



# PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

• Formação Básica para Engenheiros •

Liedi Bariani Bernucci

Laura Maria Goretti da Motta

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Jorge Barbosa Soares

## Currículo resumido dos professores do PROASFALTO:



### Laura Maria Goretti da Motta

Engenheira Civil (1976), pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Mestre em Engenharia Civil (1979), pela Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Doutora pela COPPE/UFRJ, 1991. Professora Adjunta do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ desde 1984. Coordena desde 1994 o Setor de Pavimentos do Laboratório de Geotecnia da COPPE. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Possui diversos trabalhos publicados no Brasil e exterior. Já orientou mais de 50 mestres e doutores. Já atuou em mais de 40 projetos de cooperação com empresas e órgãos do setor de pavimentação.



### Liedi Bariani Bernucci

Engenheira Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1981), especialização no Instituto de Geotécnica da Escola Politécnica Federal de Zurique na Suíça (1984 e 1985), Mestre em Engenharia de Solos pelo Departamento de Estruturas e Geotécnica da EPUSP (1987), estágio de Doutorado pelo Instituto de Geotécnica da Escola Politécnica Federal de Zurique, na Suíça (1987 e 1988), Doutora em Engenharia de Transportes pelo Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP (1995), Livre-Docente em Engenharia de Transportes pela EPUSP (2001). Professora Titular no Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP, Coordenadora do Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da EPUSP e Chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP, atua como docente em graduação e pós-graduação, como coordenadora de diversos projetos de pesquisa e extensão. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. É consultora em pavimentação, possui diversas publicações e já formou diversos mestres e doutores em Transportes.



### Jorge Barbosa Soares

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (1992). Mestre (1994) e Ph.D. (1997) em Engenharia Civil pela Texas A&M University. Coordenador da Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da UFC. Coordenador do Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da UFC e da REDE ASFALTO N/NE. Professor Associado do Departamento de Engenharia de Transportes da UFC, atua como docente em graduação e pós-graduação e na coordenação de projetos de pesquisa e capacitação junto a agências de fomento, empresas e órgãos do setor de pavimentação. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Atua também como consultor e possui diversas publicações nos principais periódicos e congressos técnico/científicos nacionais e internacionais na área de pavimentação.



### Jorge Augusto Pereira Ceratti

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 1976, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 1979. Doutor em Engenharia Civil pela Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), 1991. Professor Associado no Departamento de Engenharia Civil da UFRGS, onde atua como docente em graduação e pós-graduação, tendo formado, desde 1981, diversos mestres e doutores em Engenharia Civil. Coordenador do Laboratório de Pavimentação da UFRGS. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Atua como consultor em pavimentação, desenvolvendo projetos de cooperação com empresas e órgãos do setor de pavimentação. Possui diversas publicações nos principais periódicos e congressos técnico/científicos, nacionais e internacionais, na área de pavimentação.

# Pavimentação asfáltica

## Formação básica para engenheiros

Liedi Bariani Bernucci  
Laura Maria Goretti da Motta  
Jorge Augusto Pereira Ceratti  
Jorge Barbosa Soares

Rio de Janeiro  
2008

4ª. Reimpressão – ABEDA  
2010



ASFALTOS



## PATROCINADORES

Petrobras – Petróleo Brasileiro S. A.

Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos

Copyright © 2007 Liedi Bariani Bernucci, Laura Maria Goretti da Motta,  
Jorge Augusto Pereira Ceratti e Jorge Barbosa Soares

## COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO

Trama Criações de Arte

## PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Anita Slade

Sonia Goulart

## DESENHOS

Rogério Corrêa Alves

## REVISÃO DE TEXTO

Maríflor Rocha

## CAPA

Clube de Idéias

## IMPRESSÃO

Gráfica Imprinta

Ficha catalográfica elaborada pela Petrobras / Biblioteca dos Serviços Compartilhados

---

P338 Pavimentação asfáltica : formação básica para engenheiros / Liedi Bariani Bernucci... [et al.]. – Rio de Janeiro : PETROBRAS: ABEDA, 2006.  
504 f. : il.

Inclui Bibliografias.  
Patrocínio PETROBRAS

1. Asfalto. 2. Pavimentação. 3. Revestimento asfáltico. 4. Mistura.  
I. Bernucci, Liedi Bariani. II. Motta, Laura Maria Goretti da. III. Ceratti, Jorge Augusto Pereira. IV. Soares, Jorge Barbosa.

