

REVISTA

ABRV

Associação Brasileira de Pavimentação



PAVIMENTAÇÃO

Ano I – Nº 4 – Outubro de 2006 – www.abpv.org.br – ISSN 1809-1865

Rodovias sob concessão

Um novo retrato das estradas brasileiras

As lateritas e sua aplicação à pavimentação

Jacques de Medina

Boas idéias e bons
Momentos esperam
por você.



Reunião de
Pavimentação
urbana

Setembro de 2007
Ribeirão Preto - SP

Maiores informações:

www.rpu.org.br



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^{ta} 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^o EDUARDO ALBERTO RICCI**

Vice-Presidente: **ENG^o JORGE PAULO MORO**

Diretor Administrativo: **ENG^o LAURA M^a GORETTI DA MOTTA**

Diretor Técnico: **CEL ENG^o PAULO ROBERTO DIAS MORALES**

Diretor Financeiro: **ENG^o SILVIO RODRIGUES FILHO**

Diretor de Divulgação: **ENG^o RONALDO VIZZONI**

Assessora de Diretoria: **Arq^{ta} GEORGINA LIBÓRIO AZEVEDO**

COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

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

Editoração Eletrônica: MURO Produções Gráficas

Impressão: Sermograf

Tiragem: 5.000 exemplares – Periodicidade: Trimestral

Fotografias: ABCR / SPVIAS / Concepa

Nossa capa:



Imagem aérea da free way da Concessionária Osório–Porto Alegre S/A (Concepa), RS.

Foto: Eurico Salis

Erramos: A foto que ilustra a capa da edição anterior é do pavimento da Via Lagos, no Rio de Janeiro, e não da Rodovia BR-101, como publicado.

Sumário

2 Editorial

3 Normas básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas

4 Seção de notas

5 Carta dos leitores

6 37^a RAPv e 11^o ENACOR – Os Caminhos da Integração foram traçados em Goiânia

REPORTAGEM

9 Rodovias sob concessão
O modelo brasileiro

ARTIGOS TÉCNICOS

18 As lateritas e sua aplicação à pavimentação
Meio século depois
Jacques de Medina

25 Desempenho de misturas betuminosas com reciclagem a quente
Luís Gomes, Jaime Queirós Ribeiro e Maria Conceição Azevedo

41 Estudo do efeito da estocagem nas propriedades do asfalto borracha e a influência do método de ensaio na determinação da viscosidade a altas temperaturas
Luis Alberto Herrmann do Nascimento e Leni Figueiredo Mathias Leite

54 Sinalização viva de rodovias
Análise plástica da vegetação
Nara Rejane Zamberlan dos Santos

ESPAÇO ACADÊMICO

58 Teses e dissertações defendidas na USP

62 Fatos históricos

Editorial

Estamos encerrando com esta edição de número 4 as nossas publicações de 2006. A ABPv fecha o primeiro ano da Revista PAVIMENTAÇÃO na certeza de ter cumprido com o objetivo proposto de difusão tecnológica na área de pavimentação e divulgação dos eventos do setor que ocorrem em todo o País.

A proposta da Revista para ano de 2007 continua voltada para a primazia da pavimentação. Aos poucos estamos consolidando nossa identidade editorial, bem como nossa participação no meio acadêmico.

Na verdade, acreditamos que a academia é o espaço que legitima qualquer publicação científica. Em função disso, estamos trazendo nesta edição a primeira parte de um resumo das teses de doutorado e dissertações de mestrado sobre pavimentos e materiais de pavimentação defendidas na USP – São Carlos, entre os anos de 1973 e 2005.

Em agosto passado o maior encontro rodoviário do País, 37ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação e o 11º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária – Os Caminhos da Integração, foi motivo de muita satisfação para a ABPv. O evento, realizado em Goiânia, contou com a participação de profissionais e acadêmicos de todo o Brasil e também de convidados estrangeiros. A Revista PAVIMENTAÇÃO traz a cobertura dos principais acontecimentos deste evento.

Na reportagem de capa, trazemos para discussão o programa de concessão de rodovias do Governo Federal. Desde 1994 o Estado brasileiro vem delegando à iniciativa privada a responsabilidade de manutenção e conservação de considerável parte das estradas do País. O sistema de concessão, seguramente, surgiu como um grande atrativo para o capital privado, dado que seu regime se sustenta na cobrança de pedágio.

A justificativa que se apresenta seria que o Estado é ineficiente em seus organismos burocráticos, bem como carente de recursos suficientes para prover a gestão de sua malha rodoviária. Isso não tem se consolidado somente na área de transportes, mas também em outros setores governamentais. É o retrato de uma ideologia do Estado magro, enxuto, que vem se apresentando desde o início da década de 90 numa resposta positiva ao chamado Consenso de Washington, o qual prevê que o Estado deixe de ser gestor para ser regulador.

De forma isenta, a Revista conversou com diversas concessionárias de rodovias em todo o País e procurou apresentar na reportagem principal um recorte dessa realidade. As concessionárias apresentaram seus projetos de manutenção e conservação, o uso de tecnologias de ponta, os recursos de socorro aos usuários e todos os demais fatores que procuram justificar a cobrança de pedágio nas estradas.

Não tratamos nesta matéria dos lucros das concessionárias. Nossa intenção, num primeiro momento é apresentar uma visão do ponto de vista prático-funcional. Numa próxima reportagem, o espaço de discussão abrangerá os números dos valores auferidos pelas empresas concessionárias, pois acreditamos ser importante que a sociedade tenha acesso a estes dados para que possa, convenientemente, discutir no âmbito da democracia, os caminhos que o Estado brasileiro vem tomando.

Por fim, queremos de plano agradecer a todos os leitores pelo crédito conferido à ABPv neste primeiro ano de existência da Revista PAVIMENTAÇÃO; aos associados que nos honram com sua colaboração e engrandecem nossa Instituição; ao comitê técnico-científico da Revista pelo trabalho criterioso com os artigos. A todos os profissionais que nos enviaram cartas de sugestão e pedidos de assinatura, deixamos nosso apreço pela confiança. E finalmente, nossos sinceros agradecimentos a todos aqueles que nos encaminharam artigos técnicos para publicação.

Em 2007 continuaremos acompanhando, *pari passu*, todos os assuntos ligados à engenharia de pavimentos e levando aos nossos leitores informação atualizada e pertinente.

A todos vocês nossos votos de Boas Festas!

Conselho Editorial

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.

Seção de notas da Revista PAVIMENTAÇÃO

Chile sedia 2 importantes eventos sobre Transportes



Entre 15 e 17 de novembro de 2006, acontecerão em Santiago do Chile, o V Congresso Chileno e

o II Congresso Panamericano de Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS – Intelligent Transport Systems).

Trata-se de um dos mais importantes eventos internacionais da área de sistemas de transportes voltado para a trafegabilidade, segurança e qualidade de vida. Simultaneamente, ocorrerá a 3ª Feira Tecnológica, em que participarão as principais empresas chilenas e estrangeiras do setor.

O evento conta ainda com o apoio do ITS dos Estados Unidos, da Argentina, do Brasil e do Canadá.

Para mais informações e formas de inscrição, basta acessar a página do evento na internet, no endereço www.itsclile.cl.

.....

A Federação Internacional de Estradas



A Federação Internacional de Estradas (IRF – International Road Federation) realizará de 14 a 16 de maio de 2007, em Istambul, na Turquia, o *2006 European Road Safety Award*.

O evento vai premiar os melhores projetos, iniciativas, inovações e pesquisas voltadas para a segurança nas estradas.

Para aqueles interessados em concorrer com seus projetos, poderão inscrevê-los até o dia 30 de outubro de 2006 no IRF/Comitê Técnico Permanente de Segurança

nas Estradas, que tem sede em Genebra, na Suíça, através do site www.irfnet.org.

.....

A excelência dos cursos da ABPv

A ABPv promoveu entre os dias 13 e 15 de setembro em sua sede, o Curso de Metodologia em Auscultação, Estabelecimento de Diagnóstico e Intervenções Corretivas de Pavimentos Rodoviários.



FOTOS: GEORGINA LIBÓRIO AZEVEDO

O curso foi ministrado pelo Engº DSc. Paulo Romeu Assunção Gontijo e teve como objetivo capacitar técnicos e engenheiros a conhecerem novas técnicas para definição de intervenções inteligentes nos pavimentos rodoviários.

No encerramento do curso, no dia 15, foi comemorado o aniversário de 47 anos de fundação da ABPv.

.....

Curso Avançado Intensivo de Pavimentação Urbana

Outro bastante procurado foi o Curso Avançado Intensivo de Pavimentação Urbana, que ocorreu entre os



dias 23 e 27 de outubro, contando com 42 inscritos de diversos lugares do país. Diversos professores apresentaram os tópicos atuais de pavimentação urbana no que diz

respeito a construção, conservação e manutenção de vias urbanas, bem como o conhecimento de novas técnicas.

.....

Curso de Pavimentos e Planejamento de Aeroportos na ABPv

Em abril de 2007 acontecerá o Curso de Pavimentos e Planejamento de Aeroportos, na ABPv. Este curso tem como objetivo tecer considerações sobre o atual estágio de desenvolvimento dos mecanismos utilizados na definição de estruturas de pavimentos e sistemas de drenagem.

Os professores também abordarão Planos de Desenvolvimento e Planos Diretores em Aeroportos, envolvendo sistemáticas de definição da demanda de passageiros e aeronaves, capacidade e infra-estrutura com a apresentação de estudos de caso. As inscrições estão abertas e as vagas são limitadas. Mais informações no site da ABPv: www.abpv.org.br.

.....

Cartas dos leitores

Grata surpresa a nova diagramação da Revista PAVIMENTAÇÃO. Sem perder a qualidade técnica e jornalística, a Revista ficou visualmente mais leve e agradável de ler, e torna-se, sem dúvida, um arquivo importante para nós profissionais.

Alan Patrick Xavier – Lavras, MG

Como leitor da Revista PAVIMENTAÇÃO quero parabenizar ao Engº Atahualpa Schimitz Prego pelo belíssimo artigo histórico da edição de nº 3. É sempre bom lembrar aos jovens que existem pessoas ilustres com uma biografia tão séria e profissional que nós dá saudade e permanece como lição.

José Pires de Sá – Rio de Janeiro, RJ

Sugiro que a Seção Fatos Históricos torne-se permanente na Revista e que esteja aberta à colaboração dos profissionais veteranos, que, certamente, têm muitas histórias para contar.

André Salim Amim – Miracema, 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



37ª RAPv e 11º ENACOR

Os Caminhos da Integração foram traçados em Goiânia

Dirigentes de autarquias e associações da área de pavimentação, autoridades federais, estaduais e municipais, profissionais, estudantes e empresários de todo o país estiveram presentes na 37ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) e no 11º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) – Os Caminhos da Integração, entre os dias 08 e 11/08, em Goiânia.

A união foi uma iniciativa da ABPv e da ABDER para integrar toda a comunidade do mundo da pavimentação fortalecendo o debate sobre o desenvolvimento rodoviário do país. A realização e coordenação estiveram a cargo da Agência Goiana de Transportes e Obras (AGETOP), com apoio das seguintes instituições: Governo de Goiás, Universidade Federal de Goiás, Universidade Católica de Goiás, Universidade Estadual de Goiás, DNIT e CREA-GO.

Na abertura oficial do evento, que aconteceu no Teatro Rio Vermelho, no Centro de Convenções de Goiânia, o Presidente da AGETOP, José Américo de Souza abordou os investimentos em pavimentação realizados no Estado de Goiás. Em seguida o presidente de honra do evento, Carlos Rosemberg, falou da importância daquele acontecimento e incentivou ao público presente a fazer da Reunião um debate de grandes idéias. Ressaltou ainda a necessidade da integração como junção de esforços envolvendo todos os atores da gestão pública, facilitando a cooperação entre profissionais, universidades e as associações, como a ABPv na promoção da divulgação das tecnologias da área.

Teve a palavra, então, o Ministro dos Transportes, Paulo Sérgio Passos, que em sua fala mencionou a importância do Encontro. Seu discurso focalizou essencialmente os investimentos do governo federal. Passos abordou o Programa Emergencial de Trafegabilidade e Seguranças nas

Estradas (PETSE), ressaltando inclusive questões polêmicas sobre prestações de contas ao TCU e relativizando críticas de profissionais da área de pavimentação e da imprensa.

O Ministro também abordou a questão do peso das cargas sobre as estradas. Informou que o Ministério dos Transportes em parceria com IME estará apresentando em breve um plano diretor de pesagem que prevê a instalação de mais de 100 postos de pesagem em pontos estratégicos por todo o país.

Na mesa diretiva também estavam presentes Alcides Rodrigues – Governador do Estado de Goiás; René Pompeu de Pina – Secretário de Infra-Estrutura do Estado de Goiás; Mauro Barbosa – Diretor-Geral do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT; Riumar dos Santos – Diretor do DNIT Unidade GO/DF; Eduardo Alberto Ricci – Presidente da Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv; Inácio de Moraes Junior – Presidente da Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem – ABDER; Iran Saraiva Junior – Representante do Prefeito Íris Resende; Marco Túlio de Melo – Presidente do Conselho Federal de Engenharia, Agricultura e Economia – CONFEA; e Francisco das Neves – Presidente da Valec.

Após o pronunciamento das autoridades houve uma atração cultural intitulada “Goiás”, apresentada pelo Grupo de Dança Noha, formado por alunos da Universidade Católica de Goiás. Em seguida, um coquetel encerrou as atividades.

No segundo dia do evento, o Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT), realizou um fórum de debate que foi conduzido pelo Diretor-Geral Mauro Barbosa da Silva. Estiveram presentes mais de 80 técnicos, dentre superintendentes regionais, coordenado-



Riumar dos Santos, Eduardo Alberto Ricci, René Pompeu de Pina, Iran Sariva Junior, Carlos Rosemberg, Alcides Rodrigues, Paulo Sérgio Passos, Francisco das Neves, Mauro Barbosa, Inácio de Moraes Junior, José Américo de Souza, Marcos Túlio de Melo.

res da Autarquia e técnicos do TCU. O andamento das obras rodoviárias de todo o país e os resultados do PETSE foram os temas discutidos.

O evento resultante da parceria da ABPv e da ABDER – “Os Caminhos da Integração” foi um sucesso de público e de idéias. Obteve-se um total de 105 trabalhos publicados nos anais. Em cada tema foram premiados, por meio de um certificado, o melhor artigo científico e o melhor estudo de caso. Com a variedade de palestras, inclusive internacionais, o evento reuniu mais de 800 participantes.

Um jantar de confraternização na quarta-feira, dia 09, homenageou personalidades da área de pavimentação, entre eles os Engenheiros Atahualpa Schmitz da Silva Prego, Riumar dos Santos e Carlos Rosemberg Gonçalves dos Reis por relevantes serviços em prol da ABPv, ABDER e da pavimentação no Brasil.

Ainda durante o jantar, foi homenageado o Superintendente Regional do DNIT do Estado de Goiás e do Distrito Federal, Riumar do Santos, como o criador do ENACOR. O primeiro Encontro Nacional de Conservação Rodoviária foi idealizado por Riumar em 1996, quando ocupava o cargo de Diretor de Operação e Conservação do Departamento de Estradas de Rodagem de Goiás. Na-

quela ocasião, o evento reuniu 550 profissionais do setor de engenharia rodoviária na Capital do Estado.

A sessão de encerramento ocorreu em 11 de agosto às 11h30, no auditório Lago Azul. Nesta ocasião foi realizado um balanço geral sobre o evento. Agradeceu-se também, por meio de menção especial, a todos os patrocinadores e parceiros do evento: PETROBRAS, Confederação Nacional de Transporte (CNT), ASCOR, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Betunel, Ciber, CTE Engenharia, Data Traffic, GAE, Holcim, Kanaflex, Kopp, ONA, Softplan Poligraph, Warre Engenharia, Belgo, Grupo Arcelor, Cotril Máquinas – New Holland, Cotril Máquina – TEREX, Emsa, Epasa, Rio Negro S/A Pavimentação e Saneamento e Teccom Construção e Pavimentação.

Sem dúvida, *Os Caminhos da Integração* muito contribuiu para o debate a cerca das melhores oportunidades a serem traçadas para o desenvolvimento da infra-estrutura rodoviária no país. O objetivo do evento foi alcançado, como esperava o Diretor-Presidente da ABPv, Engº Eduardo Alberto Ricci, ao discursar na abertura do evento. (*leia o discurso na íntegra, na página seguinte*).

A 38ª RAPV e o 12º ENACOR serão realizados, conjuntamente, no ano de 2007 em Manaus.

Íntegra do discurso do Diretor-Presidente da ABPv na abertura da 37ª RAPv e 11º ENACOR

Senhores membros da mesa, Sr. Governador do Estado de Goiás, Sr. Ministro dos Transportes, Sr. Presidente da AGETOP, as autoridades aqui presentes, a comissão organizadora, a diretoria da ABPv, que apoiou plenamente esta magnífica reunião, a 37ª RAPv e 11º ENACOR; estimados participantes e todos os que aqui nos honram com sua presença.

Estamos hoje vivendo um momento histórico que é a realização da união de duas associações, a ABPv e a ABDER, em um evento que congrega todas as forças do transporte rodoviário, instituições federais, estaduais, municipais, empresas, a comunidade acadêmica e nosso maior patrimônio: vocês aqui presentes e a nossas famílias, de alguma forma aqui presentes, que nos ajudam e incentivam em nosso árduo dia-a-dia.

Preliminarmente há que se perguntar: Como nasceu esta união? Das primeiras conversas informais entre o Engº Carlos Rosemberg e eu, e posteriormente com os demais membros da ABDER e da ABPv, chegamos à conclusão de que teríamos força para alcançar nossos objetivos através da união, e desta forma levar nosso país ao engrandecimento técnico e econômico na área rodoviária, e tudo isto está contido no *slogan* da Reunião, Os Caminhos da Integração, palavras estas que nos enchem de alegria e brio, pois é do futuro que estamos falando.

Como ressaltou o Engº Inácio Bento de Moraes Jr, que sucedeu o Engº Rosemberg na presidência da ABDER: *"Fomos muito felizes com estas palavras: Caminhos da Integração"*.

Sempre que abordamos o desenvolvimento que levou este país a ser o que é hoje,

ressaltamos que uma das alavancas foi a construção das estradas que interligam e integram o Brasil. Porém, vimos insistentemente lutando para poder ter uma manutenção adequada dentro dos limites permitidos. Há anos que não construímos novas rodovias de integração que atendam às demandas da produção e às necessidades do povo. Sempre estamos comparando o Brasil com outros países, comentamos, pensamos, realizamos congressos para discussão do tema, mas não tomamos efetivamente as medidas necessárias para atingir os objetivos, que é o desenvolvimento da nação e do seu povo.

Como exemplo, temos os Estados Unidos que há 50 anos criaram o sistema interestadual, no governo pós-guerra. Tal sistema levou o país a se firmar como potência mundial. Nos dias de hoje, a China desponta como outro exemplo que, para poder fomentar a integração do país, está construindo estradas numa média de 3.500 quilômetros por ano. Ou seja, nos últimos 10 anos foram construídos 35 mil quilômetros de rodovias novas.

Interessante também nos reportarmos aos idos da História e lembramos que uma das causas da queda do Império Romano foi a falta de manutenção de suas estradas, perdendo, dessa maneira, a mobilidade de seus exercitos e inviabilizando o comércio interior do império.

Todos somos sabedores de que o setor rodoviário é um celeiro de empregos e principalmente de um volume alto de mão-de-obra não qualificada, e envolve toda a pirâmide produtiva até os grandes executivos. Por que, então, não ter como objetivo o desenvolvi-



mento do país em um planejamento real e com diretrizes técnicas de modo a incentivar nossos governos a uma constante e ininterrupta política de investimentos no setor? Hoje estamos frágeis e estaremos sempre caso não retomemos o desenvolvimento.

Não podemos perder também a mão-de-obra especializada de que atualmente dispomos, um desperdício que corremos o risco de não recuperarmos. Some-se a isto a ociosidade de equipamentos por falta de investimentos no setor.

Senhores e senhoras, não pretendo ser um filósofo ou um grande orador como os muitos aqui presentes certamente o são, mas um simples pensamento pode ser muito profundo. Hoje estamos escutando que o Brasil é um país exclusivamente rodoviário. Eu creio que devemos pensar em um sistema intermodal. Só que para que isto funcione a contento, temos que manter o que construímos e aumentá-lo para alimentar os pontos como portos, ferrovias e aeroportos. Nada será funcional senão tivermos as vias de acesso em condições de trafegabilidade.

A luta é interminável, temos que procurar todos os meios de forma conjunta para obtermos os recursos necessários a serem aplicados a fim de que o país não pare. Penso que esta reunião *Os Caminhos da Integração* é basicamente de reflexões para ações futuras. Um futuro que vislumbro bem próximo.

Engº Eduardo Alberto Ricci



RODOVIAS SOB CONCESSÃO

O modelo brasileiro

Reportagem:

Jean Pierre M. Santiago

Colaboraram:

Georgina Libório Azevedo

Laura Maria Goretti da Motta

RODOVIAS SOB CONCESSÃO

Um novo retrato das estradas brasileiras

As rodovias são o objeto de excelência da Associação Brasileira de Pavimentação, não somente porque se utilizam dos pavimentos, mas por representarem o principal modal de transporte no Brasil. Do ponto de vista histórico o País cresceu em torno da indústria automobilística a partir dos anos 50, e conseqüentemente da construção de rodovias que interligaram os mais diversos destinos. Desde então, a administração das rodovias, sejam elas municipais, estaduais e federais, sempre foi exercida pelo poder público, com decisiva colaboração de grandes empresas especializadas nos ramos de construção e conservação de estradas que se especializaram na grande escola que foram os DERs estaduais, e em nível federal, o extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER.

Com o advento da Constituição Federal de 1988, todos os recursos do Governo Federal que eram gerados pelo setor rodoviário e nele aplicados, como o imposto sobre combustíveis, taxa rodoviária única e principalmente o Fundo Rodoviário Nacional foram extintos ou transferidos para as esferas estadual e municipal. A escassez de recursos públicos destinados às obras rodoviárias acarretou no comprometimento de grande parte da malha rodoviária nacional que deixou de receber o tratamento adequado, redundando no estado precário das estradas brasileiras.

Sem o intuito de desprestigiar a importância dos demais modais de transporte, como o ferroviário e o aquaviário, a relevância das rodovias no Brasil se mostra sem precedentes na circulação da riqueza nacional, fomentando, sobremaneira, o desenvolvimento do País.

Diante do quadro que se desenhava no início dos anos 90, o Governo Federal no intuito de atenuar a deterioração das rodovias federais e reduzir o custo de manu-



FOTO: FERRICUS SALES

tenção, tomou duas iniciativas que modificariam por completo a administração da malha rodoviária nacional. A primeira diz respeito à descentralização para a jurisdição estadual e responsabilidade pelas rodovias de interesse local ou regional. Isto se deu através de um projeto de lei que teve o início das discussões em 1995 e persistiu por vários anos. A segunda iniciativa foi a transferência para a iniciativa privada da responsabilidade pelas rodovias federais mais importantes, através de concessões e cobrança de pedágio.

As premissas são verdadeiras, embora “verdades” sejam sempre relativas do ponto de vista filosófico. Mas podemos conjecturar que manter e melhorar as rodovias é dispendioso e alguém tem de arcar com este ônus. Como não poderia deixar de ser, a conta teria de ser paga pela população: através da criação de novos impostos ou aumento da alíquota dos impostos existentes, ou pela implantação de pedágios. A implantação de pedágios pode ser considerada a mais eficiente, na medida em que os encar-

gos são assumidos diretamente por quem usa as rodovias, desobrigando que a União desloque recursos de outras áreas como educação e saúde para a área de transportes.

As Concessões

Os anos 90 serão, portanto, o marco inicial da execução do Programa de Concessão de Rodovias Federais, como resultado da dificuldade do Governo Federal em gerar recursos para a conservação, manutenção, melhoramentos e operação da rede rodoviária. Em 29 de dezembro de 1994 a assinatura do contrato de concessão da Ponte Rio-Niterói inaugura o primeiro trecho de rodovia com responsabilidade transferida para a iniciativa privada.

Em seguida, as rodovias concessionadas pelo DNER foram a BR-116 – Rodovia Presidente Dutra (Rio-São Paulo); BR-040 – Rodovia Rio-Juiz de Fora; BR-116 RJ – Teresópolis-Além Paraíba e BR-290 RS – Osório-Porto Alegre.

A cargo da implementação do Programa estava o DNER, que para garantir o cumprimento do projeto, contratou através de concorrência pública, empresas de consultoria para apoiá-lo na fiscalização das concessionárias. Os serviços incluíam desde a fiscalização de projetos e obras como também da operação da rodovia, conservação, melhoramentos, monitoração e sistema de controles.

No início, o Ministério dos Transportes disponibilizou 854,5 quilômetros de suas rodovias para concessão. Paralelamente, houve um processo de delegação de estradas aos Estados, no qual foram transferidos 1.250 quilômetros de rodovias federais ao Rio Grande do Sul e 1.750 quilômetros ao Paraná.

Em 2002 dá-se a extinção do DNER pelo Governo Federal, que em seu lugar cria dois novos órgãos: o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte – DNIT, responsável pela execução da política de transportes do Governo Federal; e a Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, cuja função é regular e fiscalizar a prestação de serviços de transportes terrestres. À nova agência ficaram subordinadas as empresas concessionárias federais.

Em uma década de concessão, os números e dados já podem ser cotejados. Segundo o Relatório Anual de 2005 da Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias - ABCR, a malha rodoviária sob concessão atinge atualmente quase 10 mil quilômetros (equivalente a 6,1% da malha rodoviária nacional pavimentada), com investimentos de



FOTO: ASSESSORIA DE IMPRENSA DA SPNUS



FOTO: ABCR

R\$ 10,5 bilhões aplicados entre 1996 e 2005. Desde o início do Programa de Concessão de Rodovias já foram recapeados 17.855 quilômetros de pistas, onde se contabiliza também os trechos de pistas duplas e os que foram recapeados mais de uma vez.

Um dado importante apresentado pelo relatório da ABCR diz respeito aos tributos gerados pela cobrança de pedágio. Objeto de constante reclamação dos usuários pelo preço alto, os pedágios geraram recursos tributários que redundaram numa receita bastante significativa para boa parte dos 245 municípios beneficiados com o repasse do Imposto Sobre Serviços – ISS. As prefeituras receberam, só no ano de 2005, R\$ 241,6 milhões. O setor gerou 18.391 empregos, entre diretos e indiretos, segundo dados da ABCR.

Atualmente, 36 empresas concessionárias participam do Programa Brasileiro de Concessão de Rodovias. Deste total, 6 concessões são federais, 29 estaduais e 1 municipal. Essas empresas atuam em 7 Estados da federação:

Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia. Existem também os trechos de oferta, que correspondem a extensões de rodovias secundárias e não pedagiadas, em que a concessionária é responsável por sua manutenção. Neste contexto, o número de praças de pedágio totalizam 163.

As Concessionárias e o uso de tecnologias

A Revista PAVIMENTAÇÃO conversou com 6 Concessionárias, entre federais e estaduais e colheu alguns dados interessantes, principalmente no que tange à utilização de tecnologia nos procedimentos de conservação e manutenção das estradas.

A Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre – Concepa, no Rio de Grande do Sul, cujo trecho é de 121 quilômetros da BR-290, entre Osório e Guaíba, realizou desde que assumiu em 1997, uma série de melhorias devido ao estado precário em que a rodovia se encontrava antes da concessão. A primeira providência foi corrigir o pavimento do trecho concedido que estava, à época, com muitos defeitos estruturais e funcionais. A largura da plataforma de rolamento da estrada se encontrava inadequada para a capacidade do tráfego, principalmente no período de verão. Diversos outros problemas foram detectados e corrigidos como as pinturas mal executadas, ausência de sinalização em muitos trechos, vegetação em torno da rodovia sem os devidos cuidados e reparos e, acima de tudo, a quantidade de buracos ao longo de toda a via.

Apoiada numa série de estudos realizados por profissionais e por entidades conceituadas nacionalmente, a Concessionária deu início ao processo de recuperação estrutural dos trechos críticos da rodovia. Para tanto, lançou mão de moderna tecnologia, como a *whitotopping*, uma técnica que consiste no pavimento de placas de concreto de cimento Portland colocadas sobre o revestimento asfáltico antigo deteriorado. Outra tecnologia de ponta empregada em grande escala pela Concessionária foi o asfalto borracha. A Concessionária de Rodovias Integradas S/A, que responde por 560 quilômetros de rodovias no Estado do Paraná, também utilizou da tecnologia do asfalto borracha em alguns trechos.

