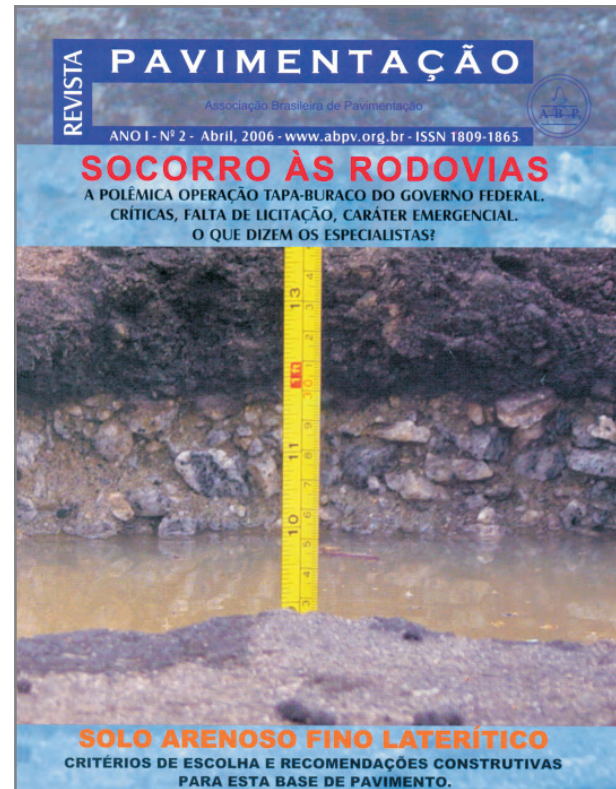
*Maria da Conceição Azevedo – Lisboa, Portugal*

*A iniciativa sonhada há muito tempo pela ABPv foi finalmente realizada com grande sucesso. Merece aplauso as matérias e o visual da revista, assim como toda a equipe.*

*Engº Rui Barbosa – Rio de Janeiro, RJ*

## Nota da redação

Temos recebido cartas de leitores solicitando o exemplar de nº 1 da Revista. Comunicamos que a primeira edição se encontra esgotada, o que nos impossibilita de atender



aos pedidos. Contudo, caso o interesse seja por algum artigo naquela edição veiculado, poderemos disponibilizá-lo através de pedidos para o correio eletrônico da Revista: [redacao@revistapavimentacao.org.br](mailto:redacao@revistapavimentacao.org.br)

# Seção de notas da Revista PAVIMENTAÇÃO

## IPR apresenta Manual de Planos de Ação para transporte de produtos perigosos

No dia 20 de abril foi realizado na Associação Comercial do Rio de Janeiro, o Seminário de Apresentação do Manual para Implementação de Planos de Ação de Emergência para Atendimento a Sinistros Envolvendo o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos – IPR-716.

O Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR – foi o responsável pela elaboração e confecção do Manual, que tem a finalidade de orientar a execução dos planos de emergência para prontas respostas, de acordo com diretrizes técnicas e normas vigentes do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.



Chequer Jabour Chequer  
Coordenador do IPR

O documento surgiu a partir de estudos do IPR que demonstraram a necessidade de melhoria da segurança na área de transporte rodoviário de produtos perigosos. O aumento do tráfego daqueles produtos nas rodovias nacionais nos últimos anos exigia a implementação de recursos para respostas em tempo hábil em eventos acidentais. Os acidentes afetam não somente os usuários, mas também a população, o comércio, a indústria e o meio ambiente.

O Manual possui 147 páginas e está disponível no sítio do DNIT <http://www.dnit.gov.br/menu/servicos/ipr>.

.....

## Fórum Rodoviário Nacional

Teve encerramento no dia 23 de maio no Clube de Engenharia-RJ a 7ª Sessão do Fórum Rodoviário Nacio-

nal. Nesta edição o evento percorreu sobre o tema Novas Tecnologias. O Fórum criado pela Associação Brasileira de Engenheiros Rodoviários – ABER, acontece desde novembro de 2005 e vem contribuindo expressivamente para o meio profissional rodoviário com palestras e debates sobre os principais assuntos de interesse do setor, tais como



Eng<sup>a</sup> Regina Célia S. Avena; Eng<sup>o</sup> Almir Lopes Calmont - Presidente; Eng<sup>a</sup> Nelson Campos; Eng<sup>o</sup> Cláudio Ivanof Lucarevski e Eng<sup>o</sup> Jorge Nicolau Pedro.

Concessões, Parcerias Público-Privadas, Segurança Pública nas Rodovias, Meio Ambiente e Aspectos Constitucionais.

O evento contou com o apoio da ABPv, ABCE, ABCP, ABCR, ANEOR, ASDNER, SINAENCO, SINICON, UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro e UNESP – Universidade Estadual Paulista.

.....

## Seminário Habitação Transportes e Saneamento: Soluções para Questões Urbanas do Grande Rio

O Clube de Engenharia-RJ promoveu entre os dias 29 e 31 de maio o Seminário Habitação Transportes e Saneamento: Soluções para Questões Urbanas do Grande

Rio, que contou com a participação de grandes nomes do cenário político e técnico da atualidade.

Durante os três dias dos eventos os debates propiciaram ao público presente uma visão apurada dos problemas enfrentados pelos grandes centros urbanos nas áreas-tema, bem como as perspectivas para as soluções.

Ao final do evento foi exibido o filme *Cotidiano da Cidade*, do cineasta Luis Eduardo Lerina, uma obra-prima sobre a construção urbana.

.....

## **ABPv compõe a comitiva brasileira aos EUA**

### **Assunto: Cooperação Técnica**

O Diretor-Presidente da ABPv, Eng<sup>o</sup> Eduardo Alberto Ricci, esteve em comitiva, entre os dias 12 e 17 de março, em Washington, nos Estados Unidos, a convite do Federal Highway Administration – FHWA (Departamento Nacional de Estradas dos EUA), para participar de um encontro que versou sobre acordos bilaterais entre Brasil e EUA de cooperação técnica, visando treinamento e capacitação gerencial com troca de experiências.

Na comitiva brasileira participaram representantes do Ministério dos Transportes, da ABDER, do Departamento de Infra-estrutura de Transportes – DNIT, dos DERs e da Petrobras.

O grupo brasileiro encontrou-se também com representantes da American Association of State Highway and Transportation (AASHTO), e com diretores do Departa-

mento de Estradas do Estado da Virgínia, onde pode visitar as obras rodoviárias realizadas pelos engenheiros americanos e conhecer a política de transportes daquele Estado. A AASHTO é tida como o departamento estadual norte-americano mais avançado em tecnologia de pavimentação e conservação de rodovias, em políticas de segurança e de financiamentos público e privado.

.....

## **Seminário no Mato Grosso do Sul apresenta alternativas para baratear a pavimentação**

Alternativas para baratear a pavimentação foram apresentadas no Seminário Pavimentação Econômica Alternativa, que aconteceu no dia 26 de maio, em Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

O evento foi direcionado aos prefeitos, secretários municipais de obras e engenheiros de todo o Estado. O objetivo do seminário foi apresentar as novas tecnologias experimentadas em diversos países que proporcionaram resultados positivos para tornar o asfalto mais barato e acessível aos governos, para que possam atender às demandas da população.

Segundo o gerente nacional de Asfalto da BR Distribuidora e Diretor Vice-Presidente da ABPv, Jorge Paulo Moro, “em quatro anos é possível pavimentar 330 mil quilômetros de estradas no Brasil com novas tecnologias, exatamente o dobro da quilometragem pavimentada atualmente no país”.

Também participaram do Seminário o coordenador de Pesquisas Rodoviárias do DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, Chequer Jabour Chequer, e a assessora da Secretaria Executiva do Ministério dos Transportes, Auxiliadora do Rego Borges.

*Fonte: Assessoria de Imprensa da Assembléia Legislativa do Estado do Mato Grosso do Sul.*

.....

## **ABPv e AEAARP fecham parceria**

A Associação de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Ribeirão Preto (AEAARP) e a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv) assinaram convênio, em 23 de junho, para promover cursos na área de pavimentação em Ribeirão Preto.



Comitiva brasileira: Ministério dos Transportes, DNIT, ABPv e Petrobras

rão Preto. O Diretor Presidente da ABPv, Eng<sup>o</sup> Eduardo Alberto Ricci, esteve na cidade para a assinatura do contrato.

A Associação, com sede no Rio de Janeiro, tem 47 anos e possui 2 mil associados entre profissionais, empresas e governos federal, estadual e municipal. “Com este convênio, pretendemos interiorizar o ensino na área de pavimentos, passando aos profissionais conhecimentos tecnológicos em infra-estrutura de transportes. Vamos



Da esquerda para a direita: Luiz Eduardo Lacerda dos Santos, Eduardo Alberto Ricci, Wilson Luiz Laguna e Roberto Maestrello – Crédito: Arquivo Painei

implantar cursos em Ribeirão Preto para disseminar as técnicas da engenharia de pavimentação”, explica Ricci.

A ABPv tem grande poder técnico e político, e sua história se confunde com o início da pavimentação no Brasil. “No país, ela começou praticamente com a fundação da Associação, que hoje é conhecida internacionalmente”, diz o presidente.

Anualmente, a ABPv realiza dois grandes eventos: a Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) e a Reunião de Pa-

vimentação Urbana (RPU), coordenada pelo Eng<sup>o</sup> Jorge Eduardo Salathé. A RAPv, que aborda a situação das estradas brasileiras, realizará sua 37<sup>a</sup> edição em Goiânia, de 8 a 11 de agosto de 2006. Este ano, pela primeira vez, a ABPv está trabalhando em parceria com a ABDER (Associação Brasileira dos Departamentos de Estradas de Rodagem).

Dessa forma, conjuntamente com a 37<sup>a</sup> RAPv, será realizado o 11<sup>o</sup> Enacor (Encontro Nacional de Conservação Rodoviária).

A organização do evento recebeu mais de uma centena de trabalhos técnicos, e serão proferidas nove palestras para um público estimado de 1.000 pessoas. A 14<sup>a</sup> RPU, no segundo semestre de 2007, está sendo programada para acontecer em Ribeirão Preto.

Não será a primeira vez que o Estado de São Paulo será palco deste evento. A 6<sup>a</sup> RPU foi realizada em Santos, de 18 a 20 de abril de 1995; e a 7<sup>a</sup> RPU, em São José dos Campos, de 24 a 28 de junho de 1996. Ambas com sucesso técnico que muito contribuiu para o país.

Durante a assinatura do contrato, além do presidente da ABPv, estiveram presentes o presidente e

o vice-presidente da AEAARP, Wilson Luiz Laguna e Roberto Maestrello, respectivamente; o conselheiro da AEAARP e representante da ABPv no Estado de São Paulo, Luiz Eduardo Lacerda dos Santos; e o presidente do Conselho Deliberativo da AEAARP, José Alfredo Pedreschi Monteiro.

A coordenação dos cursos da ABPv, em Ribeirão Preto, está sob a responsabilidade dos engenheiros José Roberto Hortêncio Romero, Luiz Eduardo Lacerda dos Santos e Luci Aparecida Silva e do arquiteto José Antônio Lanchoti.





**DE VOLTA ÀS RODOVIAS**  
**Governo dá por concluída as obras**  
**do PETSE.**  
**Chegou a hora de prestar contas.**

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

## O Programa

O Programa Emergencial de Trafegabilidade e Segurança nas Estradas – PETSE, amplamente conhecido como Operação Tapa-Buraco, deflagrado pelo governo federal no início do ano está praticamente concluído. Chegou a hora de prestar contas à sociedade do montante de R\$ 440 milhões aplicados no maior programa emergencial de socorro às rodovias.

O surgimento do PETSE tem versões controversas. Há quem sustente que o programa surgiu de uma resposta política do governo federal à intervenção feita pela Governadora do Rio de Janeiro na BR 101 no final de 2004, dado o estado precário que se encontrava aquela rodovia. Assim, Brasília tomou a frente e espalhou a operação por todo o país. A imprensa sustentou amplamente esta versão.

Para o governo federal, há vários anos não se dispunha de recursos para conservação e recuperação da malha rodoviária nacional. No final de 2004, as estatísticas oficiais já mostravam uma malha rodoviária deteriorada em quase 60%, fato complicado para um país que depende basicamente do sistema rodoviário federal, consideran-

um relatório que elencava vários trechos que deveriam sofrer intervenções imediatas.

Havia ainda a Medida Provisória nº 82 de 07 de dezembro de 2002, que transferia 18 mil quilômetros (sendo 14 mil pavimentados e 4 mil não pavimentados) da malha rodoviária federal para os Estados. O Governo alega que os Estados receberam os recursos, porém não executaram as devidas obras de emergência. A justificativa governamental é que tal fato impediu a aplicação de novos recursos, pois as Procuradorias e Consultorias Jurídicas do Ministério dos Transportes entenderam que, naquilo que já havia sido repassado para as obras, o DNIT estava impedido de aplicar novos recursos. Portanto, a ausência da intervenção dos Estados mais o impeditivo por parte do DNIT teriam culminado na situação extrema da trafegabilidade das estradas.

Assim, segundo o Governo Federal, teria surgido o Programa Emergencial de Trafegabilidade e Seguranças nas Estradas. Verificou-se em dezembro de 2004, através de um levantamento em caráter de urgência de que dos 27 mil quilômetros de malha rodoviária em condições ruins, aproximadamente 7 mil estavam sem um contrato sequer.



Evolução das obras na BR-101, RJ, sentido Manilha, km 263 – Fotos Engespro.

do que, aproximadamente, 70% das cargas e quase 90% dos passageiros utilizam as rodovias. A deterioração das estradas e a falta de investimento e manutenção deriva da falta de atenção a alguns dos princípios básicos de política de infra-estrutura.

Face ao clamor popular para que se fizesse alguma coisa, a cobrança vinha principalmente pela imprensa. Além do mais, o DNIT foi alvo de decisões judiciais que o obrigavam a indenizar os que sofriam acidentes causados pelos buracos nas estradas. Em outros casos, a Justiça chegou a determinar que o DNIT fizesse, em caráter de emergência, a recuperação de determinado trecho. Isto levou o Tribunal de Contas da União – TCU a apresentar

Foi feita, então, uma Declaração de Estado de Emergência para aqueles 7 mil quilômetros, e através da Portaria nº 1806/05 do DNIT foram selecionados os trechos que fariam parte do programa mas não passariam por licitação.

## As Obras

Quando do início da execução das obras, a Operação Tapa-Buraco sofreu um turbilhão de críticas. Na edição anterior a Revista PAVIMENTAÇÃO trouxe em sua reportagem sobre o PETSE, a opinião de diversas entidades de classe e de profissionais da área de engenharia e pavimentação. As críticas foram incisivas quanto ao casuístico

da Operação ser implementada no último ano do governo do Presidente Luiz Inácio Lula da Silva, quando deveriam ter sido iniciadas no começo de sua gestão.

Outra crítica, de caráter técnico e talvez a mais pertinente, seria do período de escolha para a execução das obras. Início do ano é o período de chuvas. E os engenheiros consultados pela Revista foram unânimes em afirmar que um trabalho de recuperação de rodovias em período chuvoso é uma tarefa que fatalmente não alcançaria sucesso. De fato, o Diretor Executivo do DNIT, Eng<sup>o</sup> José Henrique Coelho Sadok de Sá, declarou à PAVIMENTAÇÃO que as chuvas foram realmente um transtorno às obras. Na BR 070, uma das primeiras estradas a sofrer a intervenção, tão logo foram concluídos os trabalhos, ocorreram chuvas que provocaram o surgimento de 1.500 novos buracos ao longo de seus 65 quilômetros no trecho Distrito Federal-Goiás. Foi necessário voltar à rodovia e refazer o serviço.

As obras de caráter emergencial do PETSE estão concluídas, segundo o DNIT. São as obras do chamado Anexo I.



Diretor Executivo do DNIT,  
Eng<sup>o</sup> Henrique Sadok

Estas terminaram no dia 30 de junho. O que resta fazer não faz parte do caráter emergencial, trata-se daquelas obras de contratos normais de restauração e recuperação, ou Anexo II. Segundo o Eng<sup>o</sup> Sadok, praticamente 100% do previsto no programa foi executado, restando algo em torno de 0,1% que

terminará em julho. Dentro dessa porcentagem estão algumas obras que não tinham caráter de emergência, fato que foi constatado pelo TCU. Mas a trafegabilidade, afirma o engenheiro, está garantida.

A Revista PAVIMENTAÇÃO teve acesso a um relatório do Ministério dos Transportes do avanço do PETSE até a 23ª Semana, ou seja, do início do programa em 09 de janeiro de 2006 até 15 de junho. O documento fornece os números da extensão proposta da operação em cada Estado e no Distrito Federal, e a extensão executada. Os nú-

<b>Resumo Geral – 23ª Semana</b>			
Avanço do Programa Emergencial de Trafegabilidade e Segurança nas Estradas – PETSE			
<small>Fonte: DNIT</small>			
<b>Estado (UF)</b>	<b>Extensão proposta (km)</b>	<b>Extensão executada (km)</b>	<b>Percentual executado (%)</b>
Alagoas	320,1	272,4	85,1
Amazonas	1.095,3	465,1	42,5
Bahia	1.525,8	1.028,1	67,4
Ceará	84,3	37,3	44,2
Distrito Federal	59,7	59,7	100,0
Espírito Santo	685,4	384,0	56,0
Goiás	2.451,6	2.444,6	99,7
Maranhão	2.542,2	1.099,6	43,3
Mato Grosso	1.289,2	1.238,9	96,7
Mato Grosso do Sul	2.217,3	1.377,4	62,1
Minas Gerais	3.370,7	3.090,3	91,7
Pará	2.248,4	1.631,3	72,6
Paraíba	358,7	253,4	70,6
Paraná	614,2	444,2	72,3
Pernambuco	800,1	799,1	99,9
Piauí	595,3	54,0	9,1
Rio de Janeiro	1.020,1	1.020,1	100,0
Rio Grande do Norte	550,0	211,5	38,5
Rio Grande do Sul	1.465,5	1.150,8	78,5
Roraima	814,3	654,3	80,4
Santa Catarina	1.725,4	1.188,7	68,9
São Paulo	620,1	535,0	86,3
Sergipe	320,1	103,1	32,2
Tocantins	137,4	137,4	100,0
<b>Total</b>	<b>26.910,2</b>	<b>19.680,3</b>	<b>73,1</b>

meros correspondem ao total da malha, não diferenciando as de caráter emergencial. Segundo estes dados, os Estados do Rio de Janeiro, Tocantins, Pernambuco e o Distrito Federal estão com suas operações praticamente concluídas. Estados como Piauí, Sergipe e Rio Grande do Norte ainda estão longe de atingirem a meta. Ao todo, segundo o documento oficial, estão concluídas em todo o país 73,1% das obras designadas no Programa.

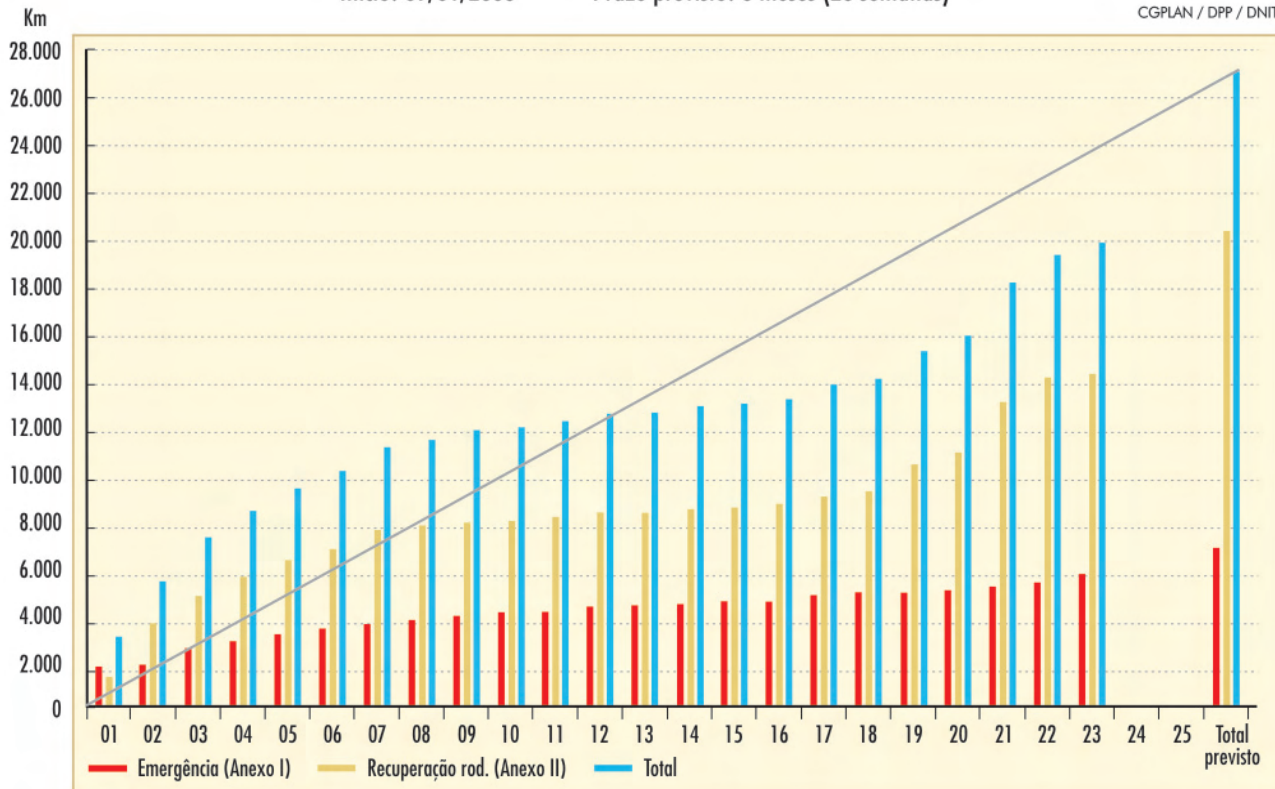
O Diretor Executivo do DNIT concorda também que obras de tapa-buraco não são duradouras. Em função disso, o Governo Federal já está publicando edital de licitação de conserva para que não reapareçam problemas semelhantes como os que ocorreram nos 27 mil quilômetros no início do ano. O Governo lançará mão do chamado PATO – Plano Anual de Trabalho e Orçamento, para contratar conservação e manutenção das rodovias. As UNITS estão sendo orientadas para este tipo de progra-

## PETSE Nacional (Port. DG-439/06) – Evolução dos Serviços

Início: 09/01/2006

Prazo previsto: 6 meses (26 semanas)

CGPLAN / DPP / DNIT



O gráfico mostra a evolução dos serviços do PETSE nacional. Segundo estes dados, as obras tidas como emergenciais sem licitação, que totalizam 7 mil quilômetros, estão praticamente concluídas, como se observa nas barras vermelhas. As obras que continuam em execução, representadas pelas barras amarelas, são aquelas dos contratos normais de restauração e recuperação. As barras azuis representam o total previsto no programa.

ma. “Possivelmente trabalharemos com um projeto chamado CREMA (Contrato de Recuperação e Manutenção). Isto significa dizer que a empresa contratada que recuperar a rodovia, fará o serviço de conservação e permanecerá vinculada à obra por uns 3 anos fazendo a manutenção” disse. O CREMA prevê punição para a empresa que não realizar a manutenção no tempo acordado.

### A Fiscalização

Quanto à fiscalização das obras existem muitas polêmicas. A grande imprensa tem veiculado que, segundo o ministro-relator da auditoria, Augusto Nardes, o TCU, na conclusão de seu relatório de avaliação do PETSE, revela que encontrou irregularidades em 47,5% do que foi fiscalizado. O Tribunal de Contas da União teria fiscalizado 103 itens do programa, ou 40,4% do total. Desta parcela, 47,5% correspondem a irregularidades nas

obras, 44,6% estão com alguma pendência e apenas 7,9% das obras vistoriadas não apresentaram irregularidades.

No entanto, para o Diretor Executivo do DNIT, o TCU já fez a avaliação do programa como um todo e aproximadamente 90% está caracterizado como correto. Nos pontos controversos, o TCU está pontuando e analisando cada caso. “Estamos explicando e justificando cada caso que o Tribunal de Contas encontra, mas o programa como um todo já está praticamente aprovado”, declarou o Engº Sadok.

Para o professor e engenheiro Luiz Miguel de Miranda, da Engespro, firma contratada para a execução das obras da Operação Tapa-Buraco na BR 101 Norte, no Rio de Janeiro, todo o controle que vem sendo feito pelo DNIT vai ao encontro do que o TCU almeja. Segundo ele, não haverá surpresas na avaliação final. “Se o TCU necessita de métodos mais específicos de controle, o DNIT transfere essa metodologia para o TCU. Estamos em conjunto criando



Professor e Engenheiro Luiz Miguel Miranda

um banco de métodos.” Para o professor isto é necessário, pois, os auditores têm uma visão diversa da dos engenheiros e técnicos. A interação de ambas as partes gera uma avaliação mais aperfeiçoada. *“Eu quero crer que no final haverá no máximo algo em torno de 2% de discordância do TCU em rela-*

*ção ao DNIT, que são imponderáveis. Isto, por eles (auditores) carecerem de um método mais específico de controle.”*

O Ministro dos Transportes, Paulo Sérgio Passos, afirmou que o relatório divulgado pelo TCU aborda a ocorrência de irregularidades, mas não faz nenhuma condenação ao Ministério, nem determina qualquer medida no sentido de interrupção de ações que a administração está tomando no desenvolvimento do PETSE. *“O que for pontuado pelo TCU nós estamos prontos a esclarecer”* afirmou o Ministro.



Rodrigo Antonio Ribeiro Costa, Coordenador da 7ª UNIT

No Rio de Janeiro, o chefe da 7ª UNIT, Engº Rodrigo Antonio Ribeiro Costa, questionado sobre uma possível interferência no Programa devido a proximidade das eleições, disse que não acredita que isto possa vir acontecer: *“Acho difícil que as eleições interfiram no cronograma das obras do PESTE, isto*

*porque em pouco tempo todas as obras estarão concluídas em todo o país. No Rio de Janeiro não existe buraco, aqui nós temos o chamado Buraco-Zero”*. O engenheiro coordenador da UNIT no Rio de Janeiro disse que quan-

do um buraco nasce nas estradas federais do Estado, ele morre no dia seguinte pela ação e obrigação do residente.

## A lição para o futuro

A Revista PAVIMENTAÇÃO também está acompanhando todo o processo de execução e fiscalização das obras do PETSE checando informações junto às autoridades e técnicos da área. Em artigo publicado na edição passada, o Prof. Sérgio Benevides, ressalta a importância do sistema de gerência de pavimentos. De forma simplificada, a vida de um pavimento pode ser composta de vários ciclos, cada um resultante de várias etapas de manutenção e reforço estrutural, atualmente até acrescidos de possibilidades



Ministro dos Transportes, Paulo Sérgio Passos

de reciclagem de camadas. Situações de correções “emergenciais” em larga escala, como atualmente executadas, não deveriam ser necessárias, se o acompanhamento sistemático da serventia dos pavimentos das rodovias fosse executado e os alertas de agravamento dos defeitos fossem seguidos de orçamento adequado para as suas correções

à medida que aparecessem. Há normas de levantamento de serventia padronizadas pelo DNER, atual DNIT, que permitem fazer, consistentemente, esses levantamentos, e até são feitos periodicamente, pelo que se sabe.

O que tem ocorrido é a falta de recurso para aplicar as medidas necessárias de correção dos problemas avaliados. A gestão de pavimentos não pode ser desvinculada, então, dos problemas de orçamentos anuais destinados ao setor.

Aos atuais e futuros governantes, o Programa Emergencial de Trafegabilidade e Segurança nas Estradas fica como o registro de uma grande lição quando investimentos, normas e técnicas não são vislumbrados conjuntamente na administração do sistema viário.