---

CDD 625.85

# APRESENTAÇÃO

Tendo em vista a necessidade premente de melhoria da qualidade das rodovias brasileiras e a importância da ampliação da infra-estrutura de transportes, a Petróleo Brasileiro S.A. e a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos – Abeda vêm investindo no desenvolvimento de novos produtos asfálticos e de modernas técnicas de pavimentação. Para efetivamente aplicar estes novos materiais e a recente tecnologia, é preciso promover a capacitação de recursos humanos.

Assim, essas empresas, unidas em um empreendimento inovador, conceberam uma ação para contribuir na formação de engenheiros civis na área de pavimentação: o Proasfalto – Programa Asfalto na Universidade. Este projeto arrojado foi criado para disponibilizar material didático para aulas de graduação de pavimentação visando oferecer sólidos conceitos teóricos e uma visão prática da tecnologia asfáltica.

Para a elaboração do projeto didático, foram convidados quatro professores de renomadas instituições de ensino superior do Brasil. Iniciou-se então o projeto que, após excelente trabalho dos professores Liedi Bariani Bernucci, da Universidade de São Paulo, Laura Maria Goretti da Motta, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Jorge Augusto Pereira Ceratti, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e Jorge Barbosa Soares, da Universidade Federal do Ceará, resultou no lançamento deste importante documento.

O livro *Pavimentação Asfáltica* descreve os materiais usados em pavimentação e suas propriedades, além de apresentar as técnicas de execução, de avaliação e de restauração de pavimentação. A forma clara e didática como o livro apresenta o tema o transforma em uma excelente referência sobre pavimentação e permite que ele atenda às necessidades tanto dos iniciantes no assunto quanto dos que já atuam na área.

A Universidade Petrobras, co-editora do livro *Pavimentação Asfáltica*, sente-se honrada em participar deste projeto e cumprimenta os autores pela importante iniciativa de estabelecer uma bibliografia de consulta permanente sobre o tema.

Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras

Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos



# SUMÁRIO

PREFÁCIO	7
<b>1 Introdução</b>	<b>9</b>
1.1 PAVIMENTO DO PONTO DE VISTA ESTRUTURAL E FUNCIONAL	9
1.2 UM BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO	11
1.3 SITUAÇÃO ATUAL DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL	20
1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	24
<b>2 Ligantes asfálticos</b>	<b>25</b>
2.1 INTRODUÇÃO	25
2.2 ASFALTO	26
2.3 ESPECIFICAÇÕES BRASILEIRAS	58
2.4 ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO	59
2.5 EMULSÃO ASFÁLTICA	81
2.6 ASFALTO DILUÍDO	96
2.7 ASFALTO-ESPUMA	97
2.8 AGENTES REJUVENESCEDORES	99
2.9 O PROGRAMA SHRP	100
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	110
<b>3 Agregados</b>	<b>115</b>
3.1 INTRODUÇÃO	115
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS	116
3.3 PRODUÇÃO DE AGREGADOS BRITADOS	124
3.4 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS IMPORTANTES DOS AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	129
3.5 CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS SEGUNDO O SHRP	150
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	154

<b>4</b>	<b>Tipos de revestimentos asfálticos</b>	<b>157</b>
4.1	INTRODUÇÃO	157
4.2	MISTURAS USINADAS	158
4.3	MISTURAS <i>IN SITU</i> EM USINAS MÓVEIS	185
4.4	MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS	188
4.5	TRATAMENTOS SUPERFICIAIS	191
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	200
<b>5</b>	<b>Dosagem de diferentes tipos de revestimento</b>	<b>205</b>
5.1	INTRODUÇÃO	205
5.2	DEFINIÇÕES DE MASSAS ESPECÍFICAS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS	207
5.3	MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE	217
5.4	DOSAGEM DE MISTURAS A FRIO	253
5.5	MISTURAS RECICLADAS A QUENTE	256
5.6	TRATAMENTO SUPERFICIAL	263
5.7	MICRORREVESTIMENTO E LAMA ASFÁLTICA	269
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	281
<b>6</b>	<b>Propriedades mecânicas das misturas asfálticas</b>	<b>287</b>
6.1	INTRODUÇÃO	287
6.2	ENSAIOS CONVENCIONAIS	288
6.3	ENSAIOS DE MÓDULO	290
6.4	ENSAIOS DE RUPTURA	308
6.5	ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE	316
6.6	ENSAIOS COMPLEMENTARES	327
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	332
<b>7</b>	<b>Materiais e estruturas de pavimentos asfálticos</b>	<b>337</b>
7.1	INTRODUÇÃO	337
7.2	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DE BASE, SUB-BASE E REFORÇO DO SUBLEITO	339
7.3	MATERIAIS DE BASE, SUB-BASE E REFORÇO DO SUBLEITO	352
7.4	ALGUMAS ESTRUTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	365
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	369
<b>8</b>	<b>Técnicas executivas de revestimentos asfálticos</b>	<b>373</b>
8.1	INTRODUÇÃO	373
8.2	USINAS ASFÁLTICAS	373