Considerado um produto ecológico, o asfalto borracha ganhou destaque nas rodovias. O pneu sempre foi considerado um problema ambiental grave, especialmen-

Concessionárias do Transporte Rodoviário Federal

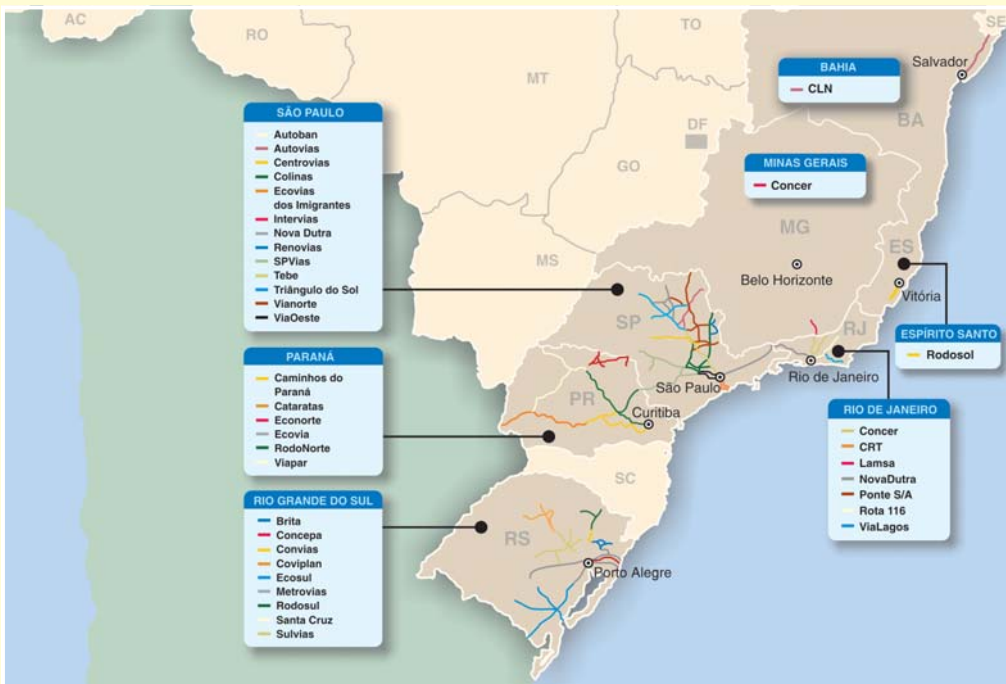
CONCEPA	Concessionária da Rodovia Osório–Porto Alegre S/A
CONCER	Companhia de Concessão Rodoviária Juiz de Fora–Rio
CRT	Concessionária Rio–Teresópolis S/A
ECOSUL	Empresa Concessionária de Rodovias do Sul S/A
NOVA DUTRA	Concessionária da Rodovia Presidente Dutra S/A
PONTE	Concessionária da Ponte Rio–Niterói S/A

Concessionárias do Transporte Rodoviário Estadual

CLN	Concessionária Litoral Norte S/A
RODOSOL	Concessionária Rodovia do Sol S/A
CAMINHOS DO PR	Caminhos do Paraná S/A
CATARATAS	Rodovia das Cataratas S/A
ECONORTE	Empresa Concessionária de Rodovias do Norte S/A
ECOVIAS	Ecovia Caminho do Mar S/A
RODONORTE	Rodonorte Concessionária de Rodovias Integradas S/A
VIAPAR	Rodovias Integradas do Paraná S/A
ROTA 116	Concessionária Rota 116 S/A
VIA LAGOS	Concessionária da Rodovia dos Lagos S/A
BRITA	Brita Rodovias S/A
CONVIAS	Convias S/A Concessionária de Rodovias
COVIPLAN	Coviplan – Concessionária Rodoviária do Planalto S/A
METROVIAS	Metrovias S/A Concessionária de Rodovias
RODOSOL	Concessionária de Rodovias Rodosul S/A
SANTA CRUZ	Santa Cruz Rodovias S/A
SULVIAS	Sulvias S/A Concessionária de Rodovias
AUTOBAM	Concessionária do Sistema Anhangüera–Bandeirantes S/A
AUTOVIAS	Autovias S/A
CENTROVIAS	Centrovias Sistemas Rodoviários S/A
COLINAS	Rodovias das Colinas S/A
ECOVIAS	Concessionária Ecovias dos Imigrantes S/A
INTERVIAS	Concessionária de Rodovias do Interior Paulista S/A
RENOVIAS	Renovias – Concessionária S/A
SPVIAS	Rodovias Integradas
TEBE	Concessionária de Rodovias Tebe S/A
TRIÂNGULO DO SOL	Triângulo do Sol Auto-Estradas S/A
VIANORTE	Vianorte S/A
VIAOESTE	Concessionária de Rodovias do Oeste de SP – ViaOeste S/A

Concessionárias do Transporte Rodoviário Municipal

LAMSA	Linha Amarela S/A – Lamsa
--------------	---------------------------



melhor desempenho em relação ao trincamento e ao afundamento de trilha de rodas quando comparadas com as misturas convencionais. A Concepa, até o mês de agosto de 2006, empregou mais de 60 mil toneladas desse tipo de material ao longo da rodovia.

Outra novidade empregada pela Concepa é o uso de base reciclada com cimento e com asfalto-borracha como agentes estabilizadores em trechos específicos da rodovia. A CONCERT, Concessionária da BR-040 Rio-Juiz de Fora, também está utilizando em trechos de restauração e de duplicação a técnica do asfalto-borracha.

A Concessionária Caminhos do Paraná, que responde por 388,8 quilômetros de rodovias principais do Estado paranaense, e 17,1 quilômetros de rodovias de acesso, também utilizou diversas tecnologias nos seus procedimentos. Os remendos profundos foram feitos utilizando tela de aço e geogrelha. O uso de PMQ (Pré-misturado à quente) aberto como camada de rolamento em 18 quilômetros suportou o tráfego durante 5 anos, quando foi feita uma nova intervenção colocando 2 centímetros de CBUQ (massa fina).

Nos 316 quilômetros da rodovia do Sistema Anhangüera-Anchieta, sob responsabilidade da AutoBan, são feitas intervenções de restauração nos trechos que atingem uma condição de serventia regular. Esta restauração normalmente compreende serviços de fresagem e recomposição em concreto asfáltico, de espessuras variáveis, seguidas de capa delgada de rolamento, utilizando asfaltos modificados. Para garantir a durabilidade do pavimento e o conforto e a segurança dos usuários, a Concessionária adotou um procedimento de aplicação da camada de rolamento de Microrrevestimento Asfáltico a Frio, antecedida por uma microfresagem para eliminar a irregularidade.

As rodovias administradas pela Concessionária AutoBan são, na sua grande parte, de pavimento flexível, exceto nas praças de pedágio, balanças, pontes e viadutos que são em pavimento rígido. No pavimento de concreto são procedidas manutenções preventivas através de subs-

te pelo longo tempo que leva para se decompor na natureza – pelo menos 600 anos, agora, no entanto, ele parece ter agora um destino certo. Trata-se de um asfalto modificado pelo processo de via úmida, que é resultado da mistura de borracha granulada com cimento asfáltico convencional.

As concessionárias vêm registrando bons resultados das misturas com asfalto-borracha até o momento, com



tituição de selagens de juntas e selagens de trincas. A Concessionária ainda gerencia o pavimento através de um Sistema de Gerenciamento de Pavimento (SGP), que armazena os levantamentos periódicos de campo, num banco de dados que permite simular o desempenho de diversos parâmetros do pavimento à medida que o tráfego evolui.

De forma geral, o reflexo das novas tecnologias está visível nas melhorias que as concessionárias realizam ao longo de suas gestões, porém não de forma uniforme. As bases contratuais das concessões variam muito, e também o cumprimento dos padrões de desempenho nem sempre estão integralmente atendidos. Há por parte dos usuários não técnicos, uma visão positiva das concessões quando comparadas com a situação da malha não concedida. No entanto, em algumas situações existem reclamações sobre o “valor do pedágio versus serviços prestados” não adequados.

Nesse sentido, a Via Oeste está construindo passarelas e viadutos ao longo da via. E também está implantando dispositivo de retorno e de segurança. A Concessionária aplicou recentemente a tecnologia de vanguarda em revestimentos – o BBTM (Béton Bituminoux Très Mince), ou seja, Concreto Asfáltico Ultra Delgado.

O Pedágio

Para o usuário, ele é o vilão que sempre faz pesar o bolso: o pedágio. O termo *pedágio* ou *tarifa*, como cita Fernando Mansour Nabhan em trabalho monográfico, vem do francês *péage*, que era o nome dado à taxa imposta pelos senhores feudais europeus do Século XI, aos usuários de vias e acessos particulares. De acordo com textos antigos, a cobrança de tarifa para usuários de vias terrestres existe desde o Século IV a.C na Índia. Na América do Sul a civilização Inca também cobrava pedágio em suas vias que ligavam, na época, o sul do Chile até o norte da Colômbia, passando por Cuzco e *Macchu Pichu*, no Peru.

A Revista PAVIMENTAÇÃO quis saber das concessionárias como é estipulado o valor do pedágio. Basicamente, trata-se de uma fórmula única para cada concessionária que leva em conta diversos fatores, como o preço do asfalto, índices monetários, trecho coberto, etc. O reajuste é feito anualmente, de acordo com as condições contratuais de cada concessionária, calculado e determinado pela ANTT ou pela Agência Estadual (AE) de controle das concessões.

A Concessionária de Rodovias do Oeste de São Paulo – Via Oeste, apresentou-nos detalhadamente o projeto

de cálculo do valor do pedágio. A tarifa é resultado da multiplicação da Tarifa Quilométrica (um valor básico por quilômetro de rodovia) pelo TCP – Trecho de Cobertura da Praça de Pedágio, que corresponde à extensão da rodovia que está associada àquela determinada praça. Toda tarifa de pedágio cobrada tem um trecho de rodovia correspondente ao valor que está sendo cobrado: $Tarifa (R\$) = Tarifa\ Quilométrica (R\$ / KM) \times TCP (Km)$. Após a multiplicação, o valor resultante é arredondado para a dezena dos centavos. Além disso, se a cobrança é efetuada apenas em um dos lados da rodovia (só na ida, ou só na volta), o valor da tarifa após o arredondamento é multiplicado por 2 (dois). O problema está em como esta “tarifa quilométrica” é estabelecida, variável em cada caso.

Os aumentos ocorrem em duas situações: Reajuste anual e obra concluída. A primeira situação está de acordo com as normas de concessão da ANTT ou AE. Na segunda situação, quando uma determinada intervenção de melhoria substancial é concluída, a categoria da tarifa quilométrica é alterada. Por exemplo, pista simples para pista dupla ou sistema (se a rodovia duplicada fizer parte de um sistema com 2 rodovias paralelas), modificando o valor final da tarifa. Além disso, se construído um trecho novo (prolongamento ou contorno), sua extensão em quilômetros é agregada ao TCP da praça de pedágio correspondente, acarretando o aumento. Todos estes aumentos são previstos nos contratos das Concessionárias, com o detalhamento dos critérios e condições para que ocorram.

A Pesagem dos Veículos Transportadores de Cargas

Um dos maiores vilões da degradação das rodovias brasileiras é o excesso de peso dos veículos transportadores de cargas. Com o avanço tecnológico da indústria deste tipo de veículo, aumentou a fabricação de caminhões que possuem capacidade de tração e transporte de carga cada vez maiores.

A Autoban destacou que o maior problema dos pavimentos é mesmo o excesso de carga em relação ao peso padrão normalizado utilizado em projeto. A característica da frota brasileira de caminhões está mudando. O aparecimento de Combinações de Veículos de Carga – CVCs, com 7 e 9 eixos, com tração em 1 eixo, acompanhado da utilização de pneus *super single* (rodagem simples), associado à nova Lei da Balança, que permite tolerâncias de

Investimentos realizados pelas concessionárias nas rodovias (1996–2005)

Concessionária	Investimento Realizado até 2005	Investimento total previsto no Programa de Exploração da Rodovia	% Executado sobre Programa de Exploração da Rodovia total
NOVA DUTRA	R\$ 677,9 milhões	R\$ 937,3 milhões	72,32 %
CTR	R\$ 94,3 milhões	R\$ 131,1 milhões	71,93 %
PONTE S/A	R\$ 57,1 milhões	R\$ 81,1 milhões	70,41 %
CONCER	R\$ 265,5 milhões	R\$ 409,0 milhões	64,91 %
CONCEPA	R\$ 148,8 milhões	R\$ 152,8 milhões	97,41 %
ECOSUL	R\$ 57,7 milhões	R\$ 147,9 milhões	39,01 %
TOTAL	R\$ 1.301,3 milhões	R\$ 1.859,2 milhões	69,99 %

Fonte: RETOFF's – Atualizado em Jan/2006

Número de acidentes nas rodovias federais concedidas

Concessionária	2003	2004	2005
NOVA DUTRA	8.642	8.954	9.115
CTR	727	782	891
PONTE S/A	872	661	668
CONCER	2.220	2.419	2.335
CONCEPA	1.220	1.286	1.180
ECOSUL	751	744	689
TOTAL	14.432	14.846	14.878

Fonte: RETOFF's

Impostos recolhidos pelas concessionárias

Concessionária	Imposto recolhido em 2005
NOVA DUTRA	87.534
CTR	11.217
PONTE S/A	12.091
CONCER	11.164
CONCEPA	7.638
ECOSUL	7.032
TOTAL	136.676

Fonte: RETOFF's – Valores correntes (aproximados) R\$ 10⁶

7,5% por eixo e 5% no peso bruto total, leva a uma deterioração precoce dos pavimentos, exigindo cada vez mais intervenções antecipadas.

E de fato, também a ABPv vem constantemente insistindo neste ponto. Tanto as estradas e vias Federais, como as Estaduais ou Municipais, possuem um limite de capacidade de carga em seu pavimento e subleito. O contínuo esforço de repetição das cargas transmitidas pelos pneus por pressão localizada no ponto de contato entre o pneu e o revestimento, resulta na fadiga, ou seja, consome-se a capacidade de resistência do pavimento. Por isso surgem as deformações e o trincamento do concreto asfáltico e as ondulações. Além disso, o excesso de peso danifica as obras de arte (pontes e viadutos). Há ainda o comprometimento da suspensão dos veículos, da sua capacidade de transporte, da durabilidade do sistema de freios, prejudicando a direção e gerando desgastes nos pneus.

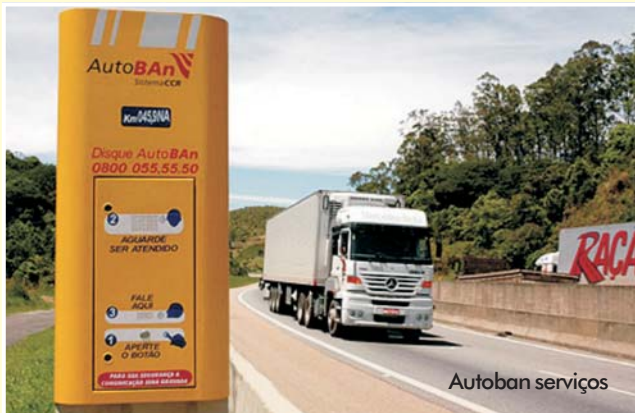
As Concessionárias, portanto, são conhecedoras da importância dos postos de pesagem ao longo das rodovias,

uma vez que a iniciativa privada tem como meta não alcançar prejuízos. Como exemplo, a Viapar possui dois 2 postos de pesagem fixas e 1 base de pesagem móvel. Neste ano de 2006, já somam 116.575 veículos pesados e 6.812 veículos com excesso de peso, ou seja, 5,85% dos veículos pesados estão com excesso de carga. Cerca de 4,03% dos veículos com excesso de peso são carretas, 2,85% são caminhões, 3,68% são veículos especiais e 20,58% são ônibus.

No trecho administrado pela Rodonorte existem 6 postos de pesagem fixos. A média de autuações está em torno 130 por dia.

A Autoban utiliza o sistema de pesagem fixa e móvel. A porcentagem de veículos com excesso de carga representa 1,39% do total de veículos que passam pelos Postos Gerais de Fiscalização – PGF. E a porcentagem autuada representa 0,65% do total de passagens.

Nos transportes de cargas, existe ainda a preocupação com os acidentes envolvendo cargas perigosas. A



FOTOS: ANCA



maioria das concessionárias consultadas possui um Plano de Emergência. Outras, na eminência do acidente, acionam os órgãos competentes.

A Concepa já registrou este ano 193 acidentes envolvendo caminhões, sendo 4 com carga perigosa. A Autoban registrou também neste ano 24 acidentes. A concessionária possui equipe treinada para atendimento a este tipo de ocorrência e aciona os órgãos competentes quando necessário.

A Via Oeste registrou até o mês de setembro deste ano, 7 acidentes com produtos perigosos, de pequena ou grande proporção. São registrados desde pequenos vazamentos até ocorrências de grande vulto com produtos altamente tóxicos. Para este último tipo, desde o início da concessão, ocorreram 6 acidentes.

Melhorias Ambientais

Paralelamente ao interesse da sociedade no que tange à manutenção e conservação das estradas, e não falando apenas das rodovias sob concessão, mas também

das que permanecem sob responsabilidades dos governos, deve existir a preocupação, politicamente correta, com o meio ambiente.

A Revista PAVIMENTAÇÃO argüiu as concessionárias entrevistadas sobre o que elas têm feito para a melhoria ambiental.

Por exemplo, o uso de mais de 3.000 toneladas de asfalto borracha, a identificação, correção e monitoramento das erosões no trecho de concessão, o acompanhamento das cargas perigosas que trafegam nas rodovias e o Plano de Ação de Acidentes com cargas dessa natureza são ações que a Concessionária Viapar desenvolve continuamente e que possuem interface direta com a rodovia e com o usuário.

A Concessionária mantém e participa ativamente de projetos de preservação ambiental voltados às comunidades abrangidas pelo trecho de concessão. São exemplos, O COPATI, programa de recuperação da bacia do rio Tibagi, o projeto de recuperação das matas ciliares dos rios de Maringá, desenvolvido em parceria com a ONG FUNVERDE e a Oficina de Trânsito, mantida exclusivamente pela Viapar e que oferece conceitos de educação ambiental e de segurança de trânsito para crianças de escolas de todos os municípios do trecho concedido.

Na Rodonorte são desenvolvidos vários programas sócio-ambientais, como campanhas de distribuição de mudas de árvores, de sacolinhas de lixo, coleta seletiva de lixo, etc. Também são desenvolvidos programas de Prevenção de Acidentes com Material de Risco com o objetivo de ampliar as condições de segurança das pessoas, das comunidades e do meio ambiente, através da prevenção de acidentes com materiais perigosos, em parceria com a Coordenadoria da Defesa Civil. A iniciativa padronizou todos os procedimentos quanto à prevenção, fiscalização e atendimento das emergências com o transporte de produtos perigosos nas rodovias, mediante a integração dos diversos órgãos competentes.

Retratos são recortes da realidade. E o que procuramos mostrar nestas páginas é que é inegável que as condições das rodovias sob concessão melhoraram. No entanto, muitos problemas ainda persistem. Do total da malha rodoviária do País, que é de 1.725 milhão de quilômetros, pouco mais de 10% se encontra pavimentada, ou seja, 172 mil quilômetros. Destes, 6% são de rodovias concedidas. A questão que se coloca é como manter os 94% restantes? Seria através da Parceria Público Privadas (PPPs), cobrança de pedágio pelo Governo ou parte do lucro das concessões? A quem



SPVIAS SP-270 Raposo Tavares

FOTO: ASSESSORIA DE IMPRENSA DA SPVIAS

cabará a responsabilidade de seguir no processo de pavimentação? Até onde deverá a iniciativa privada tomar a responsabilidade pelas rodovias brasileiras?

Um grande problema reside no fato do poder público não ter controle sobre os dados financeiros das concessionárias. Pode-se até discutir que as tarifas dos pedágios estão abusivas, mas a sociedade não tem mecanismos de apurar isto com precisão.

Pode ter havido erros técnicos no processo de concessões. Desde que o processo começou em 1994, com a concessão da Ponte Rio-Niterói, houve mudanças em cada novo contrato. Os Estados também têm criado regras diferenciadas. Portanto, é um processo em andamento, mas que nunca vai ser viável para a rede rodoviária total.

Ainda hoje o Estado esbarra em questões técnicas para a execução de uma política de transportes satisfatória. Um último fato é que até agosto deste ano técnicos do TCU – Tribunal de Contas da União, e o Governo Federal não conseguiram chegar a um acordo sobre os estudos que servirão de base para a elaboração dos novos editais de concessão de rodovias federais para a iniciativa privada. O problema está na definição do nível de risco regulatório do investimento, do volume de recursos privados necessários para obras e na taxa de retorno.

Esses três fatores influenciam diretamente a tarifa de pedágio que será cobrada dos usuários. Enquanto a

discussão prossegue, o edital não sai. Entre as rodovias a serem concedidas estão a Régis Bittencourt (São Paulo-Curitiba) e a Fernão Dias (São Paulo-Belo Horizonte), que figuram no *ranking* das que tem maior tráfego no País, com alto índices de acidentes.

Os professores Luiz Eduardo Teixeira, da PUC-RJ, e o Marcus Vinícius Quintella Cury, do IME, em trabalho intitulado *Modelagem Híbrida para Concessões Rodoviárias Pioneiras com o uso da Teoria das Opções Reais: O Caso da BR-163* abordam um ponto interessante: concessão e privatização são palavras cujos cerne possuem um aspecto comum, que é a transferência de bens públicos a agentes da iniciativa privada. Na privatização, o bem público é vendido e transferido em caráter definitivo para a iniciativa privada, enquanto que a concessão implica na transferência do bem por tempo determinado, após o qual o bem público volta a ser responsabilidade do poder público. Ele continua sendo um patrimônio público, mas sob a responsabilidade da iniciativa privada durante esse período.

Fontes consultadas

- NABHAN, Fernando M. *Principais Riscos Envolvidos na Decisão de Investimentos em Concessões Rodoviárias no Brasil*. Monografia – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
- Relatório Anual da ABCR – 2005.

Este espaço destina-se à publicação de artigos encaminhados à Revista pelos profissionais que se dispõem a colaborar promovendo com os demais técnicos o debate de diversos temas atuais e relevantes. Os artigos devem ser enviados para redacao@revistapavimentacao.org.br de acordo com as normas vigentes no sítio www.revistapavimentacao.org.br.

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

As lateritas e sua aplicação à pavimentação

Meio século depois

Jacques de Medina

Prof^o L. D. e Pesquisador CNPq/COPPE

RESUMO

Relato dos primeiros estudos de lateritas pedregulhosas e sua utilização em camadas de bases estabilizadas de pavimentos, sua gênese e características técnicas e a adequação das especificações de solos estabilizados granulometricamente ao nosso meio físico, estiveram presentes nos estudos de pavimentação das décadas de 50 e 60. Nos dias de hoje a mecânica dos pavimentos permite que se

considere a deformabilidade dos solos e materiais através de ensaios de cargas repetidas, e que os dados desses ensaios sirvam à análise estrutural por via computacional automática dos pavimentos com camadas de laterita pedregulhosa.

PALAVRAS-CHAVES

Laterita. Pavimentos. Especificações. Mecânica dos Pavimentos.

1. INTRODUÇÃO

Três desenvolvimentos da engenharia geotécnica dos anos 50 e 60 repercutiram decisivamente na técnica de pavimentação no Brasil.

A mecânica dos solos empreendeu o estudo das argilas residuais – compressibilidade, resistência ao cisalhamento, gênese, mineralogia das argilas, estrutura, etc. A tese do Professor Milton Vargas (1951) é o marco principal deste estudo.

A estabilização granulométrica de solos compreendendo misturas de saibro (solo residual ou solo saprolítico) de alteração de granito-gnaiss com areia de campo de origem sedimentar veio substituir com vantagens econô-

micas o macadame hidráulico (“water bound macadam”) e o macadame seco (“traffic bound macadam”). Foi importante, na sua implantação a execução do trecho experimental de 1 km na rodovia BR-5 no Espírito Santo, próximo a Safra (MILLS, 1954; DANTAS ET AL., 1953).

A utilização de pedregulhos de laterita em camadas de revestimento terroso, base e sub-base, valoriza um material natural típico de regiões tropicais, de terrenos terciários e de quaternários antigos.

É sobre este último desenvolvimento que se discorrerá a seguir.

Não se incluem as aplicações das lateritas classificadas e lavadas em concreto de cimento portland e misturas asfálticas, nem as aplicações do tipo solo-betume e solo-cimento.

2. O ESTUDO DAS LATERITAS NAS DÉCADAS DE 50 E 60

Dois estudos geotécnicos para dimensionamento de pavimentos realizados em trechos da BR-22 no Pará e BR-21 no Maranhão, em 1953, deram ao Autor a oportunidade de estudar pela primeira vez os pedregulhos de laterita (MEDINA, 1956). Na primeira rodovia, de 25,4 km, foram realizados, ao todo, 103 sondagens a trado e 36 determinações de densidade “in situ”. Os furos tinham em média, 1,50 m de profundidade no leito da estrada existente não pavimentada. A cada 1000 metros realizavam-se sondagens mais profundas. Os serviços foram realizados pela firma Geohydro S.A. Os ensaios de laboratório compreenderam análise granulométrica, limites de Atterberg, ensaio de compactação e índice de suporte Califórnia. As estradas tinham um revestimento de piçarra (pedregulho laterítico) areno-siltosa, com pouca argila, cor vermelha ou castanha. A piçarra era extraída de piçarreiras à margem da estrada para o trabalho de conserva.

Os subleitos eram predominantemente areias finas siltosas, de CBR de 6% a 30%. Não existiam pedreiras na região próxima a Belém.

A solução adotada foi a base estabilizada de laterita de 15 cm e um revestimento de areia-asfalto. Os valores elevados de CBR (55% para o Proctor modificado) permitiram deixar de lado pequenas discrepâncias em relação

de uma camada superior de laterita num perfil determina encostas abruptas; nos cortes a laterita aparece nas quebras de declividade dos taludes.

O primeiro engenheiro brasileiro que chamou a atenção do Autor para o universo da laterita foi Rafael Gontijo de Assunção (1956), de saudosa memória. Este colega, depois o Autor e o Prof. Antão Luiz de Mello, nesta ordem, fizeram uma espécie de “caminho de Santiago” na revelação das lateritas africanas, a curtos intervalos de tempo. O Autor, durante a estada no Senegal no final de 1958 visitou o centro de Pedologia de Dakar – Hann e ouviu atentamente o Dr. Roger Maignien explicar a gênese das lateritas. Este pesquisador é autor de uma publicação da UNESCO sobre as lateritas (MAIGNIEN, 1959).

Outro relato muito bem acolhido foi o dos colegas portugueses com suas experiências em Angola e Moçambique (LNEC, 1959).

O aprofundamento do estudo das lateritas pedregulhosas, inclusive com os dados obtidos na viagem à África Ocidental, permitiu ao Autor redigir um trabalho mais abrangente que o de 1956 e que foi apresentado à 2ª Reunião Anual de Pavimentação (MEDINA, 1961). O Dr. Jean – Claude Vogt, químico francês que se radicou no Brasil, verteu o trabalho para o seu idioma pátrio, permitindo que fosse publicado na *Révue Générale des Routes et Aéroports* (MEDINA, 1963). Foi o Dr. Vogt um renomado especialista no uso de emulsões asfálticas em rodovia, tema

Tabela 1 – Graduações II-E e F (AASHO M 147-49)

Peneiras	2 pol	1 pol	3/8 pol	nº 10	Nº 40	nº 200
Grad. E	-	100	-	40 – 100	20 – 50	6 – 20
Grad. F	-	100	-	55 - 100	30 – 70	8 – 25

às especificações do IP e ao enquadramento na faixa granulométrica II-F da AASHO (Tabela 1). Recomendou-se uma seleção do material na piçarreira.

Nasceu destes primeiros estudos o interesse de explicar as ocorrências de laterita no cenário tropical úmido. Proveitosa foi a leitura do trabalho do Prof. Pierre Gourou (1949) sobre a Amazônia. Nele se descreve a ocorrência de concreções de hidróxidos de ferro e alumínio nos terrenos quaternários antigos e nos terciários. As concreções são vistas nos cortes das estradas, de aspecto ora escoriácio com vacúolos recobertos de verniz violáceo, ora de arenito ferruginoso de grãos de quartzo cimentados. A presença

este, aliás, de sua tese de doutorado na Universidade de Paris. Transcreve-se aqui o que diz nosso historiador Engº Atahualpa da Silva Prego (2001), no seu valioso livro que este Autor consulta amiúde:

“As emulsões por ele (Vogt) compostas e fabricadas, foram aplicadas com sucesso nos reparos do pavimento da Via Dutra, entre 1963 e 1966, num total de 30.000 t. O DNER volta a utilizar o ligante, em 1967, na segunda pista da Dutra, etc”.

A experiência dos engenheiros rodoviários brasileiros, nas décadas de 50 e 60, quanto à utilização de lateritas pedregulhosas, que contestavam a validade das especi-

ficações de solos estabilizados granulometricamente então vigentes, levou o DNER a patrocinar uma Comissão dirigida pelo Eng^o Mário Kabalem Restom para a revisão das especificações, considerando a utilização de solos ditos lateríticos (na verdade, tinha-se em mente as lateritas pedregulhosas). Os resultados da enquête e das sugestões quanto às especificações de serviço, obtidas no período de 1972 a 1974 estão publicadas no Boletim Técnico nº 9, da ABPv, de 1976.