# Goiás – Nos Caminhos da Integração

**A capital Goiânia, sediará a maior evento rodoviário do país  
Conheça um pouco da história do estado**

Aproximadamente quase um século após o Descobrimento do Brasil, colonizadores portugueses chegaram à região de Goiás. Os primeiros a ocupar o local foram aventureiros bandeirantes vindos de São Paulo em expedições. Dentre estes “exploradores” estava Bartolomeu Bueno da Silva – o Anhangüera, que vinha em busca de ouro, o que só encontrou no final do século XVII.

Segundo uma lenda local, na tentativa de descobrir com os índios onde localizavam-se os veios de ouro, Bartolomeu Bueno da Silva ateou fogo em um prato contendo aguardente, dizendo fazer o mesmo com os rios e nascentes se os índios não lhe mostrassem as minas. Com medo, os índios o atenderam e passaram a chamá-lo *anhangüera* (“feiticeiro” para os nativos). Muitas outras expedições rumaram para Goiás em busca das riquezas do subsolo.

O primeiro vilarejo da região, chamado de Arraial da Barra, foi fundado em 1726 por Bartolomeu Bueno (filho de Bartolomeu Bueno da Silva). A partir daí, os povoados cresceram e se multiplicaram, isto na segunda metade do século XVIII, quando a exploração do ouro estava

em alta. A migração de pecuaristas vindos de São Paulo (séc. XVI) buscando melhores terras e condições para o gado avolumou a colonização e implantou a pecuária na região.

O atual Estado de Goiás, antes pertencente ao Estado de São Paulo, foi separado e elevado à categoria de província em 1744. Com a decadência do ouro nos idos de 1860, a lavoura e a pecuária passaram a ser as principais atividades da região. O escoamento da produção foi propiciado pela abertura de estradas e pela navegação a vapor no final do século XIX, o que desenvolveu consideravelmente a província. Século XX, construção da capital Goiânia, novo impulso econômico mais tarde complementado com a criação de Brasília (1960).

Distribuídos em 246 municípios, sua população, segundo o senso demográfico ano 2000 do IBGE, é de 5.003.228 habitantes, ocupando uma superfície de 341.289,5 km<sup>2</sup>.

Goiás conta com 3.400 quilômetros de rodovias federais, 18.610 quilômetros de rodovias estaduais e 64.690 quilômetros de rodovias municipais perfazendo um total de 86.700 quilômetros de rodovias, das quais somente

7.822 quilômetros são pavimentados. A rede hidrográfica goiana é formada pelas bacias do Amazonas, Paraná e São Francisco.

## Projeto Sinalização

As estradas de Goiás ganharam desde agosto do ano de 2001, placas de sinalização educativas e indicativas, voltadas à área ambiental. Esta é uma iniciativa da Agência Ambiental (Projeto Sinalização), preocupada com a qualidade do meio ambiente, a partir do alto índice de atropelamento de animais silvestres nas rodovias goianas e demais processos de degradação. O Projeto objetivou também, sensibilizar a população sobre os problemas ambientais, orientar sobre o melhor acesso às Unidades de Conservação do Estado, bem como promover a sinalização interna destas Unidades, procurando orientar a população sobre os locais disponíveis para visitação e as particularidades do local. No total, foram contempladas 15 rodovias federais e 54 rodovias estaduais.

Foram confeccionados e distribuídos ainda, 10.000 prospectos educativos referentes



aos corredores de migração faunística. Estes prospectos visam informar sobre a localização dos corredores de migração, o impacto das rodovias sobre a fauna e maneiras de se evitar o atropelamento de animais silvestres. Dos 246 municípios do Estado de Goiás foram beneficiados, diretamente, um total de 156, o que representa aproximadamente, 64 % do total de municípios.

Durante o desenvolvimento do Projeto foram implantadas 308 placas de sinalização nas rodovias que cortam o Estado, sendo: 156 placas educativas voltadas para a conservação dos recursos naturais, combate às formas de poluição e prevenção a incêndios florestais; 99 referentes aos Corredores de migração faunística; e 53 placas indicativas das Unidades de Conservação.

A capital Goiânia, que foi matéria de destaque na edição anterior da Revista PAVIMENTAÇÃO, será palco da 37ª RAPV e do 11º ENACOR – Os Caminhos da Integração. Trata-se do maior evento rodoviário do país.

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.

# Efeito do tipo de revestimento de pavimentos nos ruídos urbanos

**Vânia Luzia do Espírito Santo Tizo Lao**

Prefeitura do Rio de Janeiro

**Laura Maria Goretti da Motta**

COPPE/UFRJ

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo verificar a contribuição de alguns tipos de revestimentos de pavimentos na emissão, propagação e absorção do ruído proveniente da interação de sua superfície com os pneumáticos dos veículos automotores que por ele circulam. Para tanto foram realizadas campanhas de campo que envolveram medições do ruído no interior e exterior ao veículo de teste, estando este se deslocando com o motor desligado. Conclui-se que há uma grande contribuição do tipo de revestimento na geração dos ruídos urbanos.

## ABSTRACT

The objective of this paper is to verify the contribution of some types of pavement surfacing considering emission, propagation and absorption of noise coming from the interaction between its surface and pneumatic automotive vehicles that are on transit. Field and laboratory tests were held involving noise measurements in interior and exterior of the test vehicle with stopped motor displacement.

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade sonora de uma cidade tem a ver diretamente com a forma de urbanização, as características do uso do solo, o zoneamento, a densidade demográfica, a morfologia das edificações, o desenho urbano, as características do sistema viário e os hábitos e educação da comunidade, (Teixeira, 2000).

A evolução urbana brasileira está intimamente relacionada às migrações internas atraídas pela perspectiva de aquisição de melhores condições de trabalho e de sobrevi-

vência, que deram origem ao crescimento desordenado devido à necessidade de acomodação do acréscimo populacional, sendo este superior à capacidade das cidades em gerir projetos de infra-estrutura que suprissem as demandas, provocando modificações substanciais na paisagem.

Somente um reduzido número de centros urbanos tiveram o seu crescimento, direta ou indiretamente, induzido por decisões regionais tomadas pelo poder público através de investimentos em infra-estrutura produtiva e em serviços básicos pela concessão de incentivos, apesar de terem existido no país vários planos de desenvolvimento, mas es-

tes não foram implantados ou por falta de interesse ou de recursos ou por descontinuidade administrativa.

Outro fator modificador da estrutura urbana brasileira foi a implantação da indústria automobilística que alterou consideravelmente o grau de motorização da população, diminuindo a relação habitantes/automóveis pois os veículos, ao se tornarem mais populares, alteraram os hábitos da população com relação ao uso do meio de transporte, passando a predominar o transporte individual. O incremento do número de veículos e da velocidade de circulação, são fatores responsáveis pela elevação do nível de ruído nas cidades.

A expansão do sistema viário não correspondeu de forma proporcional ao aumento da frota, decaindo rapidamente a capacidade de vazão dos novos fluxos de veículos que passaram a utilizar as vias das cidades. O efeito desta distorção se fez sentir no aumento do tempo de viagem, na poluição sonora e atmosférica, no número de acidentes, na repartição modal do transporte e na qualidade dos serviços prestados, que contribuíram de forma decisiva para a perda da qualidade de vida dos principais centros urbanos.

Poucas considerações têm sido feitas em relação aos efeitos colaterais causados pelo crescimento desordenado dos centros urbanos e pela circulação dos veículos automotores na poluição sonora, que é um problema significativo que necessita de avaliação e de priorização de estratégias de controle ou de amenização, visto que o problema tende agravar-se com o passar do tempo acarretando problemas físico e psíquico em seus habitantes.

Um dos instrumentos legais que uma cidade dispõe para o controle da qualidade de vida em termos acústico urbanísticos é o controle do uso do solo, impedindo que novas áreas incorporadas aos espaços urbanos se desenvolvam com as mesmas deficiências que as áreas ocupadas no passado. Um dos aspectos mais importantes da legislação sobre o uso do solo urbano deve ser a fixação das densidades ocupacionais de forma a permitir uma movimentação rápida e segura por meio de transporte adequado.

Em termos da redução do ruído de circulação do tráfego em situações existentes, pode-se atuar nos elementos que compõem a cadeia acústica de sua produção, como a fonte geradora, a via e/ou o seu entorno e a organização e regulamentação do tráfego. Nos processos de expansão de vias existentes ou na planificação de novas vias, nos estudos de impacto ambiental deve-se considerar a contaminação sonora que tais vias provocarão, de forma que se minimize

as conseqüências negativas provocadas pelo ruído do tráfego aos seres humanos da localidade ou, pelo menos, que o projeto contemple medidas de redução de ruído.

A figura 1 indica que é possível atuar sobre os elementos que compõem a cadeia acústica de produção do ruído de circulação e apresenta as diferentes partes envolvidas (OCDE, 1995).

Existem vários tipos de barreira acústica que podem ser implantadas para diminuir o ruído, entre outros mecanismos de atuação, incluindo as modificações no pavimento e nos

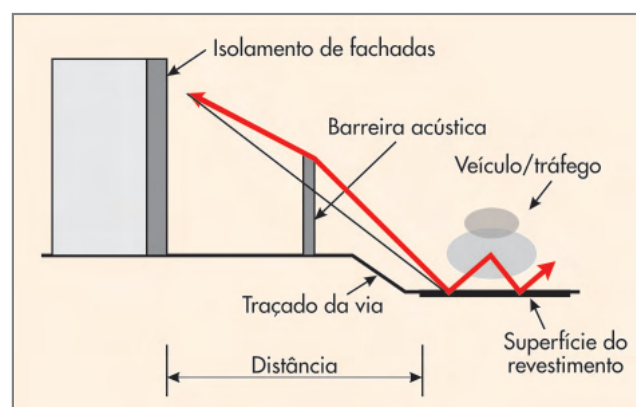


Figura 1 – Representação esquemática da cadeia acústica (OCDE, 1995)

veículos. As barreiras podem ser classificadas como naturais, artificiais ou mistas. Como exemplo, a Figura 2 mostra ilustração básica de barreira natural de vegetação que pode ser adotada para diminuir a propagação do ruído do trânsito, quando convenientemente escolhida e projetada.

Recentemente a Organização Mundial de Saúde (OMS) vem incluindo a contaminação sonora dentro da problemática ambiental em virtude do crescimento da demanda social de limitar os níveis sonoros produzidos pela circulação do tráfego.

Se em termos gerais, este assunto não merece a atenção devida ainda, menos ainda a correlação do tipo de revestimento do pavimento com os ruídos gerados nas cidades tem sido objeto de estudo, especialmente no Brasil. Com base no exposto o objetivo deste trabalho é mostrar a contribuição dos diferentes tipos de revestimento do pavimento na emissão, propagação e absorção do ruído proveniente da interação pneumático-revestimento. Para este estudo foram desenvolvidos levantamentos bibliográficos, de campo e de laboratório, que estão mostrados de forma completa em Tizo Lao (2004).

Neste trabalho apresentam-se resultados de medições de campo realizadas em ruas da cidade do Rio de

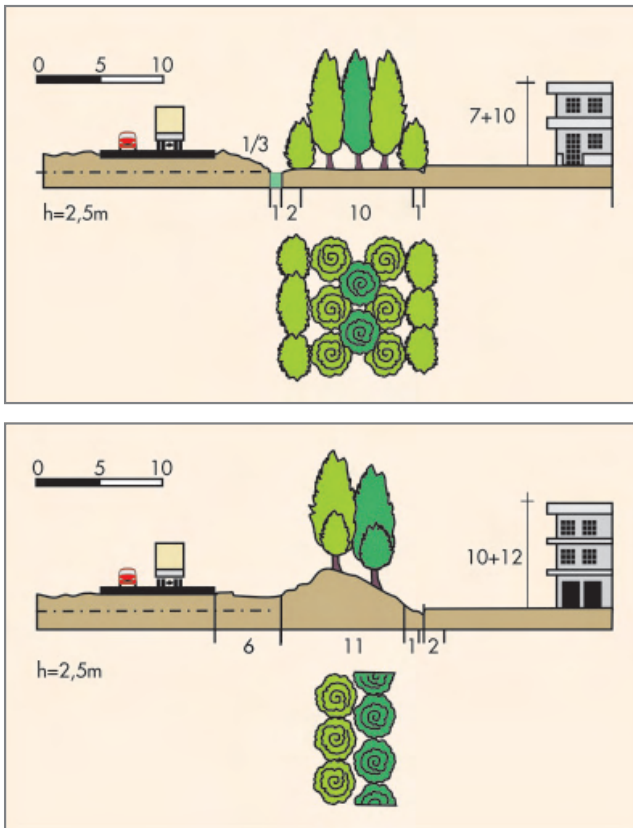


Figura 2 – Representação esquemática de barreiras acústicas naturais (OCDE, 1995).

Janeiro com diferentes tipos de revestimento, utilizando-se a metodologia padronizada pela ABNT com uso de um automóvel e microfones estrategicamente posicionados. Além disso foram feitas medidas de macro e micro textura das superfícies ensaiadas visando uma possível correlação destes parâmetros com os ruídos gerados pela passagem do veículo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho tem cunho nitidamente interdisciplinar e como está sendo apresentado em um fórum onde predomina o conhecimento do aspecto do problema relacionado aos diferentes tipos de revestimentos de pavimentos, torna-se necessário a apresentação de conceitos básicos de acústica para melhor compreensão do estudo desenvolvido. Porém, não é possível apresentar todos estes conceitos, que podem ser vistos em Tizo Lao (2004), Ramalho *et al* (1992), Niemeyer (1998), Massarani e Holanda (2003), Araújo e Regazzi, (2002), entre outros.

Denominam-se ondas sonoras as ondas longitudinais de pressão que se propagam em um meio elástico e apre-

sentam as seguintes propriedades de reflexão, reverberação refração, difração, difusão e interferência. Portanto, uma onda sonora ao incidir em uma superfície pode ser refletida, absorvida, difratada, difundida ou transmitida. A distribuição da energia sonora entre estes fenômenos é função dos coeficientes de reflexão ( $r$ ), absorção ( $a$ ), dissipação ( $d$ ) e transmissão ( $t$ ) da superfície incidente. As ondas que se propagam da fonte ao receptor sem sofrer qualquer transformação em suas características ou mudança na direção por refração, reflexão ou absorção, são denominadas diretas e as que sofrem uma ou mais reflexões são as refletidas. Alguns dos parâmetros físicos que caracterizam a onda sonora são mostrados esquematicamente na Figura 3 (Massarani e Holanda, 2003).

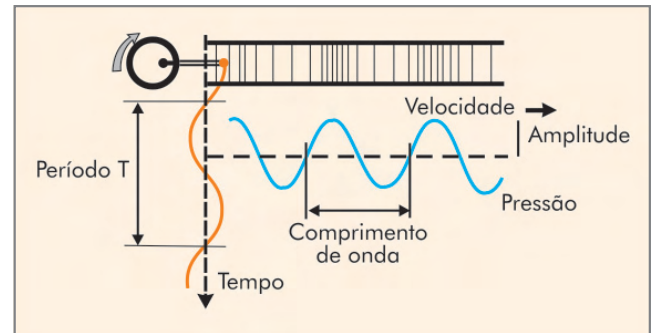


Figura 3 – Alguns dos parâmetros de avaliação do som (Massarani e Holanda, 2003).

Sob o ponto de vista psicofísico, o som é uma sensação percebida pelo aparelho auditivo, resultante de vibrações mecânicas, cuja energia é transmitida pelo movimento oscilatório das moléculas em torno de sua posição de equilíbrio, através de um meio elástico, o ar, criando alternadamente zonas de compressão e rarefação que alteram a pressão atmosférica (Teixeira, 2000). O som pode ser caracterizado (Ramalho *et al*, 1992), por suas qualidades fisiológicas, que, são: Altura ou Tom, Intensidade e Timbre. A análise da variação de intensidade do som em função da frequência é denominada de análise espectral.

O ouvido humano é excitado por ondas sonoras situadas no espectro de frequências entre 20 a 20.000Hz, sendo denominadas de áudio-freqüência, Figura 4. (Massarani e Holanda, 2003). Abaixo ou acima desta faixa estão respectivamente o infra-som e o ultra-som. Como o ouvido não é sensível a pequenas variações de frequência, o espectro sonoro passou a ser dividido em bandas de oitavas. A região de áudiofreqüência foi dividida em 10 oitavas onde as frequências centrais e as larguras das bandas são

fixadas por normas internacionais. Para efeito de controle, a divisão da faixa de audiodfrequência em bandas de oitava tem tido considerável aplicação prática por permitir uma descrição rápida e correta de sons. A Figura 5 representa as bandas centrais em oitavas (Araújo e Regazzi, 2002).

O espectro de frequência de um som, obtido através de equipamentos denominados analisadores espectrais, permite quantificar a energia dos seus diferentes componentes em função da frequência, sendo denominado de composição espectral.

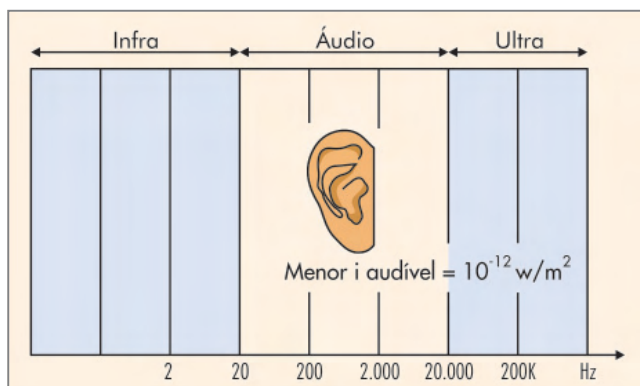


Figura 4 – Espectro de frequência do ouvido humano (Massarani e Holanda, 2003).

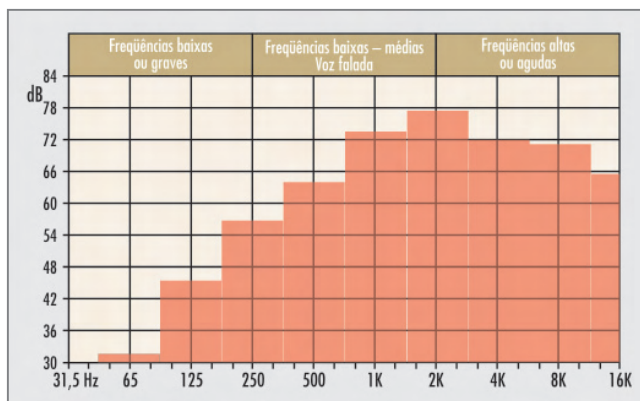


Figura 5 – Representação de bandas centradas em oitavas (Araújo e Regazzi, 2002).

A medição de ruído, empregando analisadores de frequência, pode ser efetuada em banda de oitava ou terço de oitava, através de recursos de filtragem eletrônica ou numérica, que são de grande importância na determinação dos riscos que o ruído pode ocasionar à saúde, mas comumente não são utilizados por serem equipamentos complexos e caros.

O tráfego é uma fonte sonora móvel. O campo acústico que é a região do espaço onde ocorrem as vibrações mecânicas transmitidas pelas moléculas. no ambiente, po-

dendo ser classificado conforme a NBR 7731/1983 (ABNT, 1983) em campo livre ou direto, campo semireverberante, campo hemisfericamente divergente, campo difuso e campo reverberante. No estudo de ruídos ambientais os campos acústicos de maior relevância são os campos livres e reverberantes.

Os valores das grandezas no domínio da acústica, nomeadas como pressão, potência e intensidade, são expressas em termos de níveis acústicos considerados relativamente a valores de referência, adotando-se escalas logarítmicas, pois traduzem melhor o poder resolvente do ouvido humano do que as escalas dos valores eficazes. A pressão sonora caracterizada pelo valor eficaz, é a grandeza que melhor responde aos transdutores sensoriais, os ouvidos, e aos transdutores elétricos, os microfones, sendo freqüentemente adotada nas medições.

A variação de pressão é de grande importância no estudo de acústica, visto que é a partir desta variação que se identifica o comportamento da energia sonora dentro da faixa audível. Para cada frequência existe um conjunto de valores de pressão sonora mínima, onde o ouvido começa a ser excitado, denominado de limiar inferior de audibilidade, que foi obtido tomando como referência pessoas jovens e saudáveis, e pressão sonora máxima, onde inicia o processo de dor, acarretando até mesmo a surdez. Para a frequência de 1000 Hz, a pressão audível encontra-se entre  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$  (Nível de Pressão Acústica de Referência), que é o limite inferior de audibilidade, e  $100 \text{ N/m}^2$ , que é o limiar do surgimento da dor.

A unidade padrão para medir sons é o decibel (dB), que relaciona o nível de pressão sonora (NPS) eficaz com o grau de intensidade correspondente às sensações humanas. O NPS nos limites inferior de audibilidade e de dor, em decibel, são respectivamente, 0dB e 130dB, provocado por uma potência de 1 e 10 Watts.

Cabe ressaltar que o nível de potência acústica mede a potência emitida pela fonte enquanto o nível de pressão acústica mede a pressão em qualquer ponto e é função das características e da potência da fonte e da distância que separa o receptor da mesma. Muitas vezes é necessário representar simultaneamente a variação de pressão sonora e a frequência da onda lançando mão de gráficos de espectros sonoros. Os níveis de pressão sonora são alterados através de compensações realizadas pelos filtros dos equipamentos de medida, para cada faixa de frequência, obtendo-se níveis de pressão sonora compensados ou

simplesmente níveis sonoros, para que expresse de maneira mais fiel possível a sensação humana.

Um processo indireto de se obter a intensidade audível é empregar equipamentos que meçam o nível de pressão sonora, que são basicamente constituídos pela associação de um voltímetro eletrônico com malhas filtrantes especiais denominadas de filtros de nível de pressão sonora compensado ou circuito de compensação que independentemente da faixa de frequência do som emitido, registram o nível de pressão sonora efetivo que atinge o ouvido humano. Estes filtros foram desenvolvidos através de simulações do comportamento do ouvido humano em experimentos audiométricos, realizados em uma amostra de pessoas.

Muitos destes equipamentos são providos de mais de um tipo de malha filtrante, denominada de ponderação ou circuito A, B, C e D que foram padronizados internacionalmente, e cujas curvas de resposta encontram-se por exemplo em Massarani e Holanda (2003). A escala de ponderação "A" baseia-se na atenuação do ouvido e representa a curva de 40 fones. É mundialmente aceita como a forma mais adequada de exprimir a intensidade do nível sonoro sob o ponto de vista do grau de incômodo que determina ao ser humano, a que melhor ajusta o nível sonoro ao nível de intensidade audível e a mais requerida pelas normas.

Este incômodo pode ser considerado sob dois pontos de vista: o psíquico, é a sensibilidade do receptor relativa a uma intrusão no que considera o domínio de privacidade; seu grau resulta de um processo complexo de elaboração mental, não sendo possível mensurá-lo através de um medidor; e o físico, refere-se aos danos causados à saúde física, podendo ser empregado como meio de aferição na determinação do grau da intensidade audível.

A escala de ponderação "A" tem como característica amplificar de 0 a 1,5 dB tons com frequência de 1.000 a 6.000 Hz e atenuar de 60 a 0 dB e de 0 a 9 dB tons com frequência de 20 a 1.000 Hz e de 6.000 a 20.000 Hz, respectivamente. Os valores dos níveis acústicos medidos através da ponderação A são conhecidos como dB (A).

No sentido fisiológico, o som é o resultado das variações dos níveis de pressão do ar no ouvido humano que os convertem em sinais elétricos, que são interpretados pelo cérebro. Quando estas variações são indesejáveis ou desagradáveis passam a ser denominadas de ruído, que na atualidade se encontra entre os contaminantes mais nocivos ao homem, pois estão presentes nos grandes centros

urbanos causando seqüelas por ultrapassar os limites toleráveis e/ou exposição excessiva.

Já sob o ponto de vista físico o ruído pode ser definido como uma mistura de tons puros cujas frequências diferem entre si, não seguem nenhuma periodicidade e o movimento resultante não é harmônico e sim aleatório. O estudo destas frequências é importante pois o ouvido humano tem reações adversas para cada faixa, diferenciando as conseqüências fisiológicas. Medir quanto um som é desagradável para um indivíduo, tornando-se indesejável, depende não só dos fenômenos físicos envolvidos e também da sensibilidade de cada um, sendo uma medida bastante subjetiva (Camarotto, 1993).

Quanto a duração no tempo, os ruídos são: contínuo ou permanente, não-contínuo (intermitente ou flutuante), impulsivo ou de impacto e impulsivo quase contínuo.

São vários os índices empregados na medição do ruído em dB(A), desenvolvidos através de estudos baseados em estatísticas, não havendo consenso sobre qual deles é o mais apropriado. A seguir são descritos os índices mais utilizados. Alguns deles estão ilustrados na Figura 6 (Niemeyer, 1998) em função do período de avaliação.

O  $L_{eq}$  é largamente empregado para avaliar o incômodo causado pelos ruídos ferroviário e rodoviário. Foi criado com o objetivo de descrever o ruído ambiental, sendo recomendado pela NBR 10151 (ABNT, 2000). A maioria dos instrumentos de medição de nível de pressão sonora fornece diretamente o  $L_{eq}$ .

A poluição sonora que ocorre através de energia mecânica ou acústica causa reflexo não só no aparelho auditivo do homem mas também em todo o seu organismo. As pessoas vivem constantemente num meio agitado e, na maioria dos casos, sujeitas a altos níveis de ruído que geralmente ultrapassam os níveis recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Isto se deve ao avanço tecnológico, ao crescimento desordenado das cidades, aos hábitos de vida e ao lazer moderno.

Os efeitos causados pelo ruído não são suscetíveis de mensuração direta com instrumentos físicos atualmente disponíveis, mas, sob certas condições, os métodos de levantamentos acústicos fornecem dados valiosos na avaliação dos estímulos provocados pelo ruído sobre o homem, através de correlações entre as propriedades físicas do ruído e a escala de efeitos subjetivos, quando se tem conhecimento da influência dos fatores fisiológicos, psicológicos e sociais. Maiores detalhes podem ser vistos em Tizo Lao (2004). O

ruído de circulação pode ser considerado como um problema ambiental importante, visto que o tráfego intenso e intermitente pode acarretar diversos distúrbios às pessoas que com ele convivem.

O objetivo dos projetos de controle é de reduzir o ruído a um determinado nível em que seus efeitos sejam toleráveis pelo homem. Portanto, muitos países vêm realizando investigações nas áreas físico, psíquico e social acústica com a finalidade de fixar limites a estes níveis, com base na correlação das perturbações e das moléstias com os parâmetros medidos, de forma que obedeça alguns critérios de qualidade. A tabela 2 apresenta, segundo a NBR 10151/2000 (ABNT, 2000), o nível de critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A), visando o conforto da comunidade em função da área de ocupação, ou seja por zoneamento.

Entre as diversas quantidades que descrevem o efeito do ruído sobre o homem tem-se segundo a NBR 7731/83 (ABNT, 1983):

- o nível de audibilidade do ruído;
- o grau do risco de dano ao mecanismo de audição causado pelo ruído;
- o grau de incômodo de interferência verbal no trabalho, no descanso, no sono, etc.

Estas quantidades são obtidas através dos métodos de medição do ruído utilizado na avaliação dos efeitos sobre o homem, sendo que a escolha segundo a NBR 7731/83 (ABNT, 1983) depende do tipo do problema causado pelo ruído, da categoria do ruído e do campo acústico e do grau de precisão exigido para a solução do problema em foco.

Estudos mostram que os danos causados pelo ruído à saúde humana encontram-se associados principalmente à intensidade sonora, à frequência e ao tempo de exposição do receptor que, associados à sua suscetibilidade, podem causar danos irreparáveis (Camarotto, 1983). Do ponto

de vista de contaminação ambiental o ruído é o fator mais importante por ser onipresente em todos os espaços e por ser facilmente detectado pelo ouvido humano. Nos grandes centros urbanos 70 a 85% do ruído aos quais os seus habitantes ficam submetidos provém do tráfego, sendo uma das principais causas de incômodo social e de queixas realizadas. O aumento do número de veículos em circulação associado a certos fatores como aceleração, horários, características dos logradouros, densidade demográfica, educação, aspectos culturais, etc, são de extrema importância no estudo do impacto ambiental sonoro de uma região.