8.3	TRANSPORTE E LANÇAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS	384
8.4	COMPACTAÇÃO	389
8.5	EXECUÇÃO DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS POR PENETRAÇÃO	393
8.6	EXECUÇÃO DE LAMAS E MICRORREVESTIMENTOS ASFÁLTICOS	397
8.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	401
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	402
<b>9</b>	<b>Diagnóstico de defeitos, avaliação funcional e de aderência</b>	<b>403</b>
9.1	INTRODUÇÃO	403
9.2	SERVENTIA	405
9.3	IRREGULARIDADE LONGITUDINAL	407
9.4	DEFEITOS DE SUPERFÍCIE	413
9.5	AVALIAÇÃO OBJETIVA DE SUPERFÍCIE PELA DETERMINAÇÃO DO IGG	424
9.6	AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA EM PISTAS MOLHADAS	429
9.7	AVALIAÇÃO DE RUÍDO PROVOCADO PELO TRÁFEGO	435
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	438
<b>10</b>	<b>Avaliação estrutural de pavimentos asfálticos</b>	<b>441</b>
10.1	INTRODUÇÃO	441
10.2	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	443
10.3	EQUIPAMENTOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL NÃO-DESTRUTIVA	445
10.4	NOÇÕES DE RETROANÁLISE	453
10.5	SIMULADORES DE TRÁFEGO	457
10.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	460
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	461
<b>11</b>	<b>Técnicas de restauração asfáltica</b>	<b>463</b>
11.1	INTRODUÇÃO	463
11.2	TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS COM PROBLEMAS FUNCIONAIS	466
11.3	TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS COM PROBLEMAS ESTRUTURAIIS	468
11.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRINCAMENTO POR REFLEXÃO	469
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	475
	ÍNDICE DE FIGURAS	477
	ÍNDICE DE TABELAS	486
	ÍNDICE REMISSIVO DE TERMOS	490
	ÍNDICE REMISSIVO DAS BIBLIOGRAFIAS	496



## PREFÁCIO

Este livro tem por objetivo principal contribuir para a formação do aluno na área de pavimentação asfáltica, dos cursos de Engenharia Civil de universidades e faculdades do país. O projeto deste livro integra o Programa Asfalto na Universidade, concebido em conjunto com a Petrobras e a Abeda, nossos parceiros e patrocinadores, para apoiar o ensino de graduação, disponibilizando material bibliográfico adicional aos estudantes e aos docentes de disciplinas de infra-estrutura de transportes. Os autores acreditam que seu conteúdo possa ser também útil a engenheiros e a técnicos da área de pavimentação e, no aspecto de organização do conhecimento, a pós-graduandos.

A elaboração deste livro em muito assemelha-se à construção de uma estrada, e os autores o vêem como mais uma via na incessante busca de novos horizontes. Estradas preexistentes influenciam o traçado de novas rodovias, assim como a preexistência de diversos materiais bibliográficos contribuiu para o projeto deste livro. Os autores procuraram ao máximo trafegar por diversas referências, devidamente reconhecidas no texto, e estão cientes de que muitos outros caminhos precisam ser percorridos para uma viagem mais plena.

Como em qualquer projeto de engenharia, decisões foram tomadas com vistas à delimitação do trabalho. Foram enfocados tópicos julgados menos disponíveis na literatura técnica brasileira sobre materiais de pavimentação – principalmente no que se refere aos ligantes asfálticos e aos tipos e propriedades das misturas asfálticas –, técnicas executivas e de avaliação de desempenho, bem como as diretrizes para a restauração asfáltica de pavimentos. Esses assuntos foram considerados pelos autores de grande valia para a construção do conhecimento sobre pavimentação na academia. Os autores reconhecem a limitação do escopo deste livro e recomendam fortemente que os estudantes busquem bibliografia complementar que enriqueça seus conhecimentos, enveredando também pelos caminhos do projeto de dimensionamento das estruturas de pavimentos e de restaurações, da mecânica dos pavimentos, da geotecnia, do projeto de tráfego e de drenagem, das técnicas de controle tecnológico, da gerência de pavimentos etc. Todas essas áreas do saber afins à pavimentação dão embasamentos aos conceitos necessários para termos pavimentos rodoviários, aeroportuários e urbanos mais econômicos, com melhor desempenho e mais duráveis para cada situação.