O levantamento de opiniões de especialistas mostrou o consenso de que a laterita (solo pedregulhoso) constitui um bom material de pavimentação e de revestimento primário, e de que as especificações não devem ser rígidas quanto a exigências de granulometria e de limites de Atterberg. Sugere-se adotar a determinação da relação sílica-sesquióxidos a fim de verificar a natureza laterítica deste material. Recomenda-se o ensaio de expansibilidade desenvolvido no LNEC, Portugal (DNER-ME 29-74), realizado com a fração passante na peneira de 0,42 mm (nº 40), nas condições seguintes: a expansão no ensaio CBR deve ser inferior a 0,2% (DNER-ME 49-74) com 26 ou 50 golpes por camada; porém, admite-se até 0,5% desde que o ensaio de expansibilidade citado apresente um valor inferior a 10%. Os valores de CBR exigidos são:

$$\begin{aligned} CBR \geq 60\% & \quad se \quad N \leq 5 \times 10^6 \\ CBR \geq 80\% & \quad se \quad N > 5 \times 10^6 \end{aligned}$$

onde N é o número de operações equivalentes quanto ao poder destrutivo do eixo simples de 80 kN ou 8,2 ff.

A fração de solo passante na peneira nº 40 (0,42mm) deve apresentar $LL \leq 40\%$ e $IP \leq 15\%$; cabe lembrar que para os solos não lateríticos estes valores são de 25% e 6%, respectivamente.

Duas faixas granulométricas amplas foram estabelecidas, devendo-se assinalar que à época da enquête promovida pela Comissão do DNER, já existia uma corrente favorável ao CBR como critério decisivo e que ignorava as faixas granulométricas então adotadas.

Há uma impropriedade na designação, no caso, de solos lateríticos, pois implicaria numa abrangência des-

cabida, como a dos solos arenosos finos lateríticos – ver Nogami e Villibor (1995).

As descrições das lateritas contidas no Boletim Técnico nº 9 da ABPv (1976), e feitas pelo Eng^o José do Couto Dafico Filho, são transcritas: pedregulhos de limonita (segundo Nogami e Villibor no livro publicado em 1995 trata-se, na verdade de $Fe_2O_3 \cdot 1,5H_2O$ ou hidrogoethita ou mistura de óxidos de ferro com alguma água adsorvida) de cor amarela, pedregulhos de óxido de ferro vermelho escuro, arroxeados, quase negro, de grãos porosos resistentes, pedregulhos lateríticos com seixos rolados de arenito e silex disseminados no maciço de solo, onde se nota que a laterização foi posterior à união dos dois materiais. Dafico descreveu, ainda, um conglomerado de oólitos de dimensões de ovos de galinha – casca de 4 mm de óxido de ferro resistente e recheio de areia fina. Estas descrições correspondem às duas categorias de laterita do relatório do LNEC (1959): primárias e secundárias, aquelas formadas “in situ” com a saída de bases alcalinas e acúmulo relativo de minerais sesquioxídicos produzidos na alteração química dos minerais primários, e estas pelo aporte de óxidos de ferro pelas águas de percolação. Os minerais argílicos formados são caulíníficos, seja, pouco expansivos.

3. ESTUDOS RECENTES DAS LATERITAS PEDREGULHOSAS

Os recursos experimentais e analíticos disponíveis, hoje em dia, permitem uma abordagem própria da mecânica dos pavimentos na avaliação das lateritas pedregulhosas (ou pedregulho de laterita). O melhor exemplo que dispõe o Autor está na tese do Prof. João de Deus Guerreiro dos Santos (1998), da Universidade Federal do Mato Grosso, que fez o doutorado na COPPE/UFRJ sob orientação da Prof^a Laura Motta.

O Mato Grosso situa-se entre as latitudes de 7°S e 17° S, tem clima tropical quente subúmido, temperaturas máximas de 38° C a 41° C, mínima de 18° C, altura anual de chuva de 1250mm no sul e 2700mm no norte (floresta amazônica), sendo 70% da chuva de novembro a março.

Tabela 2 – Faixas granulométricas, DNER-ES-P 47-54

Peneiras	2 pol	1 pol	3/8 pol	nº 4	nº 10	nº 40	nº 200
Faixa A	100	75 – 100	40 – 85	20 – 75	15 – 60	10 – 45	5 – 30
Faixa B	–	100	60 – 95	30 – 85	15 – 60	10 – 45	5 – 30

Na Figura 1 estão indicados os oito trechos de pavimento de laterita, de 400m cada um.

Na Tabela 3 estão indicadas as estruturas (perfis) dos pavimentos, datas da construção e do reforço, altitude e unidade fisiográfica. Em cada trecho escolheu-se uma estaca ou estação de amostragem, em que o valor da deflexão máxima da bacia estivesse mais próximo da média das deflexões medidas. Nesse local abriu-se uma trincheira de 120cm por 70cm na trilha de roda externa, sendo a

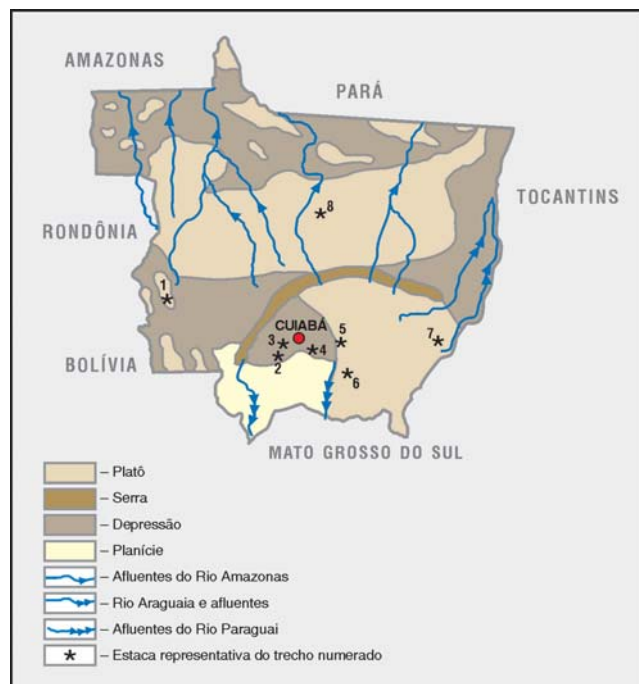


Figura 1 – Localização dos oito trechos do estudo de pavimentos de laterita do Mato Grosso

escavação levada até 30cm no subleito. Determinou-se a densidade “in situ” e a umidade natural do solo.

Na Tabela 4 estão os resultados das frações granulométricas, valores de CBR e limites de Atterberg. Pouco diferem as granulometrias dos solos pedregulhosos das camadas de base e sub-base, tendo 65%, em peso, na fração pedregulho (retido na peneira nº 10, 2mm de malha), e valores de CBR do subleito são, em média, 35%, variando de 20% a 50%. Trata-se de pavimentos de “espessura plena” de lateritas que recebem delgada camada de revestimento asfáltico quando recém-construídos. A energia de compactação adotada para a base e a sub-base foi a intermediária (47% da energia modificada) e para o subleito a do Proctor normal.

As análises químicas e mineralógicas, realizadas no setor de Química e Mineralogia do Laboratório de Geotecnia

Tabela 3 – Pavimentos com bases e sub-bases de pedregulhos de laterita do estudo no Mato Grosso – Santos (1998)

Estação	Rodovia BR	Região Fisiográfica	Altitude da Região (m)	Altura de Chuva (mm)	Volume médio diário tráfego	PAVIMENTO				Ano de reforço
						Rev. tipo espessura (cm)	Espessura base (cm)	Espessura Sub-base (cm)	Ano de construção	
100	174/364	Depressão do Rio Guaporé	220-350	1800	3000	TSD 2,5	16	20	1982	-
200	070	Depressão do Rio Paraguai	200-450	1750	3000	CBU05,0	22	18	1981	-
300	163/364	Depressão do Rio Paraguai	200-450	1750	4000	CBU05,0	18	14	1982	-
400	070/163/364	Depressão do Rio Paraguai	200-450	1750	7000	CBUQ20,0	13	19	1973	1981/1989
500	070	Planalto dos Guimarães	600-800	1750	700	TSD2,5	17	13	1985	-
600	163/364	Planalto dos Guimarães	600-800	1750	6000	CBUQ20,0	16	16	1973	1981/1984
700	158	Depressão do Rio Araguaia	200-300	1750	1200	TSD2,5	20	19	1985	-
800	163	Planalto dos Parecís	600-750	2000	2000	TSD2,5	16	16	1983	-

Nota: TSD – tratamento superficial duplo; CBUQ – concreto betuminoso usinado a quente

Tabela 4 – Características geotécnicas dos pedregulhos de laterita usados em pavimentação no Mato Grosso – Santos (1998)

Frações das amostras e característica		Base	Sub-base	Subleito
Pedregulho (>2mm) %	Média	65	65	48
	Desvio Padrão	8	8	27
	Intervalo de Confiança	58 a 72	58 a 72	25 a 71
Areia (2mm a 0,075mm) %	Média	21	21	30
	Desvio Padrão	4	6	19
	Intervalo de Confiança	18 a 24	16 a 26	13 a 47
Fração fina (<0,075mm) %	Média	14	14	21
	Desvio Padrão	5	4	9
	Intervalo de Confiança	10 a 18	10 a 18	15 a 29
CBR, %	Média	80	92	35
	Desvio Padrão	42	33	17
	Intervalo de Confiança	42 a 118	62 a 112	20 a 50

da COPPE/UFRJ, indicaram: teores de óxidos e hidróxidos de ferro das camadas de base de laterita estão, na sua maioria, entre 10% e 20%, a caulinita de 20% a 30%, a gibbsita aquém de 10% e o quartzo residual de 50% a 70%. A razão molecular sílica-alumina (ki) dos solos da base fica entre 1,06 e 1,66, e a razão molecular sílica-sesquióxidos (kr) entre 0,58 e 1,33; são todos valores inferiores a 2,0, o que caracteriza os solos de laterita. O mesmo ocorre com os solos da sub-base e do subleito.

Observou-se que o teor de umidade “in situ” dos solos da camada de base, nos oito trechos estudados, é praticamente igual ao teor de umidade ótima de compactação. A umidade “in situ” das sub-bases supera a ótima de cerca de 2%, e a dos subleitos de cerca de 0,7%. Foram realizados ensaios de compressão triaxial de cargas repetidas das lateritas pedregulhosas, seguindo-se os procedimentos previstos no capítulo 4 do livro de Medina e Motta (2005).

Exemplifica-se para o perfil representativo do trecho experimental E-500, o cálculo da bacia de deflexão utilizando-se o programa computacional automático FEPAVE, com carga por eixo de 80 kN, área de carregamento de 10,8 cm de raio e pressão média de contato dos pneus de 55 N/cm². Os módulos de resiliência obtidos de ensaios de amostras compactadas, que foram adotadas no cálculo, e as respectivas espessuras das camadas são:

— revestimento (tratamento superficial duplo):

$M_R = 500 \text{ MN/m}^2$; espessura = 2,5cm;

— camada de base de laterita pedregulhosa:

$M_R = 697 \text{ MN/m}^2$; espessura = 17,0cm;

— camada de sub-base de laterita pedregulhosa:

$M_R = 792 s_3^{0,23}$, espessura = 13,0cm;

— subleito laterítico:

$MR = 670\sigma_3^{0,24}$.

Na Figura 2 comparam-se as bacias de deflexão máxima, mínima e média do trecho com a bacia calculada pela análise computacional.

Além da boa aproximação da curva calculada com a curva média medida, ressalta a pequena deformabilidade elástica ou rigidez elevada da estrutura e do subleito.

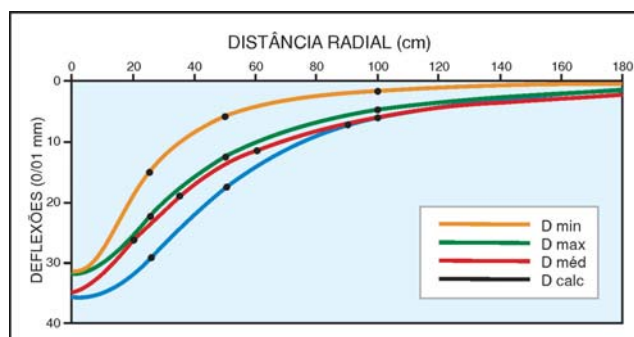


Figura 2 – Bacias de deflexão máxima, mínima e média do trecho E-500 e a bacia calculada

Os afundamentos de trilha de roda variaram de 0,6 mm e 4,6 mm, maior na trilha externa. São deformações plásticas sob cargas repetidas muito pequenas, já que o máximo tolerado em rodovias é de 13 mm a 16 mm, tendo em conta o conforto do usuário e a segurança.

As especificações de base estabilizada utilizando solos lateríticos (entenda-se: pedregulhos de laterita) do ex-

DNER restringem o limite de liquidez a 40% no máximo e o índice de plasticidade a 15%, características obtidas com a fração que passa na peneira nº 40 (0,42 mm).

O efeito da adição de areia a uma laterita pedregulhosa e de sua embebição antes do ensaio de módulo de resiliência foi estudado em amostras de laterita de Rondônia (MOTTA, 1991; MEDINA & MOTTA, 1995). A amostra tinha limite de liquidez de 42% e índice de plasticidade de 12%, praticamente dentro dos valores especificados. A densidade relativa dos grãos é de 3,099. A amostra enquadrava-se na faixa B das especificações. A rigor, não carecia de correção com areia fina. O módulo de resiliência da laterita mais 10%, em peso, de areia quartzosa, elevou o módulo de resiliência de 25% para a tensão desvio de 0,1 MPa e de 32% para a tensão desvio de 0,2 MPa. Com adição de 30% de areia fina o módulo de resiliência aumentou de 130% e 58% para as tensões desvio de 0,1 MPa e 0,2 MPa, respectivamente. Os corpos-de-prova de 10 cm de diâmetro foram compactados em 10 camadas, na umidade ótima da energia intermediária.

A embebição da amostra compactada representa uma condição pouco plausível nos pavimentos de nossas rodovias de geometria e condições de drenagem adequadas. Mesmo assim, procedeu-se ao estudo do efeito da embebição em corpos-de-prova compactados na energia "intermodificada" 44 golpes por camada em vez dos 55 golpes

da energia modificada e 25 da intermediária, pois que de 44 golpes até 55 golpes não se teria acentuada melhoria de resultados. Os ensaios triaxiais de cargas repetidas indicaram que quanto maior a tensão desvio, menor o efeito da embebição no módulo de resiliência da amostra de laterita. Este fato permite inferir que no topo da camada de base (onde a tensão desvio causada pela carga de roda é maior) a embebição pouco reduz o módulo de resiliência da laterita pedregulhosa; mas, em profundidade sim.

4. CONCLUSÕES

Dos anos 50 e 60 até hoje, cerca de meio século decorrido, a utilização de laterita pedregulhosa em pavimentos tornou-se uma prática bem sucedida, de especificações de serviço que procuram se adequar ao meio físico deste país.

Houve àquela época, a "descoberta" de um material natural inusitado para os engenheiros rodoviários do Sudeste do país. E houve, em conseqüência, a busca da compreensão de sua gênese e suas propriedades de engenharia.

Hoje em dia, as modernas ferramentas de análise de que faz uso a mecânica dos pavimentos, como as técnicas bem difundidas dos ensaios de carga repetida, permitem explicar mais diretamente o desempenho estrutural dos pavimentos formados por camadas de base e sub-base de lateritas pedregulhosas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPv – Assoc. Brasileira de Pavimentação. (1976). Utilização de laterita em pavimentação. *Bol. Tecn.* Nº 9. Rio de Janeiro.
- ASSUNÇÃO, Rafael Gontijo (1956). Viagem de estudos: França e A. O. F. *Bol. Tecn.* Nº 7, Assoc. Rodoviária do Brasil. Rio de Janeiro.
- DANTAS, João Maggioli; Agostini, Josil; Braga, Cláudio Saturnino (1953). A construção de bases estabilizadas no Espírito Santo. *RODOVIA*, DNER, ano XV, nº 161. Rio de Janeiro.
- GOUROU, Pierre (1949). Observações geográficas na Amazônia. *Rev. Bras. Geogr.* ano XI, nº 3. Rio de Janeiro.
- LNEC – Lab. Nac. de Engenharia Civil (1959). As lateritas do ultramar português. *Memória nº 141*. Lisboa, Portugal (trabalho realizado em colaboração com os Laboratórios de Luanda e Lourenço Marques).
- MAIGNIEN, R. (1966). *Review of research on laterites*. UNESCO, Paris, França. 148p.
- MEDINA, Jacques (1956). O problema das especificações de bases estabilizadas de solos lateríticos e a utilização de lateritas da Região Norte. *RODOVIA*, DNER, ano XVII, nº 192. Rio de Janeiro.
- MEDINA, Jacques (1961). As lateritas e sua aplicação na pavimentação. *Anais*, 2. Reun. Anual de Pavimentação, Assoc. Bras. Pavim. Rio de Janeiro. p. 21-52; relato, p. 53-55; debates, p. 55-70 (Prêmio Pontes Corrêa).
- MEDINA, Jacques (1963). Les latérites et leur application a la technique routière. *Revue Générale des Routes et Aérodromes*, nº 382. p. 81-94. (vertido para o francês pelo Dr. Jean Claude Vogt)
- MEDINA, Jacques; Motta, Laura Maria Goretti (2005). *Mecânica dos Pavimentos*, 2ª ed., Rio de Janeiro. 574 p.
- MILLS, William H. (1954). Low-Cost Pavement. *RODOVIA*, DNER, ano XVI, nº 178. Rio de Janeiro.
- MOTTA, Laura Maria Goretti (1991). Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis; critério de confiabilidade e ensaios de cargas repetidas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 336 p.

- NOGAMI, Job Shuji; Villibor, Douglas Fadul (1995). *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo. Vilibor, 240p.
- PREGO, Atahualpa Schmitz da Silva (2001). *A memória da pavimentação no Brasil* (Fatos históricos, recordações e depoimentos). Assoc. Bras. Pavim. Rio de Janeiro. 640p.
- SANTOS, João de Deus Guerreiro (1998). *Contribuição ao estudo de solos lateríticos granulares como camadas de pavimento*. Tese (Doutorado em engenharia civil), COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 358p.
- VARGAS, Milton (1951). *Resistência e compressibilidade de argilas residuais*. Tese para concurso à Cadeira de Mecânica dos Solos e Fundações. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 146p.

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL

- FLORENTIN, J.; L' Heriteau, G. (1957). Étude de quelques propriétés physico-mécaniques d'échantillons de laterites. *Proc. 4. Int. Cong. of Soil Mechanics and Found. Eng. Londres, Inglaterra*, v. 1.
- GANZE, P. Van (1957). Propriétés et applications des laterites au Congo Belge. *An. Acad. Royale des Sciences Coloniales. Bruxelles, Belgica*. p. 14-30.
- GIDIGASU, M.D. (1976). *Laterite soil engineering – pedogenesis and engineering principles*. Gana
- GUERRA, Antonio Teixeira (1952). Importância da laterização para as construções feitas pelos engenheiros de obras públicas na faixa costeira do Amapá. *Bol. Geográfico*, ano X, nº 107. Rio de Janeiro. p. 216-218.
- GUERRA, Antonio Teixeira (1953). Formação de lateritas sob a floresta equatorial amazônica (Território federal do Guaporé). *Rev. Bras. Geografia*. ano XIV. nº 4 (separata). Rio de Janeiro.
- Lyon Associates, Inc. & DNER (1971). *Laterite and lateritic soils and other problem soils of the tropics*. USAID (eds. Morin, W.J. & Todor, Peter)
- MAIGNIEN, R. (1958). *Le cuirassement des sols en Guinée*. Mem. Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine, Strasbourg, França.
- MARTELLI, Hebe Labarthe (1981). Mecanismos das ações microbianas na geoquímica do ferro. *Anais. Simp. Bras. Solos Tropicais em Engenharia*, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, v. 2, p. 159-165.
- PIMENTA, Antonio (1962). *Solos lateríticos – Curso de pavimentação*. Assoc. Bras. de Pavim. Rio de Janeiro.
- SANTANA, Humberto (1976). Os solos lateríticos e a pavimentação. *Public. 543*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. DNER. Rio de Janeiro.
- TAVARES, Antonio Wilson (1967). Influência biológica em solos tropicais. *Anais*, 8. Reun. Anual. Pavim., Assoc. Bras. de Pavim. Rio de Janeiro.

Desempenho de misturas betuminosas com reciclagem a quente

Luís Gomes

Mestre em Vias de Comunicação, Mota-Engil, Porto/Portugal

Jaime Queirós Ribeiro

Doutor em Engenharia Civil, FEUP, Porto/Portugal

Maria Conceição Azevedo

Doutora em Engenharia Civil, CaeMD, Lisboa/Portugal

RESUMO

Este trabalho pretende avaliar as propriedades mecânicas de misturas betuminosas utilizando misturas betuminosas fresadas envelhecidas, por reciclagem a quente, quer em laboratório quer após aplicação em obra.

A mistura betuminosa estudada foi uma mistura betuminosa densa para camada de regularização. As taxas de reciclagem analisadas foram de 15%, 20%, 25% e 30%.

Em laboratório a formulação das misturas betuminosas foi efectuada recorrendo ao método Marshall e foram avaliadas as características mecânicas através de ensaios de flexão em quatro pontos (rigidez e resistência à fadiga) e de ensaios de pista, com o equipamento wheel tracking, para avaliação da resistência às deformações permanentes. Paralelamente, para comparação, foi formulada e caracterizada

mecanicamente uma mistura betuminosa sem recurso a misturas betuminosas fresadas (taxa de reciclagem de 0%). A mistura betuminosa reciclada aplicada no pavimento foi também caracterizada mecanicamente em laboratório através dos ensaios referidos anteriormente e in situ para avaliação do módulo de rigidez dos diversos materiais aplicados e da fundação, utilizando o deflectómetro de impacto. Os resultados dos ensaios fundamentais demonstraram a aplicabilidade das diferentes misturas betuminosas recicladas e o seu bom desempenho quando comparado com o das misturas tradicionais.

PALAVRAS-CHAVE

Pavimentos rodoviários, misturas betuminosas, desenvolvimento sustentável, reciclagem a quente

1. INTRODUÇÃO

Os pavimentos rodoviários sob a acção dos agentes de degradação sofrem um processo evolutivo que os leva a perder as características necessárias à satisfação das exigências dos utentes que neles circulam. Deste modo os pavimentos rodoviários mesmo que bem concebidos e construídos vão-se degradando, sendo que neste caso a ruína ocorrerá no fim do período da sua vida útil.

Para restituir as características dos pavimentos que permitem a satisfação das exigências dos utentes são utili-

zadas várias técnicas de reabilitação cuja selecção se efectua com base em vários factores como o estado de degradação actual do pavimento e os objectivos da intervenção.

No âmbito das operações de reabilitação são frequentemente produzidos materiais provenientes dos pavimentos degradados que têm sido considerados resíduos, pois devido às inúmeras patologias apresentadas e às fracas propriedades mecânicas exibidas têm de ser saneados.

As técnicas de reutilização e reciclagem de misturas betuminosas fresadas provenientes de pavimentos degradados têm vindo a ser desenvolvidas por várias razões, tais como:

- Crise petrolífera de 1973 originou uma dramática subida nos preços do petróleo;
- Preocupações actuais com as políticas de desenvolvimento sustentável;
- Utilização de grandes quantidades de agregados e betume na construção e manutenção dos pavimentos rodoviários;
- Produção de materiais na fresagem de pavimentos degradados, tradicionalmente considerados como resíduos, associada à dificuldade de obter vazadouros para o seu escoamento;
- Restrições crescentes às explorações dos recursos minerais e à produção de ligantes.

Para o desenvolvimento destas técnicas têm vindo a ser realizadas algumas experiências que, em Portugal e em particular no caso da reciclagem a quente de misturas betuminosas, ainda escasseiam.

Este trabalho pretende descrever uma experiência de aplicação da técnica de reciclagem de misturas betuminosas a quente em central, realizada no âmbito de uma tese de Mestrado em Vias de Comunicação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto [1]. A Mota-Engil através do seu Laboratório Central promoveu os estudos tendo o troço experimental sido construído numa obra da empresa.

A mistura a estudar tratou-se de uma mistura betuminosa densa para aplicação em camada de regularização. O material fresado era proveniente da obra de reabilitação da A1 no sublanço Albergaria/Aveiro Sul e a mistura com reciclagem foi aplicada num trecho experimental da obra da SCUT da Costa da Prata, ambas da Mota-Engil Engenharia e Construção, SA.

O Caderno de Encargos da Brisa [2] para o sublanço Albergaria/Aveiro Sul da A1, de onde é proveniente o fresado, já previa nas suas cláusulas técnicas especiais a possibilidade de ser utilizada esta técnica construtiva, cuja especificação técnica foi apresentada nas jornadas referidas em [3]. Por razões diversas relacionadas com essa obra não foi possível recorrer à utilização desta técnica mas tomou-se como referência esse Caderno de Encargos na execução do trecho experimental na obra da SCUT da Costa da Prata.

Estudaram-se quatro misturas betuminosas recicladas com taxas de reciclagem de 15, 20, 25 e 30% e uma mistura betuminosa tradicional para comparação (0% de taxa de reciclagem).

Os ensaios laboratoriais foram realizados no Laboratório Central da Mota-Engil excepto os ensaios de avaliação

da resistência à fadiga, do módulo de rigidez e da resistência às deformações permanentes que foram conduzidos num outro laboratório sub-contratado (CICCOPN). Os ensaios de carga realizados *in situ*, para caracterização da camada de mistura betuminosa densa reciclada aplicada, foram realizados pela Consulstrada. Os procedimentos de ensaio seguidos foram os habitualmente utilizados nesses laboratórios.

2. FORMULAÇÃO DAS MISTURAS BETUMINOSAS RECICLADAS

2.1. Caracterização dos materiais a utilizar nas misturas betuminosas

O material fresado é proveniente da fresagem do pavimento da A1 no sublanço Albergaria/Aveiro Sul. A espessura média fresada foi de cerca de 8 cm pelo que as misturas betuminosas fresadas foram o betão betuminoso drenante, o betão betuminoso subjacente ao drenante e em certas zonas o macadame betuminoso. Inicialmente fresaram-se o betão betuminoso drenante e o betão betuminoso subjacente ao drenante de forma separada. Posteriormente por razões relacionadas com a obra a fresagem foi realizada nas duas camadas simultaneamente pelo que o *stock* foi constituído pelo conjunto das duas misturas betuminosas sendo este o material fresado considerado nos estudos. Foi efectuada a caracterização do material fresado, dos agregados recuperados e do betume recuperado.

Em relação ao material fresado foi efectuada a análise granulométrica (LNEC E 233), a determinação do teor em água (NP 84) e a determinação da percentagem em betume por centrifugação (ASTM D 2172).

Nos agregados recuperados foram efectuados os mesmos ensaios que se realizam habitualmente sobre os agregados novos para misturas betuminosas tradicionais: análise granulométrica (JAE S.8-53), equivalente de areia (LNEC E 199), azul-de-metileno (NF P15-592), massa volúmica e absorção de água do material fino e grosso (ASTM C127 e ASTM C128), índices de lamelação e de alongamento (BS 812) e desgaste de Los Angeles (LNEC E 237). Os resultados obtidos em cada uma das propriedades satisfazem os requisitos usuais dos Cadernos de Encargos para os agregados da mistura betuminosa densa.

Sobre o betume recuperado no evaporador rotativo (EN 12697-3) foram efectuados os ensaios de penetração, temperatura de amolecimento e massa volúmica do ligante cujos resultados se encontram na tabela 1.

O betume novo a utilizar foi um betume 35/50. Nesta primeira fase do estudo este betume foi o escolhido por ser o exigido no Caderno de Encargos [2] para as misturas betuminosas densas tradicionais e também para a mistura betuminosa reciclada.

Dado que o betume da mistura betuminosa reciclada irá ser constituído por este betume e pelo betume proveniente das misturas fresadas, que é mais duro, tem de se aferir se a junção dos dois permite obter um betume com as características pretendidas. Este aspecto pode ser acautelado utilizando expressões existentes na bibliografia e que relacionam os valores da penetração e da temperatura de amolecimento dos betumes componentes com os do betume da mistura reciclada final. Estas propriedades podem ainda ser analisadas durante os estudos, através de ensaios realizados sobre o betume recuperado da mistura betuminosa reciclada quer seja fabricada em laboratório quer seja fabricada em obra.

Os agregados novos utilizados na mistura betuminosa são calcários provenientes da pedreira de Cantanhede da Mota-Engil. O filer recuperado é proveniente dos agregados calcários utilizados. Todas as propriedades satisfazem os requisitos usuais dos Cadernos de Encargos para os agregados da mistura betuminosa densa.