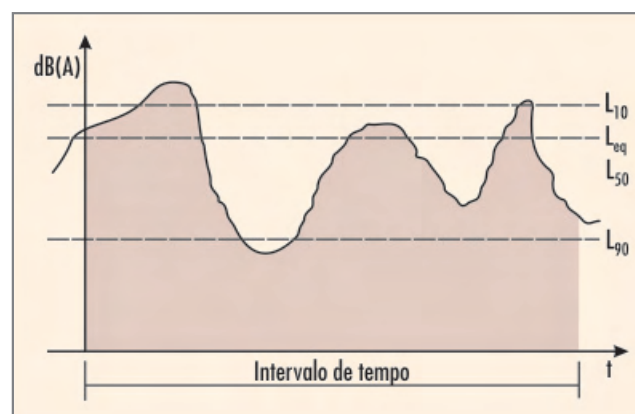


Figura 6 – Representação esquemática dos índices estatísticos aplicados na medição do ruído (Niemeyer, 1998).

O problema do crescente nível de ruído dos grandes centros urbanos não advém apenas do incremento do nível de ruído proveniente do tráfego mas também da política de transporte adotada e da educação ambiental sonora, que é ainda escassa na grande maioria das comunidades que habitam os grandes centros urbanos.

Não existe na atualidade, no Brasil, uma referência legal que limite exclusivamente os níveis máximos de ruído devido ao tráfego. Entretanto existem, na legislação, limites máximos de ruído admissíveis por zoneamento, por

**Tabela 2 – Nível de Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB(A) (NBR 10151/2000).**

Tipos de Áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

distintos tipos de ambiente e por veículos, visando assegurar o conforto da comunidade.

Os níveis de ruído percebidos pela população podem ser reduzidos mediante a ação sobre as fontes, a propagação acústica e o receptor. No caso do ruído oriundo dos veículos automotores têm-se somado esforços, por parte da indústria automobilística e pneumática, para reduzi-lo em sua origem, mas estas soluções técnicas até o momento não têm sido suficientemente satisfatórias.

A aplicação de revestimentos porosos em pavimentação tem sido uma medida bastante empregada em vários países, como França, Espanha, Estados Unidos, Japão, etc, com objetivo de reduzir o ruído na fonte, de garantir um rolamento seguro ao tráfego e de proteger das moléstias provocadas pelo ruído, aqueles que vivem em seu entorno (OCDE, 1995).

Quando se visa reduzir efetivamente os níveis de ruído do entorno de uma via é de grande valia que se conheçam, dentre outros parâmetros, os que contribuem diretamente na geração, na propagação e/ou na atenuação da energia sonora, que estão agrupados em Tizo Lao (2004). Dentre estas fontes, as associadas ao tráfego tem uma parcela ligada aos veículos e outra ligada à interação veículo – revestimento. Por exemplo, os motores a diesel são mais ruidosos que os a gasolina e, em velocidades reduzidas e com baixa carga a diferença em média é de 6dB(A) (COPPE/UFRJ/DENATRAN/MJ, 1980).

O ruído produzido pela movimentação do veículo é constituído por dois efeitos: o da velocidade e o da marcha. O ruído máximo emitido por um veículo se deslocando a velocidade constante em uma determinada marcha é proporcional ao logaritmo da velocidade do veículo, conseqüentemente se a velocidade aumentar e a marcha for mantida o ruído aumentará de 10 dB (A).

Com a evolução tecnológica no ramo automobilístico visando a redução do ruído mecânico a partir da década de 80, o ruído da interação pneu-revestimento passou a ser preponderante, fazendo-se necessário atuar sobretudo nos pneus e nas superfícies dos revestimentos dos pavimentos, pois a interação entre estas superfícies contribui significativamente para o ruído total do tráfego, sendo função do tipo de textura e das condições superficiais dos revestimentos, das características dos pneumáticos, da aceleração e da velocidade de circulação dos veículos e das condições ambientais. A percepção do ruído oriundo desta interação está fortemente influenciada pelas característi-

cas do veículo, pela banda de rodagem dos pneumáticos e pelo tipo de revestimento que constitui o pavimento. A Figura 7 lista as influências da interação pneu-pavimento no desenvolvimento dos ruídos urbanos. Muitos mecanismos estão envolvidos na questão pneu-pavimento, e alguns destes mecanismos estão sintetizados na Figura 8 (Tarrió, 1992).

A banda de rodagem é a parte do pneu que fica em contato direto com o revestimento do pavimento, sendo constituída de partes cheias chamadas de biscoitos e vazias conhecidas como sulcos, que devem garantir aderência, tração, estabilidade, conforto e atenuação do ruído. Dependendo da tipologia dos sulcos da banda de rodagem consegue-se reduzir o efeito da aquaplanagem e a geração do ruído da interação pneu-revestimento. Para reduzir o ruído, a banda de rodagem deve ser constituída por blocos em seqüências de tamanhos distintos que distribuem o som em diferentes freqüências. A interação pneu-revestimento passa a ser a principal fonte geradora de ruído quando os veículos ultrapassam um determinado limite de velocidade de circulação, chegando a atingir 2 a 4 dB (A) acima do ruído produzido pelas demais fontes.

A velocidade que limita a contribuição do funcionamento dos diferentes tipos de veículos e da interação pneu-revestimento no ruído de circulação tem tido valores bastante divergentes, variando de 50 a 80 Km/h. O nível de pressão sonora aumenta em função da largura da banda de rodagem. Quando se objetiva diminuir o nível de ruído em função de alterações realizadas na banda de rodagem do pneumático e no tipo de revestimento a ser aplicado é fundamental que se estabeleça o equilíbrio entre a segurança e o ruído gerado.

Do ponto de vista acústico existem dois fenômenos opostos envolvidos na interação pneumático-revestimento que são a geração e a absorção do ruído, que se encontram intimamente relacionados com a condição funcional e com o tipo de textura superficial apresentada pelo revestimento do pavimento, com o tipo de pavimento implantado, com os materiais empregados em sua fabricação, com a percentagem de vazios e com o posicionamento dos agregados do revestimento na pista, etc.

Existem alguns tipos de revestimento que são capazes de diminuir a geração do ruído através da redução da amplitude do efeito diedro e da reflexão das ondas sonoras que se propagam entre sua superfície e a parte inferior dos veículos, também absorvem os ruídos emitidos por fontes mecânicas e as ondas sonoras geradas da interação



Figura 7 – Fluxograma representativo da composição do ruído de contato pneumático-revestimento (OCDE, 1995).

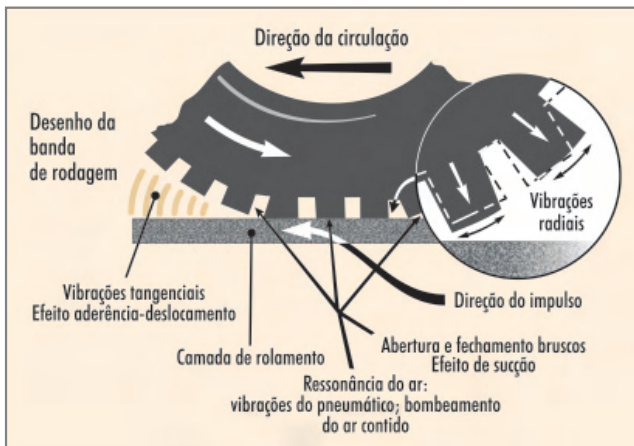


Figura 8 – Mecanismos envolvidos na geração de ruído pneumático-revestimento do pavimento (Tarrío, 1992).

pneumático-revestimento oriundas das vibrações induzidas no pneumático causadas pelas irregularidades superficiais dos revestimentos. Medidas e macro e microtextura podem ser correlacionadas com o nível de ruído gerado pelos veículos nos diversos revestimentos. (Fernandes, 1998; Bianchetto, 1996). A macro-textura pode ser classificada em positiva e negativa (Bianchetto, 1996). Aps *et al* (2003) discutem as formas de medição e os novos parâmetros de avaliação destes aspectos.

OCDE (1995) apresenta a comparação entre dois tipos de revestimentos asfálticos que se diferenciam pelo coeficiente de absorção acústica e pela macro-textura de suas superfícies. O mecanismo de propagação é o que recebe maior contribuição da tipologia do revestimento. A irregularidade do revestimento de um pavimento interfere

na interação entre o revestimento e o pneumático, aumentando o ruído.

Damián (2002) apresenta de forma esquemática o posicionamento do medidor do nível de pressão sonora emitido pelo tráfego. Tizo Lao (2004) faz um levantamento dos métodos de medição de ruídos, dos diversos tipos de revestimento que estão sendo empregados no mundo para diminuir a geração de ruído e outros procedimentos que podem ser adotados nas vias para melhorar a poluição acústica das cidades pelo menos as devidas ao tráfego.

### 3 ESTUDOS EXPERIMENTAIS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO

Com o objetivo de se verificar o desempenho acústico de alguns tipos de revestimento dos pavimentos na emissão, propagação e absorção do ruído proveniente da interação pneumático-revestimento foram realizadas avaliações em campo e em laboratório. As metodologias empregadas e os resultados obtidos podem ser vistos em detalhes em Tizo Lao (2004). Neste artigo serão comentadas somente as medidas de campo.

#### 3.1 Escolha das Estações de Teste

Houve alguma dificuldade para selecionar as estações de teste, visto a necessidade de se reduzir ao máximo a influência do ruído de fundo do espaço acústico local, das características das seções transversal e longitudinal da via e de seu entorno, e do ruído do motor do veículo. Além de ter que atender estas necessidades, o revestimento dos pavimentos das estações de teste deveria ser de tipo diferente e os trechos de aproximação destas estações teriam que ser relativamente extensos para que as velocidades selecionadas pudessem ser atingidas.

As estações de testes, onde foram realizadas medições acústica interna e externa ao veículo de teste e avaliações da macro e micro-textura, foram situadas:

- Autódromo Internacional de Jacarepaguá, RJ – Retão das arquibancadas;
- Pista paralela à saída da Linha Vermelha, Ilha do Fundão, RJ;
- Pista 18 LH do Aeroporto Santos Dumont, RJ;
- Via litorânea da Praia de Grumari, RJ.

Os revestimentos dos pavimentos destes trechos são constituídos, com exceção o do último trecho, que é em pedras poliédricas (paralelepípedo), por Concreto Asfáltico,

diferenciando-se uns dos outros fundamentalmente por sua composição e aplicação.

### 3.2 Ensaios de Campo

Em função das necessidades dos estudos, a Empresa Grom Acústica & Automação foi contratada pela COPPE para realizar as medições acústicas, que foram acompanhadas em todas as fases pelas autoras deste trabalho. Com o objetivo de mensurar e comparar o ruído emitido da interação pneumático-revestimento, nas diferentes estações de teste selecionadas, desenvolveu-se uma metodologia que teve como base a NBR 9079/1995) e a NBR ISO 362/2002 (ABNT 2002). O veículo de teste equipado para medir ruído interno se deslocava na velocidade selecionada sobre a superfície da estação de teste, estando com o motor desligado e as rodas livres ao transpô-la, e distando o seu eixo do microfone externo de 7,50 m, que se encontrava a 1,20 m da superfície do pavimento.

O objetivo inicial dos testes era que fosse coberta a faixa de velocidades compreendida no intervalo de 60 a 120 km/h com variação de 10 km/h entre velocidades consecutivas, a fim de comprovar dados obtidos nos levantamentos bibliográficos, porém por motivo de segurança e porque as extensões de alguns dos trechos de aproximação eram pequenas as velocidades mais elevadas não foram cobertas em todas as estações de teste. Para cada velocidade foram realizadas três passagens do veículo teste na estação de medição, a fim de se obter maior confiabilidade nos valores obtidos, visto que as medições são de caráter pontual. Como determinam as normas, foram verificadas a direção e a velocidade do vento, a temperatura e a umidade relativa do ar e a pressão barométrica em todas as campanhas.

Os dispositivos empregados nas medições acústicas externas e internas foram:

#### a. Medição Externa

- Microfone modelo 2540 s/n 3968 Larson Davis, capacitivo para campo livre (Free Field);
- Medidor de Nível de Pressão Sonora tipo 1 Larson Davis Modelo 2900 s/n 096 (analisador de frequência);
- Pré-amplificador PRM 900B/Larson Davis;
- Calibrador Acústico Larson Davis modelo CAL200 s/n 3231.

#### b. Medição Interna

- Microfone modelo 2559 s/n 2560 para incidência aleatória
- Microfone modelo 2559s/n 2448 para incidência aleatória

- Gravador digital com 8 canais SON, modelo PC 208 Ax, s/n U 3734
- Condicionador de sinais Larson Davis, modelo 2204-8, n/s 112;
- Pré-amplificador PRM 900B/ Larson Davis;
- Calibrador Acústico Larson Davis modelo CAL200 s/n 3231.

Todos os instrumentos empregados possuem certificados de calibração rastreáveis ao NIST ou de acordo com os pré-requisitos do INMETRO. Nas medições externas os microfones, o pré-amplificador e o analisador de frequência foram calibrados antes e após cada campanha de medição. Todas as leituras apresentaram valores dentro da faixa de  $114 \text{ dB} \pm 0,2 \text{ dB}$ . Nas medições internas no gravador foram gravados sinais de calibração para cada canal, antes e após cada campanha, que foram empregados para calibrar a conversão dos níveis de tensão gravados para níveis de pressão sonora calculado pelo software Artemis.

Durante as medições externas ao veículo não foi permitida a presença de qualquer tipo de objeto próximo ao microfone, ficando também o operador situado de forma que não influenciasse o campo acústico de seu entorno.

Como o nível de ruído no interior do veículo pode variar, foram selecionadas duas posições para a localização dos microfones de modo que a distribuição do ruído no interior do veículo fosse adequadamente representada em relação ao ouvido do motorista e ao ouvido do passageiro situado no banco traseiro e em posição oposta a do motorista.

Com relação ao motorista o microfone foi posicionado a 70 cm de altura em relação ao seu banco e a 20 cm de seu ouvido esquerdo e fixado através de ventosa no vidro da porta. O microfone do passageiro foi fixado no local onde se encontrava o encosto de cabeça do banco traseiro, obedecendo a mesma altura empregada para o microfone do motorista. Após a fixação procedeu-se calibração, através de uma fonte padrão emitida pelo calibrador, e em seguida colocados os protetores de vento.

### 3.3 Veículo de Teste

O veículo de teste foi um Santana 1.8, ano 2004 da marca Volkswagen. As quilometragens do veículo de teste no início e no término das campanhas de ensaios foram, respectivamente, 1500 e 1800 km. O peso do veículo, incluindo o combustível, os equipamentos de medição de ruído interno, o motorista e o operador, variou entre 1175 e 1180 kg. A pesagem do veículo foi realizada antes de

cada campanha de ensaio, nas Usinas da Prefeitura do Rio de Janeiro. Os pneumáticos utilizados nos testes foram os originais do veículo, modelo GPS 3 Sport 185/65 R14 86T e as medidas médias dos biscoitos e sulcos dos pneumáticos foram obtidas. A pressão média interna dos pneumáticos



Foto 1 – Exemplo do Posicionamento do microfone externo.

cos dianteiro e traseiro durante as campanhas de ensaio foram mantidas, respectivamente, em 26 e 28 lb, seguindo as recomendações do fabricante.

### 3.4 Apresentação dos Resultados de Campo

Os resultados das medições externas foram apresentados pela empresa GROM Acústica & Automação em planilhas, onde constam os espectros médios obtidos a cada 0,030 s.

Nas medições efetuadas para cada passada do veículo de teste nos trechos analisados tomou-se como base o espectro no momento em que o nível medido com o detector

fast atingiu o seu valor máximo. Com estes dados foram construídos vários gráficos que serviram na análise comparativa do desempenho acústico dos revestimentos dos pavimentos das estações de teste. Para tanto foram plotados inicialmente três gráficos para cada passagem do veículo nas estações de teste, que serviram para verificar se algum valor seria descartado no cálculo da média dos níveis máximos.

a. Espectro do nível máximo em dB (L) das três passadas para cada velocidade em cada estação de teste. Estes gráficos possibilitaram visualizar o espectro do ruído gerado e a dispersão dos valores medidos para cada velocidade de passagem do veículo de teste, como apresentado na Figura 9.

b. Espectro do nível máximo em dB (L) das três passadas e a média destes valores medidos.

Construiu-se num mesmo gráfico os espectros das três passagens e a média destes espectros. Nos casos em que ocorreram ruídos impulsivos, estes não foram considerados no cálculo do espectro médio, pois comprometem o cálculo do  $L_{eq}$ . O espectro médio passou a ser considerado como o espectro do nível máximo (Figura 9).

c. Espectro do nível máximo médio em dB (L) e o ruído de fundo de cada estação.

A construção destes gráficos teve como objetivo ilustrar a influência do campo acústico das estações de teste em mascarar as medições realizadas.

O conjunto de todos os gráficos, para cada estação de teste estão apresentados em Tizo Lao (2004). Após o tratamento dos dados das medições, foram construídos os gráficos dos espectros das médias dos níveis máximos para todas as velocidades pesquisadas em cada trecho, que es-

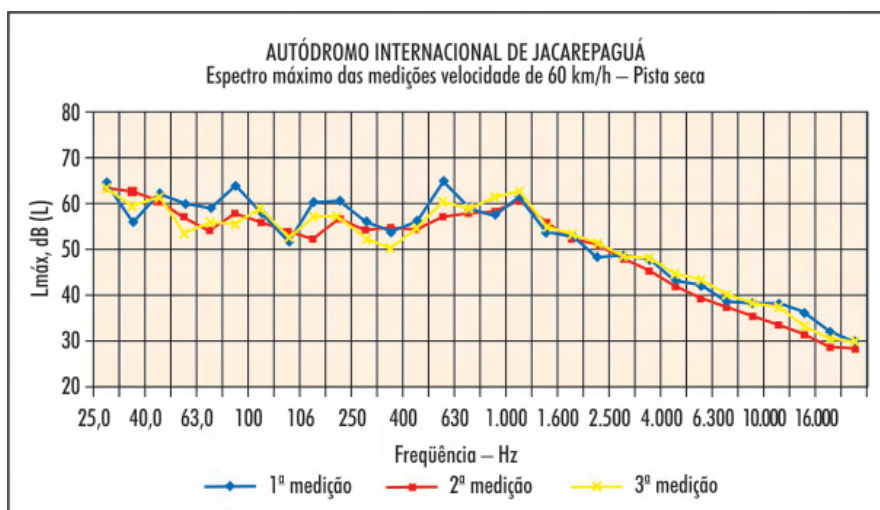


Figura 9 – Espectros do nível máximo em dB (L) das três passadas a velocidade de 60 km/h obtidas da estação de teste do Autódromo Internacional de Jacarepaguá.

tão apresentados a seguir, com o objetivo de se verificar como o espectro do ruído é influenciado pelo aumento da velocidade de deslocamento do veículo de teste, pelo tipo de revestimento do pavimento e pelas condições seca ou molhada. A estação de teste do Autódromo foi a única onde se realizou a avaliação acústica na condição seca e molhada, em virtude da disponibilidade do caminhão pipa (Figuras 10 e 11) exemplos das medições para as outras estações estão nas Figuras 12 e 13.

Com base nos levantamentos bibliográficos e nos gráficos obtidos nesta pesquisa, podem ser feitas algumas conclusões preliminares:

- Observa-se que na faixa de frequência de 25 Hz a 400 Hz ocorre uma variação no nível máximo do ruído, o que provavelmente está relacionado com os choques entre a banda de rolagem dos pneumáticos e a irregularidade dos revestimentos dos pavimentos, que são responsáveis pelas vibrações radiais no interior do pneumático;

- A partir de 500 Hz, aproximadamente, nota-se o início da influência da velocidade no nível máximo de ruído, com exceção da estação de teste de Grumari;

- A estação de teste de Grumari, Figura. 13, apresenta nível de ruído elevado nas frequências baixas e médias, mantendo-se praticamente constante sem sofrer influência significativa com o aumento da velocidade. Isto pode ser explicado em função do tipo do revestimento do pavimento da estação de teste, que é em paralelepípedo, onde a irregularidade da superfície é bastante elevada, devido à elevada quantidade de juntas, à variação das dimensões dos paralelepípedos e à sua disposição na camada de assentamento,

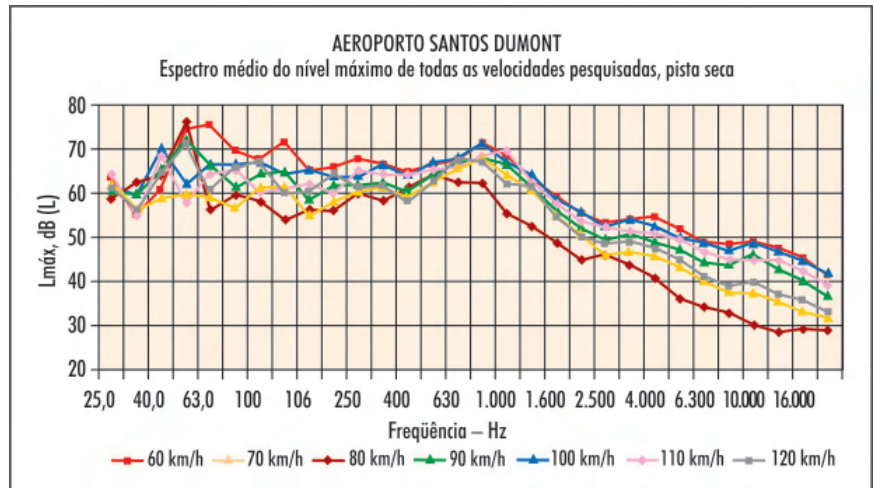


Figura 10 – Espectros máximos do ruído para a faixa de velocidade de 60 a 120 km/h obtidos nas medições realizadas no Aeroporto Santos Dumont.

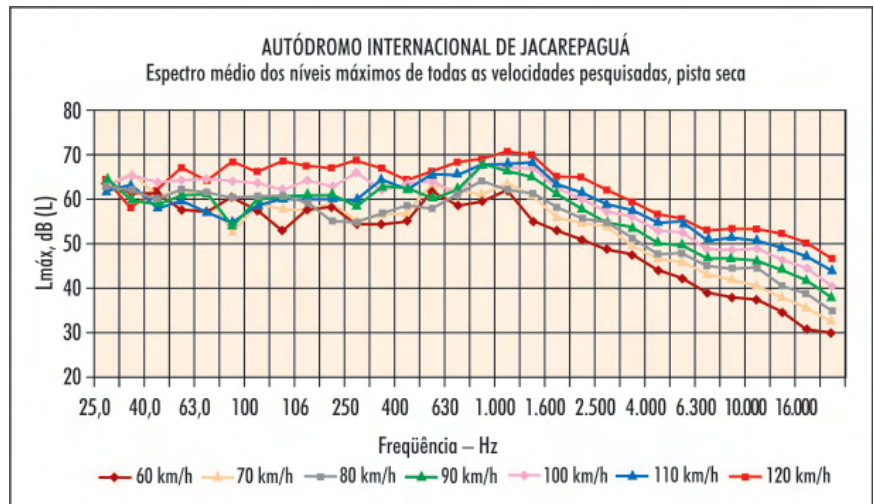


Figura 11 – Espectros máximos do ruído para a faixa de velocidade de 60 a 120 km/h obtidos nas medições realizadas no Autódromo Internacional de Jacarepaguá, Pista Seca.

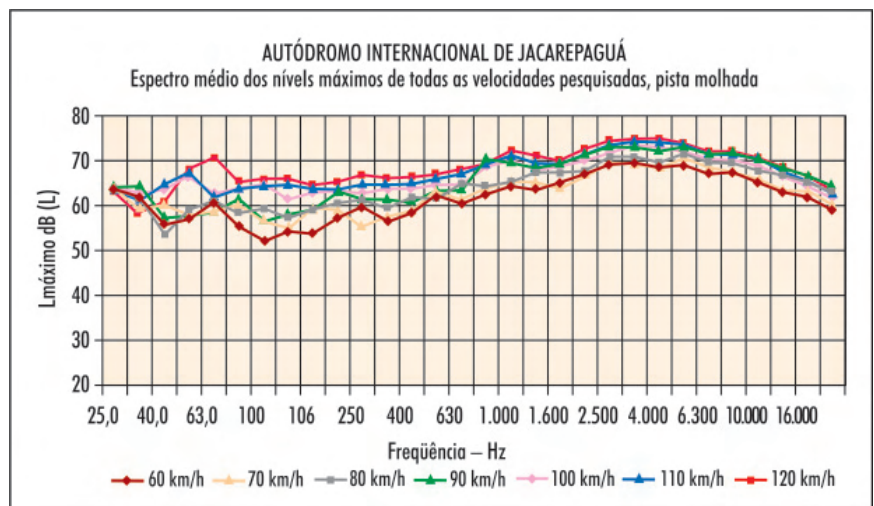


Figura 12 – Espectros máximos do ruído para a faixa de velocidade de 60 a 120 km/h obtidos nas medições realizadas no Autódromo Internacional de Jacarepaguá, Pista Molhada.

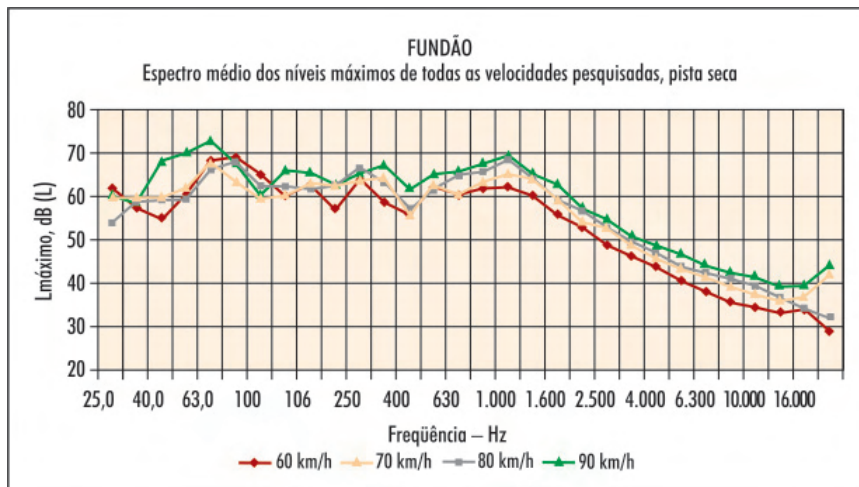


Figura 13 – Espectros máximos do ruído para a faixa de velocidade de 60 a 90 km/h obtidos nas medições realizadas no Fundão.

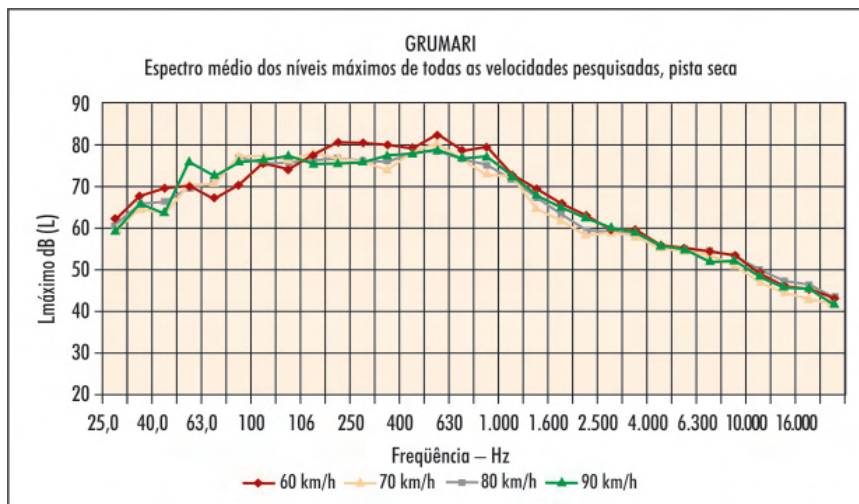


Figura 14 – Espectros máximos do ruído para a faixa de velocidade de 60 a 90 km/h obtidos nas medições realizadas em Grumari.