Como toda obra de pavimentação, não faltou neste caso a consultoria e o controle de qualidade, exercidos com competência e elegância pelos colegas aqui reconhecidos por seus valiosos comentários e sugestões: Dra. Leni Figueiredo Mathias Leite

e Eng. Luis Alberto do Nascimento (Centro de Pesquisa da Petrobras), Eng. Ilonir Antonio Tonial (Petrobras Distribuidora), Eng. Armando Morilha Júnior (Abeda), Prof. Dr. Glauco Túlio Pessa Fabbri (Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo), Prof. Sérgio Armando de Sá e Benevides (Universidade Federal do Ceará), Prof. Álvaro Vieira (Instituto Militar de Engenharia) e Eng. Alfredo Monteiro de Castro Neto (Desenvolvimento Rodoviário S.A.).

A experiência de escrever este livro a oito mãos foi deveras enriquecedora, construindo-o em camadas, com materiais convencionais e alternativos, cuidadosamente analisados, compatibilizando-se sempre as espessuras das camadas e a qualidade dos materiais. No livro, competências e disponibilidades de tempo foram devidamente dosadas entre os quatro autores. Um elemento presente foi o uso de textos anteriormente escritos pelos quatro autores em co-autoria com seus respectivos alunos e colegas de trabalho, sendo estes devidamente referenciados.

Por fim, tal qual uma estrada, por melhor que tenha sido o projeto e a execução, esta obra está sujeita a falhas, e o olhar atento dos pares ajudará a realizar a manutenção no momento apropriado. O avanço do conhecimento na fascinante área de pavimentação segue em alta velocidade e, portanto, alguns trechos da obra talvez mereçam restauração num futuro não distante. Novos trechos devem surgir. Aos autores e aos leitores cabe permanecer viajando nas mais diversas estradas, em busca de paisagens que ampliem o horizonte do conhecimento. Aqui, espera-se ter pavimentado mais uma via para servir de suporte a uma melhor compreensão da engenharia rodoviária. Que esta via estimule novas vias, da mesma forma que uma estrada possibilita a construção de outras tantas.

#### Os autores

NOTA IMPORTANTE: Os quatro autores participaram na seleção do conteúdo, na organização e na redação de todos os onze capítulos, e consideram suas respectivas contribuições ao livro equilibradas. A ordem relativa à co-autoria levou em consideração tão somente a coordenação da produção do livro.

# Diagnóstico de defeitos, avaliação funcional e de aderência

## 9.1 INTRODUÇÃO

O objetivo principal da pavimentação é garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e condições climáticas, e proporcionar aos usuários conforto ao rolamento e segurança. Uma vez que o solo natural não é suficientemente resistente para suportar a repetição de cargas de roda sem sofrer deformações significativas, torna-se necessária a construção de uma estrutura, denominada pavimento, que é construída sobre o subleito para suportar as cargas dos veículos de forma a distribuir as solicitações às suas diversas camadas e ao subleito (Croney, 1977), limitando as tensões e as deformações de forma a garantir um desempenho adequado da via, por um longo período de tempo.

O desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se à capacidade de suporte e à durabilidade compatível com o padrão da obra e o tipo de tráfego, bem como o conforto ao rolamento e a segurança dos usuários. O desafio de projetar um pavimento reside no fato, portanto, de conceber uma obra de engenharia que cumpra as demandas estruturais e funcionais. Aliado a esses dois objetivos, o pavimento deve ainda ser projetado da forma mais econômica possível, atendendo as restrições orçamentárias.

Do ponto de vista do usuário, o estado da superfície do pavimento é o mais importante, pois os defeitos ou irregularidades nessa superfície são percebidos uma vez que afetam seu conforto. Quando o conforto é prejudicado, significa que o veículo também sofre mais intensamente as conseqüências desses defeitos. Essas conseqüências acarretam maiores custos operacionais, relacionados a maiores gastos com peças de manutenção dos veículos, com consumo de combustível e de pneus, com o tempo de viagem etc. Portanto, atender o conforto ao rolamento também significa economia nos custos de transporte. Modelos empíricos de desempenho mostram claramente a correlação entre a irregularidade e os custos operacionais (Geipot, 1981; Robinson, 1986). Esses modelos são empregados em planejamento e em gerência de pavimentos e de manutenção, tendo alguns sido desenvolvidos pela Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos Rodoviários (Geipot, 1981), utilizados nos programas de gerência do HDM III (*The Highway Design and Maintenance-III*), World Bank (1985), e também incorporados na nova versão IV (World Bank, 2000).