2.2. Tratamento dos dados para a composição das misturas betuminosas recicladas

De acordo com o Caderno de Encargos [2] denomina-se por MBR as misturas betuminosas recicladas e por MBF as misturas betuminosas fresadas. Para a composição granulométrica das misturas betuminosas recicladas foi

determinada uma curva granulométrica média dos agregados recuperados. Conjugando a curva granulométrica assim obtida com a curva dos agregados novos a utilizar e de forma a obedecer ao fuso imposto pelo Caderno de Encargos [2] para a mistura betuminosa em causa, foi possível estabelecer a percentagens ponderais dos agregados que compõem a mistura.

Para estimativa das características do betume da mistura betuminosa reciclada podem ser utilizadas expressões que relacionam o valor de certas propriedades como a penetração e da temperatura de amolecimento dos betumes componentes. Estas expressões permitem antever a adequabilidade de um betume novo que seja pré-seleccionado. As expressões que relacionam as características de penetração e de temperatura amolecimento são as seguintes:

Penetração:

$$\log pen_{MBR} = TRb \times \log pen_{MBF} + (1-TRb) \times \log pen_N \quad (1)$$

Temperatura de amolecimento:

$$TAB_{MBR} = TRb \times TAB_{MBF} + (1-TRb) \times TABN \quad (2)$$

Onde:

pen_{MBR} – Penetração do betume da MBR;

pen_{MBF} – Penetração do betume da MBF;

pen_N – Penetração do betume novo;

TAB_{MBR} – Temperatura de amolecimento do betume da MBR;

TAB_{MBF} – Temperatura de amolecimento do betume da MBF;

TAB_N – Temperatura de amolecimento do betume novo;

TRb – Percentagem de betume da MBR em 100% do betume da MBR, ou taxa de reciclagem de betume.

Para além dos valores das propriedades do betume da mistura reciclada o Caderno de Encargos [2] impõe que

Tabela 1 – Características do betume recuperado da mistura betuminosa fresada

Ensaio	Procedimento	Valor obtido	Especificação [2]
Penetração de ligantes betuminosos (1/10 mm)	EN 1426	17	> 15 (valor médio de cinco determinações)
Temperatura de amolecimento (°C)	EN 1427	65,8	-
Massa volúmica (g/cm ³)	JAЕ P3.3-53	1,059	-

Tabela 2 – Proporção de cada agregado novo a introduzir na mistura

AGREGADO	TAXA DE RECICLAGEM (TR)				
	TR=0% (*)	TR=15%	TR=20%	TR=25%	TR=30%
Pó de britagem 0/5	44	55	55	55	54
Brita 5/15	25	17	17	17	17
Brita 15/25	25	25	25	25	25
Filer	6	3	3	3	4
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

* Nesta mistura betuminosa as percentagens de cada agregado novo são percentagens totais na mistura de agregados, dado que, neste caso não existem agregados provenientes da mistura betuminosa fresada.

a percentagem de ligante novo a adicionar seja pelo menos 60 % da percentagem de betume total da mistura betuminosa reciclada.

2.3. Estudos Marshall

As normas de referência para a execução do estudo Marshall foram a norma ASTM D 1559 e a norma ASTM D 5581. Conforme se referiu foram estudadas quatro taxas de reciclagem: 15%, 20%, 25% e 30%. Foram moldados provetes Marshall com diferentes percentagens de betume total da mistura reciclada final. Inicialmente consideram-se as percentagens de betume total 4%, 4,5%, 5%, 5,5% e 6% seguindo o processo habitual. Posteriormente e em função dos resultados moldaram-se provetes com as percentagens em betume de 2%, 2,5%, 3% e 3,5%. Foi considerada uma mistura de controlo, com os mesmos materiais novos mas sem qualquer introdução de material fresado, ou seja uma mistura com 0 % de taxa de reciclagem. Nesta mistura betuminosa densa tradicional, tal como habitualmente, apenas foi necessário moldar provetes com percentagens de betume entre 4 e 6 %. De acordo com [2] as

características a apresentar pela mistura betuminosa densa como resultado do estudo de Marshall (com aplicação de 75 pancadas por face na compactação) são apresentadas na tabela 3.

A partir dos resultados do estudo de formulação Marshall a percentagem óptima de betume pode ser definida. Este valor determina-se considerando a média das percentagens de betume correspondentes à máxima baridade, máxima estabilidade e o valor da percentagem de betume correspondente ao valor intermédio do intervalo definido no Caderno de Encargos [2] para a porosidade. Para a mistura betuminosa densa o intervalo admitido para os valores da porosidade é de 3 a 5 % sendo portanto considerada a percentagem de betume correspondente à porosidade de 4%. A tabela 4 resume os cálculos efectuados.

Como se pode verificar a variável determinante para a definição do valor óptimo da percentagem de betume é a presença de material fresado. Verifica-se também que para as taxas de reciclagem de 15 % e 30 % o valor óptimo da percentagem de betume é o mesmo (4,3 %) apesar da proporção de betume novo e de betume envelhecido (pro-

Tabela 3 – Propriedades da mistura betuminosa densa a avaliar no estudo Marshall [2]

Propriedade	Especificação
Estabilidade (kgf)	> 1000
Deformação (mm)	3 a 5
Módulo de rigidez Marshall(kgf/mm)	250 a 815*
Porosidade (%)	3 a 5
Grau de saturação em betume (GSB) (%)	75 a 85
Volume de vazios da mistura de agregados (VMA) (%)	≥ 14
Resistência conservada (%)	> 80
Percentagem de betume (%)	≥ 5,1
Teor em betume (%)	≥ 5,0**
Percentagem de betume novo em relação ao betume total (%)	≥ 60***
Relação ponderal filler total / betume	≥ 1,2

*Este limite superior aplica-se às misturas com reciclagem a quente de acordo com as cláusulas técnicas especiais do Caderno de Encargos (8kN/mm=815 kgf/mm)

**Este limite aplica-se às misturas com reciclagem a quente para camadas intermédias

***Este limite aplica-se às misturas com reciclagem a quente

Tabela 4 – Determinação da percentagem óptima de betume total (Pbtotal)

Taxa de reciclagem (%)	Percentagem de betume (%)			
	Máxima baridade	Máxima estabilidade	Porosidade de 4%	Valor óptimo
TR= 0	5,4	5,2	4,8	5,1
TR= 15	5,4	3,2	4,2	4,3
TR= 20	5,0	3,3	4,3	4,2
TR= 25	5,2	3,0	4,3	4,2
TR= 30	5,2	3,4	4,2	4,3

veniente do material fresado) relativamente à totalidade de betume ser diferente.

Para a percentagem óptima as propriedades de cada mistura a considerar constam da tabela 5.

Verifica-se que nas misturas com incorporação de material fresado as propriedades relacionadas com a quantidade de betume (percentagem de betume, teor em betume, grau de saturação em betume e volume de vazios do esqueleto mineral) não cumprem as especificações. No entanto, a mistura tradicional já não cumpria o volume de vazios do esqueleto mineral e os outros parâmetros encontram-se muito próximos do limite inferior.

Outro aspecto que tem de ser verificado é a escolha do betume novo. Assim dos provetes com percentagem de betume de 4,5 % para cada mistura estudada, recuperou-se o betume no evaporador rotativo e determinou-se a penetração e a temperatura de amolecimento. Os valores dessas propriedades foram comparados com os inicialmente obtidos através das expressões (1) e (2). Os resultados constam da tabela 6.

Da análise do quadro verifica-se que as expressões para previsão das características do betume se aproximam bastante dos valores obtidos nos ensaios sobre o betume

recuperado. No entanto, os valores obtidos para o betume ensaiado correspondem não só à combinação dos betumes das misturas fresadas e do betume novo como também a um envelhecimento provocado pelo fabrico em laboratório das misturas betuminosas recicladas (neste caso, fabrico de provetes com percentagem de betume de 4,5% para o estudo de formulação *Marshall*).

Analizando os valores tendo como referência a especificação E 80 do LNEC para um betume 35/50 verifica-se que a temperatura de amolecimento se encontra dentro dos limites do intervalo especificado (50 a 58 °C) mas a penetração quer através das estimativas quer através dos ensaios realizados não se encontra dentro do intervalo para a penetração (35 a 50 décimas de mm), para os valores mais elevados de taxas de reciclagem.

Dado que alguns dos valores da penetração são inferiores aos exigidos, sendo portanto o betume mais duro podendo assim conduzir a uma maior fragilização da mistura betuminosa, dever-se-ia recorrer à utilização de rejuvenescedores ou a um betume novo mais mole (por exemplo da classe 50/70). Analisando a tabela 6 poder-se-ia também simplesmente optar pela não utilização de taxas de reciclagem superiores a 15 %. Em projecto, considera-

Tabela 5 – Propriedades das misturas betuminosas para a percentagem óptima de betume total (P_{btot})

Propriedade	Taxa de reciclagem (%) (TR)					Especificação [2]
	0	15	20	25	30	
Estabilidade (kgf)	1260	1440	1480	1400	1600	> 1000
Deformação (mm)	3,0	3,2	3,0	3,2	3,2	3 a 5
Módulo de rigidez <i>Marshall</i> (kgf/mm)	420	450	493	438	500	250 a 815
Porosidade (%)	3,3	3,6	4,2	4,4	4,0	3 a 5
GSB (%)	76	66	60	58	64	75 a 85
VMA (%)	12,8	10,5	10,7	11,0	10,8	≥ 14
Resistência conservada (%)	92	88	85	86	84	> 80
Percentagem de betume (%)	5,1	4,3	4,2	4,2	4,3	≥ 5,1
Teor em betume (%)	-	4,5	4,4	4,4	4,5	≥ 5,0
Percentagem de betume novo em relação ao betume total (%)	-	85	79	74	69	≥ 60

Tabela 6 – Penetração e temperatura de amolecimento do betume das misturas betuminosas com 4,5% de betume

Propriedade	Procedimento	Misturas com percentagem de betume de 4,5%							
		TR=15%		TR=20%		TR=25%		TR=30%	
		V.O.	V.E.	V.O.	V.E.	V.O.	V.E.	V.O.	V.E.
Penetração (1/10 mm)	EN 1426	35	35	35	33	34	32	30	31
Temperatura de amolecimento (°C)	EN 1427	54,1	55,3	54,7	55,9	57,7	56,5	56,5	57,1

Nota: V. O. (valor obtido) corresponde ao valor obtido no ensaio após recuperação do betume e V.E. (valor estimado) corresponde ao valor obtido através das fórmulas para previsão das características do betume da mistura reciclada final.

se que o betume que efectivamente se encontra nas camadas betuminosas do pavimento sofreu um envelhecimento de 35% em relação ao seu valor inicial conservando portanto 65% da sua penetração inicial. Apesar do processo de fabrico de misturas betuminosas em laboratório não ser tão agressivo como o processo de fabrico industrial não deixa de ocorrer um certo envelhecimento. Assim, o betume 35/50 continuou a ser o betume novo utilizado sendo que nas placas que irão ser cortadas do pavimento vão ser averiguadas as propriedades do betume para verificar se a penetração conserva ou não 65% de 35 (1/10mm) de penetração que corresponde ao valor mínimo imposto.

Dado que o objectivo dos estudos é o de validar a utilização de uma mistura betuminosa densa com incorporação de material fresado decidiu-se estudar, através de ensaios fundamentais, as misturas provenientes do método de formulação *Marshall*.

O valor da percentagem de betume para este tipo de misturas e para este tipo de agregados é habitualmente o que se obteve no método *Marshall* para a mistura tradicional (5,1%) sendo aliás o valor mínimo imposto para as mis-

turas betuminosas densas de acordo com o Caderno de Encargos [2]. Assim, decidiu-se estudar também as misturas com reciclagem com uma percentagem de betume igual a esse valor mínimo. Deste modo contornar-se-ia um eventual *déficit* de betume que poderá ser resultado do método de *Marshall* não ter sido pensado para este tipo de misturas não tradicionais. As taxas de reciclagem estudadas foram 15 % e 30 %. A escolha das misturas betuminosas com reciclagem a estudar pretendeu também seleccionar misturas suficientemente diferentes e sobre as quais se pudessem tirar conclusões. As características das misturas betuminosas a estudar encontram-se na tabela 7.

Constata-se que a porosidade das misturas betuminosas incorporando material fresado são muito baixas, inferiores ao especificado no caderno de encargos, no caso de se cumprir a percentagem mínima de betume pretendida no mesmo caderno de encargos.

As fórmulas de trabalho correspondentes a estas misturas são apresentadas na tabela 8.

Tendo em vista avaliar as propriedades da mistura betuminosa por métodos não empíricos, caso do método

Tabela 7 – Propriedades das misturas betuminosas para o valor óptimo e para o valor mínimo (de acordo com [2]) da percentagem em betume

Propriedade	Mistura					Especificação
	TR=0%	TR=15%	TR=30%	TR=30%	TR=30%	
Percentagem de betume total (%)	5,1	4,3	5,1	4,3	5,1	≥ 5,1
Teor em betume (%)	-	4,5	5,4	4,5	5,4	≥ 5,0
Percentagem de betume novo em relação ao betume total (%)	-	85	87	69	74	≥ 60
Estabilidade (kgf)	1260	1440	1120	1600	1280	>1000
Deformação (mm)	3,0	3,2	4,0	3,2	4,2	3 a 5
Módulo de rigidez <i>Marshall</i> (kgf/mm)	420	450	280	500	305	250 a 815
Porosidade (%)	3,3	3,6	1,8	4,0	1,6	3 a 5
GSB (%)	76	66	84	64	82	75 a 85
VMA (%)	12,8	10,5	10,5	10,8	10,2	≥ 14
Resistência conservada (%)	92	88	90	84	87	> 80

Tabela 8 – Fórmulas de trabalho das misturas a estudar

Mistura Componente	TR=0%	TR=15%		TR=30%	
	Pbtot=5,1 %	Pbtot=4,3 %	Pbtot=5,1 %	Pbtot=4,3 %	Pbtot=5,1 %
Misturas betuminosas fresadas (%)	0,0	15,0	15,0	30,0	30,0
Pó de britagem 0/5 (%)	41,8	44,8	44,3	36,2	35,8
Brita 5/15 (%)	23,7	13,8	13,7	11,4	11,3
Brita 15/25 (%)	23,7	20,4	20,2	16,7	16,5
Filer recuperado (%)	5,7	2,4	2,4	2,7	2,6
Percentagem de betume novo (%)	5,1	3,6	4,4	3,0	3,8
Total (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

de formulação Marshall, e ultrapassar as dúvidas colocadas com esses ensaios, realizaram-se ensaios de determinação do módulo de rigidez e de caracterização da resistência à fadiga e à deformação permanente.

Para este efeito, moldaram-se provetes em laboratório e executaram-se trechos experimentais onde se aplicaram misturas betuminosas recicladas.

3. APLICAÇÃO EXPERIMENTAL EM OBRA

A central de fabrico da mistura betuminosa utilizada na obra foi uma central contínua (INTRAME DM 632 (70/250)). Trata-se de um central contínua de fluxos paralelos (sistema eco-corrente) em que a introdução do material fresado é feita no anel central do tambor-secador-misturador.

As misturas fresadas são aquecidas quer pelo contacto com os agregados novos quentes quer através do contacto com os gases quentes que circulam no tambor.

Na figura 1 pode ver-se o processo de entrada no tambor das misturas betuminosas fresadas. As misturas fresadas que estão na torva caem num crivo para limitar a tamanho das partículas e são conduzidas ao anel central do tambor-secador-misturador.

Uma vez que a central já possuía o anel central para introdução das misturas betuminosas fresadas foi necessário equipar a central com os seguintes componentes adicionais:

- Torva pré-doseadora com fluímetro e tapete extractor;
- Um crivo para selecção do material abaixo dos 25 mm;
- Um tapete elevador pesador;
- Mesa de comando de funcionamento automático.

Este sistema permite realizar automaticamente após parametrização do equipamento uma dosificação volumétrica na descarga das misturas fresadas seleccionando o material que será introduzido no tambor e dosificando-o posteriormente no tapete elevador munido de balança.

Numa central contínua o betume novo é introduzido num meio a altas temperaturas. As partículas voláteis do betume são aspiradas para o filtro de mangas originando os "fumos azuis" constituídos por hidrocarbonetos, emissões que em percentagens excessivas são nocivas ao meio ambiente. O agravamento deste problema deve-se à necessidade de aquecer as misturas fresadas introduzidas no tambor ou por aumento da intensidade da chama que aquece os agregados novos ou por aumento da temperatura de injeção do betume novo. O aquecimento do betume das misturas fresadas provoca a redução da vida útil das man-

gas filtrantes devido à destilação das suas fracções ligeiras. Estes problemas são agravados para taxas de reciclagem superiores a 30% e para valores do teor de humidade superiores a 5%. Por esta razão em [2] e em [3] para este tipo de centrais é indicado o valor máximo para a taxa de reciclagem de 30 % para o macadame betuminoso e de 25% para a mistura betuminosa densa. No caso de as misturas fresadas conterem betumes modificados o limite é ainda restringido à taxa de reciclagem de 15% (se não se recorrer a metodologias fundamentais nos estudos de formulação da mistura betuminosa reciclada).

Neste tipo de centrais existem ainda alguns problemas relacionados com a qualidade do produto final e também com a definição das temperaturas de aquecimento



Figura 1 – Introdução no anel central das misturas betuminosas fresadas

dos agregados novos e de injeção do betume. Uma das atenuantes para este problema será a execução de um stock tão homogéneo quanto possível e com uma protecção adequada à temperatura e à humidade.

As figuras 2 e 3 mostram a aplicação da rega de colagem e a colocação do geotextil de forma a ser possível posteriormente extrair as placas para ensaiar em laboratório a mistura betuminosa aplicada definindo as suas propriedades fundamentais. A rega de colagem foi interrompida numa extensão de alguns metros que se assinalou na berma (figura 2). Foi colocada uma banda de geotextil (figura 3) numa extensão ligeiramente superior a essa extensão e foi aplicada novamente a rega de colagem nas extremidades de forma a fixar o geotextil evitando que este se mexesse durante a passagem do camião e da espalhadora (figura 4).

Na figura 4 pode ver-se a descarga da mistura na espalhadora e os cilindros a realizarem as operações de



Figura 2 – Rega de colagem



Figura 3 – Aplicação do geotextil



Figura 4 – Aplicação da mistura com reciclagem a quente

compactação. Face às condicionantes do stock disponível e da central betuminosa a utilizar e tendo o objectivo de um melhor controlo das temperaturas e da granulometria da mistura reciclada aplicada em obra e considerando os re-

sultados obtidos em laboratório optou-se em obra pela taxa de reciclagem de 15%. A mistura betuminosa aplicada foi a mistura com taxa de reciclagem de 15% e com uma percentagem de betume total de 4,6% (entre 4,3 e 5,1 %). Com esta mistura pretendeu-se reunir um bom compromisso nas propriedades fundamentais em análise (módulo de rigidez, resistência à fadiga e resistência às deformações permanentes).

4. PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DAS MISTURAS BETUMINOSAS RECICLADAS

As propriedades fundamentais das misturas betuminosas foram avaliadas em laboratório sobre provetes fabricados em laboratório, serrados de placas moldadas recorrendo a cilindros de compactação ligeiros (do tipo compactação de passeios) e sobre provetes retirados da mistura betuminosa reciclada em obra e aplicada no trecho experimental.

A temperatura de compactação das placas em laboratório oscilou entre 135 a 150 °C e a temperatura de mistura entre 160 a 170 °C. Estas temperaturas foram conseguidas por aquecimento dos materiais em estufa. Inicialmente as temperaturas a que se pretendia aquecer os materiais eram: betume a 160 °C, o material fresado a 140 °C e os agregados novos a 160 °C. No entanto, após algumas experiências considerou-se que a temperatura de aquecimento dos agregados teria de ser aumentada para se conseguir obter uma temperatura de compactação adequada, situando-se então em cerca de 190 °C.

A partir das placas fabricadas em laboratório foram extraídos os provetes para ensaio. Os provetes para o ensaio da avaliação da resistência à fadiga tinham as dimensões 40x5x6,3 cm e os provetes para o ensaio da avaliação da resistência às deformações permanentes as dimensões 30x26x7,7 cm. Todos os provetes foram extraídos com uma orientação definida em relação ao sentido de compactação para que a aplicação das solicitações em ambos os ensaios traduza o comportamento das misturas betuminosas quando aplicadas em obra sobre a acção dos equipamentos de espalhamento e compactação numa primeira fase, e posteriormente em serviço sob a acção das cargas do tráfego.

Os ensaios para avaliação do módulo de rigidez e da resistência à fadiga foram realizados em ensaios de flexão simples com carregamento central em dois pontos e em extensão controlada. A avaliação da resistência às defor-

mações permanentes foi realizada em ensaios de pista com o equipamento *wheel tracking*.

Os ensaios foram conduzidos de acordo com as condições indicadas na tabela 9 e na tabela 10.

Analisando os gráficos que mostram a evolução do módulo de rigidez com o número de ciclos de carga, conclui-se que o comportamento da generalidade dos provetes de todas as misturas betuminosas é bastante típico, isto é, a rigidez é praticamente constante ao longo do ensaio decrescendo abruptamente ao aproximar-se da ruína (figura 5).

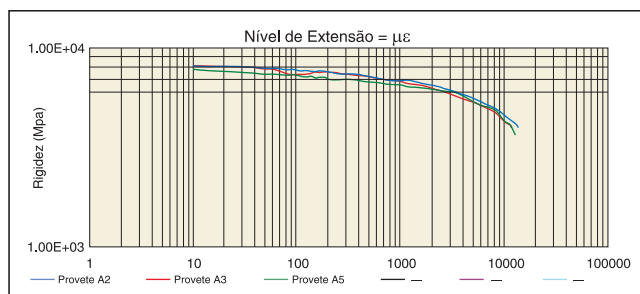


Figura 5 – Evolução do módulo de rigidez com o número de ciclos para um nível de extensão de 500 $\mu\epsilon$ (TR=30%; Pbtot=4,3%)

Por análise da tabela 11 e da figura 6 pode verificar-se que o módulo de rigidez, na generalidade das misturas betuminosas, aumenta à medida que o ensaio é realizado a menores extensões, ou seja verifica-se a dependência das propriedades das misturas betuminosas do nível de carga, como seria de esperar.

As misturas com percentagens de betume de 5,1% e taxas de reciclagem de 0% e 15% assumem os valores mais baixos, devido à presença de maiores percentagens de betume. Para o mesmo nível de extensão e para cada taxa de reciclagem o módulo de rigidez diminui com o au-

mento da percentagem de betume, como é expectável. Tal apenas não se verificou para as misturas com TR de 30% para o nível de extensão de 500 me, devido a maior quantidade de betume endurecido. É sabido, que à medida que aumenta a viscosidade do betume, ou seja mais duro, o módulo de rigidez aumenta.

Pode ainda verificar-se que para as mesmas percentagens de betume os valores do módulo de rigidez aumentam com a taxa de reciclagem. Tal apenas não se verifica nas misturas com percentagem de betume total de 5,1%

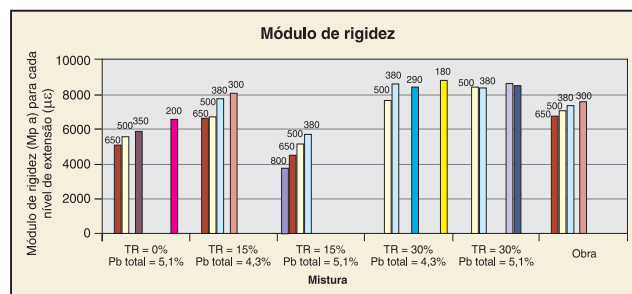


Figura 6 – Módulo de rigidez inicial. Valor médio dos provetes ensaiados para cada nível de extensão.

para as taxas de reciclagem de 0% e 15% assumindo no entanto valores da mesma ordem de grandeza. O aumento do módulo de rigidez com a taxa de reciclagem para a mesma percentagem de betume total era expectável devido à maior proporção do betume das misturas fresadas em relação ao betume total (isto é, à maior taxa de reciclagem do betume TRb). Ou seja devido à presença de uma quantidade superior de betume endurecido.

O valor do módulo de rigidez obtido para a mistura fabricada em obra é idêntico ao obtido para a mistura fabricada em laboratório com TR=15% e Pbtot=4,3%.

Tabela 9 – Condições do ensaio de avaliação do módulo de rigidez e da resistência à fadiga

Normas de ensaio		AASHTO TP 8 - 94
Temperatura do ensaio	(°C)	20,0
Frequência	(Hz)	10,0
Número de patamares de ensaio		4

Tabela 10 – Condições de ensaio para avaliação da resistência às deformações permanentes

Norma de ensaio		prEN 12697-22
Duração do ensaio	(minutos)	45
Temperatura do ensaio	(°C)	60 ± 0,5
Amplitude	(mm)	230
Frequência	(Hz)	0,35
L-Força	(N)	700
w-Largura do pneu	(mm)	50

Conforme se pode verificar o valor do módulo de rigidez para a mistura fabricada em obra é superior aos valores obtidos para as misturas com TR=0% e com TR=15% e Pbtot=5,1%.

Analisando a tabela 12 e a figura 7 verifica-se que os ângulos de fase decrescem com o nível de extensão ensaiada, ou seja demonstram que o material é mais elástico para níveis de extensão menores.

Um maior ângulo de fase corresponde a uma maior componente viscosa do módulo de rigidez, pelo que, seria expectável que o ângulo de fase para uma mesma taxa de reciclagem aumentasse para maiores percentagens de betume total (maior presença de betume novo) e para as mesmas percentagens de betume total diminuísse para maiores taxas de reciclagem (maior presença de betume das misturas betuminosas fresadas). Analisando a tabela 12 e a

figura 7 verifica-se que nem sempre tal se verifica. Os valores dos ângulos de fase da mistura fabricada em obra são inferiores aos das misturas fabricadas em laboratório com TR=15%. Assim, o betume da mistura reciclada fabricada em obra é menos viscoso do que o betume das misturas recicladas fabricadas em laboratório para a mesma taxa de reciclagem (15%). Tal facto poderá ser consequência do envelhecimento a que fica sujeito o betume (betume novo e betume das misturas betuminosas fresadas) ser mais agressivo em obra do que em laboratório. O ângulo de fase da mistura reciclada fabricada em obra (com TR = 15%) é idêntico ao das misturas betuminosas recicladas fabricadas em laboratório com TR = 30%.

Analisando as leis de fadiga (figura 8) das misturas betuminosas estudadas verifica-se que as misturas com reciclagem apresentam na sua generalidade um melhor

Tabela 11 – Módulo de rigidez inicial. Valor médio dos provetes ensaiados para cada nível de extensão.

Nível de extensão	Rigidez inicial (MPa)					
	Misturas betuminosas					
	Laboratório					Obra
	TR=0%	TR=15%		TR=30%		TR=15%
με	Pbtot=5,1%	Pbtot=4,3%	Pbtot=5,1%	Pbtot=4,3%	Pbtot=5,1%	Pbtot=4,6%
800			3768			
650	5063	6614	4528			6742
500	5543	6713	5135	7706	8427	7127
380		7788	5690	8624	8389	7389
350	5860					
300		8104				7617
290				8433		
280					8647	
210					8536	
200	6578					
180				8804		

Tabela 12 – Ângulo de fase inicial. Valor médio dos provetes ensaiados para cada nível de extensão

Nível de extensão	Ângulo de fase inicial (graus)					
	Misturas betuminosas					
	Laboratório					Obra
	TR=0%	TR=15%		TR=30%		TR=15%
με	Pbtot=5,1%	Pbtot=4,3%	Pbtot=5,1%	Pbtot=4,3%	Pbtot=5,1%	Pbtot=4,6%
800			40,2			
650	39,8	37,6	36,9			32,7
500	36,6	34,0	34,4	31,8	36,6	30,8
380		31,2	32,9	29,9	29,2	28,0
350	33,1					
300		31,3				27,8
290				27,8		
280					27,1	
210					27,4	
200	30,1					
180				23,8		

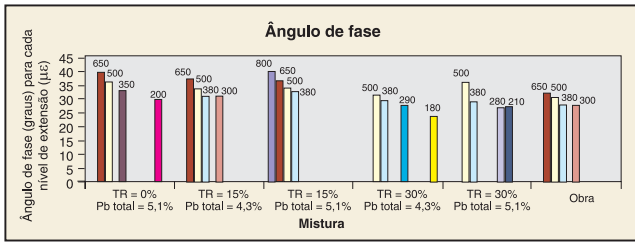


Figura 7 – Ângulo de fase inicial. Valor médio dos provetes ensaiados para cada nível de extensão.