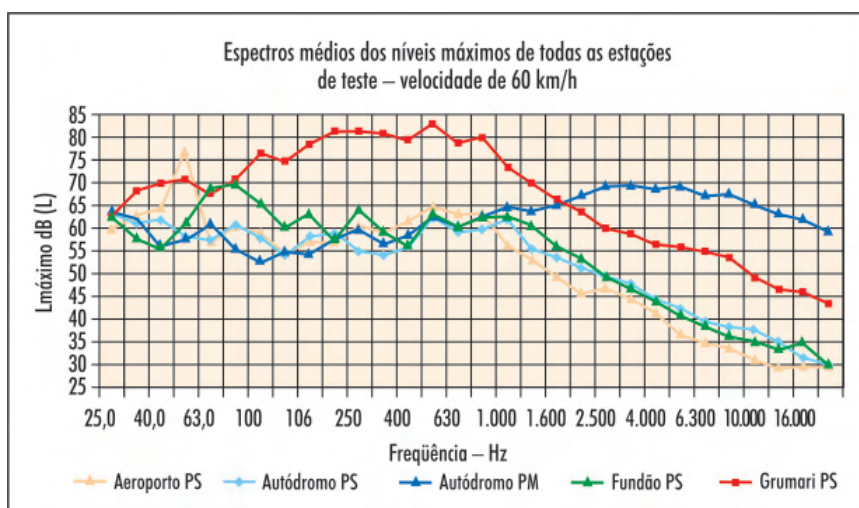


Figura 15 – Espectros máximos de todas as estações de teste para a velocidade de 60 km/h.

que ocasionam vibrações oscilatórias elevadas no pneumático, apesar do desempenho dos amortecedores dos veículos, elevam o nível de ruído;

– Comparando as Figuras 10 e 11, cujas medições foram realizadas na mesma estação de teste do Autódromo, diferindo apenas pela presença de água na superfície do revestimento do pavimento. A água foi espargida antes de cada passagem do veículo de teste através de um carro pipa. Observa-se que a intensidade e a altura do nível ruído, na condição molhada, é superior ao da seca, causado pelo deslocamento da lâmina de água presente entre a superfície do revestimento do pavimento e os sulcos do pneumático, provocando um maior incômodo no receptor, situado externamente ao veículo;

– O comportamento acústico da estação de teste do Fundão, principalmente a baixa frequência, deve estar relacionado com a macro-textura positiva da superfície do revestimento de seu pavimento.

Para melhor visualização da influência do tipo de revestimento e das condições seca e molhada no nível de ruído máximo, foram construídas as Figuras 15 a 18, onde os espectros médios do nível máximo para cada velocidade de deslocamento do veículo, de todas as estações de testes se encontram em um mesmo gráfico. Observa-se nas Figuras 15 a 18 que os revestimentos tipo CPA e o CBUQ do Fundão, onde se obteve um dos maiores valores de altura média de mancha de areia (macro-textura) a redução do nível máximo de ruído da interação pneumático-revestimento ocorre em frequências mais elevadas causando maior desconforto ao receptor.

Pode-se afirmar que os revestimentos tipo CPA em bom estado funci-

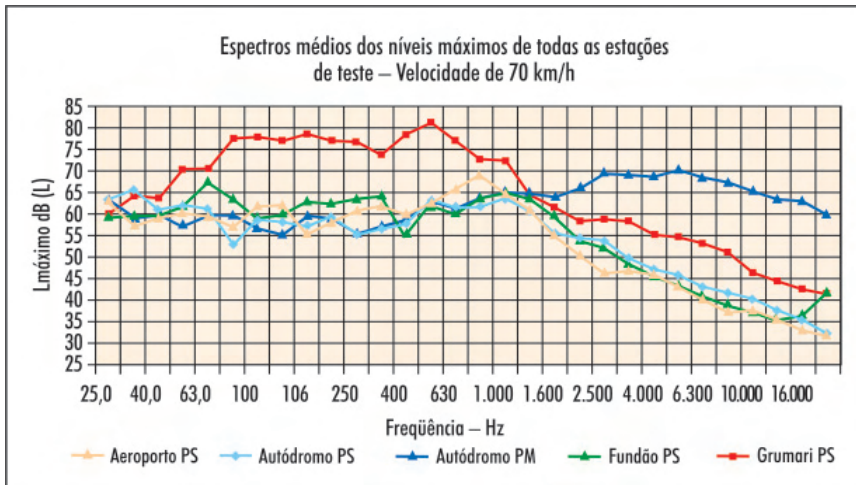


Figura 16 – Espectros máximos de todas as estações de teste para a velocidade de 70 km/h.

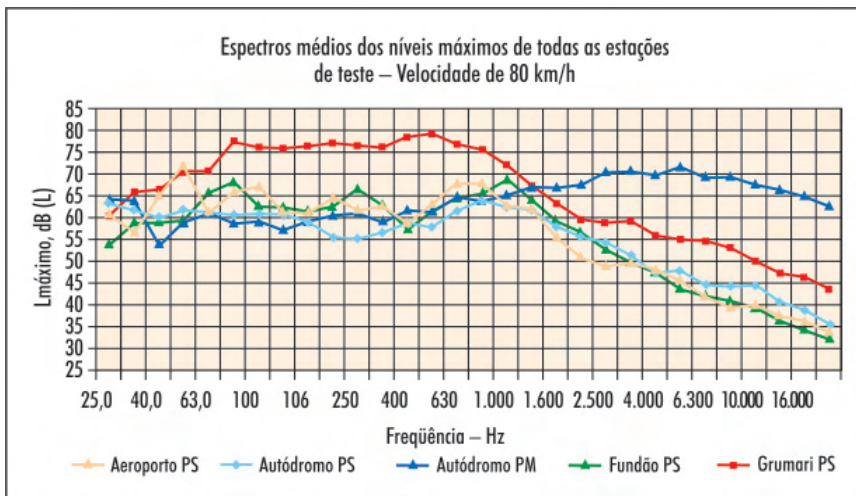


Figura 17 – Espectros máximos de todas as estações de teste para a velocidade de 80 km/h.

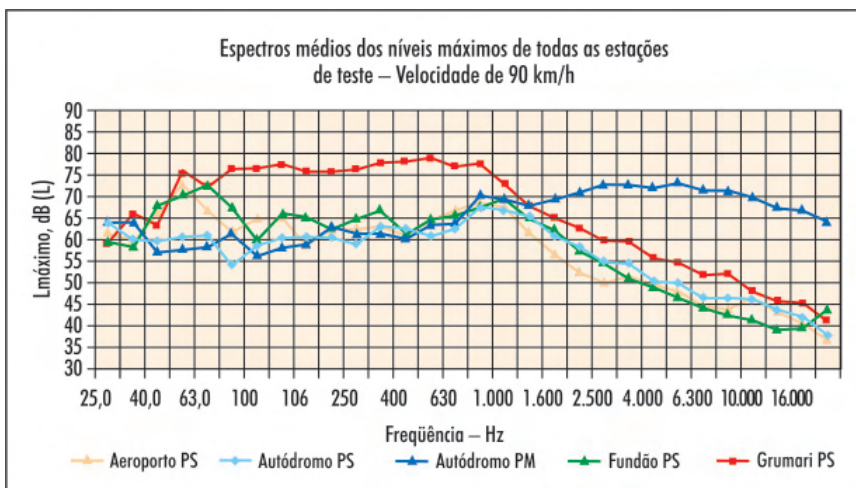


Figura 18 – Espectros máximo de todas as estações de teste para a velocidade de 90 km/h.

onal e na condição molhada apresentarão níveis máximos de ruído, da interação pneumático-revestimento em frequências elevadas, inferiores aos demais tipos de reves-

timentos não drenantes com presença de água em sua superfície, o nível máximo de ruído externo, oriundo da interação pneumático-revestimento, ocorre em frequências elevadas,

timentos, em virtude de sua capacidade em drenar a água de sua superfície.

Os resultados da avaliação do ruído interno da cabina do veículo deixam de ser apresentados aqui por insuficiência de espaço mas podem ser vistos em Tizo Lao (2004).

#### 4 CONCLUSÕES

A proposição de se estudar o nível de ruído emitido pela interação pneumático-revestimento do pavimento visou conhecer alguns dos mecanismos e parâmetros envolvidos na geração, propagação e absorção do ruído oriundo da interação pneumático-revestimento do pavimento, de modo que viessem contribuir na avaliação das técnicas de pavimentação existentes e no desenvolvimento de novas técnicas mais favoráveis na redução do ruído urbano. Foi possível verificar o desempenho acústico de alguns tipos de revestimentos dos pavimentos empregados em vias urbanas do Rio de Janeiro em função da micro-textura, da macro-textura positiva e negativa, do coeficiente de absorção acústica, da distribuição granulométrica e da disposição dos agregados na superfície do revestimento dos pavimentos, através de ensaios de campo. Os níveis máximos do ruído externo e os níveis equivalentes internos oriundos da interação pneumático-revestimento, para cada estação de teste analisada, cresceram com o aumento da velocidade. O nível máximo do ruído externo obtido em pista seca para os revestimentos dos pavimentos do tipo denso ocorre geralmente em frequências médias e altas, sendo que em baixas frequências sua intensidade é inferior aos dos demais tipos. Nos revestimentos dos pa-

devido ao deslocamento da lâmina de água presente entre a superfície do revestimento do pavimento e os sulcos do pneumático. Neste estudo este nível ficou em torno de 4.000 Hz, causando um grande incômodo ao receptor situado externamente ao veículo. Os mecanismos envolvidos no ruído da interação pneumático-revestimento encontram-se relacionados com a textura dos revestimentos, ou seja, a maior amplitude e comprimento de onda destas superfícies acarretarão maior nível de ruído emitido, conforme verificado na avaliação das estações de testes. O revestimento do pavimento constituído por CPA gerou ruídos de baixa frequência, provavelmente em função dos choques entre os pneumáticos e a sua superfície. Já em média e altas frequências estes são menores em comparação com os produzidos pe-

los demais tipos de revestimentos estudados, ou seja, este tipo de mistura é capaz de reduzir o ruído da interação pneumático-revestimento do pavimento. A capacidade da CPA em drenar água da superfície reduz a intensidade do nível máximo de ruído e, conseqüentemente, o incômodo que causaria as pessoas no em torno da via. O emprego de técnicas de pavimentação capazes de contribuir com a redução do ruído oriundo das vias de alta velocidade e tráfego, que cada vez mais cortam os grandes centros urbanos, traz benefício econômico ao poder público, pois poderá reduzir gastos com isolamentos das edificações que apresentam fragilidade acústica de fachadas em clima tropical e benefício à saúde da população, além de reduzir gasto energético devido à possibilidade de se manter janelas abertas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, 1983, "Guia para Execução de Serviços de Medições de Ruído Aéreo e Avaliação dos Seus Efeitos Sobre o Homem", NBR 7731, pp 11, Rio de Janeiro, Brasil, Fevereiro.
- ABNT, 1985, "Veículo Automotor – determinação do Ruído Interno", In: NBR 9079, pp 11, Rio de Janeiro, Brasil, Outubro.
- ABNT, 1985, "Veículos Rodoviários Código de ensaios de Motores - Potência Líquida Efetiva", In: NBR ISO 1585, Rio de Janeiro, Brasil, Junho.
- ABNT, 2000, "Acústica – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento, NBR 10151, pp 4, Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT, 2000, "Veículo Rodoviário Automotor Ruído Emitido na Condição Parado, NBR 9714, Rio de Janeiro, Brasil, Janeiro.
- ABNT, 2002, "Acústica – Medição do Ruído Emitido por Veículos Rodoviários Automotores em Aceleração – Método de Engenharia", In: NBR ISO 362, pp 11, Rio de Janeiro, Brasil, Outubro.
- APS, M., BERNUCCI, L.B., COSTA, A.L.A., et al., 2003, "Aderência Pneu-Pavimento Obtida por Meio de Macro e Micro Textura e em Provas de Frenagem com Veículos Comerciais e sua Interface na simulação Dinâmica de um Veículo em Pista", 8º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Gramado, Rio Grande do Sul, Setembro.
- ARAÚJO, G. M., REGAZZI, R. D., 2002, "Conceitos Básicos e Definições". Em: Perícia e Avaliação de Ruído e Calor Passo a Passo – Teoria e Prática, 2ª Edição, Capítulo 2, Rio de Janeiro, Brasil.
- BIANCHETTO, H. D., 1986, "Desminucian Del Ruido Mediante el Uso de Pavimentos Porosos". 30a Reunión Anual de Pavimentación da Associação Brasileira de Pavimentação, pp 1321 – 1351, Bahia, Brasil, Novembro.
- BRAGA, M. E., 1997, Avaliação da Poluição Sonora em Áreas Urbanas Emitidas pelos Veículos Automotores, Tese de M.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CAMAROTTO, J. A., 1983, Uso de Protetores Auriculares: Estudo e Avaliação, Tese de M.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- COPPE/UFRJ/DENATRAM/MJ, 1980, Tráfego e o Meio Ambiente, Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- DAMIÁN, S.A., 2002, "Impacto Ambiental Gerado por la Infra Estructura Carretera", Revista Rutas de la Asociación Técnica de Carreteras, M. 88 (Emero-Febrero), pp. 49 – 54, España.
- FERNANDES, E..S., 1998, Influência dos Agregados Rochosos na Aderência Pneu/Pavimento, Tese M. Sc., Escola Politécnica de USP, São Paulo, SP, Brasil.
- INTERNATIONAL STANDARD, 1998, "Acoustics – determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance Tubes". Parte2: Transfer-function Method", ISO 10534-2 (E), pp 27.
- MASSARANI, P.M, Holanda, F.G., 2003, Curso de Medição de Ruído em Áreas Habitadas, INMETRO, Xerém, RJ, Brasil, Novembro.
- NIEMEYER, M. L., 1998, Ruído Urbano e Arquitetura em Clima Tropical Úmido, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- OCDE, 1995, Reduccion Del Ruído em El Entorno de las Carreteras, España, Centro de Republicaciones Secretaria General Técnica, Ministério de Obras Públicas, Transportes y Médio Ambiente.
- PEREIRA, M. T. T. Q., 1998, Avaliação da Resistência à Derrapagem de Pavimento Asfálticos Urbanos, Tese de M.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- RAMALHO JÚNIOR, F., FERRARO, G. N., SOARES P. A. T., 1992, "Ondas", "Interferência de Ondas", "Som", Os Fundamentos da Física Vol. 2, Editora Moderna, Capítulos 18, 19 e 20, São Paulo, Brasil.
- SILVA, G. C., GOLDNER, L. G., 1998, Tráfego e Meio Ambiente: Avaliação dos Níveis de Monóxido de Carvão e Ruído nas Áreas Urbanas de Florianópolis. Anais. 3º Encontro Ibero-Americano de Unidades Ambientais do Setor de Transportes.
- TARRIÓ, F.R, 1992, El Ruido Producido por la Circulación. Revista de la Asociación Técnica de Carreteras, M. 29 (Marzo/Abril), pp. 6 – 16, España.
- TEIXEIRA, S.C., 2000, Impactos Ambientais Sonoros: Um Modelo de Gestão Sustentável, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- TIZO LAO, V.E.S. 2004, Estudo comparativo do desempenho acústico de diferentes tipos de revestimento dos pavimentos. Tese de M.Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

# Agregado artificial de argila calcinada

## A metodologia de produção, a primeira produção experimental e a proteção da inovação tecnológica pelo IME

**Cap Engº Gustavo da Luz Lima Cabral**

Comissão Regional de Obras da 1ª Região Militar (CRO/1)  
gustavo.llc@terra.com.br

**Cel Engº Álvaro Vieira**

Instituto Militar de Engenharia (IME)  
alvaro@ime.eb.br

### RESUMO

Conforme vem sendo divulgado pela mídia nos últimos meses, o Exército Brasileiro, através do Instituto Militar de Engenharia – IME, depositou o seu primeiro pedido de patente de invenção junto ao INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) e simultaneamente revelou os últimos resultados obtidos com a primeira produção industrial experimental do agregado de argila calcinada em Santarém-PA. A tecnologia do agregado de argila calcinada vem atingindo resultados de comportamento mecânico si-

milares aos agregados pétreos naturais e surge como uma alternativa extremamente vantajosa financeiramente para obras de infra-estrutura viária do país, mais especificamente da região amazônica, onde são buscadas soluções para os problemas causados pela escassez de jazidas de rochas na região.

### PALAVRAS-CHAVE

Argila calcinada, agregado artificial, produção industrial, patente de invenção

### INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, pesquisas desenvolvidas no Instituto Militar de Engenharia – IME, assim como em outras instituições, têm se direcionado, com sucesso, à obtenção de agregados de menor custo, obtidos por calcinação de solos argilosos selecionados e à análise do seu comportamento em misturas asfálticas e misturas solo-agregado.

O processo de evolução do estudo relacionado ao agregado artificial de argila calcinada no IME, atingiu um nível de desempenho amplamente satisfatório, concluindo um primeiro ciclo de desenvolvimento através de uma linha de pesquisa de mestrado na área de infra-estrutura de transportes.

Com a intenção de garantir a continuidade da pesquisa, que atualmente encaminha-se para a viabilização de

uma unidade de produção industrial, foi concretizado o depósito do pedido de patente de invenção desta tecnologia, tornando-se o primeiro registro do sistema de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro.

### A EVOLUÇÃO DA LINHA DE PESQUISA

A utilização de artefatos cerâmicos industrializados em substituição à pedra britada sempre constituiu numa alternativa atraente, sob o ponto de vista econômico, nas regiões onde ocorrências de rocha se mostram escassas. A Figura 1 ilustra o emprego de blocos cerâmicos em obras de pavimentação urbana na cidade de Rio Branco, capital de um dos estados mais desprovidos de brita natural. No entanto, a baixa qualidade dos materiais cerâmicos e das

técnicas construtivas utilizadas até agora limitaram seu emprego apenas em obras de pouca responsabilidade. Resultados dos estudos laboratoriais de Soares *et al.* [10], Costa *et al.* [6] e Batista [4] comprovaram tecnicamente a viabilidade desta alternativa como material de pavimentação de boa qualidade. Sendo assim, tornou-se uma consequência natural a obtenção de respostas relativas à passagem da produção em laboratório para a escala industrial.

Além da necessidade de evidenciar a vantagem econômica do agregado cerâmico comparativamente à aquisição dos agregados naturais de origem rochosa, julgava-



Figura 1 – Pavimentação urbana com o emprego de tijolos cerâmicos em Rio Branco no Acre (Fonte: Ricardo R. do Nascimento).

se também relevante, a elaboração de um compêndio contendo todo o conhecimento adquirido ao longo dos 8 anos de pesquisa sobre este agregado, assim como a confecção de um roteiro operacional que propiciasse, ao meio técnico, as informações necessárias à sua produção e utilização.

Foram, portanto, com estes objetivos principais, que se desenvolveu a pesquisa “*Metodologia de produção e emprego de agregados de argila calcinada para pavimentação*”, do primeiro autor [5], cujos resultados permitiram, também, a elucidação de alguns questionamentos ainda não contemplados nos estudos anteriores:

— Ampliar a base de dados dos resultados existentes relativos aos ensaios de viabilidade técnica. A partir destes resultados, eliminar variáveis que denotavam dúvidas sobre a produção do agregado artificial, tais como a temperatura e tempo de queima, composição química e mineralógica;

— Realizar um estudo minucioso relativo à absorção do agregado artificial de argila calcinada, e verificar a existência de aditivos capazes de reduzir esta porosidade;

— Analisar o comportamento de uma mistura solo-agregado utilizando o agregado de argila calcinada, para

emprego em camadas de sub-base e base para pavimentação, sob a ótica dos métodos empírico e mecanístico, e comparar o resultado com uma mistura semelhante que utilize o agregado natural;

— Verificar o comportamento de misturas asfálticas com o agregado artificial de argila calcinada, e observar o teor de ligante obtido quando empregado um agregado menos poroso; elaborar uma mistura asfáltica cuja dosagem fosse composta com 100% de agregados de argila calcinada, inclusive o fíler;

— Registrar as consequências decorrentes da execução de ensaios por diferentes métodos de medidas das densidades do agregado e da mistura asfáltica, particularmente pelo método da Louisiana [8] e do DNER (para medida da densidade do agregado); e pelo método de Rice [3] e do DNER (densidade da mistura).

## A METODOLOGIA PROPOSTA

No intuito da busca da industrialização do processo de produção da argila calcinada, naturalmente observou-se uma grande semelhança com a indústria cerâmica convencional. A partir desta constatação foi realizado um levantamento do estado da arte sobre o assunto, salientando as normas técnicas, ensaios de laboratório, equipamentos industriais utilizados, combustíveis para os fornos, temperatura e tempo de queima dos produtos cerâmicos, e aditivos à massa de argila para melhoria da qualidade final das peças.

A partir desse levantamento, passou-se para a etapa de elaboração de uma metodologia que melhor representasse e pudesse avaliar as características da matéria-prima, do produto cerâmico produzido e ao mesmo tempo, obter as respostas deste produto como um agregado a ser empregado na pavimentação, em misturas solo-agregado e misturas asfálticas.

A metodologia proposta está ilustrada na Figura 2, com todas as etapas que envolvem o processo da escolha da matéria-prima, da produção e do emprego do agregado de argila calcinada. A fase relacionada à produção industrial do agregado de argila calcinada (em tracejado) pode ser visualizada por completo na Figura 3.

Conforme será melhor detalhado nos próximos itens, nesta metodologia, são sugeridas duas possibilidades de produção: usinas pré-fabricadas ou ainda em unidades de produção de peças cerâmicas convencionais (olarias). Para

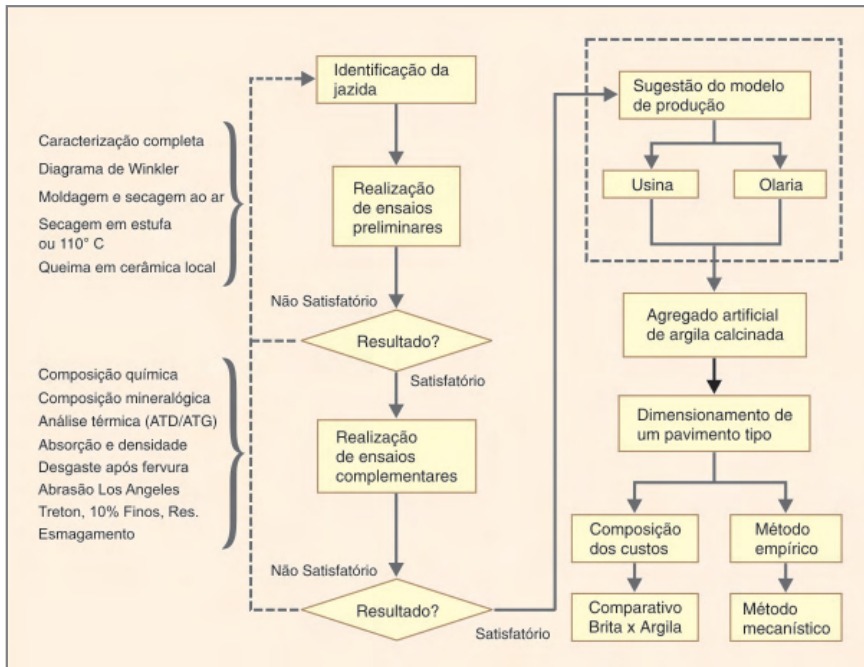


Figura 2 – Fluxograma da metodologia: etapas de análise da matéria-prima; escolha do modelo de fabricação; emprego.

esta última solução, existe conseqüentemente uma diminuição do aporte financeiro inicial necessário para operacionalizar a produção em escala industrial.

Caso seja optado pela alternativa de produção em olaria, cabe ressaltar que todo o maquinário envolvido nas etapas listadas (Figura 3) é de conhecimento notório das indústrias cerâmicas ou das indústrias envolvidas com materiais de pavimentação, tais como usinas de misturas asfál-

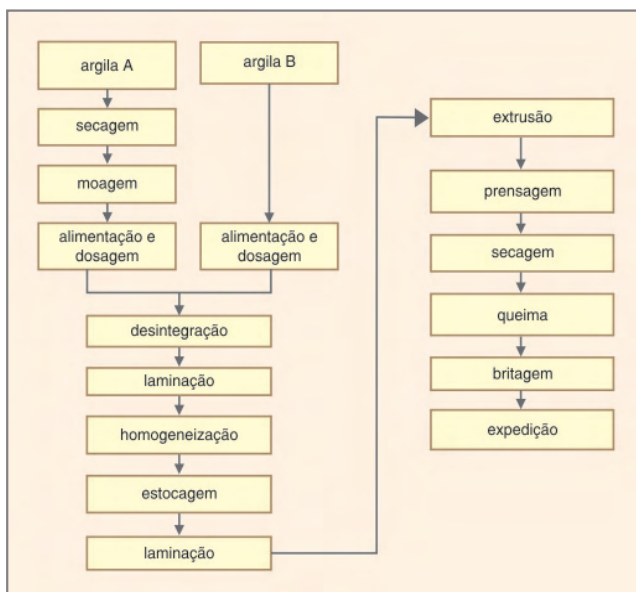


Figura 3 – Fluxograma das etapas de fabricação do agregado de argila calcinada.

ticas, usinas de misturas solo-agregado e unidades de britagem de rochas.

## A ALTERNATIVA DA INDÚSTRIA CERÂMICA

Paralelamente ao início da etapa experimental do estudo que contemplou uma aplicação completa da metodologia apresentada, notou-se a necessidade de adquirir conhecimentos específicos sobre a indústria cerâmica, conforme explicado anteriormente. Foram então realizadas visitas aos pólos cerâmicos dos estados do Rio de Janeiro (Itaboraí e Campos dos Goytacazes) e Pará (Santarém).

Tais conhecimentos, começaram então a ser utilizados para a idealização e desenho de um projeto-tipo de

usina de fabricação do agregado de argila calcinada, sendo proposto juntamente com a metodologia, de forma similar ao que foi elaborado no final dos anos setenta pelo DNER [7] para o agregado de argila expandida, mas sem o “anseio” de viabilizá-lo na prática, por motivos de recursos financeiros necessários à montagem de um projeto deste vulto.

Apesar dessa proposição (mesmo que somente teórica) já possuir alguma relevância acadêmica, com o andamento dessas visitas, foi vislumbrada uma outra possibilidade de produção, e conseqüentemente uma nova alternativa a ser considerada: a tentativa de efetuar a produção do agregado de argila calcinada, em uma unidade industrial convencional de peças cerâmicas (olarias).

Essa alternativa foi planejada, não somente pela dificuldade financeira e acadêmica citada, mas também devido às peculiaridades de diversos municípios localizados na região norte do país, atingidos pela escassez de ocorrências de rochas, e que não têm como dispor de um elevado aporte de recursos para a aquisição de uma usina pré-fabricada.

Foi então diante desses fatos, que a solução encontrada foi levada a efeito, e compôs uma linha de ação dentro da pesquisa, tendo o êxito esperado, essencialmente devido ao suporte fornecido por empresários cerâmicos que colaboraram substancialmente para atender esta nova opção. As Figuras 4 e 5 ilustram esta fase de aprendizado.



Figura 4 – Combustíveis alternativos das indústrias cerâmicas: queimadores para serragem e/ou gás natural.



Figura 5 – Unidade de pré-tratamento da serragem.