## 9.2 SERVENTIA

A avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à apreciação da superfície dos pavimentos e como este estado influencia no conforto ao rolamento. O primeiro método estabelecido de forma sistemática para a avaliação funcional foi o da serventia de um dado trecho de pavimento, concebida por Carey e Irick (1960) para as pistas experimentais da AASHO (American Association of State Highway Officials, hoje AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials). O valor de serventia atual é uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, dada pela média de notas de avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento. Esta escala compreende cinco níveis de serventia, conforme expresso na Tabela 9.1, sendo também adotada no país pelo DNIT 009/2003-PRO (DNIT, 2003d).

**TABELA 9.1 NÍVEIS DE SERVENTIA (DNIT, 2003d)**

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Nos Estados Unidos a avaliação subjetiva de conforto ao rolamento do pavimento é denominada *present serviceability ratio* (PSR), correspondendo no Brasil ao valor de serventia atual (VSA) (DNIT, 2003d).

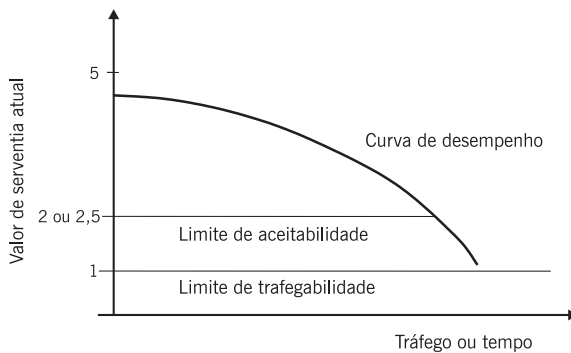
O VSA é, em geral, elevado logo após a construção do pavimento, quando bem executado pois este exibe uma superfície suave, praticamente sem irregularidades. A condição de perfeição, sem qualquer irregularidade (VSA = 5), não é encontrada na prática. Como exemplo, nas pistas experimentais da AASHO, na década de 1960, foram obtidos valores de serventia atual inicial de 4,2 para pavimentos asfálticos e de 4,5 para pavimentos de concreto de cimento Portland. Com o aprimoramento das técnicas construtivas, é possível obter nos dois tipos de pavimento valores iniciais mais próximos da nota 5. Portanto, o VSA, logo após o término da construção do pavimento, depende muito da qualidade executiva e das alternativas de pavimentação selecionadas.

O VSA do pavimento diminui com o passar do tempo por dois fatores principais: o tráfego e as intempéries. A forma da curva de serventia com tempo decorrido de utilização da via é mostrada esquematicamente na Figura 9.1.

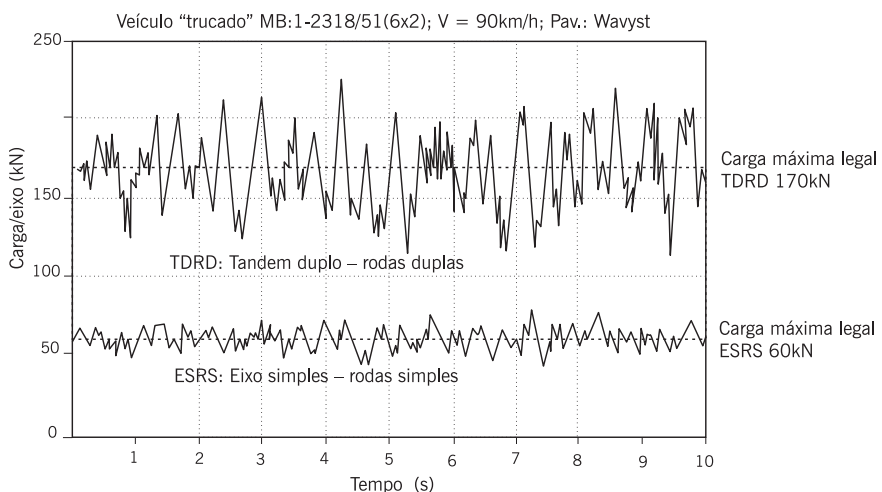
Todos os veículos que passam pelo trecho são “registrados” na estrutura uma vez que cada passagem de carga contribui incrementalmente para o estado de deterioração do pavimento. Portanto, a superfície sofre alterações que deterioram seu estado de superfície e causam desconfortos crescentes aos usuários. Os veículos, principalmente os caminhões e ônibus, ao trafegarem sobre as irregularidades (depressões, corrugações, trilhas