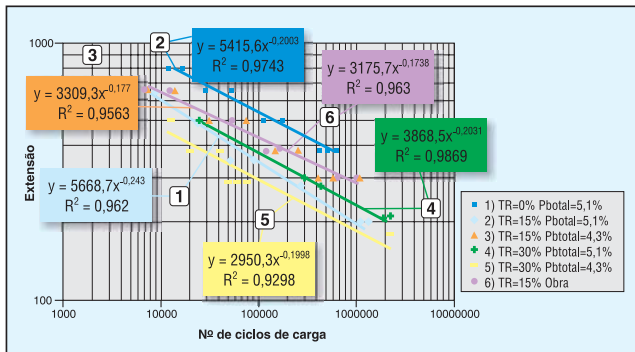


Figura 8 – Comparação das leis de fadiga das misturas estudadas

comportamento à fadiga que se traduz por suportarem um maior número de ciclos de carga para cada nível de extensão estudado (exceptuando a mistura com TR=30% e Pbtot = 4,3%). Para além disso, este melhor comportamento à fadiga, é também traduzido por uma menor inclinação das rectas que traduzem a lei de fadiga em relação à horizontal o que permite concluir que para níveis de extensão mais baixos (que são os que ocorrem em serviço) esse melhor comportamento será ainda mais evidente.

Por outro lado, verifica-se que as misturas betuminosas recicladas com TR= 15% apresentam um melhor comportamento à fadiga que as misturas com TR=30%, pelo que se poderá deduzir que, a partir de certa taxa de reciclagem, o comportamento à fadiga deixa de ficar beneficiado pela introdução de misturas betuminosas fresadas. Outro aspecto que pode ser analisado no gráfico é que, tal como esperado, para cada taxa de reciclagem o comportamento à fadiga é melhor para a percentagem de betume total mais elevada.

A lei de fadiga da mistura fabricada em obra é idêntica à lei de fadiga da mistura TR= 15% e Pbtot = 4,3%. Dado que a mistura fabricada em obra possui uma percentagem total em betume de 4,6% seria de esperar que o seu comportamento fosse intermédio em relação aos comportamentos evidenciados pelas misturas com TR= 15% fabricadas em laboratório. O facto de a lei de fadiga se

aproximar mais da mistura TR= 15% e Pbtot = 4,3% deve-se provavelmente ao efeito de as misturas terem sido fabricadas em condições diferentes, isto é, às diferenças de uma produção industrial para uma produção laboratorial nos diversos aspectos relacionados com o fabrico, aplicação e compactação. No entanto, a mistura fabricada em obra possui um comportamento claramente superior ao da mistura tradicional (com TR=0%), fabricada em laboratório, apesar de possuir uma percentagem de betume total inferior.

Na figura 9 consta a abordagem da avaliação da resistência à fadiga através da energia dissipada acumulada. Analisando o gráfico pode constatar-se que a posição relativa das leis de fadiga praticamente não se altera em relação ao gráfico da figura 8, mas a lei de fadiga da mistura TR= 15% e Pbtot = 5,1% sendo ainda de assinalar os melhores coeficientes de correlação desta abordagem.

O comportamento da mistura com TR= 15% fabricada em obra aproxima-se do comportamento da mistura com TR= 15% e com Pbtot = 5,1% fabricada em laboratório. Para além disso verifica-se ainda que os coeficientes de correlação das leis de fadiga melhoram significativamente. Nesta análise o bom comportamento da mistura reciclada aplicada em obra é ainda mais evidente. De qualquer for-

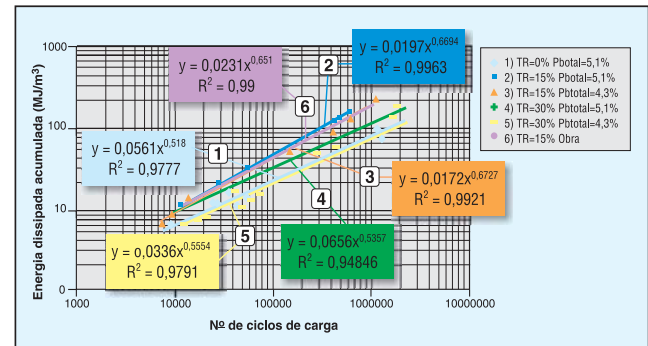


Figura 9 – Comparação das leis de fadiga das misturas estudadas através da energia da dissipada acumulada

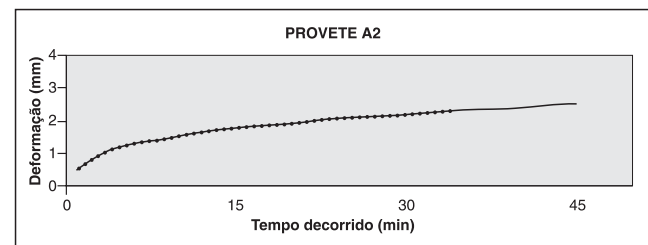


Figura 10 – Evolução da deformação com o tempo de ensaio. Provede A2. (TR= 15%; Pbtot = 4,3%)

ma, neste gráfico, o comportamento das misturas betuminosas fica muito próximo. Na figura 10 pode verificar-se que o gráfico que traduz o comportamento às deformações permanentes é idêntico ao que habitualmente se obtém para as misturas tradicionais.

Analisando os gráficos que relacionam o tempo de ensaio decorrido com a deformação, verifica-se na generalidade dos provetes de cada mistura, que há um crescimento inicial significativo até cerca de 5 minutos de ensaio após os quais o crescimento da deformação é mais suave e relativamente constante.

Os resultados dos ensaios de resistência às deformações permanentes (tabela 13 e figura 11), conduzidos sobre os provetes de misturas betuminosas moldados em laboratório permitem concluir que as misturas com reciclagem possuem um melhor comportamento que a mistura betuminosa tradicional. Os ensaios conduzidos sobre os provetes retirados do pavimento mostraram o melhor comportamento às deformações permanentes.

A profundidade média da rodeira da mistura betuminosa com TR=0% (isto é, sem reciclagem) é mais de duas vezes superior à de qualquer outra mistura betuminosa com reciclagem. Tal poderá ficar a dever-se à presença de um betume mais duro dos materiais fresados que compõem a mistura betuminosa reciclada e por conseguinte menos susceptíveis às deformações permanentes.

A comparação do comportamento às deformações permanentes das misturas betuminosas recicladas com TR=15% e com TR=30% é neste caso menos linear do que na lei de fadiga. Verifica-se que para uma percentagem de betume total de 4,3% (Pbtot=4,3%) a mistura com TR=30% apresenta um melhor comportamento verificando-se a situação inversa para Pbtot=5,1%, isto é, a

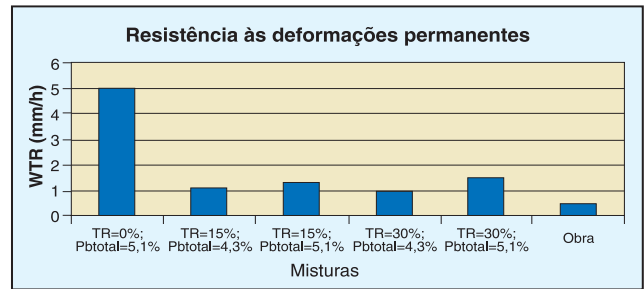


Figura 11 – Comparação dos resultados da resistência às deformações permanentes no ensaio *wheel tracking*

mistura com TR = 15% apresenta um melhor comportamento. No entanto, os valores obtidos para a mesma percentagem em betume são muito próximos, constatando-se que a maior influência no comportamento se deve à presença do material fresado sendo parâmetros menos influentes a quantidade de material fresado ou de betume novo.

Tomando como referência a ordem de grandeza que assumem os valores das propriedades que traduzem o comportamento às deformações permanentes, em particular os valores da mistura sem reciclagem, pode concluir-se que o comportamento às deformações permanentes para TR= 15% e para TR=30% são semelhantes. Por outro lado para cada taxa de reciclagem, tal como seria expectável, o comportamento às deformações permanentes piora com o aumento da percentagem de betume. De qualquer forma esse pior comportamento, em particular para TR= 15%, não é significativo.

O comportamento às deformações permanentes da mistura fabricada em obra é melhor que o comportamento evidenciado por qualquer das misturas fabricadas em laboratório. Este tipo de comportamento está relacionado com o método construtivo em obra (tipos de equipamentos de fabrico, espalhamento e de compactação) e com as condições

Tabela 13 – Comparação dos resultados da resistência às deformações permanentes no ensaio *wheel tracking*

Misturas betuminosas			Profundidade média da rodeira ao fim de 45 min	Índice médio de aumento da profundidade da rodeira, TRm	Índice de deformação, WTR
Fabrico	Taxa de reciclagem	Percentagem de betume total	mm	mm/h	mm/h
Laboratório	0%	5,1%	8,23	4,97	5,00
		4,3%	2,57	1,09	1,10
	15%	5,1%	2,85	1,29	1,30
		4,3%	2,07	0,90	0,91
		5,1%	3,32	1,48	1,49
Obra	15%	4,6%	0,82	0,45	0,46

de aplicação (temperatura), entre outras, bem diferentes das utilizadas em laboratório, que conduzem a um esqueleto mineral e a um desempenho totalmente diferente, quando se trata do comportamento às deformações permanentes.

Foram recuperadas amostras de betume das placas cortadas do pavimento e foram efectuados ensaios de penetração e de temperatura de amolecimento. Os resultados encontram-se na tabela 14.

Conforme se referiu, anteriormente, em projecto considera-se que durante as operações de fabrico e aplicação um betume perde cerca de 35% da sua penetração inicial. Assim, dado que se supõe a utilização de um betume 35/50, a penetração deste betume, após as referidas etapas do seu envelhecimento, deverá ser no mínimo 35% de 35 décimas de milímetros, isto é, 23 décimas de milímetro. Assim conclui-se que a utilização do betume novo 35/50 foi, deste ponto de vista, ajustada.

5. PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DAS MISTURAS BETUMINOSAS RECICLADAS MEDIDAS *IN SITU* COM ENSAIOS DE DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO

A mistura betuminosa reciclada e fabricada em obra foi caracterizada *in situ* em termos de módulo de deformabilidade através de ensaios de carga com o deflectómetro de impacto (*Falling Weight Deflectometer*, na terminologia inglesa). Para a mistura betuminosa reciclada em estudo obteve-se, pelo processo de retro-análise, um módulo de deformabilidade de 9200 MPa para uma temperatura de ensaio de cerca de 24,7 °C. Para comparar este valor com o valor obtido em laboratório sobre os provetes extraídos das placas cortadas do pavimento é necessário converter-se o módulo para a temperatura de ensaio em laboratório.

Para tal recorre-se à expressão de *Ullidtz* e *Peattie* referida em vários documentos entre os quais [4] e que é a seguinte:

$$\frac{E_T}{E_{15}} = 1 - 1,384 \times \log_{10} \left(\frac{T}{15^\circ C} \right) \quad (3)$$

Esta expressão permite obter o módulo de deformabilidade à temperatura de 15°C partindo do seu conhecimento à temperatura T. Para relacionar o módulo de deformabilidade entre duas quaisquer temperaturas esta expressão dá origem à seguinte expressão:

$$E_T = \left(\frac{E_{\text{retro-análise}}}{1 - 1,384 \times \log_{10} \left(\frac{T}{15^\circ C} \right)} \right) \times \left(1 - 1,384 \times \log_{10} \left(\frac{T}{15^\circ C} \right) \right) \quad (4)$$

Onde:

- E_T – Módulo de deformabilidade corrigido para a temperatura T;
- $E_{\text{retro-análise}}$ – Módulo de deformabilidade obtido na retro-análise, para a temperatura existente no pavimento;
- E_{15} – Módulo de deformabilidade à temperatura de 15 °C;
- T – Temperatura à qual se pretende obter o módulo;
- T_{ensaio} – Temperatura do pavimento na altura do ensaio.

A temperatura de ensaio em laboratório foi de 20 °C. Aplicando a expressão anterior, o módulo da mistura betuminosa avaliado com o deflectómetro de impacto dá origem aos valores apresentados na tabela 15.

Conforme se pode verificar na tabela 11 (que resume os módulos de rigidez determinados em laboratório sobre as diversas misturas estudadas) o módulo de rigidez depende da extensão imposta a que o ensaio de flexão de-

Tabela 14 – Características do betume das placas extraídas do pavimento

Ensaio	Procedimento	Valor obtido
Penetração (1/10 mm)	EN 1426	26
Temperatura de amolecimento (°C)	EN 1427	60,9

Tabela 15 – Módulo de deformabilidade da mistura betuminosa reciclada

	Módulo de deformabilidade	
	<i>In situ</i> (Deflectómetro de Impacto)	
	T (°C)	E (MPa)
Temperatura <i>in situ</i>	24,7	9200
Temperatura em laboratório	20,0	10867

corre. As extensões que ocorrem na camada de mistura betuminosa reciclada existente no pavimento no ensaio com o deflectómetro de impacto são diferentes das extensões a que decorreram os ensaios laboratoriais sobre a mesma mistura. Assim, aplicando o programa Bisar 3.0 as extensões de tracção que ocorrem nas camadas betuminosas no ensaio com o deflectómetro de impacto (de acordo com a estrutura do pavimento que se determinou) são as apresentadas na tabela 16.

A extensão mínima ensaiada em laboratório para esta mistura betuminosa foi de 300 $\mu\epsilon$. Assim existe uma diferença assinalável entre as extensões nas quais foram determinados os dois módulos (300 $\mu\epsilon$ e 45 $\mu\epsilon$).

Adoptando os valores médios dos módulos de rigidez dos três provetes ensaiados em cada nível de extensão em laboratório pode traçar-se um gráfico que relacione as grandezas módulo de rigidez e extensão obtendo-se o gráfico da figura 12. A lei que relaciona as duas grandezas é apresentada em [5] e é do seguinte tipo:

$$E(\text{MPa}) = a + \epsilon(\mu\epsilon) \times b \quad (5)$$

No gráfico da figura 12 traçou-se a linha de tendência que melhor definia a relação entre as duas grandezas. Obteve-se a seguinte equação:

$$E(\text{MPa}) = -2,461249x \epsilon(\mu\epsilon) + 8344,937926$$

Utilizando a equação obtida e por extrapolação pode obter-se o módulo de rigidez da mistura para a extensão de 45 $\mu\epsilon$. Note-se que pelo facto de se tratar de uma extra-

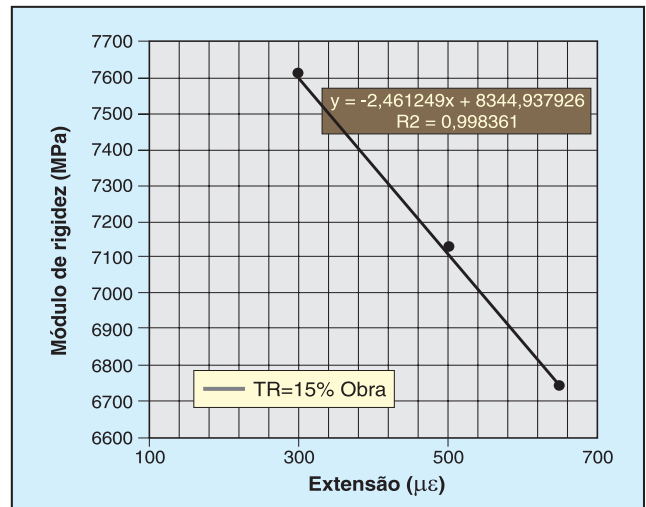


Figura 12 – Relação entre módulo de rigidez e extensão no ensaio laboratorial de flexão em quatro pontos com extensão controlada

polação pode estar a cometer-se um erro, dado que o comportamento da equação à esquerda do último ponto determinado laboratorialmente não se conhece. De qualquer forma, admitindo que o comportamento à esquerda do último ponto (300 $\mu\epsilon$) é idêntico pelo menos até à extensão de 45 $\mu\epsilon$, pode determinar-se os valores que constam do tabela 17.

Conclui-se que, para a mesma extensão, os valores do módulo de rigidez determinado em laboratório (através da extrapolação da recta que define os resultados do ensaio) e no ensaio de carga com o deflectómetro de impacto são significativamente diferentes (8234 MPa em laboratório e 10867 MPa com o deflectómetro de impacto). Estas diferen-

Tabela 16 – Extensões de tracção originadas no ensaio de carga com o deflectómetro de impacto

	Localização do ponto analisado	Extensão de tracção máxima
		($\mu\epsilon$)
Base da camada de mistura betuminosa reciclada	No eixo da carga aplicada no ensaio	45
Base das camadas de misturas betuminosas	No eixo da carga aplicada no ensaio	135

Tabela 17 – Comparação entre os valores obtidos em ensaio laboratorial e a linha de tendência que relaciona o módulo de rigidez e a extensão de tracção

Extensão ($\mu\epsilon$)	Módulo de rigidez (MPa)	
	Valor medido	Linha de tendência
650	6742	6745
500	7127	7114
380	7389	7410
300	7617	7607
45	-	8234

ças poderão ser explicadas pelas diferenças inerentes aos próprios ensaios, em termos de dimensões dos provetes e de condições de tempo de carga e de temperatura, mas principalmente às diferentes condições de fundação e de confinamento provocadas pelas várias camadas do pavimento.

De facto, no ensaio com o deflectómetro de impacto as camadas ensaiadas estão totalmente apoiadas nas camadas subjacentes e são de dimensão horizontal, que para interpretação do ensaio, se pode dizer infinita. A solicitação aplicada consiste em deixar cair uma massa de uma determinada altura de queda sendo a carga transmitida ao pavimento por uma placa de carga circular. A interpretação dos resultados do ensaio *in situ* com o deflectómetro de impacto para obtenção dos módulos de deformabilidade utiliza um modelo de camadas horizontais, homogéneas, isotrópicas e cujos materiais apresentam comportamentos elásticos lineares aplicando uma carga estática de valor igual ao pico do ensaio numa área circular. Este modelo consiste numa simplificação da realidade do próprio ensaio e da estrutura a ensaiar. Em laboratório os provetes são de dimensões muito mais reduzidas e o confinamento e a solicitação que lhes são aplicados são muito diferentes. Os provetes estão fixos nas extremidades e a solicitação de natureza sinusoidal é aplicada em dois pontos centrais (ensaio de flexão em 4 pontos em extensão controlada).

6. CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos neste trabalho conclui-se que as misturas betuminosas com reciclagem estudadas possuem uma qualidade e propriedades mecânicas pelo menos não inferiores à da mistura betuminosa convencional estudada.

Os estudos fundamentais efectuados permitiram concluir que apesar de as misturas betuminosas recicladas não cumprirem o caderno de encargos relativamente a alguns critérios habituais, tal facto não se traduziu num deficiente comportamento ao nível dos ensaios que determinaram as propriedades fundamentais.

O módulo de rigidez foi avaliado em laboratório sobre as misturas betuminosas fabricadas em laboratório e sobre a mistura betuminosa fabricada em obra e foi avaliado *in situ* sobre a mistura fabricada em obra.

As misturas betuminosas fabricadas em laboratório permitiram verificar que de forma geral o módulo de rigidez das misturas recicladas é superior ao módulo da mistu-

ra tradicional. Para a mesma taxa de reciclagem (15%), comparando o módulo de rigidez avaliado em laboratório sobre as misturas fabricadas em laboratório e para a mistura fabricada em obra verifica-se que são idênticos. Em relação à comparação dos módulos de rigidez avaliados em laboratório e *in situ* sobre a mistura betuminosa reciclada fabricada na obra verifica-se que a avaliação *in situ* conduziu a um módulo de rigidez superior. Tal facto poderá dever-se às diferenças inerentes às condições dos ensaios. Em todo o caso os módulos de rigidez obtidos são bastante elevados.

As misturas betuminosas recicladas apresentam uma rigidez elevada, mas que não se reflecte numa fragilização que conduza a uma menor resistência à fadiga. Aliás a generalidade das misturas recicladas revelou melhor comportamento à fadiga que a mistura betuminosa tradicional (exceptuando a mistura betuminosa reciclada com TR=30% e Pbtot=4,3%).

Em relação ao comportamento às deformações permanentes as misturas betuminosas recicladas apresentam um comportamento muito idêntico entre si mas claramente melhor que a mistura betuminosa tradicional. A presença de um betume mais duro proveniente das misturas fresadas poderá explicar este facto.

Apesar dos agregados das misturas betuminosas fresadas estarem protegidos pela película de betume envelhecido, a protecção relativamente à humidade e ao calor das pilhas que constituem o stock constatou-se ser crucial. Assim, apesar da humidade superficial das pilhas dos stocks rapidamente evaporar, à medida que se vai entrando para dentro da pilha a humidade fica aí retida não evaporando devido à acção nociva do material sobrejacente. Para além de se prepararem stocks de pequena altura e estruturados de forma a poderem ser individualizados em stocks homogéneos, a protecção da humidade e do calor deverá ser acautelada.

Quando o funcionamento da central betuminosa em termos de aquecimento das misturas fresadas consistir, à semelhança da central utilizada neste trabalho, num aquecimento por contacto com os agregados novos e com o betume novo previamente aquecido, a humidade das misturas betuminosas fresadas a introduzir na mistura assume efeitos negativos de particular importância, dado que, para além de poder influenciar a dosificação (dependendo do sistema de dosificação da central) prejudica gravemente a produção da central. Tal acontece porque os materiais quentes para além de aquecerem as misturas fresadas têm de secá-las diminuindo drasticamente a temperatura e/ou a

capacidade de produção da central. Acresce ainda que a secagem das misturas fresadas diminui ainda a vida das mangas filtrantes da central.

A mistura betuminosa reciclada a quente fabricada em obra possuiu um comportamento idêntico às misturas

fabricadas em laboratório validando assim todo o processo laboratorial que foi efectuado e permitindo que se possa concluir que as misturas com reciclagem a quente são possíveis de produzir industrialmente e não só em laboratório, onde o processo por natureza é mais cuidado e controlado.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Gomes L. – “Reciclagem de misturas betuminosas a quente em central”. Dissertação apresentada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de Mestre em Vias de Comunicação. Fevereiro, 2005.
- [2] Brisa – “Empreitada para as obras de beneficiação/reforço do pavimento, no sublanço Aveiro (sul) / Albergaria da A1 – Auto-Estrada do Norte”. 2003.
- [3] Azevedo M.C., Cardoso M. – “Reciclagem a quente em central betuminosa”. *II Jornadas Técnicas de Pavimentos Rodoviários – Reciclagem de Pavimentos*. Maio, 2003.
- [4] Jacinto M. – “Caracterização estrutural de pavimentos”. Dissertação apresentada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de Mestre em Vias de Comunicação. 2003.
- [5] Teixeira A. – “Caracterização da resistência à fadiga de misturas betuminosas em equipamento servopneumático”. Dissertação apresentada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de Mestre em Vias de Comunicação. 2000.
- [6] PIARC – “Recycling of Existing Flexible Pavements”. World Road Association. 2001.
- [7] PIARC – “Guideline Hot Mix Asphalt Recycling in Plant”. World Road Association. 2002.
- [8] Batista F. et al. – “Reutilização de materiais betuminosos fresados na reabilitação de pavimentos”. *1º Congresso Rodoviário Português*. Vol. II, 2000, pp. 689-702.
- [9] Picado-Santos L. – “Reciclagem de pavimentos rodoviários”. *Seminário de Engenharia Rodoviária*. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Politécnico de Viseu. Maio, 2003, pp. 35-48.

Engenharia Ambiental




ENGENHARIA: Construção Civil, Reformas, Regularização do Imóvel, Cálculo Estrutural, Projeto ...

ARQUITETURA & PAISAGISMO: Designer de Interiores, Piscinas, Cascatas, Rios e Lagos artificiais, Feng Shui, Jardim de Inverno, Jardim Histórico, Jardins Escalonados, Jardins em Escolas, Academias ...

MEIO AMBIENTE: Levantamento Ambiental, Recuperação de Áreas Degradadas, Agroflorestas, Reflorestamento, Cartografia...

Endereço: Rua Prefeito Silva Costa – 78 – Itaboraí – RJ
Tel.: 21 3637 0184
Site em construção

PRESERVE A VIDA, RECICLE 

Responsabilidade ambiental em primeiro lugar

Estudo do efeito da estocagem nas propriedades do asfalto borracha e a influência do método de ensaio na determinação da viscosidade a altas temperaturas

Luis Alberto Herrmann do Nascimento

luisnascimento@petrobras.com.br

Leni Figueiredo Mathias Leite

leniml@petrobras.com.br

RESUMO

Dado o crescimento da produção de asfalto borracha tipo terminal blending no Brasil, se torna importante compreender o seu comportamento durante a estocagem – fato que é muito discutido atualmente, e também estabelecer técnicas para medição de sua viscosidade aparente, que muitas vezes tem sido medida de maneira inadequada. Foi simulada em laboratório a estocagem do produto a 135, 155 e 175°C, durante 192 horas, monitorando as suas propriedades durante o processo. Além disso, foram feitas medidas de viscosidade aparente utilizando as metodologias ASTM D 2196 e ASTM D 4402, em diferentes tipos de asfalto. As propriedades do asfalto borracha durante a estocagem, nas temperaturas e tempo referidos, em geral indicaram um aumento da consistência do ligante, melhorando suas características para emprego na pavimentação. Já as medidas de viscosidade aparente mostraram que a metodologia ASTM D 4402 não é a mais adequada para o asfalto borracha.

ABSTRACT

With the increase of terminal blending asphalt rubber production in Brazil, it becomes important to understand the binder behavior during the storage – fact that has been very discussed recently, and to establish techniques for measurement of asphalt rubber apparent viscosity as well, that for several times it has been measured in an inadequate way. It was simulated at laboratory the product storage at 135, 155 and 175°C, during 192 hours, monitoring its properties during the storage process. Besides, it was made determination of apparent viscosity using the methodologies ASTM D 2196 and ASTM D 4402, in different asphalts. The properties of the asphalt rubber during the storage, indicated an increase of the consistence of the binder, improving its characteristics for paving applications. On the other hand, apparent viscosity determination showed that the methodology ASTM D 4402 is not appropriate for the asphalt rubber viscosity measurements.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos quatro anos, o uso de asfalto borracha tipo terminal blending, produzido no Brasil pela Petrobras Distribuidora e Greca Asfaltos, tem tido um crescimento grande se comparado aos demais asfaltos modificados por polímeros. No entanto, ainda não existem normas brasilei-

ras para este ligante asfáltico nem para os serviços de pavimentação nos quais ele tem sido empregado: misturas betuminosas densas, descontínuas gap-graded ou Stone Matrix Asphalt (SMA) e camada porosa de atrito (CPA). As aplicações atuais se baseiam em metodologias adaptadas das especificações norte-americanas. O Departamento de Estradas do Estado do Paraná (DER-PR) está constituindo

uma norma de serviço para misturas densas, enquanto que a Comissão de asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP) está desenvolvendo especificações de ligantes de asfalto borracha para misturas densas e descontínuas.

Tendo em vista a falta de subsídios para o estabelecimento dessas novas especificações, este trabalho busca identificar parâmetros relativos à estocagem do ligante e, também, ao método para determinação de sua viscosidade a 175°C, fatores os quais vêm acumulando discussões entre clientes e fabricantes, e que são fundamentais para garantir o bom desempenho do produto.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Processos de produção do asfalto borracha *terminal blending*

Existem várias tecnologias para a produção do asfalto borracha via úmida, cujas patentes estão listadas na Tabela 1 (Byron, 1995). O processo úmido de incorporação de borracha moída de pneu pode empregar a técnica de mistura em batelada no terminal (*terminal blending*) ou contínua em campo (*continuous blending*). A primeira patente de asfalto borracha registrada foi desenvolvida por McDonald e consistia de um processo de mistura em batelada com borracha fina (80 mesh – 0,18mm) com teores de 3 a 15%. No entanto, o processo

Tabela 1 – Tecnologias patenteadas de processo de incorporação de borracha de pneu via úmida

Mistura contínua – <i>continuous blending</i>		
Autor/Empresa	Ano	Local
McDonald	1960	Estados Unidos
McDonald (Reação por pressão)	1990	Estados Unidos
Mistura por batelada – <i>terminal blending</i>		
Autor/Empresa	Ano	Local
Flexochape	1986	França
Rouse Rubber	1989	Estados Unidos
Ecoflex	1992	Canadá
Neste	1992	Estados Unidos
HESP	1997	Canadá
FWHA	1998	Estados Unidos (Memom)
Creanova	1999	Estados Unidos
Firestone	2002	Canadá
Petrobras	2003	Brasil
Kim	2005	Koreia

evoluiu e atualmente emprega-se 18 a 25% de borracha com granulometria mais grossa (10 a 20 mesh – 2,0 a 0,85mm) e tempo de mistura de 45 minutos a temperaturas na faixa de 190 a 205°C.

A tecnologia de reação por pressão, também desenvolvida por McDonald, envolve a pré-mistura da borracha moída de pneu em cimento asfáltico quente, seguida de um tratamento num sistema de reação por pressão por no máximo 15 minutos. Contudo, na década de 1990, a tecnologia de mistura contínua tomou vulto devido ao emprego de borracha mais fina, que permite menores tempos de mistura (menos de 15 minutos), a temperaturas entre 150 e 177°C e estocagem de quatro dias ou mais, dependendo do sistema de agitação disponível.