## A PRODUÇÃO EXPERIMENTAL

Conforme foi relatado, estava delineada a possibilidade de ser efetuada uma produção experimental em uma indústria cerâmica. Por motivos de proximidade e maior facilidade, este lote experimental seria realizado em indústrias localizadas no município de Campos dos Goytacazes – RJ, principalmente pelo auxílio prestado pelo Prof. Jonas Alexandre [2], docente da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). E em seguida, seriam efetuadas as devidas alterações nas análises de custos, para que fosse possível obter dados mais aproximados da realidade encontrada na região norte do país.

De forma semelhante ao que foi realizado na região de Itaboraí e Campos (RJ), foram também procuradas indústrias em Santarém (PA) que dispunham de um controle

adequado da temperatura de queima, para servir como modelo a ser proposto na metodologia.

Durante a visita ao pólo cerâmico de Santarém, além da oportunidade de divulgação de publicações científicas e inovações que estavam sendo praticadas nas regiões sudeste e sul do país, a tecnologia da argila calcinada foi apresentada aos ceramistas (Figura 6), e a sua aceitação inicial foi praticamente unânime, uma vez que estava sendo mostrada não somente uma solução para um problema da engenharia local, mas também uma nova alternativa de mercado, com qualidade técnica sendo testada em seguidas pesquisas, e com um custo que seria absolutamente inferior ao consumidor final, em comparação à aquisição de agregados britados de rochas, provenientes de longas distâncias.

Acreditando que uma produção piloto pudesse ser viabilizada em médio prazo, até com o intuito de não prejudicar o funcionamento destas indústrias, em menos de 3 semanas houve um retorno de um proprietário de olaria, sendo transmitida a informação de que já haviam sido fabricados aproximadamente 400 kg de agregados, já britados, prontos para serem enviados e avaliados em la-



Figura 6 – Amostra de argila calcinada produzida em laboratório no IME, disseminada aos produtores cerâmicos em Santarém (PA).

boratório. Registrava-se dessa forma, a primeira produção industrial (Figura 7) do agregado de argila calcinada, sob controle tecnológico, em uma unidade de produção de peças cerâmicas convencionais.

Tendo atingido novamente o objetivo almejado, foi possível dessa forma compor todas as etapas de um estágio relevante à pesquisa: a verificação experimental dos conceitos propostos na metodologia.



Figura 7 – Agregado de argila calcinada produzido em olaria de Santarém (PA).

## RESULTADOS OBTIDOS

Na seqüência da pesquisa, foram realizados os testes de verificação da resistência mecânica do agregado de “argila calcinada industrial”, assim como o seu emprego e desempenho em misturas solo-agregado e mistura asfáltica. Para melhor entendimento dos resultados obtidos, está listada a seqüência operacional desenvolvida na Tabela 1.

No roteiro da metodologia [5], ratifica-se que a escolha do processo produtivo (usina ou olaria) não interfere nas

outras etapas (escolha e análise da matéria-prima, comparativo de custos e emprego do agregado).

## Ensaio preliminares

Além de duas amostras de argilas provenientes de Santarém (PA), houve uma terceira amostra que na verdade é a mistura das duas, com 50% em peso de cada. Tal representação visou elaborar uma mistura argilosa simulando o que é praticado nas olarias, e conseqüentemente, obter a argila calcinada, com a mesma matéria-prima empregada nas indústrias de Santarém. Ela é dita sem adição, pois foram realizadas adições de materiais alternativos na seqüência dos ensaios, para verificar a diminuição da absorção.

## Ensaio complementares

A análise química foi efetuada segundo dois métodos distintos, que encerram informações complementares: o método da espectrometria de energia dispersiva de raios X (EDS) em aparelho de microscopia eletrônica de varredura (MEV) do IME, e o método da fluorescência em espectrometro de fluorescência de raios-X do Instituto de Geologia da UFRJ, cujos resultados estão mostrados na Tabela 3.

A análise dos argilominerais presentes na matéria-prima foi efetuada através da técnica de difração de raios-

Tabela 1 – Etapas de desenvolvimento da parte experimental

Item	Ação desenvolvida
1ª	Ensaio preliminares da matéria-prima.
2ª	Ensaio complementares da matéria-prima: análise química e mineralógica, análise térmica diferencial e termogravimétrica.
3ª	Realização da produção experimental de 400 kg de agregados de argila calcinada em olaria de Santarém (PA).
4ª	Verificação da resistência mecânica do lote experimental de agregados de argila calcinada industrial e comparação.
5ª	Estudo adicional da absorção dos agregados de argila calcinada.
6ª	Análise dos custos envolvidos na produção experimental.
7ª	Emprego: mistura solo-agregado; mistura asfáltica e avaliação do desempenho em laboratório.
8ª	Estudo adicional da densidade da mistura asfáltica por diferentes métodos.

Tabela 2 – Resultados da caracterização da matéria-prima (argilas) de Santarém (PA)

Amostra	Pedregulho (%) (ABNT)	Areia grossa (%) (ABNT)	Areia Média (%) (ABNT)	Areia Fina (%) (ABNT)	Silte (%) (ABNT)	Argila (%) (ABNT)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Amostra escura	0	0	0,35	13,77	12,82	73,06	59,8	30,6	29,2
Amostra clara	0,07	0,02	1,55	31,58	4,86	61,92	45,6	25,2	20,4
Mistura sem adição	0	0,04	1,39	27,45	8,30	62,82	44,7	22,7	22,0

Tabela 3 – Composição química pelos métodos EDS e Fluorescência

Amostra (método)	P.F. (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Limite inferior da metodologia	0,10	15,00	11,90	0,08	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01
Mistura (EDS)	–	65,02	26,18	8,79	–	–	–	–	–
Mistura (Fluorescência)	9,92	57,26	25,96	3,60	0,19	1,08	–	–	0,92
Limite superior da metodologia	27,00	77,80	56,00	9,62	20,10	3,50	16,30	11,80	16,9

Tabela 4 – Argilominerais presentes na matéria-prima proveniente de Santarém

Amostra	Argilominerais presentes	Argilomineral predominante
Amostra clara	Caulinita, Ilita ou Quartzo	Caulinita
Amostra escura	Caulinita e Ilita	Ilita
Mistura sem adição	Caulinita e Ilita	Caulinita

X, no Laboratório de Fluorescência de Raios-X do Instituto de Geologia da UFRJ. O ensaio foi realizado através do método do pó, colocando a amostra em lâmina e tubo de cobre na intensidade da 40 kv e 20mA na velocidade de 1º/minuto, apresentando os resultados mostrados na Tabela 4.

Os ensaios de análise térmica diferencial e análise termogravimétrica, foram realizados na Escola de Química da UFRJ, com base na composição química e dos argilominerais existentes na matéria-prima.

Além de estar de acordo com as proposições da metodologia, conforme a bibliografia sobre o assunto, a mistura dos dois tipos de argila encerra os argilominerais mais

tipo de argila. Deve-se salientar o que ocorre com as curvas termogravimétrica (TG) e derivada termogravimétrica (DTG) após a temperatura de aproximadamente 500°C, ou seja, a perda de massa é praticamente irrelevante, e este fato pode vir a acelerar o processo de queima na produção após a passagem por esta temperatura, tendo em vista que não seriam ocasionadas trincas ou tensões internas ao agregado.

## A ETAPA DE PRODUÇÃO DOS AGREGADOS

A seguir, são relatadas as principais características da fabricação realizada na olaria ou unidade de produção (UP) que foi disponibilizada para a produção experimental. Tais informações foram repassadas por intermédio de um questionário enviado à UP. As Figuras 9, 10, 11 e 12 revelam as peculiaridades e a estrutura da UP escolhida.

A argila é extraída e transportada da jazida (próxima ao Rio Amazonas) até o depósito em pátio coberto na própria UP em que é praticado um curto período de sazonalidade. A massa é então preparada com os equipamentos convencionais de olarias (laminadores, desagregadores, trituradores, umedecedores) e em seguida houve a extrusão em barras de 25 cm de comprimento, com espessura e altura aproximadas de um tijolo maciço. A UP adaptou uma boquilha especificamente para esta produção, em sua própria serralheria. A secagem das barras foi considerada satisfatória, sendo efetuada apenas à temperatura ambiente, embora exista uma unidade estufa na UP.

A UP é provida com fornos tipo túnel para a queima das peças cerâmicas convencionais. Estas peças são empilhadas em “vagões” que são deslocados sobre trilhos

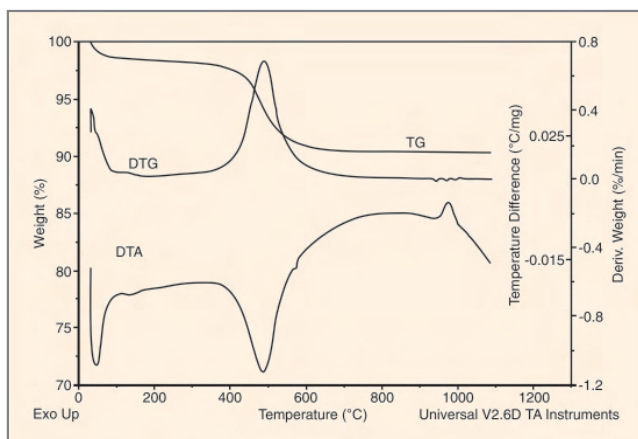


Figura 8 – Curvas da análise térmica diferencial e termogravimétrica.

propensos à formação de um agregado cerâmico em que a atuação dos elementos fundentes possa diminuir a porosidade e a absorção do agregado de argila calcinada.

A Figura 8 representa as curvas termogravimétrica (TG), derivada termogravimétrica (DTG) e de análise térmica diferencial (DTA) da mistura, contendo 50% de cada

até o interior dos fornos que são fechados e vedados por ocasião da queima. A queima das barras cilíndricas foi efetuada até um patamar cuja temperatura atingiu 950°C. Tais barras foram empilhadas na parte superior dos vagões (na mesma posição em que são empilhadas as telhas), e foram queimadas juntamente com os tijolos e telhas da produção convencional da UP.

A UP efetua o controle da temperatura através de medidores dispostos em diversos pontos do forno túnel. O tempo de queima durou em média 36 horas, mas isto foi devido à necessidade de aproveitamento da fornada de produção dos tijolos e telhas, que nesta UP, exigem geralmente este tempo de cozimento. A queima foi realizada com o aumento gradativo da temperatura, e o forno é aberto quando atinge cerca de 300°C. Este procedimento também é o usual na fabricação dos produtos da UP. O combustível utilizado foi a lenha. Eventualmente também utilizaram resíduos de madeireiras. Ambos são adquiridos



Figura 9 – Foto do vagão fora do forno com as peças empilhadas.



Figura 10 – Vista geral dos dois fornos tipo túnel e do sistema de trilhos para o deslocamento dos vagões.

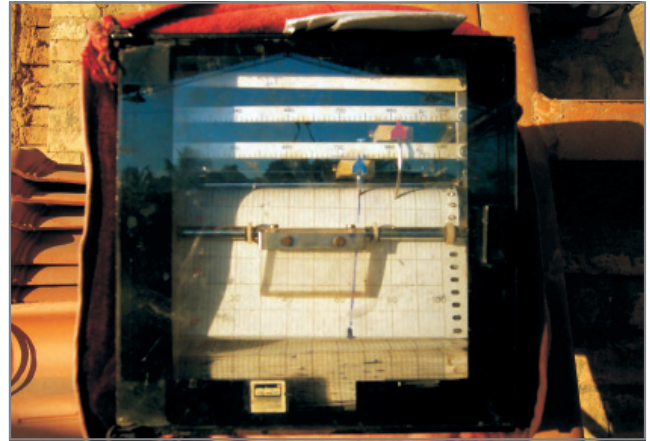


Figura 11 – Dispositivo de controle da temperatura embutido na parede do forno túnel.



Figura 12 – Uso da lenha como combustível e instalação do novo sistema de queima.

com baixo custo, devido à diversidade de madeireiras nas proximidades da UP. Na ocasião da visita, novos queimadores estavam sendo instalados, para habilitação do uso da serragem e gás natural. A fornada de uma unidade móvel (vagão) produz de 13.000 a 20.000 peças, consumindo em média, 20 m<sup>3</sup> de lenha. Por convenção, esta amostra de agregados produzidos na UP de Santarém, recebeu a denominação de “Argila Calcificada Industrial”, conforme pode ser notado nos próximos itens.

### **Resistência mecânica do lote experimental de agregados de argila calcificada industrial**

Foram realizados ensaios de abrasão Los Angeles, perda de massa após fervura, resistência ao esmagamento, absorção de água, resistência mecânica, resistência ao choque e desgaste após fervura, cujos valores obtidos estão mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de resistência mecânica com agregados de argila calcinada de laboratório, argila calcinada industrial e a brita comercial do Rio de Janeiro

Ensaio (Método de referência)	Argila calc. lab. (900°C – 35 min)	Argila calcinada industrial	Brita comercial (Rio de Janeiro)	Limites (sugeridos pela metodologia)
DNER-ME 222/94: Agregado sintético de argila – desgaste por abrasão	30 %	28 %	47%	Menor que 50%
DNER-ME 225/94: Agregado sintético de argila – perda de massa após fervura	2,1%	1,2 %	—	Menor que 6%
DNER-ME 197/97: Determinação da resistência ao esmagamento de agregados	23,5%	21,4%	27%	Menor que 40%
DNER-ME 081/98: Determinação da absorção e da densidade de agregados	16 %	11,3 %	0,90%	Absorção menor que 18%
DNER-ME 096/98: Avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos	114 kN	106,1 kN	89 kN	Maior que 60 kN
DNER-ME 399/99: Agregados – perda ao choque no aparelho Treton	19 %	18,6 %	20 %	Menor que 60%
DNER-ME 400/99: Agregados – desgaste após fervura de agregado pétreo natural	—	—	2,4%	Menor que 6%

### Estudo adicional da absorção

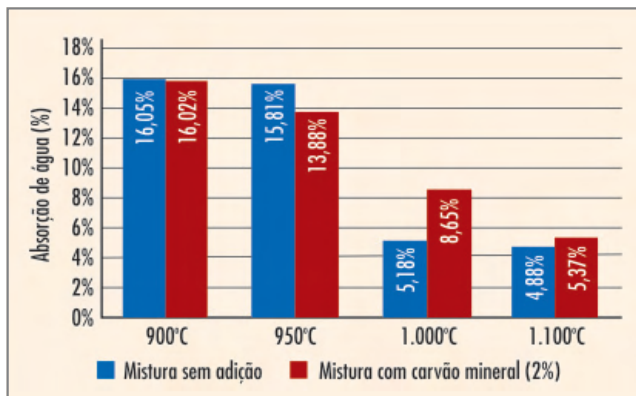


Figura 13 – Variação da absorção do agregado de argila com carvão mineral moído.

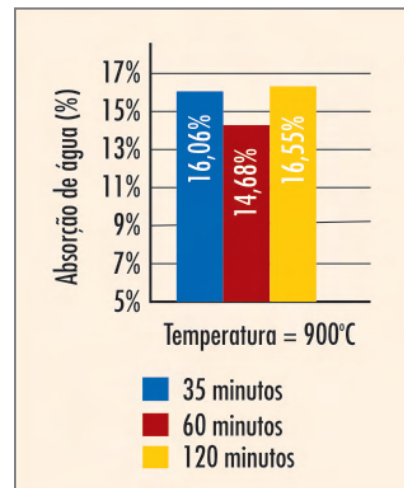


Figura 15 – Variação da absorção de água com o tempo de queima.

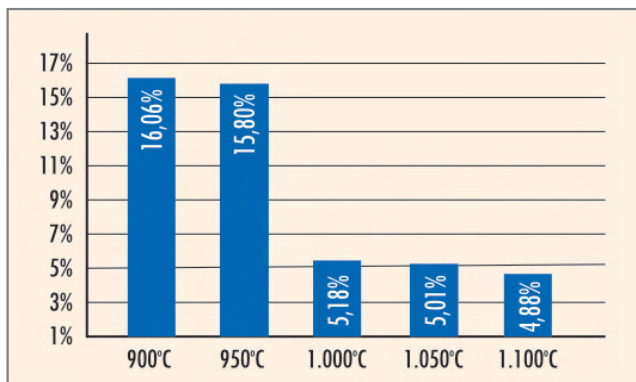


Figura 14 – Variação da absorção de água com a temperatura de queima.

### Análise dos custos envolvidos na produção experimental

Para a previsão de um custo estimado da fabricação do agregado de argila calcinada industrial, foram necessários alguns dados relativos do processo produtivo, bem como de uma planilha mensal composta dos custos da olaria (UP), com informações de gastos diretos e indiretos re-



Figura 16 – Planilha de custos mensais da fabricação de tijolo maciço na olaria de Santarém.

lacionados a um tijolo maciço produzido nesta indústria cerâmica. Estes dados estão apresentados na Figura 16.

Sabendo que estas anotações são referentes (em peso) a uma produção de 486 toneladas de tijolos maciços no período de análise, e a partir de algumas considerações a respeito da transformação para volume de agregados britados, são efetuados os cálculos da Tabela 6:

Tabela 6 – Custo estimado do agregado de argila calcinada industrial

Custo/ton = R\$ 60,78
Massa específica aparente - $\mu_{ap}$ (ton/m <sup>3</sup> ) = 1,05
Fator de conversão (limite inferior) = 0,25
Fator de conversão (limite superior) = 0,60
Custo/m <sup>3</sup> (maciço) = R\$ 63,82
Custo/m <sup>3</sup> britado (limite inferior) = R\$ 51,06
Custo/m <sup>3</sup> britado (limite superior) = R\$ 39,89

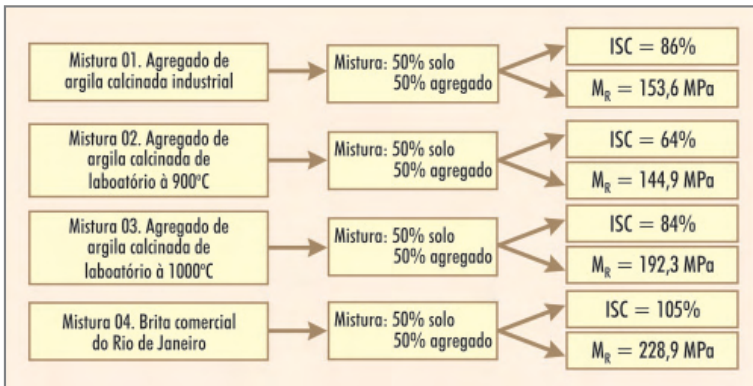


Figura 17 – Resultados de ISC e  $M_{R\text{médio}}$  das misturas solo-agregado. À direita, foto da mistura e corpo de prova do  $M_R$ .

## Emprego como material de pavimentação: solo-agregado e mistura asfáltica

Os resultados dos ensaios realizados estão dispostos de acordo com esta seqüência:

— Mistura solo-agregado:

- Ensaio de compactação
- Ensaio de ISC
- Ensaio de módulo de resiliência ( $M_R$ )

— Mistura asfáltica:

- Projeto de dosagem Marshall
- Determinação da densidade da mistura pelo método de Rice
- Ensaio de resistência à tração ( $R_T$ ), módulo ( $M_R$ ) e fadiga
- Ensaio de degradação após compactação Marshall

A mistura solo-agregado foi planejada segundo a composição em peso de 50% de solo de subleito (ISC = 15%) da região em estudo (BR-163 PA), e 50% de agregados de argila. Comparativamente, uma mesma mistura (com a curva granulométrica de projeto idêntica) foi concebida com a brita do Rio de Janeiro, que estava sendo usada como base comparativa nos ensaios de resistência mecânica. Além da brita e do agregado de argila calcinada industrial, mais duas amostras de agregados foram utilizados, formando assim, 4 misturas distintas. Estas duas últimas amostras, foram agregados de argila calcinada fabricados em laboratório nas temperaturas de 900°C e 1.000°C.

A dosagem da mistura asfáltica, inicialmente obteve um teor "ótimo" com 8,7% de ligante e um volume de vazios de 4,4%, seguindo as especificações Marshall. O desempenho do concreto asfáltico dosado apenas com CAP-



20 e 100% de agregados de argila calcinada industrial, está na Tabela 7. Outro objetivo do estudo das misturas asfálticas, era o de avaliar a confiabilidade do cálculo da densidade máxima teórica para misturas (DMTC) com este tipo de agregado.

A partir dessa intenção, ao analisar um CP com o teor de 8,7%, realmente havia a “desconfiança” de que o percentual de vazios não estivesse na faixa de 4% a 5%. Uma vez que o resultado da densidade aparente dos

ram que o compactador Marshall propicia uma condição de impacto mais severa do que é observada em campo. Sendo assim, limites de 6% já foram citados como o mais apropriado para a aceitação da degradação do agregado, após a compactação no equipamento Marshall com ligante asfáltico.

Ressalta-se que a norma contempla apenas os deslocamentos nas peneiras 3/4", 3/8", N°4, N°10, N°40 e N° 200 e prevê a compactação dos corpos de prova com 50

Tabela 7. Comparativo de desempenho de concretos asfálticos para a  $R_T$  e  $M_R$ .

Parâmetro	PINTO [9] Concreto asfáltico com brita	BATISTA [4] Concreto asfáltico com argila calcinada de laboratório	Concreto asfáltico com 100% de agregados de argila calcinada industrial
$R_T$ - 25°C (MPa)	0,81	0,65	0,76
$R_T$ - 30°C (MPa)	0,63	0,33	0,47
$R_T$ - 35°C (MPa)	0,42	0,22	0,33
$M_R$ - 25°C (MPa)	3.520	2.086	3.225

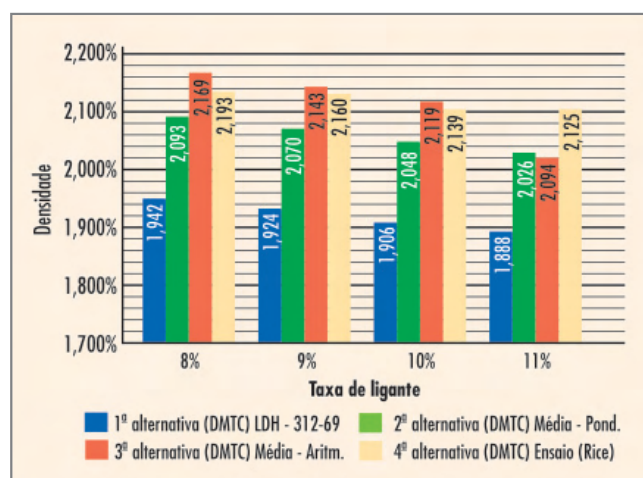


Figura 18 – Gráfico comparativo entre os valores da densidade da mistura: Densidade máxima teórica calculada (DMTC) x Densidade máxima medida (DMM).

agregados foi confirmado por diversas tentativas (método DNER com média aritmética e ponderada; e método da Louisiana [8]), o provável erro só poderia estar no cálculo da densidade da mistura. Sendo assim, foi elaborado um comparativo para esta densidade (Figura 18), inclusive com o valor da densidade medida através de ensaio, pelo método de Rice [3] (DMM).

Apresenta-se na Tabela 8, o último resultado sobre a mistura asfáltica: a degradação verificada após a compactação no equipamento Marshall. Apesar da norma DNER-ME 401/99 não estabelecer limite de aceitação, Albuquerque [1] relata que alguns pesquisadores já constata-



Figura 19 – CP dosado apenas com CAP-20 e 100% de agregados de argila calcinada.



Figura 20 – Execução do ensaio de Rice [3].

**Tabela 8 – Índice de degradação Marshall com o agregado de argila calcinada industrial**

DEGRADAÇÃO MARSHALL	Peneira	Média dos CP's	Projeto Soma
	1 1/2"	100%	100%
	1"	100%	100%
	3/4"	100%	100%
	1/2"	85%	86%
	3/8"	78%	75%
	Nº 4	58%	52%
	Nº 10	34%	25%
	Nº 40	17%	16%
	Nº 80	13%	11%
Nº 200	11%	8%	
ÍNDICE DE DEGRADAÇÃO		NORMA:	3,67%
		TODAS AS PENEIRAS:	4,00%

golpes, fato este que ratifica ainda mais a resistência do agregado, pois foi submetido a 60 golpes no compactador original Marshall do IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias). Conforme pode ser notado, além da soma da degradação das peneiras preconizadas pela norma citada, foi feita a avaliação da degradação em todas as peneiras constantes dos percentuais do projeto, e mesmo assim ambos resultados foram inferior ao valor de 6% de degradação.

## A PROTEÇÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Atualmente, ainda é notório no país a falta de cultura na área da propriedade intelectual (marcas, patentes, desenho industrial, registro de software e outros) que também perdura em grande parte da comunidade científica. A principal e mais danosa consequência é que o Brasil não transforma o conhecimento gerado pelos pesquisadores em inovações – ou seja, em riqueza e transferência de tecnologia para a sociedade.

Ilustra-se este aspecto, com a informação de que em média, apenas de 5 a 10% de toda a tecnologia produzida a nível mundial é protegida em países em desenvolvimento, aí incluindo-se o Brasil. Isto quer dizer que a maioria da tecnologia mundial produzida não se acha protegida em nosso país.

Cabe então dizer, que aquele que vier a utilizar-se dessa tecnologia em domínio público no Brasil, deverá

procurar saber em que países ela se acha protegida antes de efetivar, por exemplo, exportações que envolvam essa tecnologia.

O interesse em avançar no desenvolvimento da região da Amazônia, que é a menos atendida do Brasil em infra-estrutura de transporte, foi o fator motivador para desencadear um processo até então não explorado, pelo sistema de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro: a proteção de uma pesquisa iniciada e desenvolvida, ao longo de oito anos, na Seção de Engenharia de Fortificação e Construção do Instituto Militar de Engenharia.

Além da escassez de recursos para o desenvolvimento da pesquisa, a continuidade do estudo do agregado de argila calcinada também esteve próxima de ser ameaçada por uma informação errônea que estava sendo divulgada através de terceiros.

Por sorte, dentro da equipe de pesquisadores, um dos integrantes já atuava neste ramo do Direito, com habilitação pela World Intellectual Property Organization – WIPO (um organismo da ONU) e que paralelamente à realização da etapa experimental, estava sendo feita uma minuciosa busca em bases de dados nacionais do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), norte-americanas (United States Patent Office - USPTO), européias (European Patent Office - EPO) e inclusive as de acesso privado (Dialog System) sobre tecnologias correlatas, com vistas à sensibilização do Comando do IME para a realização dos procedimentos para a obtenção deste tipo de proteção pioneira no Instituto, uma vez que estavam sendo atendidos todos os requisitos necessários ao depósito de uma patente de invenção.

Foi então durante estas buscas, que surgiu a informação de que a tecnologia já havia sido protegida por um empresário ceramista de Rio Branco, no Acre. Ao averiguar a veracidade da informação, percebeu-se que havia apenas a proteção do sinal marcário identificador de um produto. Produto este que não possuía a mesma qualidade técnica atingida pelo agregado de argila calcinada.

Temendo que esta modalidade de proteção da tecnologia pudesse evoluir em um futuro próximo para um pedido de patente de invenção, e que dessa forma pudesse impedir o prosseguimento das pesquisas realizadas no IME em benefício da engenharia viária da região norte, foi elaborada a redação do documento de patente contendo todo o processo produtivo desde a prospecção da matéria-prima até a expedição do agregado artificial de argila calcina-

da com emprego na pavimentação, protegendo assim toda a tecnologia que é de domínio dos pesquisadores do IME.

Registrava-se desta forma, em dezembro de 2004, o depósito do pedido de patente junto ao INPI, da tecnologia do agregado artificial de argila calcinada, sob titularidade, pela primeira vez, do Instituto Militar de Engenharia e simultaneamente do Exército Brasileiro.

## DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

— Os conhecimentos obtidos junto aos ceramistas, ratificaram a necessidade de se avaliar de forma conjunta: a composição química, a mineralogia e a análise térmica da matéria-prima.

— A matéria-prima que apresenta um significativo teor de elementos fundentes, assim como a presença de argilo-minerais do grupo das ilitas, caulinitas e montmorilonitas, pode propiciar um agregado com resistência satisfatória.