de rodas, entre outras), têm sua carga estática acrescida devido a efeitos dinâmicos e que atuam por um período curto de tempo nas proximidades da irregularidade (Fernandes Jr. e Barbosa, 2000). Como ilustração desse efeito, a Figura 9.2 mostra a variação da carga dinâmica produzida por um eixo simples de rodas duplas com a carga legal estática de 100kN e por um eixo tandem duplo com a carga legal estática de 170kN, trafegando a 90km/h sobre um pavimento com elevada irregularidade. O aumento na magnitude de solicitação intensifica de forma não-linear a progressão dos defeitos, acentuando-os e provocando um aumento na irregularidade da superfície ou queda da serventia.

O clima contribui para a aceleração da deterioração do pavimento uma vez que a água da chuva pode provocar queda de capacidade de suporte. Como consequência, a estrutura ao ser solicitada pelo tráfego sofre maiores deslocamentos, provocando maiores danos estruturais e de superfície. O pavimento já trincado na superfície facilita a entrada de água. Com a evolução das trincas, o decréscimo do valor de serventia é ainda mais acentuado. A temperatura também afeta o comportamento dos materiais. O aumento



**Figura 9.1** Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via

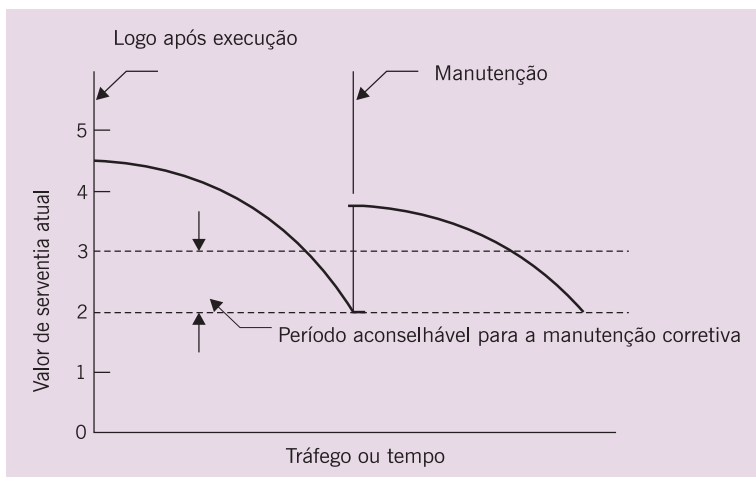


**Figura 9.2** Variação da carga dinâmica de dois eixos legais trafegando em uma via com elevada irregularidade (Fernandes Jr. e Barbosa, 2000)

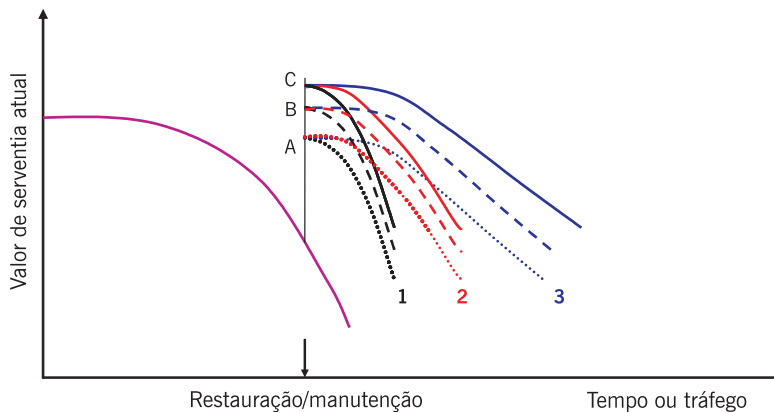
da temperatura reduz a viscosidade dos ligantes asfálticos e a resistência das misturas asfálticas às deformações permanentes. Temperaturas muito baixas podem provocar trincamento no revestimento asfáltico por retração e levam ainda ao seu enrijecimento que, se muito delgado, e construído sobre materiais muito deformáveis, fica mais suscetível ao trincamento por fadiga.