O processo *terminal blending* leva à produção de asfalto borracha estocável ou semi-estocável, que atende às especificações SUPERPAVE, apresentando, em geral, os graus de desempenho de PG 70 a PG 82-22, atendendo também às especificações do *Florida Department of Transportation* (FDOT), apresentadas na Tabela 2. O asfalto borracha *terminal blending* é constituído de pelo menos 5% de borracha de pneu moído, podendo conter até 20%,

Tabela 2 – Especificações de asfalto borracha *terminal blending* e *continuous blending* do FDOT

Tipo de ligante	ARB 5	ARB 12	ARB 20
Tipo de borracha	A (ou B)	B (ou A)	C (ou B ou A)
Teor mínimo de borracha, %	5	12	20
<i>Performance Grade</i>	PG 67-22	PG 67-22	PG 64-22
Temperatura mínima, °C	150	150	170
Temperatura máxima, °C	170	175	190
Tempo de reação, min	10	15 (tipo B)	30 (tipo C)
Viscosidade rotacional mínima (FM 5-548), cP	400 (150°C)	1000 (150°C)	1500 (175°C)

compatibilizantes e aditivos em sua composição. Nesta incorporação, ocorre a despolimerização e a desvulcanização da borracha de pneu e a posterior incorporação química de oligômeros da borracha no ligante asfáltico, aumentando seu tamanho molecular. O Flexochape, por exemplo, é constituído de 85 a 90% de CAP 180/220, 8 a 12% de borracha de pneu moído e 2 a 3% de aditivos (óleos e polímeros sintéticos). Já o Ecoflex é composto de 10% de borracha de pneu moído, 88 a 90 % de CAP e até 2% de aditivos (PIARC 1998). Memon (1998) empregou aditivos geradores de íons-carbono capazes de gerar campos oxi-

genados na superfície das partículas de borracha que interagem com grupos funcionais do asfalto.

2.2. Estabilidade à estocagem de asfalto borracha *terminal blending*

Na Florida, houve um estudo realizado para o FDOT (Byron, 1992), na Interstate 95, com objetivo de verificar a viabilidade operacional do conceito *terminal blending* de produção de asfalto borracha via úmida. A viabilidade deste tipo de asfalto significa economia de tempo e custo, com garantia da qualidade, permitindo que o produto misturado num terminal possa atender vários canteiros de obra ao mesmo tempo.

Na época já se acreditava que o produto *terminal blending* teria uniformidade e qualidade. Os estudos foram feitos no terminal Pensacola, da Rouse Rubber, sendo o produto estocado amostrado diariamente e analisado quanto à viscosidade a 175°C, ponto de amolecimento e resiliência por um período de 4 dias. A temperatura de armazenagem foi monitorada durante o teste.

A Tabela 3 mostra a evolução da viscosidade por um período de 96 horas. A viscosidade foi medida utilizando-se o viscosímetro rotacional Viscotester com rotor 3. A temperatura do tanque variou de 140 a 175°C. Não se verificou amolecimento nem degradação do asfalto borracha durante este período, sendo observado um leve enrijecimento do produto, através dos ensaios de ponto de amolecimento e resiliência em maiores tempos de estoca-

gem. Alguns pesquisadores observaram que se a estocagem for mantida acima de 175°C, pode ocorrer degradação do asfalto borracha. Este teste mostrou que não existem problemas associados à mistura, estocagem e transporte de asfalto borracha. No entanto, estocagem a temperatura acima 175°C não deve ser realizada para evitar degradação da borracha. Sistemas de agitação e/ou circulação são essenciais para evitar que durante a estocagem não haja separação (sedimentação) da borracha.

A tecnologia de fabricação Flexochape efetua a modificação do ligante a 180°C e após duas horas da manufatura, para bloquear a cinética de desvulcanização da borracha, a temperatura é reduzida a 160°C e a estocagem é mantida nesta temperatura por até uma semana (Sainton, 1988). Este asfalto borracha é composto por 81,5% de ligante base com penetração 80/100, 10% de borracha de pneu moído, 6% de óleo compatilizante e 2,5% de catalisador. Foi efetuado estudo de estocagem por 6 dias a 160°C, estando a variação da viscosidade, determinada a 160 e 180°C, apresentada na Figura 1. Não foi verificada degradação do asfalto modificado em relação à viscosidade e o ponto de amolecimento aumentou de 65°C para valores de 74°C, conforme a Figura 2.

A estabilidade à estocagem do asfalto borracha é uma propriedade muito importante a altas temperaturas. O efeito observado na Figura 3 reflete um aumento contínuo da viscosidade rotacional. Conforme as variáveis da figura, este aumento é função da natureza do ligante e do

Tabela 3 – Resultados do teste de estabilidade à estocagem de asfalto borracha *terminal blending* na Florida: ligante com 12% de borracha moída

Tempo, h	Dip-n-read viscosity, cP	Temperatura da Amostra, °C	Temperatura do tanque, °C	Teste de Laboratório	
				Ponto de Amolecimento, °C	Resiliência, %
0,25	390	149	163	58,3	8,7
0,50	390	146	160	58,3	8,8
0,75	420	143	163	58,3	9,3
1,00	430	146	159	57,8	9,7
2,00	480	141	161	59,4	10,0
4,00	610	139	153	58,3	10,0
24	830	132	141	59,4	14,1
48	630	141	156	60,0	18,7
72	690	141	154	61,7	20,2
96	760	139	152	62,8	24,5

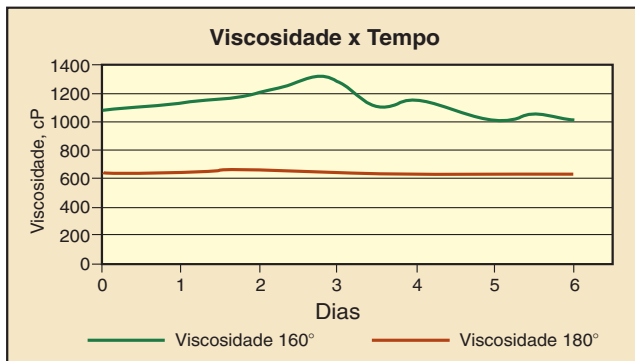


Figura 1: Variação da viscosidade durante a estocagem de 6 dias do asfalto borracha Flexochape a 160°C

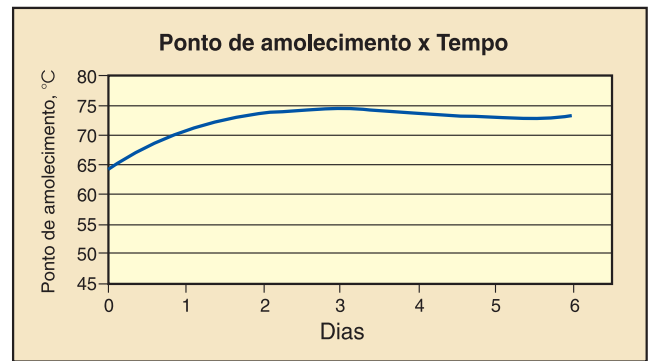


Figura 2: Variação do ponto de amolecimento durante a estocagem de 6 dias do asfalto borracha Flexochape a 160°C

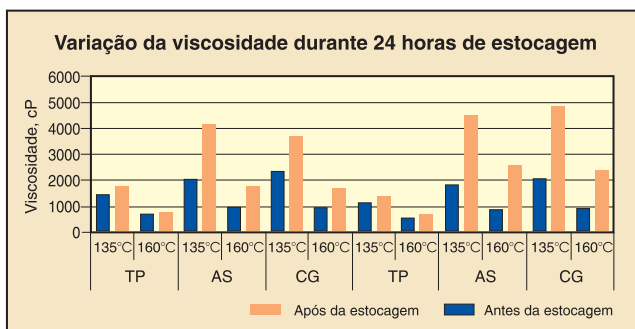


Figura 3: Viscosidade rotacional do asfalto borracha a 135 e 160°C, antes e após estocagem por 24 horas, de dois tipos de ligante base (A e B), misturados com três tipos de borracha (TP, AS e CG)

Tabela 4 – Composição química dos ligantes da Figura 3

Componentes	Asfalto	
	A	B
% Asfaltenos	16,2	5,0
% P. Aromáticos	36,0	51,0
% N. Aromáticos	36,1	35,3
% Saturados	11,4	6,6

tipo de borracha, o que pôde ser verificado na variação da viscosidade, tanto a 135°C como a 160°C. A composição química dos ligantes A e B estão apresentados na Tabela 4. Para uma das borrachas, o efeito da estocagem foi não significativo, mas para as outras duas o efeito foi bastante significativo (Bahia, 1994).

Em Portugal, foram efetuados estudos sobre a influência da estocagem nas propriedades do ligante asfalto borracha. Em 2000 e 2003 foi verificado que grandes tempos de digestão (acima de 150 minutos) e que longos períodos de estocagem do ligante (mais que cinco dias a 130°C com remistura e aquecimento a 180°C) podem

levar a problemas de deformação permanente, degradação da viscosidade e redução da resiliência (Antunes, 2000 e 2003). No entanto, a estocagem por um dia não afeta as propriedades do asfalto borracha.

2.3. Viscosidade aparente do asfalto borracha

2.3.1. Definição de viscosidade

O modelo placa-placa, ilustrado na Figura 4, é usado para definir alguns parâmetros reológicos fundamentais dos fluidos. A placa superior com área A é movida por uma força F e a velocidade resultante v é medida. A placa inferior é estática ($v = 0$). O comprimento h é a distância entre as duas placas (*gap*). Com isso, a amostra fluida é cisalhada neste *gap*. A seguintes condições devem ser consideradas:

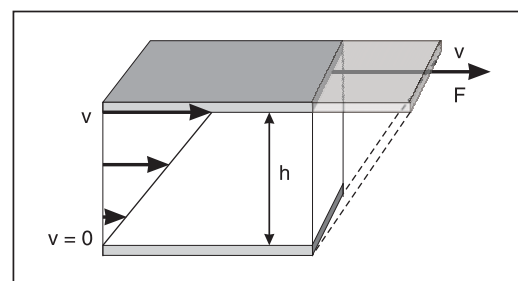


Figura 4: Esquematização do modelo placa-placa

- A amostra está aderida em ambas placas e não escorrega ao longo delas, e
- O escoamento resultante é laminar, em forma de camadas.

O cálculo exato dos parâmetros reológicos é possível apenas quando ambas condições são atendidas. Caso contrário, ocorrerá um escoamento turbulento. Observando-se a Figura 4, podemos definir dois parâmetros fundamentais para o entendimento do escoamento dos fluidos:

a. Tensão de cisalhamento: $\tau = F / A$, expressa em Pascal (Pa)

b. Taxa de cisalhamento: $\dot{\gamma} = v / h$, expressa em s^{-1}

Em todos os fluidos, existem forças friccionais entre as moléculas que fazem com que eles apresentem uma certa resistência ao escoamento, que pode ser medida e chamada de viscosidade.

A viscosidade cisalhante, ou dinâmica, é obtida quando um fluido ideal a temperatura constante, apresenta a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento constante, independente da taxa de cisalhamento que está sendo aplicada. Ou seja:

c. Viscosidade dinâmica: $\eta = \tau / \dot{\gamma}$, expressa em Pascalsegundos (Pa.s) ou Poise (P), sendo que $1 \text{ Pa.s} = 10 \text{ P}$.

A viscosidade dinâmica de um fluido ideal, ou newtoniano, é independente do grau e da duração da força cisalhante, ou seja, em qualquer taxa de cisalhamento a viscosidade terá o mesmo valor, conforme ilustrado na Figura 5. A viscosidade cinemática, definida como a razão entre a viscosidade dinâmica sobre a densidade de um fluido ideal, é medida usando-se outras técnicas, tais como viscosímetros Saybolt ou capilares, além de outros. Contudo, se o fluido não for ideal, ou não-newtoniano, a viscosidade cinemática se torna inadequada.

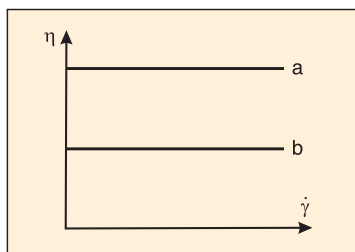


Figura 5: Viscosidade de dois fluidos newtonianos: independente da taxa de cisalhamento

O escoamento do asfalto borracha a altas temperaturas tem um comportamento não-newtoniano pseudoplástico. Com isso, a sua viscosidade dinâmica é dependente do grau de cisalhamento, ou seja, a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento varia conforme a taxa de cisalhamento aplicada. Para cada taxa de cisalhamento teremos uma “viscosidade aparente” (viscosidade dinâmica para aquela taxa de cisalhamento), deixando claro, desta maneira, que a viscosidade não é constante com a variação da taxa de cisalhamento, igualmente, à dos fluidos ideais. A Figura 6 ilustra o comportamento da viscosidade de fluidos pseudoplásticos em função da taxa de cisalhamento.

Nos fluidos pseudoplásticos, a viscosidade decresce com o aumento da taxa de cisalhamento, devido à desagregação das associações moleculares e orientação no sentido da força cisalhante quando a amostra é submetida ao cisalhamento, conforme ilustrado na Figura 7.

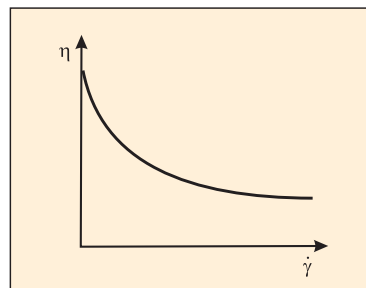


Figura 6: Variação da viscosidade dinâmica de fluidos pseudoplásticos em função da taxa de cisalhamento

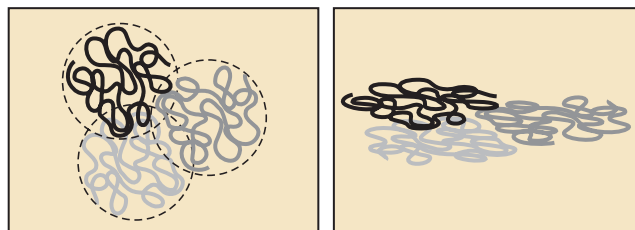


Figura 7: Na esquerda: uma amostra pseudoplástica em repouso; na direita: a mesma amostra durante o cisalhamento

2.3.2. Viscosidade rotacional x asfalto borracha

Existem algumas limitações da geometria do viscosímetro rotacional cilindro/cilindro para medidas de viscosidade de ligantes asfalto borracha que são semi-compatíveis, ou seja, que apresentam partículas de borracha inchadas em suspensão, podendo precipitar e/ou se apresentar heterogêneas (Schramm, 1994):

- A influência do tamanho do gap entre os dois cilindros tem influência na precisão da medida de viscosidade de fluidos não-newtonianos. Se houver sedimentação de partículas, ocorre modificação na homogeneidade da dispersão levando a variações de viscosidade dependentes do tempo;
- A presença de partículas grandes no espaço anular dos cilindros pode levar a estagnação, impedindo o cisalhamento, levando a deformações não uniformes da amostra dentro do gap.

Os modelos estatísticos indicam que a teoria dos estudos de escoamento de materiais compósitos particulados ou filerizados subestimam a medida do aumento da visco-

sidade. Os modelos mais empregados são os da equação de Einstein (Bahia, 1995):

$$VR = 1 + 2,5V_f,$$

E o da equação de Mooney:

$$\ln(VR) = 2,5V_f / (1 - V_f / (1 - V_f))$$

onde V_f é a concentração volumétrica do filer e VR é a razão da viscosidade.


Por exemplo, para um asfalto borracha com 15% de teor de borracha moída, assumindo que a massa específica da borracha e do ligante asfáltico seja aproximadamente a mesma, a equação de Einstein fornece uma estimativa de VR de 1,375 e a equação de Mooney estima VR de 1,58, que são bem menores que as razões de viscosidade realmente observadas entre asfalto borracha e asfalto virgem, que são normalmente na faixa 8 a 11 para o referido teor, após uma hora de mistura.

A subestimativa da viscosidade destes compósitos indica que a interação entre o asfalto e a borracha não é inerte. Para aumentar significativamente a viscosidade, deve ocorrer um fenômeno de interação que não somente aumenta o volume efetivo das partículas da borracha (inchamento), mas também modifica a natureza da matriz asfáltica. Os modelos lineares estimam que o aumento de viscosidade da mistura asfalto borracha é da ordem

de 12 a 17% para cada percentual unitário do teor de borracha adicionado.

Dificuldades foram encontradas na medida de viscosidade de certas amostras de asfalto com altos teores de borracha, devido à reação que ocorre a alta temperatura, tanto em borrachas obtidas por moagem mecânica como moagem criogênica. Verificou-se o aumento exponencial da viscosidade com o teor de borracha, sendo que a temperatura tem efeito estatisticamente significativo nesse aumento. O teor de borracha, no entanto, é mais significativo que a temperatura e independente dela.

A especificação de asfalto borracha ASTM D 6114, cujo quadro principal está apresentado na Figura 8, informa que as partículas discretas de borracha no ligante podem influenciar os testes e os resultados; e pode aumentar as variações das medidas. Com isso, réplicas adicionais devem ser preparadas e repetidas. A precisão do respectivo teste não foi determinada e pode variar de acordo com a formulação do asfalto borracha. A especificação recomenda, ainda, agitar a amostra imediatamente antes da determinação da viscosidade através de uma espátula, para dispersar as partículas de borracha dentro do ligante. As partículas podem flutuar ou sedimentar, assim sendo, é importante que as amostras sejam testadas imediatamente após a agitação. Para medição da viscosidade aparente, a especificação ASTM D 6114 pro-

 D 6114				
TABLE 1 Physical Requirements for Asphalt-Rubber Binder				
Binder Designation ^A		Type I	Type II	Type III
Apparent Viscosity, 175°C (347°F):cP	min	1500	1500	1500
Modified Test Method D 2196, Method A, (see 5.4)B,C	max	5000	5000	5000
Penetration, 25°C (77°F) 100g, 5 s:	min	25	25	50
V10 mm (Test Method D 5)	max	75	75	100
Penetration, 4°C (39,2°F), 200g, 60 s:				
1/10 mm (Test Method D 5)	min	10	15	25
Softening Point: °C (°F)	min	57.2	54.4	51.7
(Test Method D 36)		(135)	(130)	(125)
Resilience, 25°C (77°F): %				
(Test Method D 5329)	min	25	20	10
Flash Point °C (°F)	min	232.2	232.2	232.2
(Test Method D 93)		(450)	(450)	(450)
Thin-Film Oven Test Residue (Test Method D 1754) ^D
Penetration Retention, 4°C (39,2°F): % of original (Test Method D 5)	min	75	75	75

^A See Appendix for recommended climate guidelines for usage.
^B Either digital or dial reading Brookfield viscometers may be used - record peak measurement. For LV series models, use spindle 3 at 12 rpm. For RV and HA series models, use spindle 3 at 20 rpm.
^C Rion or Haake-type high range rotational viscometers may also be used (with Rotor No. 1) when correlated with Brookfield measurements, as may other rotational viscometers. However Brookfield shall be the referee method.
^D RTFO Residue (See Test Method D 2872) may be substituted for TFOT Residue, except TFOT shall be the referee method in cases of dispute.

Figura 8: Quadro principal da especificação ASTM D 6114 para asfalto borracha

põe a metodologia ASTM D 2196, que se refere à determinação da viscosidade aparente rotacional e propriedades pseudoplásticas e tixotrópicas de materiais não-newtonianos, ao invés da ASTM D 4402, que emprega a geometria cilindro/cilindro, com *gaps* relativamente pequenos para o asfalto borracha e aquecimento em câmara de temperatura controlada, que impede a agitação da amostra previamente ao ensaio.

A metodologia ASTM D 2196 prevê a realização do ensaio num copo de Becker com diâmetro interno de 85mm, permitindo a agitação imediatamente antes de começar a determinação da viscosidade. Além do que, emprega *spindles* em formato de disco com grandes *gaps*, aumentando assim a precisão das determinações, já que desta maneira as partículas de borracha não interferem significativamente na formação do escoamento desejado para a medição. No caso de utilização do viscosímetro Brookfield RV, o método indica a utilização do *spindle* RV-3 na rotação de 20 RPM, enquanto que para o LV, indica *spindle* LV-3 e 12 RPM.

Silvrano apresentou um modelo obtido com a utilização de redes neurais artificiais – RNA, para a previsão da viscosidade aparente rotacional de asfaltos modificados com borracha produzidos pelo processo úmido, a partir das principais variáveis do processo de fabricação: granulometria e porcentagem de borracha granulada; tempo e temperatura de mistura; e tipo de ligante asfáltico virgem utilizado. O treinamento da RNA e a validação do modelo proposto foram feitos com base nos resultados de uma série de ensaios de viscosidade rotacional com o equipamento Brookfield com câmara de temperatura (Termosel). Estes ensaios foram realizados conforme metodologia ASTM D 4402, empregando *spindle* SC4-27 e rotação de 20 RPM, ocasionando uma taxa de cisalhamento de $6,8 \text{ s}^{-1}$ (Dantas, 2004).

Leite, em sua dissertação, efetuou as medidas de viscosidade de asfalto borracha a 175°C , usando o método ASTM D 4402, com *spindle* SC4-27 a 20 RPM. A norma SUPERPAVE recomenda o uso de *spindle* SC4-27 ou 21 para asfaltos não-modificados e aconselha consultar o fabricante do viscosímetro para escolha do par *spindle* – rotação no caso de ligantes modificados (Asphalt Institute, 1994).

Takallou estudou as propriedades viscoelásticas do asfalto borracha, efetuando as medidas de viscosidade

a 175°C segundo método ASTM D 4402, com *spindle* SC4-27 a 20 RPM (Takallou, 2003).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Diante dos objetivos do trabalho e considerando os fundamentos teóricos abordados nos itens anteriores, este estudo foi dividido nas seguintes etapas:

- a. Avaliação em laboratório do efeito da estocagem do asfalto borracha *terminal blending*;
- b. Estudo do método de determinação da viscosidade aparente em altas temperaturas.

3.1. Avaliação em laboratório do efeito da estocagem do asfalto borracha *terminal blending*

Geralmente, imediatamente após produzido, o asfalto borracha *terminal blending* é colocado em caminhão transportador para ser levado até o canteiro de obras. Na usina, ele é armazenado por poucas horas em tanques com agitação, previamente ao preparo da mistura asfáltica. Em alguns casos, quando a usina não dispõe de tanques com agitação adequados para o asfalto borracha, o próprio caminhão transportador serve de “pulmão” para a usinagem.

Freqüentemente, principalmente quando o tempo de transporte é grande (maior que um dia), a estocagem do asfalto borracha se dá em sua maior parte no tanque do caminhão transportador. Claro que é importante considerar que algumas vezes, após a transferência do ligante para o sistema de armazenamento da usina, o produto pode ficar estocado por várias horas, em virtude de fatores climáticos, períodos de folga, problemas na preparação da superfície de aplicação ou na usina, etc...

Sob o ponto de vista de condicionamento, as duas principais variáveis de estocagem do asfalto borracha são temperatura e agitação. Com isso, para a avaliação do efeito da estocagem em laboratório, buscou-se simular o mesmo condicionamento que o ligante se submete quando transportado.

Para tal, utilizou-se um vaso de reação de vidro, onde eram colocadas as amostras de ligante (cerca de 1000 gramas). Para aplicação precisa das temperaturas de estocagem, o vaso era colocado em estufa de ensaio de efeito de calor e ar (ECA), adaptada para proceder à estocagem do ligante por longos períodos. A leitura da temperatura de estocagem da amostra foi feita com um sensor tipo “PT100”, inserido no interior do vaso. A agitação da amostra foi obtida com o uso de um motor misturador colo-

cado na parte superior da estufa (externa), sendo que a sua haste pôde ser inserida no vaso de reação através de um furo existente na carcaça da estufa, geralmente utilizado para o ensaio ECA.

O tempo de estocagem de cada amostra foi de 192 horas (8 dias). Foram feitas estocagens a 135, 155 e 175°C, todas elas com o misturador numa rotação de 100 RPM, visando obter uma condição de cisalhamento semelhante à de transporte no caminhão. Para análise do efeito da estocagem em função do tempo, foram coletadas amostras parciais a cada 48 horas, na quais foram feitas as determinações do ponto de amolecimento (ASTM D 36), viscosidade Brookfield (ASTM D 4402) e resiliência a 25°C (ASTM D 5329).

3.2. Estudo do método de determinação da viscosidade aparente em altas temperaturas

Nesta etapa, foram avaliados os valores da viscosidade aparente do asfalto borracha, obtidos de diferentes geometrias, taxas de cisalhamento e metodologia. Para tal, foi utilizado um viscosímetro rotacional Brookfield RV DV-II, com diferentes *spindles* em diversas rotações, conforme apresentado na Tabela 5, onde são mostradas, também, as respectivas taxas de cisalhamento.

Além do asfalto borracha, nas mesmas condições foram avaliadas amostras de asfalto modificado por polímero EVA – 7% (AMP EVA) e asfalto convencional (CAP 20). A análise do AMP EVA deve-se ao fato deste ligante também ter comportamento pseudoplástico, sendo utilizado como piloto. É um produto estável e sem partículas discretas em

suspensão, propriedades as quais o tornam mais adequado que o asfalto borracha para a medição da viscosidade aparente segundo ASTM D 4402 (Termosel).

O CAP 20, em altas temperaturas, tem o comportamento newtoniano. Com isso, independentemente da taxa de cisalhamento aplicada durante a medição da viscosidade, esta deverá ter sempre o mesmo valor. Com isso, este ligante foi utilizado para verificação da resposta dada pelo equipamento em cada configuração, além de servir como referência.

As viscosidades do asfalto borracha e do AMP EVA foram determinadas sempre a 175°C, enquanto que as do CAP 20 foram determinadas a 135°C.

3.3. Amostras utilizadas no trabalho

No estudo, foi utilizado um total seis amostras de asfalto borracha *terminal blending*, uma amostra de asfalto modificado por polímero EVA – 7% e um ligante convencional CAP 20. A avaliação do efeito da estocagem (item 3.1) foi feita apenas em duas amostras de asfalto borracha e para o estudo da viscosidade todas as amostras foram utilizadas. A Tabela 6 discrimina as amostras utilizadas nesta pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Avaliação em laboratório do efeito da estocagem do asfalto borracha *terminal blending*

Os resultados das avaliações da estocagem estão expressos na Tabela 7. Estão também as avaliações feitas na amostra antes da estocagem (tempo zero).

Tabela 5 – *Spindles*, rotações e taxas de cisalhamento utilizados no estudo

Número	<i>Spindle</i>		Rotação, RPM	Taxa de cisalhamento, s ⁻¹	Recipiente	Método
	Altura	Diâmetro				
SC4-21	31,24	16,76	2	1,86	Termosel	ASTM D 4402
			7,5	6,97		
			20	18,60		
SC4-27	33,02	11,76	6	2,04	Termosel	ASTM D 4402
			20	6,80		
			50	17,00		
SC4-31	25,15	11,76	6	2,04	Termosel	ASTM D 4402
			20	6,80		
			50	17,00		
RV-3	1,65	34,69	20	–	Copo de Becker	ASTM D 2196

Tabela 6 – Discriminação das amostras de ligante asfáltico utilizadas na pesquisa

Identificação	Descrição
AB-1	asfalto borracha <i>terminal blending</i> – coletado no terminal
AB-2	asfalto borracha <i>terminal blending</i> – coletado na usina
AB-3	asfalto borracha <i>terminal blending</i> – coletado no terminal
AB-4	asfalto borracha <i>terminal blending</i> – coletado na usina
AB-5	asfalto borracha <i>terminal blending</i> – coletado no terminal
AB-6	asfalto borracha <i>terminal blending</i> – coletado na usina
AMP EVA	asfáltico modificado por polímero EVA – 7% - produzido no CENPES
CAP 20	asfalto convencional – coletado na Refinaria Gabriel Passos (REGAP)

Tabela 7 – Variação das propriedades das amostras de asfalto borracha durante a estocagem

Amostra	Temperatura, °C	Tempo de agitação, h	Resiliência 25°C, h	Ponto de Amolecimento, °C	Viscosidade Brookfield 175°C - SC4 27 - 20 RPM, cP	
AB-5	–	0	17	51,9	443	
		135	48	–	57,4	973
			158	12	59,6	1805
			192	20	65,4	2528
	155	48	–	59,5	1557	
		100	16	61	1708	
		148	–	65,8	1465	
		192	34	71,7	5155	
	175	48	–	60	2518	
		96	18	73,3	1428	
		147	–	88,4	1985	
		192	**	**	**	
AB-1	–	0	15	53,9	475	
		135	48	–	55,9	–
			96	23	55,2	–
			144	–	60	–
	155	192	35	61,7	–	
		48	–	56,1	–	
		96	14	60,2	–	
		144	–	62,4	–	
	175	192	–	67,2	–	
		48	–	57	646,9	
		96	26	60,4	730,1	
		151	–	67,2	1101	
		199	–	76	1301	

** - Amostra enrijeceu demasiadamente, inviabilizando as análises.

O plano inicial era coletar amostras parciais a cada 48 horas para análise da viscosidade e do ponto de amolecimento, e a cada 96 horas para determinação da resiliência (em função da maior quantidade de material requerida para o ensaio). Entretanto, por questões operacionais, algumas coletas não foram feitas exatamente

nesses intervalos de tempo, bem como algumas análises não puderam ser feitas, por exemplo, a determinação da viscosidade durante as estocagens a 135 e 155°C da amostra AB-1.