— A análise térmica (diferencial e termogravimétrica) constitui-se em uma ferramenta extremamente útil, para informar como deverá ser tratado termicamente o agregado, ou seja, o “plano de queima” para a fase de produção.

— A respeito do estudo específico sobre a absorção, os materiais que foram incorporados não proporcionaram significativa redução da absorção de água. Apenas com o aumento da temperatura foi obtida uma brusca redução.

— A hipótese de produção da argila calcinada em uma indústria cerâmica, consolidada durante as visitas, provou ser viável tecnicamente e vantajosa financeiramente. Essa alternativa, foi principalmente planejada, para atender as pequenas demandas de municípios da região norte do país, que encontram dificuldades logísticas e peculiares a esta região de selva, e não têm como dispor de um elevado aporte de recursos para a aquisição de uma usina pré-fabricada para a produção do agregado de argila calcinada.

— O agregado produzido em olaria apresentou resultados de resistência mecânica similares e até superiores aos observados em amostra de agregados britados de rochas do Rio de Janeiro. Alia-se a este fato, o resultado do ensaio de degradação que confirmou a capacidade de suporte sob severa compactação mecânica, inclusive com resultados também similares aos obtidos com a brita. Dessa forma, comprovou a sua eficácia e proporcionou uma resposta aos questionamentos de alguns técnicos, que costumavam afirmar que o desempenho do agregado de ar-

gila calcinada é similar aos agregados provenientes de rejeitos de peças cerâmicas, que por sua vez não são produzidos originalmente com o intuito e controle tecnológico para servirem como agregados para a pavimentação.

— A estimativa contábil da produção realizada em Santarém (PA), demonstrou que a aquisição do m<sup>3</sup> de brita na região (acima de R\$ 110), ultrapassa 100% do custo por m<sup>3</sup> anotado na produção do “agregado de argila calcinada industrial”.

— As taxas de ligante obtidas com o agregado de argila calcinada (8% a 9%), aparentemente podem parecer elevadas quando comparadas às observadas nos concretos asfálticos empregados com o agregado natural (4% a 7%). O que deve ser lembrado e ratificado é a relação de massa e volume que diferem estas duas misturas em particular, e aí entende-se a espessura a ser observada na camada de revestimento do pavimento, que a princípio deve ser a mesma.

— Tomando como exemplo um corpo-de-prova Marshall convencional, em que para as misturas com a brita, observa-se em geral uma massa de 1.200g (espessura aprox. = 6cm), já para o concreto asfáltico preparado com a argila calcinada, a massa que corresponde ao mesmo volume, é de aproximadamente 900g, incluindo o ligante asfáltico. Ou seja, uma taxa de 8% de ligante em um concreto asfáltico de argila calcinada, corresponde em peso à uma taxa de 6,7% de ligante em um corpo-de-prova com 1.200g, e com a mesma espessura.

— Seguindo este raciocínio, e supondo que esta taxa de 6,7% elevaria em 1% uma taxa média de concreto asfáltico com brita (5,7%), deve-se lembrar agora da relação de custos entre a aquisição da brita na região do estudo, e o custo atingido com a produção experimental, relação esta acima de 100%. Considerando ainda que os agregados correspondem, em peso, a mais de 90% de ambas misturas asfálticas em questão, é trivial concluir a vantagem financeira na adoção do concreto asfáltico com argila calcinada, lembrando novamente que foram atingidos resultados de desempenho similares nas duas misturas asfálticas.

— Apesar da vantagem financeira já explicada em relação à aquisição da brita, as considerações feitas no cálculo estimativo proporcionaram uma majoração, e chegou-se a um custo médio de R\$ 45,00/m<sup>3</sup> para a argila calcinada. Segundo dados do proprietário da indústria responsável pela produção experimental, vários são os fato-

res que são capazes de prover uma acentuada queda deste valor. Entre elas, cita-se a mudança do sistema de queima para a serragem que tornaria ínfimo o custo de aquisição de combustível para a queima.

— A meta de se atingir em curto ou médio prazo algum trecho experimental com este material alternativo, deve ser encarada com afinco para que seja possível propor esta solução à infra-estrutura de transportes dos diversos municípios da região norte do país e desta forma capacitar a execução de empreendimentos viários que por outrora eram

economicamente inviáveis, devido ao “custo amazônico” de aquisição de materiais pétreos.

— Da mesma forma, a busca pela proteção de propriedade intelectual desenvolvida e proprietária do Instituto Militar de Engenharia, estabeleceu desde já a expectativa do Direito de Propriedade Industrial do IME, mediante o depósito do seu primeiro pedido de patente, ação esta que além de pioneira, tornou-se um marco gerador da proteção ao processo inovador da Instituição e da Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Albuquerque, A. P. F. de. (2005) *Influência da energia e da temperatura de compactação nas propriedades mecânicas dos concretos asfálticos*. (dissertação de mestrado). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- [2] Alexandre, J. (2000) *Análise de matéria-prima e composição de massa utilizada em cerâmica vermelha* (tese de doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ.
- [3] ASTM (2000) *ASTM D 2041-00 - Standard test method for theoretical maximum specific gravity and density of bituminous paving mixtures*. American Society for Testing and Materials.
- [4] Batista, F. G. da S. (2004) *Caracterização física e mecânica dos agregados de argila calcinada produzidos com solos finos da BR-163/PA* (dissertação de mestrado). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- [5] Cabral, G. da L. L. (2005) *Metodologia de produção e emprego de agregados de argila calcinada para pavimentação* (dissertação de mestrado). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- [6] Costa, F.W.A., Silva M.A.V. da, Mello, M.A. (2000) *Agregado de argila calcinada da Amazônia: análise dos parâmetros de fadiga e resiliência em misturas asfálticas* (projeto de fim de curso). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- [7] DNER (1981) *Pesquisa de Viabilidade de Implantação da Fábrica de Argila Expandida na Região Amazônica – Relatório Final*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias – Divisão de Pesquisa, Rio de Janeiro, RJ.
- [8] LDH (1969) *LDH TR-312-69 - Determination of specific gravity of coarse lightweight aggregate*. Louisiana Department of Highways.
- [9] Pinto, S. (1991) *Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos* (tese de doutorado). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.
- [10] Soares, A.L.C.P.; Batista, F.G.S., Cabral, G. da L.L (1998) *Estudo da viabilidade técnica do agregado de argila calcinada para a pavimentação da Amazônia* (projeto de fim de curso). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.



**TECNOLOGIA EM CONSTANTE  
DESENVOLVIMENTO.**

A **Solocap** está presente na Geotecnologia Rodoviária em duas atividades nobres:

- Mecânica dos Equipamentos de Laboratório
- Geotecnia Rodoviária em Consultoria Aplicada

Nossa proposta é oferecer equipamentos e serviços com significativo nível de qualidade e conteúdo técnico. Profissionais com até **30 anos** de atividade/experiência no segmento rodoviário

# Cursos ABPv

Há 46 anos promovendo a técnica da pavimentação

# 1

## Metodologias de Auscultação, Procedimentos de Análise dos Resultados Obtidos, Estabelecimento de Diagnóstico e Definição da Natureza das Intervenções Corretivas de Pavimentos Rodoviários Existentes

13 a 15 de setembro de 2006

### OBJETIVO

Capacitar técnicos e engenheiros a conhecer novas técnicas para definição de intervenções inteligentes nos pavimentos rodoviários.

### PROGRAMA

- Histórico das Estradas de Rodagem;
- Conceituações Básicas;
- Procedimentos de Auscultação dos Pavimentos;
- Metodologias de Avaliação dos Pavimentos;
- Diagnóstico dos Pavimentos Rodoviários;
- Concepção e Definição da Natureza das Intervenções Corretivas;
- Dimensionamento das Intervenções Tipo "Reforço Estrutural" e "Reconstrução".

### PROFESSOR

Eng<sup>o</sup> DSc. Paulo Romeu Assunção Gontijo

# 2

## Avançado Intensivo de Pavimentação Urbana

23 a 27 de outubro de 2006

### OBJETIVO

Capacitar engenheiros e arquitetos a conhecer os materiais empregados em serviços de pavimentação urbana no que diz respeito à construção, conservação e manutenção de vias urbanas, bem como o conhecimento de novas técnicas.

### PROGRAMA

#### (SUJEITO A MODIFICAÇÕES)

- Materiais: Solos e Rochas, Asfalto, Emulsão, Espuma e Ligantes Especiais;
- Misturas Betuminosas a Frio e a Quente;
- Mecânica dos Pavimentos;
- Técnicas de Construção, Restauração, Manutenção e Reciclagem;
- Pavimento Rígido;
- Drenagem de Pavimentos Urbanos;
- Gerência de Pavimentos Urbanos;
- Pavimentos para Baixo Volume de Tráfego (estradas intermunicipais);
- Projeto Urbanístico, Paisagismo e Meio Ambiente;
- Auscultação e Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis Urbanos Existentes.

### PROFESSORES

Vários

# 3

## Pavimentos e Planejamentos de Aeroportos

8 a 10 de novembro de 2006

### OBJETIVO

Tecer considerações sobre o atual estágio de desenvolvimento dos mecanismos utilizados na definição de estruturas de pavimentos e avaliações decorrentes aliados a sistemas de drenagem. Apresentar a sistemática de elaboração de Planos de Desenvolvimento e Planos Diretores em Aeroportos envolvendo sistemáticas de definição da demanda de passageiros e aeronaves, capacidade e infra-estrutura dos aeroportos com apresentação de estudos de caso.

### PROGRAMA

- Estado da Arte dos Pavimentos de Aeroportos
- Dimensionamento e Avaliação dos Pavimentos de Aeroportos
- Sistema de Drenagem
- Plano Diretor de Aeroportos
- Demanda, Capacidade e Infraestrutura de Aeroportos
- Estudos de Caso

### PROFESSORES

Eng<sup>o</sup> Silvio Rodrigues Filho – ABPv  
Major Brig Eng<sup>o</sup> Adyr da Silva  
PhD – UnB  
Eng<sup>o</sup> Kazuhiro Uekane – USP  
Cel Eng<sup>o</sup> Paulo Roberto Dias  
Morales (IME/ABPv)

### Informações

[www.abpv.org.br](http://www.abpv.org.br) | (21) 2233-2020 | [abpv@abpv.org.br](mailto:abpv@abpv.org.br)

# Pavimentos compostos com escórias de aciara

## Análise e interpretação dos defeitos mais usuais, recomendações técnicas e considerações sobre as especificações brasileiras concernentes

Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo

Mestre e Doutor em estradas

### 1. INTRODUÇÃO

O presente arrazoado técnico constitui, na realidade, o resumo de uma investigação processada em um trecho de estrada cujo pavimento, composto com camadas de base e de sub-base constituídas com escórias de aciara, apresentou um insucesso notável, sem sofrer sequer uma única aplicação de carga.

Com o objetivo de proceder as avaliações e estabelecer um diagnóstico, procurou-se, logo após uma visita ao trecho, coletar e estudar toda a bibliografia disponível a respeito do assunto, tendo obtido uma série de trabalhos técnicos, incluindo uma meia dúzia de teses de mestrado e de doutorado. A busca literária foi processada na expectativa de encontrar, fundamentalmente, a explicação para os tipos de defeitos verificados, tão comuns nos pavimentos constituídos com escórias de aciara.

Infelizmente, contudo, no âmbito dos trabalhos estudados pôde-se deparar apenas com artigos eminentemente acadêmicos, constituídos por explicações nada condizentes com a **Engenharia Rodoviária**. Como exemplo, pode-se citar as extensas **descrições dos processos de fabricação de aço** (LD – Linz/Donawitz, BOF – Blast Oxygen Furnace, EAF – Eletric Arc Furnace e OH – Open Heart) que nada dizem respeito aos engenheiros civis; a **definição das matérias-primas empregadas na fabricação do aço**: "... obtido através da redução do minério de ferro por adição de cálcio, ferro, silício, manganês, enxofre e as ferroligas (que ajustam as composições químicas do aço e lhe conferem as características mecânicas desejadas), a cal (que retém as impurezas do metal, forma a escória e protege o forno contra os ataques químicos) e o oxigênio (diminui o teor de carbono e o tempo de fusão); **competentes aulas**

**de metalurgia**: "durante o processo de produção do aço são eliminados carbono, óxido de cálcio - CaO e os íons de alumínio, silício e fósforo que tornam o aço frágil, quebradiço e difícil de ser transformado em barras"; e **verdadeiros compêndios sobre elementos e compostos eliminados que entram na composição da escória**"; e dissertações sobre os silicatos de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ), óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), ferrita cálcica ( $\text{CaFe}_2\text{O}_4$ ), óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) e sobre os teores de CaO e MgO livres, sempre presentes nas escórias de aciara, decorrentes da oxidação do fósforo e do silício, elementos que, ao precipitarem, ultrapassam os limites de solubilidade da escória fundida".

De igual forma, deparou-se ainda com **magníficas preleções químicas**, regedoras da formulação das escórias e atuantes sobre os fatores que contribuem para sua expansividade:

- "a hidratação dos CaO e MgO livres responde por parcela significativa da expansão da escória a curto e a longo prazos e depende do grau de instabilidade destes compostos, função por sua vez, da granulometria dos cristais: os de pequenas dimensões hidratam-se mais rapidamente. Sob tais circunstâncias a cal livre, quando hidratada, forma o  $\text{Ca(OH)}_2$  e sofre um aumento de 99% em volume e 54% em superfície, e o MgO, quando reage com a água, forma o hidróxido de magnésio  $\text{Mg(OH)}_2$  e sofre uma variação volumétrica de até 120%";

- "as mudanças nas formas alotrópicas do  $2\text{CaO} - \text{SiO}_2$  de  $\beta$  (larnita) para  $\gamma$  (calco-olivina), transferências instáveis, ocorrem durante o resfriamento lento da escória, à aproximadamente  $725^\circ\text{C}$  e geram uma alta expansão volumétrica causando o fenômeno conhecido por "esfarelamento".

Em síntese, nos trabalhos consultados se pôde constatar grandes maçarocas bibliográficas, completamente

estranhas e sem qualquer proveito para os engenheiros rodoviários projetistas e construtores! Não se conseguiu ter acesso a qualquer publicação desenvolvida com base em experimentos de campo, muito menos identificando os diversos tipos de manifestações de ruína ou interpretando suas gêneses, causas mais prováveis e processos evolutivos. Também não se teve oportunidade de travar contato com qualquer publicação que abordasse aspectos construtivos e tampouco que avaliasse a pertinência das Especificações Técnicas regedoras do assunto. Assim, foi em decorrência das dificuldades encontradas e da inexistência de análises similares que se procurou estabelecer as diretrizes da investigação empreendida, cujo resumo se relata no presente arrazoado técnico. Os tópicos a seguir abordados têm a finalidade única e exclusiva de contribuir para o melhor conhecimento sobre as escórias de aciaria e sobre as necessárias precauções a se ter em conta quando de suas recomendações para constituição de camadas de pavimentos.

## **2. MANIFESTAÇÕES DE RUÍNA OCORRENTES EM PAVIMENTOS CONSTITUÍDOS COM ESCÓRIA DE ACIARIA**

No âmbito do presente trabalho, procurou-se primeiramente travar conhecimento com os tipos de manifestações de ruína que normalmente caracterizam os pavimentos constituídos com escória de aciaria, estudar e avaliar suas possíveis gêneses e, eventualmente, ajuizar suas causas mais prováveis e seus processos evolutivos.

Assim procedendo, pôde-se constatar que a gama das manifestações de ruína ocorrentes em pavimentos constituídos com escória de aciaria, quando ainda ativas, são bastante típicas e decorrem, fundamentalmente, das características de expansibilidade deste material. Com efeito, no contexto das características de degradação superficial, os dois processos de ruptura peculiares se apresentam, de forma inexorável: **as fissuras radiais concêntricas**, em forma de “pés-de-galinha” – também conhecidas pela denominação popular de “vulcãozinho” – e a **fissuração longitudinal irregular**, descontínua e generalizada, disposta em áreas específicas, dispostas ao longo de segmentos com extensões finitas. No âmbito das características de deformação permanente, constatou-se também a presença de **solevações** predominantemente transversais – embora também ocorrentes no sentido longitudinal – traduzidas

por protuberâncias significativas, também conhecidas na denominação popular por “quebra-molas”.

Complementando a saga das manifestações de ruína típicas, destaque especial deve ser ainda atribuído ao processo de rotação imposto à parede de concreto (cimento Portland) das sarjetas laterais em contato com a pista de rolamento, o qual se desenvolve a partir da **expansão horizontal** sofrida pelas camadas de escória, independentemente de qualquer ação das cargas do tráfego. Com efeito, o notável crescimento volumétrico no sentido horizontal que externam camadas de base constituídas eminentemente por escórias de aciaria, quando ainda ativas, impõe à parede adjacente da sarjeta, um momento torsor de magnitude pasmosa, obrigando-a a desenvolver um movimento rotacional horário que culmina, impiedosamente, com a ruptura física na linha de junção das duas paredes inclinadas que compõem uma sarjeta. No desenvolvimento deste processo de deformação imposto, cabe ressaltar dois fatos notáveis: o primeiro, correspondente ao fato de as duas paredes da sarjeta, inicialmente dispostas em ângulo obtuso, alcançarem a agudicidade; e o segundo, pela extraordinária manifestação da componente reológica nos concretos de cimento Portland, uma vez que sua fluência plástica, processada sob a ação de força lenta, gradual e contínua, se exprime, de forma esplendorosa, até o rompimento físico.

O título ilustrativo apresenta-se a seguir algumas fotografias elucidativas das manifestações de ruína de ocorrência mais freqüente em pavimentos constituídos com escórias de aciaria, as quais, por dependerem exclusivamente das características físicas, físico-químicas e químicas da escória, têm sua ocorrência totalmente independente das cargas dos veículos usuários.

## **3. GÊNESES DAS MANIFESTAÇÕES DE RUÍNA DETECTADAS EM PAVIMENTOS CONSTITUÍDOS COM ESCÓRIA DE ACIARIA. ANÁLISE DAS CAUSAS MAIS PROVÁVEIS.**

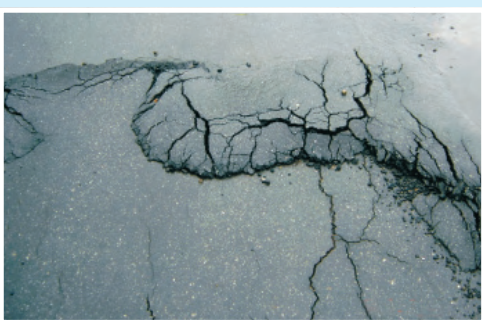
De uma forma geral, pode-se afirmar que as manifestações de ruína detectadas nos pavimentos constituídos com escórias de aciaria sintetizam, de forma clara e contundente, o desprezo com que se trata este material, o qual, quando menosprezado, responde de imediato, externando toda a sorte de defeitos que caracterizam os resíduos siderúrgicos expansivos. Suas caracterizações química, física e



**Trinca radial ("Pé-de-galinha"  
ou "vulcãozinho")**



**Fissuração longitudinal irregular,  
descontínua e generalizada**



**Solevações transversais e longitudinais traduzidas por protuberâncias significativas ("quebra-molas")**



**Deslocamento rotacional imposto à parede da sarjeta pela expansão das camadas de escória**

físico-química são praticamente inexistentes e quando processadas, se restringem à execução de ensaios de expansibilidade realizados, no Brasil, de forma seguramente não correta, condição esta que responde pela surgência constante dos defeitos retro-citados, principalmente em pavimentos recém construídos, ainda não submetidos a qualquer tipo de solicitação pelo tráfego usuário.

Considerando, portanto, a infalibilidade do trabalho da expansão volumétrica das partículas de escória de aciaria ainda ativas, julga-se, ainda que contrariamente ao disposto em toda a literatura estudada, que o processo de **expansão volumétrica “in totum” de uma camada de base se processa, obrigatoriamente, nas três dimensões: transversal, longitudinal e vertical.**

- a **expansão volumétrica transversal** sofrida pela camada de base de escória ocorre de forma praticamente livre e somática no sentido transversal, haja vista a enorme liberdade de crescimento lateral, uma vez que a uma seção transversal é da ordem de apenas meia dezena de metros; o revestimento asfáltico, que se apresenta a ela aderido, não dispõe de competência elástica para acompanhá-la, tornando-se naturalmente alvo de forças de tração – no sentido transversal – de elevadíssimas magnitudes, as quais resultam por impor a ele uma seqüência de **rupturas longitudinais**, de caracteres espontaneamente irregulares e ocorrentes de forma repetitiva, em número e intensidade compatíveis para “acompanhar” todo o crescimento da escória: grosso modo, a soma das aberturas das fissuras longitudinais ao longo de uma mesma seção transversal, traduz grande percentual da expansão transversal total sofrida pela escória de aciaria. Contudo, embora seja imposto ao revestimento asfáltico uma série de fissuras longitudinais, cabe ressaltar que a camada de escória de aciaria subjacente somente se expandiu, não apresentando quaisquer fissurações, mesmo sob as fissuras verificadas na camada de revestimento betuminoso.

- a **expansão volumétrica longitudinal** não ocorre de forma livre nas extremidades do trecho de estrada, haja vista sua enorme extensão. Contudo, a ação de crescimento é inexorável também no sentido longitudinal e continua sendo somática, condição esta que demanda, em algum ponto, que se verifique o processo de equilíbrio expansivo, o qual se manifesta ao meio do caminho, transversalmente, delimitando segmentos com extensões não muito longas. Realmente, considerando que a exigência expansionista no sentido longitudinal é inexorável e que

não existe a facilidade da propriedade somática se expressar pelos extremos do trecho, não se torna difícil admitir que o processo de crescimento ocorre em ambos os sentidos, ora para um lado, ora para o lado contrário, de forma absolutamente não tendenciosa. Com a admissão desta hipótese, torna-se natural afirmar que a tendência de crescimento se define única e exclusivamente a partir das características internas do material na camada, seja devido a uma maior concentração de agregados graúdos e maior percentagem de vazios, seja devido à concentrações localizadas de material finamente pulverizado, substancialmente mais ativo. Considerando pois que a expansão longitudinal pode se processar em sentidos contrários, fácil é antever o episódio no ponto onde tendências de crescimento antagônicas se encontram: neste ponto, a notável magnitude dos esforços expansivos desenvolvidos responde por um autêntico movimento tectônico, que se manifesta como uma explosão exotérmica, de dentro para fora, condição esta que se manifesta fisicamente através de **“estufamentos transversais”**, os quais são corriqueiramente denominados de “quebra-molas”.

- a **expansão vertical** tem sua existência devidamente justificada ao se ter em conta as características expansivas de uma partícula qualquer: um processo de expansão tem de ocorrer, naturalmente, de forma tridimensional! Pela lógica, deve ela ocorrer em proporções praticamente idênticas àquelas verificadas transversal e longitudinalmente, principalmente se se considerar o elevado grau de liberdade verificado no sentido ascendente, uma vez que no sentido descendente as resistências ao crescimento serão naturalmente maiores, haja vista a presença de um *substratum* terroso profundo e compactado ao longo de seus metros superiores. Realmente, este tipo de deformação vertical, embora ainda não detectado ou questionado em termos rodoviários – não se deparou com qualquer abordagem similar na consulta de extensa bibliografia pertinente – deve ocorrer predominantemente no sentido vertical ascendente, uma vez que as camadas de base são normalmente superpostas por uma camada delgada de concreto asfáltico, com peso específico insuficiente para domar os extraordinários esforços desenvolvidos durante a expansão volumétrica da escória. Sob tais circunstâncias, é de se esperar que nos segmentos problemáticos a progressão expansionista se dê por igual, ou seja, a camada de base deve apresentar, ao final de todo o processo, espessuras ligeiramente superiores àquelas com que fo-

ram construídas. De forma a comprovar a teoria exposta, procederam-se novos nivelamentos altimétricos em alguns segmentos problemáticos, tendo-se verificado que os greides finais apresentavam, sistematicamente, ligeiras alterações altimétricas, traduzidas por elevações da ordem dos 0,3 a 0,5 cm; variações estas bastante proporcionais (0,5 cm em espessuras de 15,0 cm) àquela verificada em termos transversais (0,15 m em 5,0 m) e significativamente coerentes com os crescimentos expectáveis para uma escória não inerte, da cerca dos 3,0%. Finalmente, considerando pois que a camada de base se eleva como um todo, por igual, é natural que a camada de revestimento asfáltico nada sofra, uma vez que não se expõe a qualquer tipo de esforço adicional: simplesmente ascende conjuntamente com a camada de base subjacente.

Complementando o elenco de defeitos passíveis de serem observados em pavimentos constituídos com escórias de aciaria, merece análise especial a presença das denominadas **fissuras radiais concêntricas**, as quais se apresentam sob a forma de “pés-de-galinha” e se manifestam de modo bastante particular, com uma pequena elevação central, se assemelhando a um “vulcãozinho”, daí sua denominação mais usual. Esta manifestação de ruína, ocorrente de forma localizada e individual, decorre do processo expansivo sofrido pelo material finamente pulverizado – extremamente ativo – que se encontra disposto de forma concentrada no âmbito da camada de base.

A forma eruptiva que caracteriza esta fissura concêntrica advém do processo expansivo gerado na fração fina da escória, onde se concentram as grandes percentagens de óxidos de cálcio e magnésio. Assim, quando se tratam de escórias ainda ativas, estas concentrações de finos, quando umedecidas pela água de execução da camada e aquecidas pela temperatura solar, potencializada pela absorção de calor da camada asfáltica sobreposta – corpo negro radiante total que quando submetido à ação da radiação solar atinge temperatura da ordem dos 80° C – se submetem à **reações exotérmicas** típicas – no âmbito da camada de base – ocorrendo de dentro para fora com potência descomunal, as quais dão origem à forma eruptiva que caracteriza as fissuras radiais, também denominadas de “vulcãozinhos”.

A surgência desta erupção na superfície da camada de base dá origem a uma inversão notável no processo usual de solitação da camada asfáltica sobreposta, ou seja, impõe um estado de flexão de baixo para cima, fazendo com que a fibra superior da camada de revestimento

seja submetida a um estado de tração extraordinário, bastante concentrado, que faz com que a fissura nasça no domo superior da camada e se propague para sua base. Neste caso particular, o processo de solitação verificado se contrapõe com o efeito produzido pelas cargas do tráfego que, ao flexionarem a camada de revestimento, impõem à fibra inferior estado de tração capaz de gerar a fissuração por fadiga – a fissura nasce na face inferior e se propaga para a superfície. No aval desta tese exposta, basta a simples análise “in loco” das fissuras radiais, para se constatar a particularidade de se apresentarem elas bastante abertas à superfície e praticamente fechadas na base da camada asfáltica: o estágio final de seus desenvolvimentos é em forma de “V”.

No âmbito das manifestações de ruína típicas passíveis de ocorrer em pavimentos compostos com escória ativa, destaque especial deve ser emprestado ao processo de rotação imposto à parede de concreto (cimento Portland) das sarjetas em contato com a pista de rolamento, o qual se desenvolve a partir da **expansão horizontal transversal** sofrida pela camada de base de escória: o acentuado crescimento volumétrico desta camada, no sentido transversal, acaba por impor, à parede adjacente da sarjeta, um momento torsor de magnitude extraordinária, obrigando-a a desenvolver um movimento rotacional horário que culmina, impiedosamente, com a ruptura física das duas paredes componentes das sarjetas, sempre ao longo de sua linha de junção.

#### 4. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS E PROPOSIÇÕES PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE PAVIMENTAÇÃO COM EMPREGO DE ESCÓRIA DE ACIARIA

De antemão, torna-se necessário ressaltar as qualidades excepcionais que caracterizam as camadas de pavimento constituídas com escória de aciaria, principalmente se compostas com outros materiais (brita, areia ou mesmo argila) e quando bem executadas. De uma forma geral, as principais vantagens no emprego de escórias na composição de pavimentos, residem em sua elevada capacidade de suporte, na sua reduzidíssima plasticidade e no aumento de sua resistência com o passar do tempo, característica intrínseca dos materiais que apresentam propriedades hidráulicas.