Na Figura 9.1 estão indicados dois limites: de aceitabilidade e de trafegabilidade. Para os usuários, há um limite de aceitabilidade das condições de rolamento do pavimento, abaixo do qual o nível de conforto passa a ser inaceitável; este limite depende da categoria da rodovia e do tráfego. O guia de dimensionamento de pavimentos norte-americano da AASHTO (1993) introduziu pioneiramente já na sua primeira versão da década de 1960, além do critério de resistência, também o critério de serventia para o cálculo das estruturas de pavimento. Esse método atribui como limite da aceitabilidade a nota 2,5 para vias de alto volume de tráfego e 2,0 para as demais. Na prática, sempre que o valor de serventia atual atinge este patamar, uma intervenção de manutenção corretiva deve ser realizada de modo a repor o índice a um valor superior – Figura 9.3. No período em que o pavimento apresenta VSA acima deste valor, deve-se realizar manutenção preventiva periódica de modo a prolongar o tempo em que o mesmo permanece em condição aceitável quanto ao rolamento. Caso não haja manutenção ou esta seja inadequada, o pavimento pode atingir o limite de trafegabilidade, situação na qual se torna necessária sua reconstrução. Este limite depende dos padrões estabelecidos, estando geralmente próximo ao valor de serventia atual de 1,0 – Figura 9.1.

Após manutenção corretiva, o valor de serventia eleva-se novamente podendo atingir valores menores, iguais ou maiores à serventia inicial do pavimento. Esta situação é representada na Figura 9.4 pelas letras A, B e C. Este novo valor depende do tipo de revestimento asfáltico, da espessura projetada e da qualidade executiva. Após a restauração do pavimento, a serventia volta a diminuir dependendo da estrutura original, do grau



**Figura 9.3** Período recomendável para a manutenção dos pavimentos



**Figura 9.4 Período recomendável para a manutenção dos pavimentos**

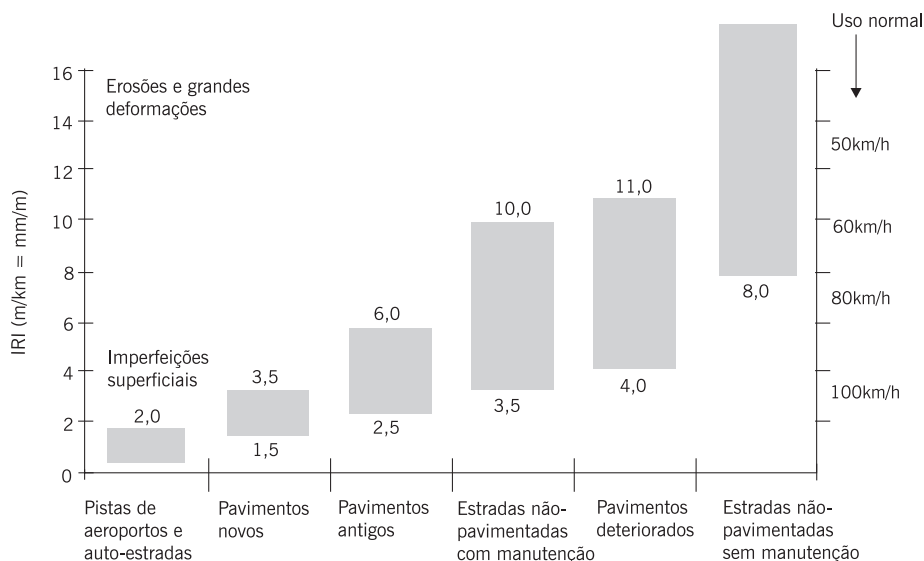
de deterioração em que se encontrava, e do tipo e espessura da camada de manutenção. Essas diferenças podem ser observadas no exemplo da restauração do tipo A, onde se destacam três diferentes curvas de serventia, denominadas pelos algarismos 1, 2 e 3.

A manutenção de um pavimento asfáltico não deve ser realizada tão-somente como correção funcional ou estrutural e próxima ao limite de aceitabilidade. É aconselhável um plano estratégico de intervenções periódicas, envolvendo também manutenção preventiva, de modo a garantir um retardamento do decréscimo das condições de superfície. Essas técnicas envolvem às vezes uma simples selagem de trincas ou execução de camadas asfálticas delgadas. Algumas técnicas de restauração são apresentadas no Capítulo 11. Serviços periódicos de conservação devem ser sempre realizados envolvendo técnicas reparadoras em locais específicos, como limpeza e preservação do sistema de drenagem, dos acostamentos e das áreas lindeiras à estrada.