Para melhor interpretação dos dados da Tabela 7, nas figuras 9 à 14 pode-se visualizar a evolução das pro-

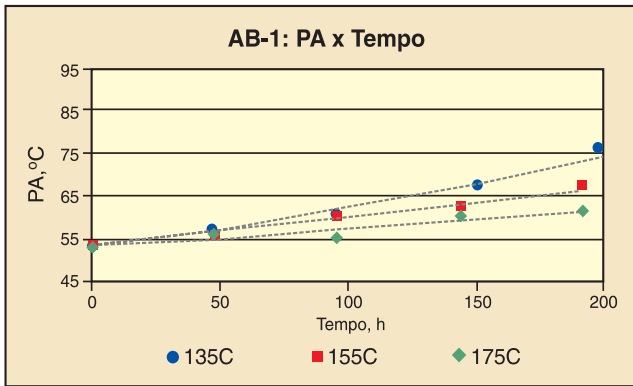


Figura 9: Evolução do ponto de amolecimento com o tempo de estocagem da amostra AB-1, em diferentes temperaturas de estocagem

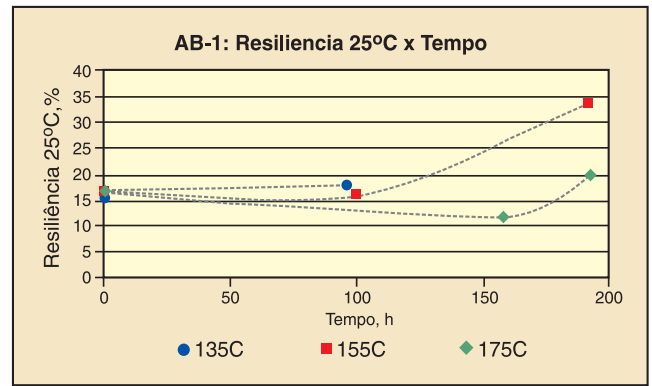


Figura 12: Evolução da resiliência com o tempo de estocagem da amostra AB-5, em diferentes temperaturas de estocagem

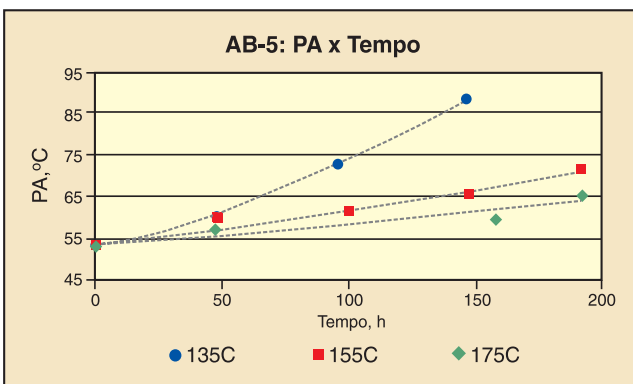


Figura 10: Evolução do ponto de amolecimento com o tempo de estocagem da amostra AB-5, em diferentes temperaturas de estocagem

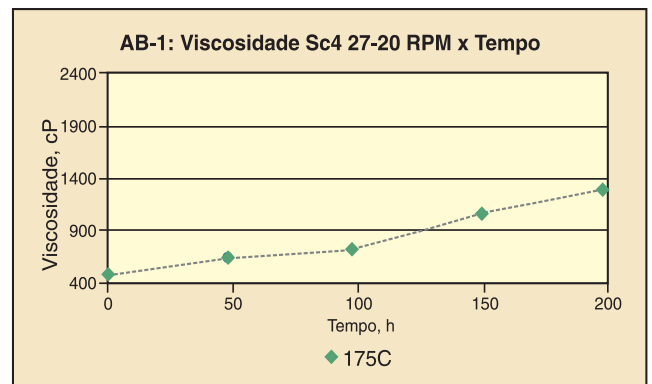


Figura 13: Evolução da viscosidade Brookfield a 175°C com o tempo de estocagem a 175°C da amostra AB-1

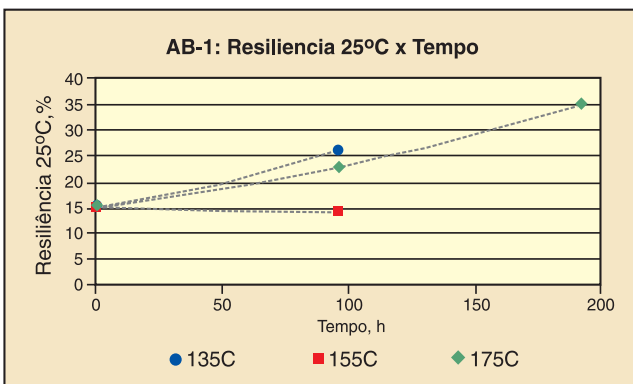


Figura 11: Evolução da resiliência com o tempo de estocagem da amostra AB-1, em diferentes temperaturas de estocagem

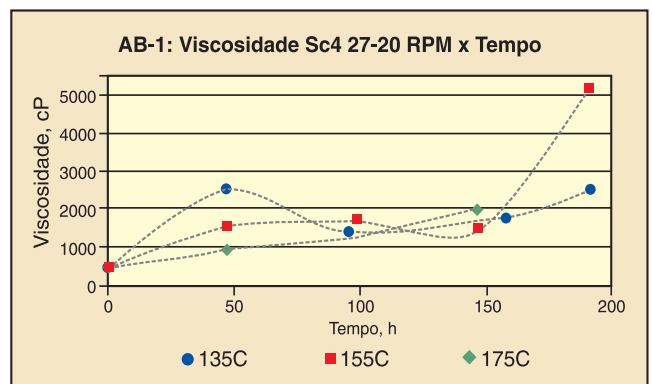


Figura 14: Evolução da viscosidade Brookfield a 175°C com o tempo de estocagem da amostra AB-5, em diferentes temperaturas de estocagem

priedades das amostras durante a estocagem em função do tempo e da temperatura.

Observando as figuras 9 e 10, percebe-se que o ponto de amolecimento aumentou nas estocagens das duas amostras. Nota-se, também, que esta variação é depen-

dente da temperatura, sendo mais sensível nas temperaturas mais elevadas.

O ponto de amolecimento da amostra AB-1 variou menos que o da AB-5 em todas as temperaturas. A 175°C, a amostra AB-5 teve ganhos desproporcionais no ponto de

amolecimento, dificultando a estocagem a partir de 150 horas de ensaio.

A análise da variação da resiliência ficou prejudicada pelo reduzido número de ensaios feitos durante a estocagem, já que além de ter sido prevista uma coleta de amostra a cada 96 horas para seu acompanhamento, algumas coletas falharam.

Porém, de uma maneira geral, ao final das 192 horas as duas amostras apresentaram incrementos na resiliência. A amostra AB-1 teve ganhos mais lineares que a AB-5, que por sua vez, apresentou tendência de um patamar estável de resiliência pelo menos nas primeiras 100 horas. Ao contrário do ponto de amolecimento, os ganhos de resiliência não foram proporcionais à temperatura de estocagem.

Na amostra AB-1, a variação da viscosidade Brookfield (*spindle* SC4-27 a 20 RPM) foi analisada apenas na estocagem a 175°C. Assim como o ponto de amolecimento e a resiliência, as viscosidades das duas amostras aumentaram durante a estocagem. Comparando a variação de viscosidade a 175°C, percebe-se, da mesma maneira que o ponto de amolecimento, que a amostra AB-5 foi mais sensível à estocagem.

É importante ressaltar, que a metodologia de medição de viscosidade utilizada (ASTM D 4402) não é a indicada para o asfalto borracha, conforme conceitos abordados anteriormente no item 2.3. Ou seja, as partículas discretas de borracha no ligante têm diâmetro relativamente grande em relação ao gap cilindro/cilindro do viscosímetro, além disso não é possível agitar a amostra imediatamente antes da medição. No entanto, esta metodologia requer uma

quantidade bem menor de amostra que a metodologia recomendada (ASTM D 2196), fato que viabilizou a análise.

4.2. Estudo do método de determinação da viscosidade aparente em altas temperaturas

A tabela a seguir apresenta as viscosidades das amostras obtidas pelos diferentes métodos e taxas de cisalhamento, conforme apresentado no item 3.2.

Todas as amostras foram avaliadas segundo método ASTM D 2196 (SP RV-3 – 20 RPM), enquanto que para a metodologia ASTM D 4402, apenas na configuração com *spindle* SC4-27 – 6 RPM foram feitas análises em todas as amostras. Todavia, as amostras AB-5 e AMP EVA foram ensaiadas em várias configurações de *spindle* e rotação.

A viscosidade a 135°C do CAP 20 foi praticamente a mesma quando medida pelas duas metodologias (Figura 15). Este resultado era esperado, uma vez que nessa temperatura o CAP 20 tem comportamento newtoniano, indicando o bom funcionamento do viscosímetro independentemente da configuração utilizada.

Já a viscosidade aparente do AMP EVA variou em função da metodologia e da taxa de cisalhamento. Utilizando o Termosel com diferentes *spindles* e rotações, pôde-se verificar o comportamento pseudoplástico desse ligante. Ainda, tendo em vista que para o método ASTM D 2196 não tem como calcular uma taxa de cisalhamento, em função da sua geometria, viu-se que a viscosidade aparente é relativa (por não ter uma taxa de cisalhamento específica) a uma taxa bastante superior às empregadas no Termosel, conforme ilustrado pela Figura 16.

Tabela 8 – Viscosidades Brookfield obtidas a partir de diferentes métodos e taxas de cisalhamento

Amostras	Temperatura, °C	Viscosidades Brookfield, cP									
		SP RV-3 - 20 RPM	SC4-21 - 20 RPM	SCT4-21 - 7,5 RPM	SC4-21 - 2 RPM	SC4-27 - 50 RPM	SC4-27 - 20 RPM	SC4-27 - 6 RPM	SC4-31 - 50 RPM	SC4-31 - 20 RPM	SC4-31 - 6 RPM
		Taxas de cisalhamento, 1/s									
		–	18,6	6,97	1,86	17	6,8	2,04	17	6,8	2,04
AB-1	175	310	–	–	–	–	–	542	–	–	–
AB-2	175	195	–	–	–	–	–	236	–	–	–
AB-3	175	405	–	–	–	–	–	1861	–	–	–
AB-4	175	160	–	–	–	–	–	167	–	–	–
AB-5	175	257	221	–	–	565	683	1840	546	629	658
AB-6	175	185	–	–	–	–	–	389	–	–	–
AMP EVA	175	585	831,5	769	817	845	837	875	804	869	960
CAP 20	135	420	–	–	–	–	–	417	–	–	–

A Figura 17 mostra o comportamento pseudoplástico do asfalto borracha. Da mesma maneira que o AMP EVA, a viscosidade aparente medida pela metodologia ASTM D 2196 foi menor em todas as taxas de cisalhamento, indicando novamente que tal viscosidade aparente é relativa a uma taxa de cisalhamento maior que as utilizadas neste trabalho.

Nota-se também, que os valores medidos para o asfalto borracha, segundo ASTM D 4402, estão mais dispersos

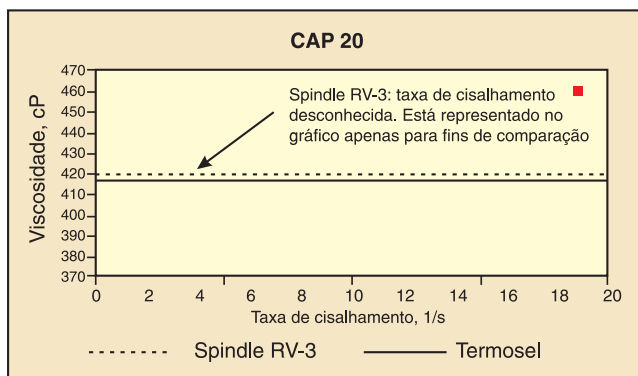


Figura 15: Viscosidade do CAP 20 a 135°C medida pelas metodologias ASTM D 4402 e D 2196

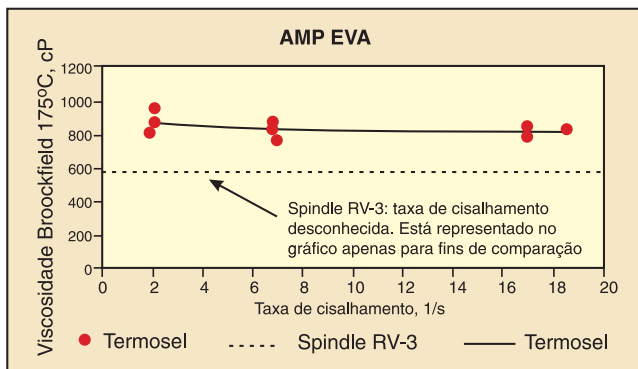


Figura 16: Viscosidade aparente a 175°C do AMP EVA, obtida por diferentes metodologias e taxas de cisalhamento

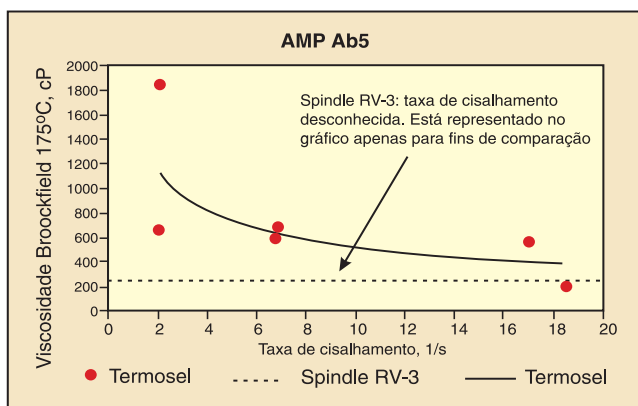


Figura 17: Viscosidade aparente a 175°C do asfalto borracha AB-5, obtida por diferentes metodologias e taxas de cisalhamento

que os valores do AMP EVA, variando de 1800cP até aproximadamente 220cP, o que pode ser explicado pela instabilidade do produto e pela presença de partículas discretas em suspensão, conforme abordado na fundamentação teórica da pesquisa.

Na Figura 18, os valores de viscosidade aparente ASTM D 2196 (*spindle* RV-3 – 20 RPM) de todas as amostras são comparados com os da ASTM D 4402 (*spindle* SC4-27 – 6 RPM). A exceção do CAP 20, em todas as amostras de asfalto borracha e AMP EVA a viscosidade com *spindle* RV-3 foi inferior.

Percebe-se ainda, que todas as amostras de asfalto borracha coletadas na usina tiveram viscosidade aparente inferior à das amostras coletadas no terminal, indicando

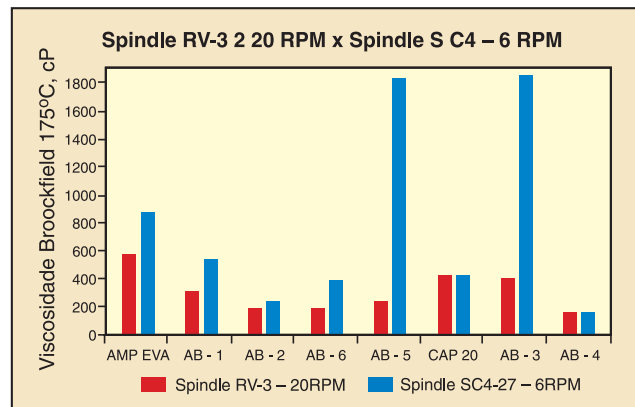


Figura 18: Comparação da viscosidade aparente das amostras, medidas pela metodologia ASTM D 2196 e D 4402

que a agitação exercida na usina não estava adequada, provavelmente apresentando um menor teor de borracha no ligante coletado. Além do que, nas amostras coletadas no terminal, a diferença de viscosidade aparente entre as duas metodologias foi maior que nas amostras da usina, indicando que a sua provável maior quantidade de borracha prejudica a medição da viscosidade aparente pela metodologia ASTM D 4402.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Analisando em conjunto as três propriedades medidas durante a estocagem – ponto de amolecimento, resiliência a 25°C e viscosidade aparente, percebe-se ganhos de consistência no asfalto borracha *terminal blending* durante o processo. Desta maneira, pode-se dizer que ocorreu uma interação maior entre borracha moída e ligante, através de um aumento na desvulcanização e despolimerização da

borracha, seguida de ligações associadas com as moléculas de asfaltenos.

Entretanto, a amostra AB-5 apresentou problemas de enrijecimento elevado a partir de 150 horas de estocagem a 175°C, indicando, em termos práticos, que não é saudável para o asfalto borracha ficar estocado nesta ordem de temperatura por períodos prolongados, devendo ser aquecido a esta temperatura apenas para a usinagem.

Apesar das condições de temperatura e cisalhamento de estocagem em laboratório, realizadas neste estudo, serem semelhantes às praticadas durante o transporte do ligante, é importante enfatizar que em laboratório a amostra está mais sujeita a oxidação, além de ser continuamente agitada, fato que pode não ocorrer em campo. Com isso, a estocagem simulada nesta pesquisa tende a ser mais severa que a normalmente observada nos processos reais das obras de pavimentação.

Logo, conclui-se que se a estocagem do asfalto borracha *terminal blending* for feita com agitação e temperatura corretas (indicadas pelo fabricante), o produto pode ser estocado por longos períodos (oito dias) sem prejuízos na qualidade do produto, até inclusive melhorando suas propriedades para aplicação na pavimentação. Como a estocagem realizada nesta pesquisa durou oito dias, o com-

portamento do ligante após este período é desconhecido pelos autores.

Com relação à medição da viscosidade aparente do asfalto borracha, os valores obtidos pela metodologia ASTM D 4402 (Termosel) sempre foram superiores aos da ASTM D 2196. Considerando o tamanho das partículas discretas de borracha no ligante, a instabilidade do produto e os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que melhor maneira de determinar a viscosidade aparente do asfalto borracha é utilizando a metodologia ASTM D 2196, seguindo as recomendações da especificação ASTM D 6114, ou seja, agitando a amostra imediatamente antes da medição.

Serão feitas novas estocagens em laboratório, utilizando-se um maior número de amostras de asfalto borracha, porém a medição da viscosidade aparente será feita da maneira mais correta (ASTM D 2196) durante o processo, buscando observar mais precisamente o comportamento da viscosidade durante a estocagem do asfalto borracha *terminal blending*.

Agradecimentos

Os autores agradecem os técnicos químicos Luiz Rosa Silva Filho e Ulisses Santos Figueiredo, pelas análises laboratoriais e sugestões feitas durante o estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes M.L., Baptista F., Eusébio M.I., Costa M. S., Miranda C.V. – Characterization of asphalt rubber mixtures for pavement rehabilitation projects in Portugal. - Asphalt rubber 2000 Portugal.
- Antunes M.L., Domingos P., Eusébio M.I., Miranda C.V – Studies concerning the use of asphalt rubber in Portugal – Asphalt rubber 2003, Brazil.
- Asphalt Institute – Superpave asphalt binder test methods – an illustrated overview – July 1994 Publication nº FHWA-SA-94-068.
- ASTM 2196/99 – Standard Test Methods for Rheological Properties of non-newtonian materials by rotational viscometer.
- ASTM D 6114/97 – Standard Specification for asphalt-rubber binder.
- ASTM D4402/02 – Viscosity determination of asphalt at elevated temperature using a rotational viscometer.
- Bahia H. & Davies R. - Effect of Crumb Rubber Modifiers (CRM) on Performance-Related Properties of Asphalt Binders AAPT vol 63 1994 p 414.
- Bahia H. & Davies R. - Factors Controlling the Effect of Crumb Rubber on Critical Properties of Asphalt Binders vol 64 AAPT 1995 p 130.
- Burns, B. US Patent 5,936,015 – August 1999 – Rubber modified asphalt paving binder.
- Dantas Neto S. et al - Modelagem da viscosidade absoluta dos asfaltos-borracha usando redes neurais artificiais (2004) ANPET - Florianópolis.
- Hesp, S. A. M. US Patent 5,683,498 – November 1997 – Process for preparing rubber modified asphalt compositions
- Kim H.J. – US Patent 6,897,249 – May 24, 2005 – Asphalt additive, a composition added with the asphalt additive, and a method for preparation of the composition and its application.
- Leite L.F.M - LEITE L.M. - *Estudo do Preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímero*. Ph.D. dissertation, IMA/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Memon M. US Patent 5,704,971 – June 1998 – Homogeneous crumb rubber modified asphalt.
- PIARC – World Road Association 1998- Use of modified bituminous binders, special bitumens and bitumens with additives in pavement applications – International Workshop Modified Bitumens.
- Ruth B. & Roque R.(1995) – Crumb rubber modifier in asphalt pavements TRB.
- Ruth B. (1992) – Evaluation of ground tire rubber in asphalt concrete - Final report for Florida DOT UF Project: N 4910450429812.
- Sainton A. – Une révolution dans les liants “bitumen-caoutchouc”. Le liant Flexochape stockable Eurobitume 1988.
- Samsuri A. & Karim M. R. – Effects of temperature of mixing and heat aging on the physical properties of rubberized bitumens – 1997 Conference on the use of rubberized bitumen in the road construction.
- Schramm G. A practical approach to rheology and rheometry Haake 1994.
- Takallou H.B. & Takallou M. B. – Effects of mixing time and temperature on the viscoelastic properties of asphalt rubber binder - Asphalt rubber 2003, Brazil.
- Wolum, M. H. – US Patent - Asphalt compositions.

Sinalização viva de rodovias

Análise plástica da vegetação

Nara Rejane Zamberlan dos Santos

Eng^a Agr. Doutora em Engenharia Florestal Prof^a Adjunto UFSM
narazs@terra.com.br

RESUMO

As várias condições impostas no traçado das vias resultam na formação de locais ímpares, apontando para uma análise mais criteriosa quando da escolha das espécies que farão parte da proposta paisagística. A sinalização viva de rodovias corresponde a um complemento para o fluxo do trânsito, em que a vegetação cumpre o papel

indicativo da situação presente, além de recompor as paisagens degradadas, incorporar elementos da flora regional e gerar uma proximidade dos usuários com exemplares vegetais.

PALAVRAS-CHAVE

Sinalização viva, vegetação, rodovias.

INTRODUÇÃO

No momento em que as causas ambientais ganham destaque junto à sociedade e recebem a atenção no campo judiciário, urge medidas políticas para implementação de metas e manutenção das ações nos espaços que ainda se encontram carentes ou mesmo abandonados.

As rodovias não representam apenas uma das mais importantes formas de deslocamento das pessoas, produção e materiais, mas, também, se constituem em bens públicos sujeitos a desgastes e imprevistos, necessitando avaliações permanentes.

São nos leitos das rodovias que milhares de pessoas passam suas vidas num contínuo transitar. Segurança, conforto e bem-estar são essenciais para que as horas no volante não se tornem enfadonhas, monótonas e perigosas.

O objetivo do presente trabalho é apontar algumas situações específicas das rodovias relacionando-as com as características da vegetação a ser empregada.

RODOVIAS E SINALIZAÇÃO VIVA

A construção de uma rodovia, mesmo seguindo todas as recomendações técnicas e sendo precedida por um AIA¹ sempre trará algum impacto, por menor que seja, ao ambi-

ente. Na verdade, os instrumentos citados também contemplam medidas mitigadoras para reduzir e/ou cessar os prejuízos causados.

Qualquer intervenção realizada trará alterações na contigüidade da obra, de diferentes feições, seja no âmbito da flora, fauna, poluição ou mesmo de forma integrada.

Todas as medidas compensatórias possíveis deverão ser avaliadas, pois como toda a ação antrópica, a rodovia representa uma intrusão no ambiente natural.

É interessante observar que o homem sempre encontra uma maneira de redimir os impactos, porém, em sua contumácia, nem sempre a cumpre.

Para satisfazer atributos como a sinalização, embelezamento e reposição vegetal foi criada a "Sinalização Viva". Ela cumpre, em parte, todas estas funções:

- a sinalização principal de uma via segue toda uma normalização própria, assim a vegetação apenas acentua;
- o embelezamento somente ocorrerá se as espécies oferecerem padrões estéticos e os exemplares padrões técnicos;
- a reposição vegetal deverá ser feita obedecendo aos padrões florísticos da região, evitando a proliferação de espécies alheias à paisagem.

Outro fato a considerar é o ciclo de vida do vegetal que depende da espécie, dos tratamentos culturais, doenças,

¹ AIA – Avaliação de Impacto Ambiental no qual constam o EIA – Estudo do Impacto Ambiental e RIMA – Relatório de Impacto Ambiental.

ataques de pragas, queimadas e outras formas de danos ou extermínio.

Assim, como a sinalização convencional carece de vigilância constante, a vegetação, por ser um ser vivo exigirá cuidados redobrados para cumprir seu papel.

Aos que se perguntam se manter a sinalização já se constitui um fator de preocupação, por que incorporar mais a vegetação, aumentando as tarefas e exigindo maior mão-de-obra. Poderemos responder que o vegetal é o único elemento sinalizador que não polui visualmente, que contribui com a pureza do ar, que floresce e que qualifica as paisagens.

ANÁLISE DA VEGETAÇÃO

Em locais caracterizados por extensas retas a vegetação não deverá formar sombras alternadas, conseqüência de plantios realizados com espaçamentos constantes e com exemplares da mesma espécie. A repetição pode tornar os espaços monótonos quando se tratar de longos trechos. Assim, a diversidade vegetal promove uma série de cores, formas e movimentos criando pontos de interesse na paisagem.

A distribuição dos exemplares formando conjuntos orgânicos enfatiza a naturalidade.

As transformações ao longo do ano, seja na coloração e queda das folhas, seja no florescimento ou frutificação são atrativos aos usuários constantes das mesmas vias.

Entre as possibilidades de composição (Figura 1), poderemos ter:

- espécies arbóreas com portes distintos, folhagem perene e tonalidades bastante diferenciada das folhas;
- espécies arbóreas com portes distintos, conjugando folhagem perene e decídua;
- espécies arbóreas com portes distintos, e florada de uma única cor em diferentes épocas do ano;
- espécies arbóreas com portes distintos, com folhagem perene e decídua e florada de uma única cor em diferentes épocas do ano;
- espécies arbóreas com portes distintos, com folhagem perene e decídua e florada de cores diversas em diferentes épocas do ano.

As curvas (direita e esquerda) requerem o uso dos exemplares bastante próximos uns dos outros, exatamente, para reforçar o efeito da curvatura, a uma determinada distância (Figura 2).

Nestes casos, as espécies de folhagem perene possuem um resultado mais efetivo. A florada se soma ao ob-

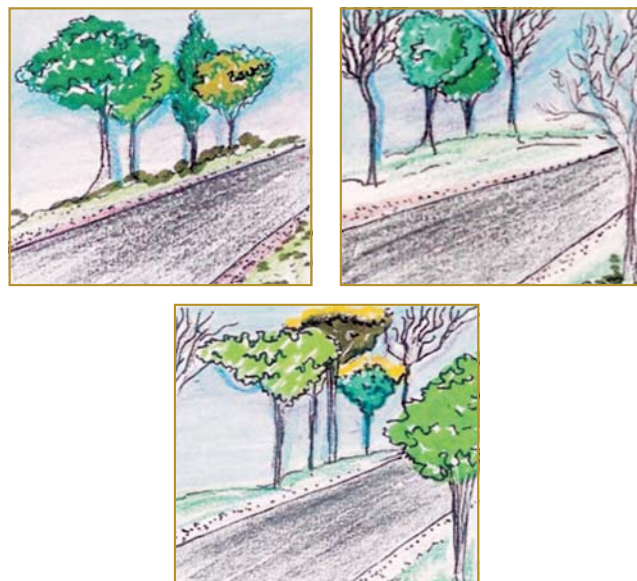


Figura 1 – Possibilidades de distribuição da vegetação ao longo de retas.



Figura 2 – Distribuição da vegetação como forma de sinalização de curvas.

jetivo dos plantios, principalmente quando os exemplares possuem a mesma coloração das flores.

O uso de exemplares arbustivos formando as primeiras filas de plantio, além de “disfarçar” o tronco das arbóreas, formando uma massa contínua, servem como primeiro anteparo para os veículos, no caso de perda, pelos motoristas, do controle dos mesmos.

Nas defensas naturais, além da escolha de espécies resistentes às adversidades do ambiente (locais de difícil manejo) e de crescimento rápido, a distribuição quanto ao porte das espécies e espaçamento entre exemplares, ne-

cessitam atenção por parte dos técnicos, pois as situações são diversificadas e as espécies apresentam comportamentos diversos (Figura 3).

As obras de arte especiais podem ser sinalizadas com árvores de estrutura colunar ou mesmo corimbiforme (forma de guarda-chuva). Nestes casos a preocupação deve ser a de utilizar espécies que representem marcos visuais e que possuam altura considerável para se projetar, preferencialmente, num nível de equivalência ou superior à obra (Figura 4).