No que tange ao desenvolvimento de Projetos de Pavimentação, torna-se de fundamental importância o proces-

samento, de forma extremamente consistente, da identificação e da caracterização dos estoques disponíveis, os quais são normalmente compostos de forma bastante desordenada e heterogênea, complementados em altura e lateralmente em épocas distintas e submetidos, conseqüentemente, a diferentes condições de atividade. Desta forma, os estoques disponíveis devem ser devidamente prospectados e avaliados com extremo cuidado, com coletas de amostras processadas em todas as pilhas/montes, em suas laterais e em seu interior e à diversas profundidades, com o objetivo de promover competentes e tradutoras **caracterizações químicas, físicas e físico-químicas**. Esta tarefa, bastante árdua e meticulosa, é normalmente pouco valorizada pelos projetistas de pavimentos e pelos laboratoristas, educados profissionalmente sob a égide da pujança das características mecânicas e desconhecedores – por formação acadêmica – da sutileza e da potência das pequenas reações químicas.

No que respeita aos estudos a serem efetuados, julga-se que três aspectos técnicos se destacam e merecem ser alvo de avaliações particulares consoante a sua indicação:

- para constituição de camadas de base e de sub-base: o **emprego da escória em combinação com outros materiais** e a **definição da energia de compactação mais adequada**;

- para constituição de camadas betuminosas: a proposição de se recomendar seu emprego obedecendo à **faixa granulométrica “C”** do DNER.

No que tange à **miscigenação da escória com outros materiais** para constituição de camadas de base e de sub-base, pode-se afirmar que se trata de uma prática cada vez mais corrente, que já se sedimentou face nomeadamente ao temor quanto ao comportamento sempre reptiliano que caracteriza as escórias, perigosas mesmo quando sua caracterização laboratorial afiança seu estado de inércia plena. Realmente, embora o emprego de escórias requeira cuidados excepcionais de caracterização, torna-se sempre necessário ter em mente a enorme heterogeneidade que caracteriza este material, estocado em pilhas compostas em etapas distintas de fabricação, complementadas em altura e lateralmente em diferentes épocas e submetidas a diferentes estágios de submissão ao intemperismo: um técnico zeloso se mostrará sempre precavido quando da preconização de emprego de escórias, receoso que as sutis reações químicas possam responder por catástrofes flagelantes. A título de ilustrativo, cabe lem-

brar que o **Departamento de Transportes da Pensilvânia** preconiza, presentemente, que as composições com escórias de aciaria se processem através do emprego de parcela fina, passando na peneira de 4,8 mm, composta exclusivamente com finos provenientes da britagem de rochas naturais.

Com relação aos materiais naturais destinados a compor misturas com escória, faz-se necessário promover, preliminarmente, sua adequada identificação laboratorial, a qual deve ser processada através da realização de ensaios de caracterização física e mecânica complementados, sempre que possível, com ensaios de expansibilidade, equivalente de areia e atividade coloidal. Depois da identificação propriamente dita do material selecionado, por ocorrência, deve processar-se então a caracterização da mistura escória – brita/areia/solo, tendo-se em conta fundamentalmente a composição granulométrica final.

Com efeito, os estudos referentes às misturas de escória – brita/areia/solo devem se orientar, primeiramente, pelas proporções a serem ensaiadas, julgando-se de fundamental importância que se iniciem com proporções das seguintes ordens:

- **escória – brita**: o ideal em composições análogas é que a fração graúda seja composta por agregados provenientes da britagem de escórias de aciaria e a fração fina com material proveniente de rochas britadas;

- **escória – areia**: a proporção de agregados provenientes da britagem de escórias de aciaria deve ser da ordem dos 70%, de forma a se ter garantida a formação do esqueleto sólido, responsável pela capacidade de suporte da mistura; os graúdos de escória devem se tocar e a areia – miscigenada com a fração fina da escória – tem as missões de “separar” as partículas finas e de preencher os vazios do esqueleto mineral.

- **escória – solo**: a proporção de agregados provenientes da britagem de escórias de aciaria deve ser também da ordem dos 70%, uma vez que se torna extremamente importante ter garantida a formação do esqueleto sólido, condição esta que responde pela capacidade de suporte da mistura; os graúdos de escória devem se tocar e o solo adicionado, com a missão maior de “separar” as partículas finas da escória, deve ainda preencher os vazios do esqueleto mineral.

No que respeita especificamente à **energia de compactação** de escórias de aciaria puras, julga-se extremamente importante reavaliar as usuais recomendações de

emprego de energias superiores, que se pautam na busca da denominada “densificação máxima”, perseguida com o objetivo maior de se minimizar a movimentação dos agregados e o conseqüente desgaste de suas arestas, características que tornam a camada substancialmente mais resiliente. Contudo, a perseguição desta qualificação, que se mostra essencial quando se trata de materiais granulares não coesos – que têm sua resistência decorrente da fricção gerada pelo atrito de suas arestas e apresentam módulos resilientes dependentes da pressão de confinamento ( $s_3$ ), que decresce com a profundidade – deve ser encarada com bastante reserva quando se trata do emprego de materiais que apresentam propriedades expansivas e/ou hidráulicas.

No caso específico das escórias puras, a busca da densificação máxima se mostra realmente perigosa e indesejável, uma vez que a redução dos vazios internos limita substancialmente a capacidade do material de processar os trabalhos de expansão impostos pelas reações químicas verificadas quando de sua hidratação. Desta forma, considerando a infalibilidade da expansão volumétrica, a qual ocorrerá independentemente da compactação imposta, a imposição de uma densificação máxima impede ou limita acomodações ao nível interno, condição esta que pode dar origem às denominadas reações exotérmicas, extremamente nefastas.

Assim considerando, julga-se que quando do emprego de escórias de aciaria puras deve-se tomar, como referência, a energia correspondente a do **Proctor Intermediário**, com o objetivo de se avaliar outras características de compactidade e umidade ( $D_{max}$  e  $H_{ot}$ ); nestes estudos, torna-se fundamental determinar o CBR através do rompimento dos cinco corpos de prova obtidos no ensaio de compactação com o intuito de se estabelecer, com maior precisão, o desvio tolerável de umidade em relação à resistência desejada.

Desta forma, julga-se que a recomendação de projeto para se processar a compactação das escórias de aciaria com energias de compactação correspondente à do Proctor Modificado – perseguindo a densificação máxima – não constituiu uma exigência recomendável, embora constante da especificação DNER-EM 262/94 – Escórias de Aciaria para Pavimentos Rodoviários. É muito mais prudente e razoável promover estudos com energias correspondentes a do Proctor Intermediário, procurando manter na obra uma estreita correspondência entre as densi-

dades obtidas no campo e no laboratório: **deve-se evitar o excesso de compactação!**

Por outro lado, no tocante ao dimensionamento de camadas de escória de aciaria, julga-se extremamente importante que as espessuras sejam limitadas ao valor máximo da ordem dos 15 cm. Realmente, lembrando a força do hábito, tem se verificado amiúde, em praticamente todos os projetos analisados, a recomendação de emprego de camadas com 20 cm de espessura, proposição esta que se transforma num problema de gravíssimas conseqüências. Com efeito, ao se considerar a execução de uma camada de escória acabada com 20,0 cm, torna-se necessário que a camada apresente, antes da compactação, uma espessura da ordem dos 25,0 cm (material solto), condição esta completamente incompatível com a natureza dos equipamentos de compactação normalmente empregados nas obras viárias, sempre rolos vibratórios “pata curta”.

Com efeito, ao se ter em conta os princípios que regem o processo de compactação exercido por rolos similares – “de cima para baixo” – verificar-se-á a ocorrência de um gradiente de densificação decrescente com a profundidade extremamente maléfica, que demandará cuidados extras no controle de execução, uma vez que embora o grau de compactação detectado em uma camada com 20 cm embora seja igual a 100%, pode ser ele o resultado médio de uma densificação à superfície, bastante elevada, da ordem dos 120% – fenômeno de “vitrificação” superior da camada – de 100% no terço médio e de 80% no terço inferior da camada de base. Esta sobrecompactação verificada no terço superior induz seguramente ao desenvolvimento das indesejáveis reações exotérmicas ou de verdadeiros movimentos tectônicos, decorrentes da falta de espaço para se expandir.

Por outro lado, para além de se tornar recomendável a execução de camadas de escória com espessuras de no máximo 15 cm, julga-se importante que sejam avaliados, na fase inicial da obra, os melhores e mais adequados procedimentos construtivos, os quais devem ser determinados a partir do estabelecimento da definição dos processos de miscigenação da escória – solo/areia/saibro, das características dos rolos de compactação a empregar, das suas seqüência de atuação e do número de passadas; cuidados especiais devem ser tidos em conta no combate ao hábito secular de se processar o “fechamento” da camada de base.

Finalmente, quando do emprego de misturas de escória - solo/areia/saibro, torna-se importante avaliar o “in-

dice de degradação mecânica” eventualmente experimentado pelo material depois das operações de compactação, atendo-se fundamentalmente à geração de finos. Para o efeito, devem ser realizados ensaios de granulometria imediatamente antes e depois da operação de compactação e, em seguida, calculados os índices de degradação eventualmente verificados.

No que tange ao emprego de agregados de escória na constituição de concreto asfáltico disciplinados pela **faixa granulométrica “C”** do DNER, julga tratar-se de uma medida imprópria muito e pouco conveniente, haja vista a enorme rigidez que caracterizará a mistura final: as estabilidade que caracterizam misturas asfálticas compostas com escórias de aciaria ultrapassam, não raras vezes, os 2.000 kgf. Desta forma, considerando que o elevado nível de rigidez das misturas asfálticas (que ainda aumentará com o passar do tempo devido aos processos de envelhecimento do asfalto: oxidação, volatilização, tixotropia, sinerese, separação, etc.) e de forma a se combater a expansão das escórias, o procedimento ideal consiste em se adotar misturas mais abertas, de preferência dotadas com menor fração de finos ou com fração de finos obtida da britagem de agregados naturais.

Com base apenas em uma análise comportamental, pode-se afirmar que o endurecimento de uma mistura asfáltica, para além de demandar uma compatibilização estrutural – fenômeno da solidariedade – aumenta naturalmente a possibilidade de ocorrência de trincamento radial quando em condições de trabalho à baixas temperaturas. Contudo, torna-se necessário ressaltar que a presença de escória na constituição de camadas betuminosas não acarreta, em geral, grandes problemas de natureza expansiva uma vez que os principais componentes expansivos da escória – os óxidos de cálcio e de magnésio – ao serem aquecidos à cerca de 160<sup>o</sup> C, são naturalmente queimados, tornando-a praticamente inerte.

Por outro lado, julga-se importantíssimo ter em conta o disposto na Especificação de Material DNER – EM 262/94 que, contrariamente ao preconizado na Especificação de Serviço DNER – ES 303-97 Pavimentação – Base Estabilizada Granulometricamente, determina, de forma peremptória que **“a composição granulométrica da escória de aciaria deve manter a proporção de 40% na faixa até 1,27 cm (1/2”) e 60% na faixa de 1,27 cm (1/2”) a 5,08 cm (2”).** A ressaltar apenas o fato de que esta exigência não é atendida por nenhuma das faixas granu-

lométricas especificadas pelo DNER: na **faixa A**, por exemplo, o percentual de material passando na # 1/2" oscila entre 50 e 70%, bastante superior ao valor máximo admitido, de até 40%.

## **5. ANÁLISE TÉCNICA DAS ESPECIFICAÇÕES BRASILEIRAS QUE DISCIPLINAM O EMPREGO DE ESCÓRIAS DE ACIARIA EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

Primeiramente, cabe ressaltar que a cultura dos engenheiros rodoviários se fez com o hábito de trabalhar com materiais ocorrentes em jazidas normalmente homogêneas, especificados nas normas como “inertes”, os quais são normalmente amostrados de forma simples e reduzida, com coletas de amostras em número apenas suficiente para se promover estudo estatístico, da ordem de 9. Desta forma, não se torna infundado afirmar os procedimentos adotados para coleta de amostras de escória de aciaria – que não são objeto de quaisquer considerações normativas – obedecem, por força do hábito, a mesma sistemática preconizada para todos materiais destinados a compor camadas granulares de pavimentos rodoviários.

Reforçando a presente assertiva, verifica-se ainda que procedimentos acomodados são adotados também em termos das nossas normas técnicas, podendo-se citar, a título de exemplo, o caso da especificação de serviço **ES 303-97 Pavimentação – Base Estabilizada Granulometricamente do DNER** (atual DNIT), que rege a construção de camadas de base de pavimentos rodoviários em todo o Brasil. Com efeito, nesta especificação que “estabelece os requisitos necessários e concernentes aos materiais – solos, misturas de solos, **escória**, misturas de solos/materiais britados e produtos provenientes de britagem – passíveis de utilização na constituição de camadas de base de pavimentos rodoviários”, os distintos materiais são tratados em conjunto e os ensaios de caracterização laboratorial preconizados são de naturezas especificamente física e mecânica: despreza-se, solenemente, qualquer **caracterização química** dos materiais. Por esta especificação mestra, a escória de aciaria requer o mesmo tratamento e a mesma caracterização laboratorial que um cascalho quartzoso ou laterítico, uma brita graduada ou um solo-brita; apenas a título complementar, cabe ressaltar que a especificação concernente à camada de sub-base – **DNER – ES 301-97**

**Pavimentação – Sub-Base Estabilizada Granulometricamente** – é igualmente omissa.

No tocante ao emprego de escórias de aciaria observa-se, entretanto, a existência de duas normas rodoviárias, que se apresentam completamente desgarradas da especificação de serviço do DNER (ES 301/97):

- “Especificação de Material” – DNER – EM 262/94 – Escórias de Aciaria para Pavimentos Rodoviários
- “Procedimento” – DNER – PRO 263/94 – Emprego de Escórias de Aciaria em Pavimentos Rodoviários

com as quais o nosso órgão normativo máximo se propõe a especificar o emprego deste tipo de material na construção de camadas de pavimentos rodoviários. Contudo, paralelamente ao fato de constituírem normas sequer citadas em suas denominadas **Especificações de Serviço para Obras Rodoviárias**, tratam-se de documentos coxos, desenvolvidos seguramente por engenheiros civis, desconhecedores naturais das ciências químicas e elaborados apenas com o objetivo burocrático, ou seja, de “cumprir obrigação”, uma vez que constitui um material “passível de aplicação”.

No aval desta séria advertência, cabe divagar primeiramente sobre alguns tópicos da “Especificação de Material – DNER – EM 262/94 – Escórias de Aciaria para Pavimentos Rodoviários” com o objetivo de demonstrar sua inconsistência e seu descompromisso para com os verdadeiros controles de qualidade. Como exemplo, cita-se inicialmente o **item 3.6**, no qual o **Plano de Qualidade** é definido como “Documento em que se registram os procedimentos, recursos e seqüência das atividades vinculadas à qualidade da escória”, não se citando contudo quais são as atividades e tampouco se definem as qualidades que devem credenciar o produto; no **item 3.7 – Controle de Qualidade** recomenda-se o emprego de “técnicas de atividades operacionais utilizadas para satisfação de requisitos de qualidade da escória”, sem se definir sequer uma delas. Maior descompromisso – que suprime todas as responsabilidades do projetista e do construtor, a prevalecer esta norma – está na definição do **item 3.8 – Declaração de Conformidade**, definida como uma: “certificação de qualidade da escória, pela qual um fabricante é responsável pelo material, sem supervisão de qualquer entidade de certificação”.

No **item 4 – CONDIÇÃO GERAL** verifica-se a preconização de que as escórias de aciaria devem atender aos seguintes requisitos: **4.1 – Avaliação do Potencial de Ex-**

**pansão, 4.2 – Teor de Impurezas e 4.3 – Granulometria**, não se constatando, por conseguinte, quaisquer recomendações relativas à caracterização química das escórias.

No tocante especificamente à avaliação do potencial de expansão, a norma simplesmente especifica um valor máximo de expansão de 3% – a ser determinada de acordo com o **Método PTM 130 (Pennsylvania Testing Method)**, adaptado pelo DER/MG (DMA 1-DER/MG – 1982). Sobre este particular, cabe primeiramente observar que o método original da Pensilvânia data de 1976 e a adaptação do DER/MG de 1982, ou seja, trata-se de um procedimento implementado há cerca de 30 anos, o qual já foi alvo de pertinentes adequações técnicas; inclusive o **Pennsylvania Department of Transportation – PDOT** especifica presentemente que o limite máximo de expansão admitido *não deve ser superior a 0,5% (avaliada pelo método PTM 130)*.

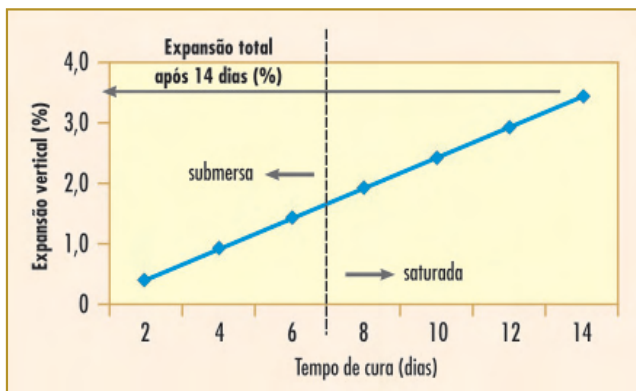
Seguidamente, torna-se necessário tecer considerações à cerca de alguns ditames verificados na retromencionada especificação adaptada pelo DER/MG, principalmente no que diz respeito ao atendimento completo às exigências e ao procedimento de ensaio, o qual se apresenta descrito de forma incompleta e bastante confusa, podendo dar margem a erros significativos.

De imediato, é preciso ter em conta que no **campo de aplicação** deste método se exige que a escória de aciaria, *na graduação final (granulometria) prevista para o serviço*, sofra o **processo de cura úmida ou ambiente por um período não inferior a 6 (seis) meses**. Em termos de atendimento normativo, verificam-se na especificação as exigências de que seja processada a **Identificação ou Designação da pilha de estocagem** (item 3.3) e que se especifique a **Data em que a Pilha iniciou o período de chuvas** (item 3.4), características estas de extrema importância quando se trata do emprego de escória de aciaria. Contudo, para não se ir muito além, pode-se afirmar que tais exigências não são seguidas por nenhuma companhia siderúrgica brasileira e tampouco preconizadas pelos projetistas e cumpridas pelos construtores: a única informação que se dispõe das siderúrgicas é que o material está estocado há muitos anos e que já se encontra totalmente inerte!

Na seqüência de avaliação verifica-se, na citada norma adaptada pelo DER/MG, a recomendação de se processar a compactação da amostra com o emprego do método **DNER - DPT 49/64** – do ano de 1964 e não mais

vigente – que preconiza energia correspondente à do Proctor Modificado; esta exigência, conforme se evidenciou anteriormente, se mostra completamente inadequada quando do emprego de escórias de aciaria na constituição de camadas de pavimento.

No que tange à realização do ensaio, cabe afirmar primeiramente que não se trata de um ensaio fácil de ser realizado em laboratórios convencionais – e tampouco na obra – uma vez que se faz fundamentalmente necessário o emprego de **câmara climatizada** capaz de manter temperatura constante, sob condições similares de umidade relativa. No tocante ao procedimento executório do ensaio, muito pouco tradicional, observa uma grande sutileza ao se processar o ensaio durante 14 dias: nos sete primeiros dias, os corpos de prova, dentro de cilindros metálicos, devem ser totalmente submersos em tanque com água aquecida a  $160^{\circ}\text{F} \pm 5^{\circ}\text{F}$  ( $71^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) – **condição de submersão** – enquanto nos sete dias que se seguem, embora permanecendo dentro da mesma câmara, devem ser eles retirados do tanque de saturação garantindo, entretanto, condições permanentes de manutenção da umidade interna, exigência esta que demanda a complementação constante – a cada duas horas – de água sobre a extensão superior (colarinho) do cilindro metálico onde repousam as sobrecargas – **condição de “afogamento”**; os corpos de prova, o cilindro metálico e a água de adição deverão ser mantidos, obrigatoriamente, a  $71^{\circ}\text{C}$ .



No tocante à especificação adaptada pelo DER/MG, nota-se certa dificuldade no entendimento desta segunda etapa do ensaio, assertiva esta que pode ser comprovada quando se interpreta o texto apresentado em seu item 7.4: “Após o período de 7 dias, a água deve ser removida do tanque ou balde e mantida na estufa a  $160^{\circ}\text{F} \pm 5^{\circ}\text{F}$  ( $71^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) e a condição de saturação (não submer-

sa) deverá ser mantida por mais 7 dias”: a água mantida na estufa? e o corpo de prova? e como se mantêm o corpo de prova em condições de saturação? Em suma, falhas cometidas na realização deste ensaio são capitais, podendo dar margem à diferenças significativas nos resultados dos ensaios.

Realmente, com base em experiência particular, o que se tem podido observar em um sem número de ensaios realizados em distintos organismos, universidades e empresas particulares é a adoção sistemática de uma falha inadmissível: na segunda fase, ao invés de se garantir a condição de saturação da forma que vem de se expor, deixa-se o corpo de prova à temperatura ambiente e, duas horas antes da leitura, umedece-se o corpo de prova com cerca de 500 cc de água, interpretando de forma errônea o disposto no item 7.6 da especificação adaptada pelo DER/MG; alguns técnicos ainda se dão ao trabalho de aquecer os 500 cc de água a  $71^{\circ}\text{C}$ , numa tentativa de interpretar melhor o exposto no item 7.4. Quando processado o ensaio desta forma, verifica-se uma redução drástica na tendência evolutiva da expansibilidade na fase final do ensaio, condição esta que mascara, de forma extremamente perigosa, o resultado final obtido, o qual passa a atender, de forma quase sistemática, ao elevadíssimo valor limite (3%) especificado no item 4.1 da Especificação de Material DNER – EM 262/94.

No item 4.2 – Teor de Impurezas esta norma rodoviária preconiza apenas que a escória deve se apresentar isenta de impurezas orgânicas e de contaminação com escórias de alto-forno, solos e outros materiais prejudiciais.

No item 4.3 – Granulometria, esta especificação determina, de forma peremptória que “a composição granulométrica da escória de aciaria deve manter a proporção de 40% na faixa até 1,27 cm (1/2”) e 60% na faixa de 1,27 cm (1/2”) a 5,08 cm (2”), condição esta que não é atendida por nenhuma das faixas granulométricas especificadas pelo DNER: na **faixa A**, normalmente especificada pelos projetistas para a composição de camadas de base e de sub-base do pavimento, o percentual de material passando na # 1/2” oscila entre 50 e 70%, percentuais bastante distantes do valor exigido, de até 40%.

No que tange especificamente ao procedimento normativo DNER – PRO 263-94 – Emprego de Escórias de Aciaria em Pavimentos Rodoviários pouca coisa a dizer, haja vista seu caráter eminentemente burocrático. Na comprovação desta assertiva, merece destaque o dis-

posto no item 3.3 – **Lote de Estocagem**, o qual é definido como o:

- “**lote de escória pronto para entrega, formado em pátio de estocagem não excedendo a 2000 toneladas**”; e a Declaração de Conformidade, conforme descrita no item 3.7:

“**Forma de certificação de conformidade da escória com norma, pela qual um fabricante é responsável pela mesma, sem supervisão de qualquer entidade de certificação**”.

Finalmente, cabe ainda destacar o disposto no item 5 – **Condições Específicas**, onde em seu tópico único dispõe:

- “5.1 – As escórias de aciaria especificadas na Norma **DNER – EM 262/94** podem ser empregadas em construção de sub-base, base e em misturas betuminosas, em conformidade com as exigências aprovadas, constantes de projetos a que elas se destinarem”, preconizando ainda, em nota de pé-de-página, “rigoroso controle, quando da sua aceitação, relativamente à expansão, não devendo ser superior a 3%, ou o valor determinado pela especificação particular de projeto, conforme o **Método PTM 130 – Pennsylvania Testing Method – USA**) adaptado pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais”.

Conclusivamente, o que se depreende das especificações oficiais é que, embora de forma dissociada e confusa se preconize a avaliação do potencial de expansão de escórias de aciaria (“**Especificação de Material DNER – EM 262/94 – Escórias de Aciaria para Pavimentos Rodoviários**”), não se verificam quaisquer recomendações relativas à sua caracterização química; as especificações do DNER relativas à execução de Bases e Sub-bases (**DNER – ES 303/97 – Base Estabilizada Granulometricamente e ES 301/97 Pavimentação – Sub-Base Estabilizada Granulometricamente**) também se restringem às recomendações de caracterizações físicas e mecânicas. Fundamentalmente, é preciso incorporar, às nossas especificações técnicas mais coerência, os avanços tecnológicos e exigências específicas relativas aos processos de caracterização laboratorial (físicos, mecânicos, físico-químicos e químicos) e ao atendimento às equações de equilíbrio que regem o comportamento das escórias de aciaria.

Do exposto, pode-se deduzir que o emprego de escórias de aciaria demanda de seu fabricante as obrigações pertinentes às caracterizações **física, físico-química e química**, haja vista tratar-se de um material ardiloso e

pícaro, recheado de surpresas e pronto para pregar peças – sempre flagelantes. Realmente, este material demanda, obrigatoriamente, tratamento adequado e particular, face nomeadamente à heterogeneidade decorrente de seu próprio processo de fabricação – tipo de forno utilizado no beneficiamento do aço, natureza da matéria-prima empregada, especificações do aço produzido e processo de resfriamento do rejeito – e dos sistemas de estocagem do resíduo, do tempo de exposição aos agentes do intemperismo, etc., variáveis estas que concorrem também para o processamento de modificações químicas cotidianamente.

## 6. CONCLUSÕES

Conforme evidenciado ao longo do presente trabalho técnico, a escória de aciaria, expurgo silicoso de composição complexa que se forma quando da fabricação do aço – composto com silicatos, aluminatos, óxidos de cálcio e de magnésio, ferro, manganês e enxofre – constitui material nobre quando tratado com deferência e extremamente ingrato quando menosprezado, requerendo, para que seja indicado como material de constituição de camadas de pavimentos rodoviários, uma intensa e consistente **investigação de suas propriedades físicas, físico-químicas, mecânicas e, fundamentalmente, químicas**, bem como a definição perfeita das **técnicas executivas** a serem empregadas em sua execução; as suas características físicas e mecânicas, embora sejam requerentes de caracterização, atuam, na realidade, como atoras coadjuvantes, haja vista serem sobejamente conhecidas e sempre suficientes.

Na realidade, o grande erro que se comete consiste em fiar-se exageradamente nas Especificações Técnicas, vislumbradas sob a ótica míope de que “seguir especificação é sinônimo de sucesso”. Ledo engano! Especificação de Serviço não constitui uma regra imutável e sim uma Diretriz Técnica, que mostra o balizamento da estrada principal, a qual pode apresentar, entretanto, desvios e variantes importantes, muitas vezes necessários de serem utilizados.

A título de ilustração da presente assertiva, cita-se a inconseqüência contida, por exemplo, da especificação de serviço – **ES 303-97 Pavimentação – Base Estabilizada Granulometricamente** do DNER (atual DNIT) que considera, em conjunto e de forma generalizada, todos os materiais passíveis de utilização na constituição de camadas de base de pavimentos rodoviários: “solos, misturas de solos, escória, misturas de solos/materiais britados e produtos

provenientes de britagem". Como outro exemplo, cita-se a especificação DNER – EM 262/94 – Emprego de Escória de Aciaria em Pavimentos Rodoviários, a qual preconiza que a avaliação da expansibilidade se processe através do Método PTM 130 – Pennsylvania Testing Method “adaptado” pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais, tradução esta que, para além de capenga e antiga, além de admitir limite de expansibilidade inadmissível, comete uma falha de interpretação gritante ao recomendar em seu item 7.4 que: “Após o período de 7 dias, a água deve ser removida do tanque ou balde e mantida na estufa a 160° F +/- 5° F (71° C +/- 3 C°) e a condi-

ção de saturação (não submersa) deverá ser mantida por mais 7 dias”; esta simples falha permite afirmar que os ensaios de expansibilidade normalmente executados não traduzem verdadeiramente o potencial de expansibilidade das escórias de aciaria.