Quando se trata de pontes sobre os rios, a vegetação sinalizadora não deve se confundir com a vegetação nativa de acompanhamento das margens (matas ciliares), caso contrário, perde o objetivo de sua implantação seguindo critérios técnicos.

Quando se tratar de paradas de ônibus, muitas vezes a vegetação tem um papel mais significativo como sombreamento do que sinalizador, dada a precariedade deste mobiliário.

A distribuição proposta (Figura 5), também tem como objetivo “resguardar” as pessoas nos espaços, geralmente composto de uma simples cobertura.

As espécies indicadas são aquelas que possam tornar o ambiente agradável, protegendo da insolação, reduzindo a velocidade dos ventos, mas, principalmente, proporcionando segurança aos usuários.

A indicação das espécies botânicas para a composição das diferentes situações apresentadas torna-se uma tarefa difícil, pois existem critérios técnicos a serem avaliados para cada situação, tais como:

- função da vegetação na sinalização;
- representatividade da espécie no local e/ou região;
- adaptação dos exemplares;
- disponibilidade de mudas das espécies requeridas;
- manejo recomendado.

Porém, a título ilustrativo através do Quadro 1, são mencionadas espécies vegetais, cujo objetivo é proporcionar um entendimento, no que se refere a caracterização dos exemplares.

Nas auto-estradas, o enfoque são os plantios nos canteiros centrais, evitando, sobretudo, o ofuscamento dos carros que transitam em sentido contrário.

As plantas arbustivas são as indicadas, em função do porte e da massa vegetal caracterizada pela presença de folhas até próximo do solo, em muitas espécies. Os arbustos apresentam uma diversidade de cores de folhas e flo-

res, podendo produzir efeitos cromáticos em áreas relativamente longas.

Dentre as espécies arbustivas podem ser citadas as calliandras (*Calliandra tweedii* Benth., *Calliandra brevipes* Benth. e *Calliandra inaequilatera* Rusby) ou a cássia-baiana (*Senna polyphylla* (Jacq.) H.S.) ou ainda o canudo-de-pito (*Senna bicapsularis* Roxb.).

Os trevos (rótulas), sem dúvida, são os que apresentam maior intervenção e os maiores problemas técnicos.

A adoção destes locais por empresários (postos de gasolina, lancherias, restaurantes etc) impõem uma diver-

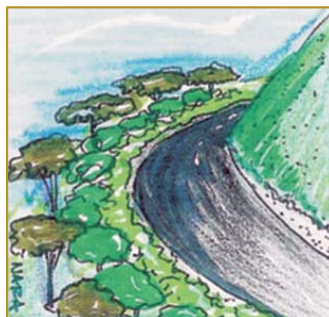


Figura 3 – Vegetação de sinalização e proteção em defesas naturais.

Figura 4 – Croqui representativo da situação da vegetação em obras-de-arte.

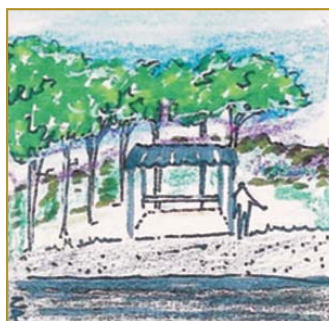


Figura 5 – Vegetação sinalizando e sombreamento as paradas de ônibus.

sidade de ações, quase sempre fora das normas e muitas vezes de gosto duvidoso.

Assim, nos deparamos com pedras pintadas, pneus floridos, garrafas como divisórias, demarcações de lâmpadas, além de monumentos, placas, faixas e todo o tipo de poluição visual, que interfere na segurança dos motoristas.

Nestes espaços, caracterizados por canteiros, as herbáceas são as mais indicadas, por protegerem o solo, en-

cobrir uniformemente os terrenos, além de possibilitar variadas formas de distribuição e composição. A utilização de arbustos compromete sobremaneira a visualização da estrada, com ênfase aos locais de parada obrigatória.

Duas espécies utilizadas com relativa frequência merecem atenção e reavaliação:

a) Os agaves (*Agave americana* Linn) possuem porte elevado e ocupam espaços avantajados, além de emitir brotações laterais;

b) O pingo-de-ouro (*Duranta repens* Linn), ao que tudo indica virou preferência nacional, espécie de porte arbustivo e que para se manter na altura adequada, necessita de podas sistemáticas.

CONCLUSÕES

O emprego da vegetação nas diferentes situações junto ao corpo estradal ou em suas adjacências requer não

somente a aplicação das normativas quanto a espaçamentos e distribuição, mas, sobretudo, a correta escolha das espécies que farão parte das composições.

OBSERVAÇÕES

Alguns termos empregados no texto serão conceituados para o melhor entendimento:

- espécies: referem-se à categoria botânica;
- exemplares: indicam os indivíduos, também podem ser chamados de “mudas” a serem utilizadas;
- árvore: indica espécie de porte grande, com massa foliar perene ou decídua;
- arbusto: refere-se a vegetal de porte até mais ou menos 3 metros de altura, que poderá apresentar vários ramos e folhagem densa;
- herbácea: espécie de pequeno porte utilizada para revestimento do solo.

Quadro 1 – Caracterização de algumas espécies vegetais com potencialidades para a utilização na Sinalização Viva de rodovias*

Nome comum	Nomenclatura botânica	Caracterização
Canela-ferrugem	<i>Nectandra rígida</i> (H.B.K.) Nees	Espécie <i>perene</i> com folhagem vistosa na cor <i>ferrugem</i>
Embaúbas	Gênero Cecropia	Folhagem <i>perene</i> com tonalidade <i>clara</i> no verso da folha
Embiruçu	<i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Cav.) A.Rob.	Flores <i>brancas</i> no período da <i>queda</i> das folhas
Falso-barbatimão	<i>Cassia leptophylla</i> Vog.	Folhagem <i>perene</i> , florescimento <i>amarelo</i> expressivo
Flor-da-quaresma	<i>Tibouchina mutabilis</i> Cong.	Flores <i>expressivas</i> com várias tonalidades
Goiaba-serrana	<i>Feijoa sellowiana</i> Berg	Espécie semi-decídua, flores <i>expressivas</i> pela cor.
Guapuruvu	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	Forma de guarda-chuva, florescimento expressivo, excelente <i>marcador visual</i>
Ipê-amarelo	<i>Tabebuia chrysothrica</i> (Mart. ex DC.) Standl. <i>Tabebuia ochracea</i> (Cham.) Standl. <i>Tabebuia umbellata</i> (Sond.) Sand. <i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) Nich.	<i>Decídua</i> , <i>florada</i> expressiva
Ipê-branco	<i>Tabebuia roseo-alba</i> (Ridl.) Sand.	<i>Decídua</i> , <i>florada</i> expressiva
Ipê-roxo	<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart.) Standl. <i>Tabebuia avellaneda</i> Lor. ex Griseb.	<i>Decídua</i> , <i>florada</i> expressiva
Louro	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. ex Steud.	Flores <i>brancas</i> no período de <i>ausência das folhas</i>
Manduirana	<i>Senna macranthera</i> (Collad.) Irwin et Barn.	<i>Perene</i> ou <i>semi-decídua</i> , período <i>longo de flores amarelas</i>
Paineira	<i>Chorisia speciosa</i> St. Hil.	Grande <i>volume</i> de copa, <i>florada rosa</i>
Pinheiro-bravo	<i>Podocarpus lambertii</i> Klotz.	Perenifólia, <i>marcador visual</i>
Quaresmeira	<i>Tibouchina granulosa</i> Cogn.	<i>Florada</i> expressiva. Espécie <i>perene</i>

*As espécies apresentadas não significam necessariamente a possibilidade de associação entre as mesmas.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- PEDRON, F. de A. & ZAMBERLAN DOS SANTOS, N. R. Adoção de áreas verdes: análise dos locais. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, XIV, 1996, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM. 1996. p. 207.
- TEIXEIRA, I. F. & ZAMBERLAN DOS SANTOS, N. R. Análise de um trecho da RST 287 para fins de Sinalização Viva. IN: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, VI E JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNISC, V. Anais...2000. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2000 (CD-ROM).
- www.der.sp.gov.br — www.detran.rj.gov.br — www.daer.rs.gov.br/normas.htm
- ZAMBERLAN DOS SANTOS, N. R. Arborização rodoviária: princípios da Sinalização Viva. 1995. (Caderno didático da disciplina de Paisagismo e Floricultura, CCR, UFSM).

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 e redacao@revistapavimentacao.org.br.

Teses e dissertações defendidas na USP – São Carlos sobre pavimentos e materiais de pavimentação entre 1973 e 2005

As teses de doutorado e as dissertações de mestrado apresentadas estão disponíveis na Biblioteca da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Informações adicionais podem ser obtidas pelo correio eletrônico: leomar@sc.usp.br

Relação das dissertações de mestrado

Autor: DOUGLAS FADUL VILLIBOR

Título: Utilização de solo arenoso fino na execução de bases para pavimento de baixo custo

Orientador: Araken Silveira

Data da Defesa: 24/06/74

Autor: LÉLIO NAOR LINDQUIST

Título: Influência do reuso e do secamento do solo no ensaio de compactação

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Evelyn Bloem Souto Silveira

Data da Defesa: 25/08/75

Autor: JOSÉ BERNARDES FELEX

Título: Permeabilidade em materiais granulares grossos

Orientador: Prof. Dr. Araken Silveira

Data da Defesa: 01/12/75

Autor: FERNANDO CUSTÓDIO CORRÊA

Título: Comportamento de trechos experimentais com bases de solo arenoso fino

Orientador: Prof. Dr. Araken Silveira

Data da defesa: 26/03/76

Autor: GENE STANCATI

Título: Estudo dos parâmetros hiperbólicos da curva-tensão deformação de solos compactados

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Evelyn Bloem Souto Silveira

Data da defesa: 06/02/78

Autor: FÁBIO GRILLI GRANDE

Título: Propriedades, comportamento e controle de qualidade de misturas betuminosas - estudo preliminar

Orientador: Prof. Dr. Araken Silveira

Data da defesa: 22/11/79

Autor: SÉRGIO AUGUSTO PINTO CARDOSO

Título: Estudo teórico da dispersão de ondas superficiais aplicado à auscultação de pavimentos

Orientador: Prof. Dr. Araken Silveira

Data da defesa: 11/07/80

Autor: ÁLVARO EMILIANO CASTOR MONTEIRO

Título: Uma introdução à visco-elasticidade

Orientador: Prof. Dr. Araken Silveira

Data de defesa: 08/06/84

Autor: SEVERINO FERREIRA DA SILVA FILHO

Título: Procedimento para avaliação de serventia de pavimentos flexíveis

Orientador: Prof. Dr. Douglas Fadul Villibor

Data de defesa: 10/05/85

Autor: JOSÉ KIYNHA ISHIBA

Título: Algumas considerações relativas a solos compactados sob esforços de tração

Orientador: Prof. Dr. Araken Silveira

Data da defesa: 24/05/85

Autor: CONSUELO ALVES DA FROTA

Título: Análise de uma rodovia brasileira segundo conceitos atuais de drenagem de pavimentos

Orientador: Prof. Dr. Thales de Lorena Peixoto Jr.

Data da defesa: 24/04/81

Autor: MARCOS ANTONIO GARCIA FERREIRA

Título: Considerações sobre misturas solo-agregado compostas por materiais tropicais para uso em pavimentação

Orientador: Prof. Dr. Douglas Fadul Villibor

Data da defesa: 26/08/86

Autor: ERNESTO FERREIRA NOBRE JÚNIOR

Título: Análise crítica da granulometria normalizada para camadas componentes da superestrutura ferroviária

Orientador: Prof. Dr. Thales de Lorena Peixoto Jr.

Data da defesa: 10/09/86

Autor: GLAUCO TULLIO PESSA FABBRI

Título: Drenagem de baixo custo através de canaletas de solo-cimento plástico

Orientador: Prof. Dr. Douglas Fadul Villibor

Data da defesa: 28/01/87

Autor: PAULO ROBERTO MIRANDA SERRA

Título: Considerações sobre misturas de solo-agregado com solos finos lateríticos

Orientador: Prof. Dr. Douglas Fadul Villibor

Data da defesa: 17/03/87

Autor: CRESO DE FRANCO PEIXOTO

Título: Critérios práticos para verificação dos regimes laminar e turbulento em análises de permeabilidade de materiais granulares

Orientador: Prof. Dr. Thales de Lorena Peixoto Jr.

Data da defesa: 29/12/88

Autor: JOSÉ LEOMAR FERNANDES JR.

Título: Efeito da defloculação no ensaio de granulometria de alguns solos utilizados em obras viárias no Estado de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória

Data da defesa: 20/11/89

Autor: JAIRO SALIM PINHEIRO DE LIMA

Título: A utilização de tijolo cerâmico na pavimentação urbana

Orientador: Prof. Dr. José Bernardes Felex

Data da defesa: 25/01/91

Autor: VLADIMIR COELHO

Título: Um estudo sobre a dosagem pelo método Marshall de misturas asfálticas preparadas a quente

Orientador: Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória

Data da defesa: 12/03/92

Autor: CAIO FRASCINO CASSARO

Título: Implantação e perenização de vias de transporte na serra do mar – o uso de cortinas atirantadas

Orientador: Prof. Dr. José Bernardes Felex

Data da defesa: 22/09/92

Autor: ELIANE VIVIANI

Título: Estudo experimental da curva de distribuição de vazios de geotêxteis não-tecidos

Orientador: Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória

Data da defesa: 05/10/92

Autor: ROBERTO TOSHIMITSU ARAMAKI

Título: Determinação experimental da curva de distribuição de vazios de filtros granulares

Orientador: Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória

Data da defesa: 08/03/93

Autor: MARCELO VICTOR DE CARVALHO

Título: Uso do cilindro CBR – Um método alternativo para estimativa do coeficiente de permeabilidade de materiais da sub-base dos pavimentos

Orientador: Prof. Dr. José Bernardes Felex

Data da defesa: 03/09/93

Autor: RUBENS BRAZETTI

Título: Estudo comparativo do desempenho de segmentos rodoviários experimentais com variações na mistura solo argiloso brita da base

Orientador: Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória

Data da defesa: 24/09/93

Autor: MARCIA REGINA MORA

Título: Análise crítica das classificações de solos para fins

rodoviários usadas no Brasil. Proposta e adequação para a região metropolitana da grande São Paulo

Orinetador: Prof. Dr. Douglas Fadul Villibor

Data da defesa: 19/11/93

Autor: GLAUCO PONTES FILHO

Título: Avaliação de um trecho rodoviário experimental com base de macadame seco

Orientador: Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória

Data da defesa: 01/03/94

Autor: ALEXANDRE ZUPPOLINI NETO

Título: Pavimentação urbana no Estado de São Paulo – Novas Considerações

Orientador: Prof. Dr. Douglas Fadul Villibor

Data da defesa: 08/04/94

Autor: FABIO QUINTELA FORTES

Título: Pavimentos de baixo custo: considerações sobre seus defeitos e propostas de conservação e recuperação

Orientador: Prof. Dr. Douglas Fadul Villibor

Data da defesa: 15/04/94

Autor: SANDRA ODA

Título: Caracterização de uma rede municipal de estradas não pavimentadas

Orientador: Prof. Dr. Manoel H. A. Sória

Data da defesa: 13/12/95

Autor: JOSÉ LIBERATO BOZZA

Título: Qualidade, construção, operação e manutenção de rodovias

Orientador: Prof. Dr. José Bernardes Felex

Data da defesa: 14/03/96

Autor: MARONY COSTA MARTINS

Título: Desempenho de pavimento em faixas de tráfego distintas de rodovias

Orientador: Prof. Dr. José Bernardes Felex

Data da defesa: 19/04/96

Autor: SUELLY HELENA DE ARAUJO BARROSO

Título: Estudo do comportamento de solos artificiais através da adsorção de azul de metileno

Orientador: Prof. Dr. Glauco Tulio Pessa Fabbri

Data da defesa: 15/05/96

Autor: CASSIO LEVADA

Título: Aplicação do modelo elasto – plástico de Kim-Lade na representação do comportamento tensão-deformação de solos da cidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Benetti Parreira

Data da defesa: 19/07/96

Autor: SANDRA FABIANA RODGHER

Título: Caracterização de agregados basálticos através da adsorção de azul de metileno

Orientador: Prof. Dr. Glauco Tulio Pessa Fabbri

Data da defesa: 24/07/96

Autor: CARLOS HENRIQUE BARREIRO

Título: Tópicos sobre observação de drenagem superficial de vias urbanas

Orientador: Prof. Dr. José Bernardes Felex

Data da defesa: 26/02/97

Autor: VALÉRIA MARIA SESTINE

Título: Uma adaptação dos modelos de deterioração do HDM III à região Centro de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória

Data da defesa: 04/04/97

Autor: JOSÉ ANTONIO ORTIZ OLIVA

Título: Estudo de misturas de solo e fosfogesso com vistas a sua utilização em rodovias

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Benetti Parreira

Data da defesa: 09/04/97

Autor: SANDRA APARECIDA MARGARIDO BERTOLLO

Título: Considerações sobre a gerência de pavimentos urbanos em nível de rede

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Junior

Data da defesa: 30/06/97

Autor: ANDRÉA ARANTES SEVERI

Título: Considerações sobre os custos de pavimentos rígidos com base em conceitos de gerência de pavimentos

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Junior

Data da defesa: 28/11/97

Autor: JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ PANTIGOSO

Título: Uso dos Sistemas de Informação Geográfica para a integração da gerência de pavimentos urbanos com as atividades das concessionárias de serviços públicos

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Junior
Data da defesa: 27/04/98

Autor: RICARDO ALMEIDA DE MELO
Título: Avaliadores, notas e qualidade de pavimentos
Orientador: Prof. Dr. José Bernardes Felex
Data da defesa: 04/05/98

Autor: FLÁVIO JOSÉ CRAVEIRO CUNTO
Título: Determinação do módulo de resiliência através de ensaios triaxiais dinâmicos e a sua estimativa a partir de ensaios de compressão simples: estudo de três solos do nordeste brasileiro
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Benetti Parreira
Data da defesa: 26/05/98

Autor: CÁSSIO ALBERTO TEORO DO CARMO
Título: A avaliação do módulo de resiliência através de ensaios triaxiais dinâmicos de dois solos compactados e a sua estimativa a partir de ensaios rotineiros
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Benetti Parreira
Data da defesa: 31/07/98

Autor: MARCELO DE CASTRO TAKEDA
Título: Avaliação das propriedades mecânicas de misturas de fosfogesso e cimento para uso na construção rodoviária
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Benetti Parreira
Data da defesa: 30/07/98

Autor: JISELA APARECIDA SANTANNA
Título: Estudo do comportamento de solos artificiais em função da variação das características de sua fração grossa
Orientador: Prof. Dr. Glauco Tulio Pessa Fabbri
Data da defesa: 17/12/98

Autor: MÁRCIO ALBUQUERQUE SILVEIRA
Título: Estudo sobre adição de polímero em areia-asfalto a frio
Orientador: Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória
Data da defesa: 18/03/99

Autor: LUIZ FRANCISCO ZERBINI
Título: Desenvolvimento de modelos de desempenho para utilização em sistemas de gerência de pavimentos

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Junior
Data da defesa: 25/06/99

Autor: RICARDO FREIRE GONÇALVES
Título: Estudo da influência da variação do teor de umidade no valor do módulo de resiliência de um solo argiloso encontrado em subleito de rodovias no interior paulista
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Benetti Parreira
Data da defesa: 28/06/99

Autor: RONE EVALDO BARBOSA
Título: Efeitos das cargas dinâmicas dos veículos rodoviários no desempenho dos pavimentos e pontes
Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Junior
Data da defesa: 06/08/99

Autor: ALEXANDRE CAGNANI FORETTI
Título: Estudo de misturas preparadas com asfalto convencional e asfalto modificado com polímeros
Orientador: Prof. Dr. Glauco Tulio Pessa Fabbri
Data da defesa: 13/08/99

Autor: CLAUDIA SCOTON ANTONIO MARQUES
Título: Normas NBR ISO 9000 e qualidade de pavimentos
Orientador: Prof. Titular José Bernardes Felex
Data da defesa: 15/10/99

Autor: FLÁVIO RENATO DE GÓES PADULA
Título: Qualidade de pavimentos e auditoria
Orientador: Prof. Titular José Bernardes Felex
Data da defesa: 28/12/99

Autor: RUBEM RIBEIRO DE FREITAS
Título: Seção transversal de rodovias vicinais, qualidade de viagens e comportamento de pavimentos
Orientador: Prof. Titular José Bernardes Felex
Data da defesa: 29/02/00.

Autor: EUNICE SATIE SHOJI
Título: Desenvolvimento de um programa de sistema de gerência de pavimentos urbanos para cidades brasileiras de médio porte
Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Junior
Data da defesa: 24/03/00

Continua na próxima edição

Breve Histórico do DER-RJ

Aiahualpa Schmitz da Silva Prego
Colaborou: Antônio Portellada Cunha

Rodovia Presidente Dutra – Trecho de pista dupla nas proximidades de Nova Iguaçu

FOTO: ARQUIVO PESSOAL DO AUTOR



O Eng^o Antônio Portellada Cunha poucos dias depois do lançamento da “Memória da Pavimentação no Brasil”, ofereceu-nos, o chamado por ele de “Breve Histórico do

DER-RJ” na finalidade de completar e mesmo corrigir, falhas contidas no sub-título v.1.5, página 185. O trabalho em si, constitui uma unidade de narração, que a nosso ver não deve ser desfeita, para o bom entendimento do leitor. Resolvemos pelo encaminhamento dos escritos para “Revista Pavimentação”, adotando o título usado pelo Eng^o Portellada.

Até o início do século 20, a engenharia oficial no Brasil era pulsativa, ou seja, o Governo só contratava engenheiros para determinadas obras, como por exemplo: a construção da Estrada de Ferro Central do Brasil, a construção da Avenida Central etc., não havendo programas continuados de engenharia.

Em 1910, o Governo Federal, querendo sanear a Baixada Fluminense, criou o Serviço de Saneamento da Baixada Fluminense, que mais tarde se transformou no Departamento Nacional de Obras de Saneamento – DNOS, com atuação em todo o país.

Com o DNOS, surgia a engenharia sistemática, pelo estabelecimento de serviços rotineiros de controle de chuvas, níveis de rios, lagos e lagoas, acompanhamento de assoreamento, levantamento topográfico das bacias hidrográficas e serviços correlatos.

O DNOS foi, também, pioneiro nas profissões correlatas à engenharia, formando e desenvolvendo auxiliares de engenheiro, topógrafos, niveladores, seccionistas, sondadores e laboratoristas.

Na época não existiam escolas técnicas profissionais, sendo o aprendizado feito no campo junto a profissionais mais experientados, com a supervisão de engenheiros de campo.

O DNOS durante décadas permaneceu como o único órgão de governo, que praticava a engenharia sistemática, acompanhando

ano após ano o setor de saneamento básico, para poder orientar os projetos e programar as obras necessárias.

Em fins da década de 30, quando Ernani do Amaral Peixoto era Interventor do antigo Estado do Rio de Janeiro e o Eng^o Mário Crissiúma Paranhos Secretário de Viação e Obras Públicas, foi criada a Comissão de Estradas de Rodagem, que foi o primeiro órgão rodoviário do Brasil de atuação rotineira.

A finalidade da Comissão era implantar uma estratégia rodoviária para o Estado estabelecendo políticas e programas, que se tornassem rotinas, de modo a viabilizar uma rede que ligasse todo o Estado.

Por decisão do Interventor foi iniciado o projeto da ligação Niterói – Campos posteriormente batizada de Rodovia Amaral Peixoto.

Para dirigir a Comissão, o Governo fluminense requisitou engenheiros do DNOS, que na verdade, foram os primeiros engenheiros rodoviários: Francisco Saturnino Braga, Edmundo Régis Bittencourt, Philúvio Cerqueira Rodrigues, Manoel Pacheco de Carvalho, todos sobre a orientação do Engenheiro Mário Crissiúma Paranhos.

A Comissão de Estradas de Rodagem transformada, em 1943 em Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Rio de Janeiro, junto com o DAER – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Estado do Rio Grande do Sul eram os dois únicos órgãos rodoviários do Brasil. Em 1945, pela Lei Joppert, foi estabelecido o Fundo Rodoviário Nacional; que determinou a criação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER e dos Departamentos de Estradas de Rodagem Estaduais.

No território do atual Estado do Rio de Janeiro ficaram atuando 2 DER: o DER-RJ na área do antigo Estado do Rio de Janeiro e o Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal, DER-DF na área da cidade do Rio de Janeiro, considerada Distrito Federal até 21 de abril de 1960.

Com a mudança da capital para Brasília e a criação do Estado da Guanabara, o DER-DF mudou o nome para Departamento de

Estradas de Rodagem do Estado da Guanabara – DER-GB. O DER-GB executou grandes obras tipicamente rodoviárias, salientando-se a Avenida Brasil, a Avenida Sernambetiba, a Avenida das Américas e todo o conjunto de vias na Barra da Tijuca, entre outras vias.

Executou, também, muitas obras urbanas importantes, como o Túnel Rebouças, o Elevado Paulo de Frontin, a parte inicial da Linha Vermelha, o elevado do cais do porto e outras mais. Pode-se dizer mesmo que o DER-GB era o órgão rodoviário com mais experiência em obras urbanas.

Na década de 70, com a fusão dos dois Estados, os dois DER se juntaram, passando a atuar em toda a área do novo Estado do Rio de Janeiro. Com a fusão, o novo DER-RJ representa no país um órgão rodoviário com experiência em obras rodoviárias e urbanas, sendo que, atualmente, a sua atividade se estende mais ainda, dando suporte ao Governo do Estado em outras áreas, inclusive no programa habitacional ao pavimentar acessos aos conjuntos habitacionais, bem como suas ruas internas.

Em 1945, para instalar o DNER e estabelecer a política do primeiro programa rodoviário nacional, o Governo Federal requisitou toda a equipe dirigente do DER do antigo Estado do Rio de Janeiro.

Quando do estabelecimento do DNER, o Brasil praticamente só possuía 3 rodovias pavimentadas: Rio – Petrópolis – Juiz de Fora, Via Anchieta e a antiga Rio – São Paulo e a primeira grande obra do DNER foi justamente a modernização, duplicação e pavimentação da Rio – São Paulo, batizada de Rodovia Presidente Dutra.

Os planos e programas rodoviários viabilizaram regiões do país, antes completamente isoladas, formando, ao mesmo tempo, dinas-



Abertura do Túnel do Joã



Rodovia Rio-Belo Horizonte
Trecho Rio-Petrópolis

FOTOS: ARQUIVO PESSOAL DO AUTOR

Plano Rodoviário Federal atravessaram o Estado para chegar à capital, o que foi muito importante para o desenvolvimento do Estado, mas também estabeleceu desigualdades regionais.

A prioridade dos políticos e da população no antigo Estado do Rio era concluir, de qualquer maneira, a ligação de sua localidade com a capital – Niterói, para o que as verbas disponíveis tinham de ser esticadas, procuravam executar o mínimo necessário para estender a rodovia o mais possível. Os engenheiros procuravam economizar ao máximo na abertura da estrada e na exploração das jazidas. A faixa dos construtores dispensava os cuidados necessários quanto ao meio ambiente.

Em decorrência, não se formou no corpo técnico do Governo Federal e dos Estados uma tradição de preservação do meio ambiente. Os projetos e orçamentos não contemplavam este aspecto.

Assim, paulatinamente foi criado um enorme passivo ambiental, sem que as autoridades e a população se dessem conta.

Atualmente, a rede rodoviária federal no Estado e a rede rodoviária estadual estão praticamente implantadas, exigindo melhorias técnicas e operacionais, algumas de vulto, como duplicações, retificações, havendo, no entanto, consciência coletiva ligada a recuperação do passivo ambiental, existente em grande parte da rede rodoviária do Estado. Releva salientar que, atualmente, os financiamentos externos, provenientes de instituições oficiais ou de ONG's, estão condicionados sempre a um componente ambiental. Por outro lado, a legislação estadual contempla no orçamento verbas para o meio ambiente, pelo que é de todo o interesse do DER possuir projetos de recuperação do passivo ambiental estocados, para melhor obter recursos para programa rodoviário.



Trecho inicial da RJ-1 acesso a
capital do Estado do Rio

tias políticas a partir da pessoa que conseguisse introduzir, no Plano Rodoviário federal ou estadual, uma rodovia de acesso à sua região.

A construção e a pavimentação de uma rodovia se constituía em tal benefício, que todos os proprietários cediam gratuitamente, a faixa de domínio e todas as jazidas de materiais necessárias para as obras, acomodação para o pessoal envolvido, combustíveis mesmo mão de obra local. O Estado do Rio de Janeiro envolvia a antiga Capital – a cidade do Rio de Janeiro – em decorrência, as estradas do



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



Aspectos da evolução tecnológica na construção das estradas: do pioneirismo artesanal até as primeiras grandes máquinas.