Finalmente, julga-se de fundamental importância melhorar a qualificação química dos engenheiros civis brasileiros, uma vez que toda a sua formação acadêmica e vida profissional são direcionadas para fazê-los acreditar somente na presunção das propriedades físicas e mecânicas e desprezar, solenemente, a sutileza e a potencialidade das invisíveis reações químicas.

**CEI**  
Engenharia Ind. e Com. Ltda



- ✦ **Automatização de estacionamentos**
- ✦ **Implantação de sistema de automação de estacionamento**
- ✦ **Obras Civas e infra-estrutura para automação de estacionamentos**
- ✦ **Sinalização horizontal e vertical**
- ✦ **Serviço de terraplanagem e pavimentação**
- ✦ **Pavimentações industriais**

Rua Anequirá, 190 – Cordovil – Rio de Janeiro / RJ  
CEP 21215-440  
Tels.: (21) 3341-0698 / 2424-2515  
e-mail: [ceiengenharia@yahoo.com.br](mailto:ceiengenharia@yahoo.com.br)

A Revista PAVIMENTAÇÃO disponibiliza este espaço para publicidade de resumos de dissertações de mestrado e teses de doutorado concluídas ou em andamento que abordem temas referentes à pavimentação. Os resumos devem ser enviados para: [redacao@abpv.org.br](mailto:redacao@abpv.org.br) e [redacao@revistapavimentacao.org.br](mailto:redacao@revistapavimentacao.org.br).

## Teses e dissertações defendidas na COPPE / UFRJ sobre pavimentos e materiais de pavimentação entre 1971 e 2005 e em desenvolvimento em 2006

As teses de doutorado e dissertações de mestrado apresentadas até 2000 são disponíveis na Biblioteca do Centro de Tecnologia da UFRJ para cópia em papel.

Aquelas apresentadas após 2000 podem ser obtidas na página [www.coc.ufrj.br](http://www.coc.ufrj.br). Informações adicionais podem ser obtidas pelo correio eletrônico: [laura@coc.ufrj.br](mailto:laura@coc.ufrj.br).

### Relação das teses de doutorado sobre pavimentos COPPE / UFRJ (1983 – 2004)

**Autor:** Ernesto Simões Preussler

**Título:** Estudo da deformação resiliente de pavimentos flexíveis e aplicação ao projeto de camadas de reforço

**Orientador:** Jacques de Medina

**Data da defesa:** 25 de agosto de 1983

**Autor:** Laura M. Goretti da Motta

**Título:** Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis: critério de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas

**Orientador:** Jacques de Medina

**Data da defesa:** 08 de abril de 1991

**Autor:** Jorge Augusto Pereira Ceratti

**Título:** Estudo do comportamento à fadiga de solos estabilizados com cimento para utilização em pavimentos

**Orientador:** Jacques de Medina

**Data da defesa:** 22 de abril de 1991

**Autor:** Régis Martins Rodrigues

**Título:** Estudo do trincamento dos pavimentos

**Orientador:** Jacques de Medina

**Data da defesa:** 28 de junho de 1991

**Autor:** Salomão Pinto

**Título:** Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos

**Orientador:** Jacques de Medina

**Data da defesa:** 09 de agosto de 1991

**Autor:** Francisco José Casanova de Oliveira e Castro

**Título:** Geopolimerização alcalina de solos: contribuição ao conhecimento da reatividade de solos sesquioxídicos

**Orientador:** Jacques de Medina

**Data da defesa:** 28 de dezembro de 1995

**Autor:** José Afonso Gonçalves de Macedo

**Título:** Interpretação de ensaios defletométricos para avaliação estrutural de pavimentos flexíveis

**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta

**Data da defesa:** 20 de dezembro de 1996

**Autor:** Delson Bras

**Título:** Tomografia computadorizada no estudo da mecânica da fratura em misturas asfálticas.

**Orientadores:** Ricardo Tadeu Lopes e Laura M. Goretti da Motta

**Data da defesa:** 15 de dezembro de 1997

**Autor:** João de Deus Guerreiro Santos  
**Título:** Contribuição ao estudo dos solos lateríticos granulares como camada de pavimento  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 07 de abril de 1998

**Autor:** Prepredigna Delmiro Elga Almeida da Silva  
**Título:** Estudo do reforço de concreto de cimento Portland (Whitotopping) na pista circular experimental do IPR  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 08 de novembro de 2001

**Autor:** Luiz Francisco Muniz da Silva  
**Título:** Fundamentos para um sistema de gerência de manutenção de pavimentos ferroviários utilizando critério de deformação resiliente  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 14 de outubro de 2002

**Autor:** Jorge Luís Goudene Spada  
**Título:** Uma abordagem de mecânica dos pavimentos aplicada ao entendimento do mecanismo de comportamento tensão-deformação da via férrea  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 24 de fevereiro de 2003

**Autor:** Maria de Fátima Pereira de Sá  
**Título:** Contribuição ao estudo da influência do tráfego na infra-estrutura viária com misturas asfálticas para corredores de ônibus  
**Orientadores:** Paulo César Martins Ribeiro e Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 8 de agosto de 2003

**Autor:** Márcio Marangon  
**Título:** Proposição de estruturas típicas de pavimentos para região de Minas Gerais utilizando solos lateríticos locais a partir da pedologia classificação MCT e resiliência  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 14 de outubro de 2004

**Autor:** Geraldo Luciano de Oliveira Marques  
**Título:** Utilização do módulo de resiliência como critério de dosagem de mistura asfáltica; efeito da compactação por impacto e giratória  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 29 de novembro de 2004

#### Relação das dissertações de mestrado sobre pavimento – COPPE / UFRJ (1971 - 2005)

**Autor:** Salomão Pinto  
**Título:** Estabilização de areia com adição de cal e cinza volante  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 03 de março de 1971

**Autor:** Hugo Nicodemo Guida  
**Título:** Estabilização de um solo fino laterítico pelo ácido fosfórico  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 03 de setembro de 1971

**Autor:** Cesar Augusto V. Queiroz  
**Título:** Estudo de deformação vertical de pavimento para o dimensionamento de recapeamentos  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 20 de novembro de 1972

**Autor:** Juan Julio Jorge Menéndez Garcia  
**Título:** Solos expansivos: sua estabilização com cal  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 22 de março de 1973

**Autor:** Paulo Roberto Verbicário Carim  
**Título:** Cálculo de cargas de roda equivalente no dimensionamento de pavimentos flexíveis: programação automática  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 09 de abril de 1973

**Autor:** João Previtiera Filho  
**Título:** Efeito da temperatura na deformabilidade dos pavimentos asfálticos  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 03 de maio de 1974

**Autor:** Mario Márcio Alvarenga  
**Título:** Estruturas de solos: métodos de observação  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 20 dezembro de 1974

**Autor:** José Vidal Nardi  
**Título:** Estabilização de areia com cinza volante e cal; efeito do cimento como aditivo e de brita na mistura

**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 30 dezembro de 1975

**Autor:** Antonio Fortunato Marcon  
**Título:** Durabilidade e módulo de elasticidade de misturas areia-cal-cinza volante

**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 02 março de 1977

**Autor:** Ernesto Simões Preussler  
**Título:** Ensaio triaxiais dinâmicos de um solo arenoso  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 28 de novembro de 1978

**Autor:** José Eduardo S. Castello Branco  
**Título:** Estudo da eletrosmose em solos finos  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 08 de dezembro de 1978

**Autor:** Laura Maria Goretti da Motta  
**Título:** O estudo da temperatura em revestimentos betuminosos  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 05 de fevereiro de 1979

**Autor:** Humberto Felix Borges  
**Título:** Estabilização de um solo argiloso com cal de carbureto  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 20 de dezembro de 1979

**Autor:** Juçara da Silveira  
**Título:** Estudo da permeabilidade e estrutura de solo-cal  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 21 de dezembro de 1979

**Autor:** Margareth Svenson  
**Título:** Ensaio triaxiais dinâmicos de solos argilosos  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 05 de março de 1980

**Autor:** Francisco José Casanova de Oliveira e Castro  
**Título:** Um estudo físico-químico-matemático da estabilização alcalina de solos argilosos  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 31 de março de 1981

**Autor:** Samuel Hanthequeste Cardoso  
**Título:** Estudo de irregularidades de superfície das pistas de pouso de dois aeródromos militares

**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 09 de junho de 1982

**Autor:** Glicério Trichês  
**Título:** Medidas de deformação lateral de amostra de solos compactados em ensaios triaxiais dinâmicos de carga repetida

**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 13 de setembro de 1985

**Autor:** Luiz Antonio dos Santos Aranovich  
**Título:** Desempenho de pavimentos de baixo custo no estado do Paraná

**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 29 de maio de 1985

**Autor:** Luis Marcial Collarte Concha  
**Título:** Estudo da fadiga de duas misturas de solo-cimento  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 10 dezembro de 1986

**Autor:** Régis Martins Rodrigues  
**Título:** Projeto de reforço de pavimentos rodoviários e aeroportuários pelo método da resiliência: uma nova versão do programa Tecnapav  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 14 de setembro de 1987

**Autor:** Vicente Robinson Pérez Espinosa  
**Título:** Ensaio triaxiais de carga repetida de uma brita  
**Orientadores:** Jacques de Medina e Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 14 de setembro de 1987

**Autor:** Leni Figueiredo Mathias Leite  
**Título:** Estudos reológicos de cimentos asfálticos de petróleo  
**Orientadores:** Rosário E. Suman Bretas e Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 13 de dezembro de 1990

**Autor:** Márcio Alvarado Enamorado  
**Título:** Estudo comparativo entre o método mecânico e o método físico-químico para a dosagem do solo-cimento  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 18 de maio de 1990

**Autor:** Marco Antonio Durães Ribeiro  
**Título:** Dosagem de Pré-Misturado a Frio de Graduação Aberta  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 26 de abril de 1991

**Autor:** Maria da Glória Marcondes Rodrigues  
**Título:** Contribuição ao estudo do método físico-químico de dosagem do solo-cimento  
**Orientador:** Jacques de Medina  
**Data da defesa:** 29 de maio de 1992

**Autor:** Prepredigna Delmiro Elga Almeida da Silva  
**Título:** Contribuição para o aperfeiçoamento do emprego do programa Fepave2 em estudos e projetos de pavimentos flexíveis  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 20 de março de 1995

**Autor:** Maria de Fátima Pereira de Sá  
**Título:** Estudo da deformação de misturas betuminosas através de ensaios estáticos e dinâmicos  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 30 de agosto de 1996

**Autor:** Cláudio Ângelo Valadão Albernaz  
**Título:** Método simplificado de retroanálise de módulos resiliência de pavimentos flexíveis a partir da baixa de deflexão  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 30 de junho de 1997

**Autor:** Dulce Maria Saraiva Rufino  
**Título:** Estudo dos procedimentos de dimensionamento e dos novos programas de análise de tensões em pavimentos de concreto  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 03 de setembro de 1997

**Autor:** Sérgio Seixas  
**Título:** Comportamento dinâmico das camadas componentes do pavimento da pista de pouso do novo aeroporto de Rio Branco  
**Orientadores:** Laura M. Goretti Motta e Samuel H. Cardoso  
**Data da defesa:** 07 de abril de 1997

**Autor:** José Márcio Cuconato  
**Título:** Estudo da contaminação do lastro ferroviário e o uso de geossintéticos no controle do fenômeno  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 26 de março de 1998

**Autor:** Maria Teresa Teixeira Quiroga Pereira  
**Título:** Avaliação da resistência à derrapagem de pavimentos asfálticos urbanos  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 27 de março de 1998

**Autor:** Sérgio Armando de Sá e Benevides  
**Título:** Análise comparativa dos métodos de dimensionamento de pavimentos asfálticos: empírico do DNER e da resiliência da COPPE/UFRJ em rodovias do estado do Ceará  
**Orientadores:** Laura M. Goretti Motta e Jorge Barbosa Soares  
**Data da defesa:** 6 de abril de 2000

**Autor:** Filipe Augusto Cinque Proença Franco  
**Título:** Um sistema para análise mecânica de pavimentos asfálticos  
**Orientadores:** Laura M. Goretti da Motta e Manuel Ayres Jr.  
**Data da defesa:** 25 de agosto de 2000

**Autor:** Leandro Aguiar Liberatori  
**Título:** Estudos de cimentos asfálticos modificados por asfaltita e sua influência em misturas asfálticas  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 20 de outubro de 2000

**Autor:** Franklin José Chaves  
**Título:** Caracterização geotécnica de solos da formação Barreiras da região metropolitana de Fortaleza para aplicação em obras rodoviárias  
**Orientadores:** Laura M. Goretti Motta e Ernesto Nobre Júnior  
**Data da defesa:** 4 de dezembro de 2000

**Autor:** Jésus Caldeira de Alencar Alvarenga  
**Título:** Um estudo de avaliação estrutural e econômica de pavimentos flexíveis de escória de aciaria  
**Orientadores:** Laura M. Goretti Motta e Paulo César Ribeiro Martins  
**Data da defesa:** 28 de março de 2001

- Autor:** Cristiano Martins Ribeiro  
**Título:** Uma proposta para sistematização de análises em Nível de Projeto para gerência de pavimentos aeroportuários  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 25 de maio de 2001
- Autor:** Eliane Augusta Bonelli Zarur  
**Título:** Contribuição à elaboração de metodologias para determinação de custos rodoviários  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 25 de junho de 2001
- Autor:** Ilonir Antonio Tonial  
**Título:** Efeito do envelhecimento de camadas asfálticas de diferentes espessuras na vida de fadiga do pavimento  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 22 de junho de 2001
- Autor:** Antonio Carlos Rodrigues Guimarães  
**Título:** Estudo da deformação permanente em solos e da teoria do Shakedown aplicada a pavimentos asfálticos  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 20 de Dezembro de 2001
- Autor:** Adriano de Souza Pereira  
**Título:** Utilização de geotêxtil em reforço de pavimentos aplicado em um trecho experimental  
**Orientadores:** Laura M. Goretti Motta e Paulo C. Ribeiro Martins  
**Data da defesa:** 2 de fevereiro de 2002
- Autor:** José Gustavo Hermida Mello Ferreira  
**Título:** Elaboração e análise de base de dados de ensaio triaxiais dinâmicos da COPPE/UFRJ.  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 19 de março de 2002
- Autor:** Jorge Luiz Gomes da Fonseca  
**Título:** Um método de retroanálise de bacias de deflexão de pavimentos  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 04 de abril de 2002
- Autor:** Álvaro Augusto Dellê Vianna  
**Título:** Contribuição para o estabelecimento de um material padrão e de metodologia para calibração de equipamentos de ensaios dinâmicos  
**Orientadores:** Laura M. Goretti da Motta e Hostílio X. Rattton  
**Data da defesa:** 28 de setembro de 2002
- Autor:** Bruno Almeida Cunha de Castro  
**Título:** Caracterização geotécnica de solos da região central de Minas Gerais para aplicação em obras rodoviárias  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 21 de novembro de 2002
- Autor:** Celso Reinaldo Ramos  
**Título:** Estudo para o desenvolvimento de um catálogo de pavimentos flexíveis do Município do Rio de Janeiro  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 21 de março de 2003
- Autor:** Eduardo Suassuna Nóbrega  
**Título:** Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 16 de maio de 2003
- Autor:** Luiz Otávio Maia Cruz  
**Título:** Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e dos métodos de dimensionamento  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 27 de junho de 2003
- Autor:** João Darous  
**Título:** Estudo comparativo dos métodos de cálculo de tensões e deformações para o dimensionamento de pavimentos novos  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 25 de julho de 2003
- Autor:** César Augusto Castro  
**Título:** Estudo da técnica de antipó com xisto para pavimentos de baixo volume de tráfego  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 18 de agosto de 2003
- Autor:** Fabrício Augusto Lago Mourão  
**Título:** Misturas asfálticas de alto desempenho tipo SMA  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 6 de outubro de 2003
- Autor:** Luciana Nogueira de Castro  
**Título:** Reciclagem a frio in situ com espuma de asfalto  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 14 de novembro de 2003

**Autor:** Francisco da Silva Duque Neto  
**Título:** Proposição de metodologia para escolha de solo e dosagem de antipó com emulsão de xisto  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 23 de março de 2004

**Autor:** Vania Luzia do Espírito Santo Tizo Lao  
**Título:** Estudo comparativo do desempenho acústico de diferentes tipos de revestimento dos pavimentos  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 30 de março de 2004

**Autor:** Verônica Teixeira Franco Castelo Branco  
**Título:** Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 26 de maio de 2004

**Autor:** Sidlei Teixeira Magalhães  
**Título:** Misturas asfálticas de módulo elevado para pavimentos de alto desempenho  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 14 de outubro de 2004

**Autor:** Cinconegui da Graça Fernandes  
**Título:** Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição dos municípios do RJ e de BH para uso em pavimentação  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 17 de dezembro de 2004

**Autor:** Ricardo Ribeiro do Nascimento  
**Título:** Utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação; uma alternativa para o estado do Acre  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 22 de fevereiro de 2005

**Autor:** Rodrigo Menegaz Muller  
**Título:** Avaliação das transmissões de esforços em pavimentos intertravados de concreto  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 6 de junho de 2005

**Autor:** Marcos Antonio Fritzen  
**Título:** Avaliação de soluções de reforço de pavimento asfáltico com simulador de tráfego na rodovia Rio Teresópolis  
**Orientador:** Laura M. Goretti da Motta  
**Data da defesa:** 30 de junho de 2005

## Relação de teses e dissertações em andamento – COPPE /UFRJ

**Orientação:** Laura Motta (laura@coc.ufrj.br)

**Autor:** Filipe Augusto Cinque de Proença Franco  
**Título:** Programa de dimensionamento de pavimentos asfálticos pelo método mecanístico  
Doutorado

**Autor:** Sérgio Armando de Sá e Benevides  
**Título:** Sistema de gerência de pavimentos aplicado ao estado do Ceará e avaliação de irregularidade com medidor a laser  
Doutorado

**Autor:** José Gustavo Hermida Ferreira  
**Título:** Utilização de redes neurais artificiais para previsão de módulos de resiliência de solos  
Doutorado

**Autor:** Franklin José Chaves  
**Título:** Dosagem de areia asfalto a frio utilizando ensaios dinâmicos  
Doutorado

**Autor:** Ben-Hur Albuquerque e Silva  
**Título:** Estudo de sucção de camadas de pavimentos e sua influência no módulo de resiliência  
Doutorado

**Autor:** Antonio Carlos Guimarães  
**Título:** Estudo da deformação permanente de solos e britas e o fenômeno do shakedown  
Doutorado

**Autor:** Hérika Braga  
**Título:** Estudo de misturas asfálticas de módulo elevado com uso de escoria de aciaria  
Mestrado

**Autor:** Carlos Alberto Ramin  
**Título:** Estudo de gerência de pavimentos aplicada a malha do estado de Minas Gerais  
Mestrado

**Autor:** Valéria Vaca  
**Título:** Estudo de estabilização de solo com emulsão asfáltica  
Mestrado

## Minuta das Normas Básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas

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

# Fatos Históricos

Atahualpa Schmitz da Silva Prego  
Colaborou: Jean Pierre M. Santiago



Por ocasião da 37ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação, que nesta edição de 2006 aborda Os Caminhos da Integração, é interessante lembrar o nome daqueles primeiros engenheiros que se aventuraram na difícil e corajosa tarefa de integrar este país através das estradas. E um desses grandes nomes, dentre tantos outros, é o do engenheiro José Francisco Azevedo. Num País onde nossa memória costuma ser efêmera, a Revista PAVIMENTAÇÃO quer deixar um registro deste homem e seu pioneirismo.

Nascido no Rio de Janeiro, hoje com 86 anos, é uma das lendas do meio rodoviário que guarda consigo um arquivo histórico de fatos, eventos e casos que marcaram os primeiros anos da pavimentação moderna no Brasil. Diplomado em Engenharia Civil pela antiga Escola Politécnica, atual Universidade Federal da Bahia, no ano de 1950, começou sua vida profissional exercendo funções como topógrafo. Em seguida ingressou no magistério atuando como professor de matemática da Escola Regimental da Aeronáutica na Base Aérea de Salvador e na Escola Técnica no Rio de Janeiro.

Em 1955 iniciou no DNER sua carreira como residente em Porto Esperidião, Distrito de Cáceres no Mato Grosso e neste Estado seguiu no comando do 11º DRF e no ano de 1975 assumiu a direção do Departamento Estadual de Estradas de Rodagem – DERMAT em Cuiabá. Chefiou os Distritos de Sergipe (21º DRF) e da Paraíba (13º DRF). Foi Diretor da Divisão de Cooperação do Rio de Janeiro, sendo nomeado logo em seguida Presidente do Grupo Especial de Trabalho de Estradas Vicinais. Atuou como assessor da Diretoria Geral do DNER. Em 1984, assumiu a Direção de Transporte de Cargas, onde presidiu a Câmara Brasileira de Usuários e Transportadores Rodoviários de Bens, além de coordenar o grupo de trabalho sobre fortalecimento da presença do segmento privado no setor de transporte. Finalmente em 1987 foi nomeado Diretor de Planejamento, cargo que exerceu até sua aposentadoria. Hoje

o engenheiro é conselheiro de transporte da Associação Comercial do Rio de Janeiro – ACRJ.

José Azevedo recorda com eloquência e orgulho que sua trajetória, que se iniciou como topógrafo e alcançou cargos de direção, se deu graças ao plano de carreira que existia naquela época. *“Trabalhar no DNER era uma atividade prazerosa e uma honra. Aos chefes era exigido o diploma de engenharia e não eram cargos políticos, o que muito facilitava o bom andamento da gestão, onde eram seguidas as diretrizes dos Planos Nacionais de Viação.”*

Desbravador de terras virgens, fez várias rodovias. Lembra da dificuldade de mobilização de equipamentos e de mão-de-obra, tendo que contar inclusive com o apoio dos índios de diversas tribos.

Ao engenheiro pode-se também destacar o caráter visionário do seu trabalho. Azevedo sempre demonstrou uma preocupação na



promoção da educação. Como professor, também sabia fazer jus a tão honrosa atividade. Tanto assim o é, que em toda obra ele ordenava que fosse construído um galpão para que os operários continuassem estudando.

Na vida acadêmica, os trabalhos foram muitos. Ao perceber que se o poder público não fizesse algo em auxílio ao produtor rural, este não teria como escoar sua safra e garantir sua subsistência. Esta percepção resultou num de seus mais importantes livros,



*Estradas Vicinais ou da Produção*. Publicação que foi reconhecida no Estado de Goiás com grande apreço.

Nas exportações chamou a atenção para a logística equivocada do escoamento da produção no seu livro *Alternativas Rodoviárias Atlântico-Pacífico*, onde aborda também a ligação das duas maiores Bacias Fluviais – Amazonas e Prata.

Outra publicação importante foi a *Preservação da Receita e Destinação do Fundo Rodoviário Nacional*, onde já previa o que a falta deste recurso acarretaria na malha rodoviária.

Vários foram os títulos e condecorações recebidas, mas duas traduzem um louvor maior, a Medalha do Mérito Aeronáutico Santos Dumont e a homenagem recebida pela ABPv por ocasião da 12ª Reunião de Pavimentação Urbana, em 2003.

## Casos

**Dever cumprido** – Cláudio Humberto (Jornal *O DIA* de 1-1-2000)

No dia 25 de fevereiro de 1961, o presidente Jânio Quadros visitava Mato Grosso, sua terra natal. Chamou, então, o chefe local do DNER e mandou que construísse uma estrada até Guaporé. Anotou a data em um papel e ordenou ao então jovem Eng<sup>o</sup> José Azevedo: *“O senhor tem seis meses para construí-la. No dia exato, daqui a seis meses, espero um telegrama comunicando-me o cumprimento do dever.”* O dedicado funcionário fez das tripas coração, trabalhando noite e dia, até que, na data aprazada, foi até os Correios e despachou o telegrama: *“Cheguei hoje às margens do rio Guaporé.*

## Tribuna da Imprensa

6 • Rio, Sáb. e dom., 12 e 13 de junho de 1999

### Sebastião Nery

#### Até Jânio Quadros tinha pavor do FMI



**B**RASÍLIA - Jânio Quadros não mandava bilhetinhos só para seus ministros. Depois que saiu do governo, mandava-os também para os amigos. Em 28 de dezembro de 1983, escreveu para o engenheiro José Francisco Azevedo (filho e irmão dos deputados Vasco Filho e Vasco Neto, da UDN e da Arena da Bahia), que em seu governo chefiou em Mato Grosso o DNER, do qual foi depois diretor de Planejamento:

“Caro José. Obrigado. A você e aos seus, todas as venturas em 1984. Todas! (grifado). Se o FMI o permitir. Valha-nos Deus! Do amigo, J. Quadros”

Quinze anos depois, o FMI continua não permitindo. Valha-nos Deus!

#### Pensando em FHC

Em 22 de fevereiro de 1985, Jânio Quadros mandou outro bilhetinho para Francisco Azevedo:

“Amigo José Francisco. Obrigado. Eloá melhorou, graças aos céus. Vou ser candidato a prefeito. Sem a vinculação, serei imbatível (grifado). Mas, ajude! Escreva aos amigos e conhecidos

de São Paulo. Será ajuda poderosa. Você sabe que pode contar comigo. Do J. Quadros”.

Em outubro, Jânio Quadros derrotou, para a Prefeitura de São Paulo, o senador Fernando Henrique Cardoso, que as pesquisas (e as fotos apressadas, sentado na cadeira de prefeito) já davam como vitorioso.

*Eu cumpro o meu dever.”* Ao chegar em casa, ligou o rádio e ouviu a notícia de que Jânio Quadros acabara de renunciar.

Conforme descreve acima o jornalista Sebastião Nery, Azevedo e Jânio tornaram-se amigos. Trocaram muitas correspondências onde o presidente constantemente fazia algum desabafo.

A admiração por pessoas como o Marechal Cândido Rondon, o fez ver que um país integrado seria o grande passo para o desenvolvimento pleno. O engenheiro José Azevedo nunca esqueceu das palavras de seu pai, as quais nortearam toda sua trajetória de vida como cidadão, e ainda hoje fala constantemente aos seus filhos: *“Não se esqueça que o Brasil não é de ninguém, ele é seu. Defenda-o intransigentemente se não quiser perdê-lo.”*



*Associação Brasileira de Pavimentação*

# *A Memória da Pavimentação no Brasil*

*Fatos Históricos*

*Recordações*

*Depoimentos*

*Atahualpa Schmitz da Silva Prego*

Progresso

Asfalto

Brita

Argila

A Petrobras Distribuidora está levando o progresso para a sua cidade. E o está levando em estradas e ruas asfaltadas. Através da mais moderna tecnologia, a Petrobras Distribuidora tem as melhores soluções de pavimentação asfáltica, melhorando a qualidade de vida na sua cidade e atraindo desenvolvimento. São várias as opções para você escolher: **Micro Revestimento** – restauração de pavimentos deteriorados; **Tratamentos Superficiais** – solução econômica para estradas e rodovias de tráfego moderado; **Laykold** – ideal para revestir quadras esportivas e áreas recreativas. É a qualidade Petrobras para as estradas e ruas, e qualidade de vida para a população.



**BR** PETROBRAS

S A C 0 8 0 0 7 8 9 0 0 1 · w w w . b r . c o m . b r

ASFALTOS



## PONTE SOBRE O RIO CAPIBARIBE

*A ponte sobre o Rio Capibaribe (BR-101) foi uma importante obra de arte da variante de contorno do Recife*

Comprimento total: 91,80m

Conclusão da obra: 1965

Construtora: Norberto Odebrecht S. A. Comércio e Indústria