### 9.3 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

A irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico que afeta a dinâmica do veículo, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via. Existe um índice internacional para a medida da irregularidade, designado de IRI – *international roughness index* (índice de irregularidade internacional) que é um índice estatístico, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto. A Figura 9.5 mostra as faixas de variação do IRI em diversas situações (Sayers e Karamihas, 1998). O IRI tem sido utilizado como ferramenta de controle de obras e aceitação de serviços em alguns países.

A irregularidade longitudinal é medida ao longo de uma linha imaginária, paralela ao eixo da estrada e, em geral, coincidente com as regiões de trilhas de roda, podendo em alguns casos haver o interesse de melhor detalhar o perfil, levantando-o



**Figura 9.5** Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação (Sayers e Karamihas, 1998)

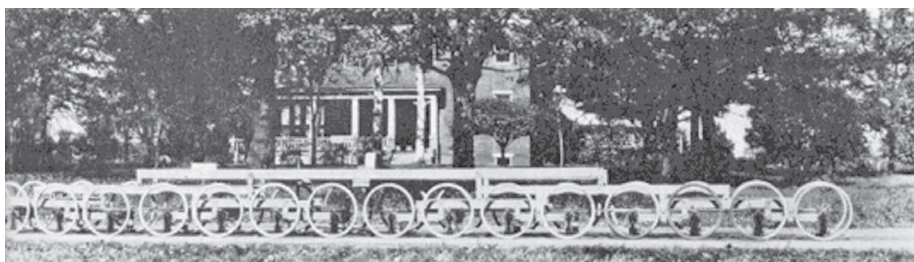
em diversas linhas paralelas imaginárias. A linha de levantamento longitudinal possui uma largura variável de alguns milímetros a centímetros e depende do tipo de equipamento empregado.

Há mais de um século os técnicos procuram quantificar a qualidade de rolamento de seus pavimentos. Um dos primeiros equipamentos norte-americanos para tal finalidade foi o perfilógrafo; um dos exemplos é o perfilógrafo da Departamento de Transportes de Illinois, da década de 1920, que operava à baixa velocidade – Figura 9.6. Outro exemplo bastante conhecido é o perfilógrafo da Departamento de Transportes da Califórnia de 1958, que também operava com baixa velocidade.

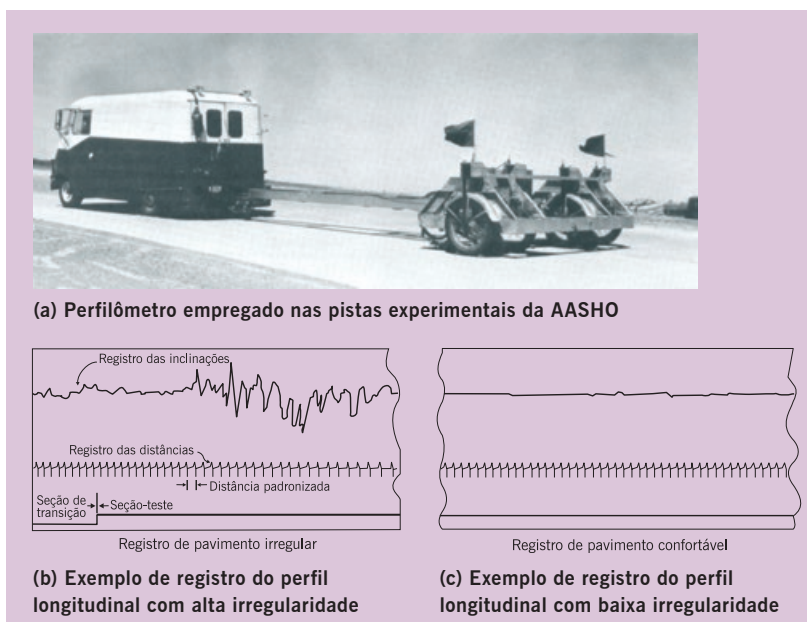
O primeiro equipamento para a avaliação da irregularidade usado na pista da AASHO levou seu nome: AASHO *road test profilometer* – Figura 9.7. Para a avaliação mais extensiva das irregularidades, e não só para pesquisa, foi desenvolvido o perfilômetro CHLOE que também foi empregado nas pistas da AASHO e nos departamentos de transportes norte-americanos.

A irregularidade pode ser levantada com medidas topográficas ou por equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato, ou ainda indiretamente avaliada por equipamentos do tipo “resposta”, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à suspensão. Essa terminologia se deve ao fato desses equipamentos medirem mais o efeito da irregularidade nos veículos do que propriamente a irregularidade. Têm sido empregadas diversas classificações de equipamentos, dependendo do tipo e princípio utilizado para o levantamento. Segundo Sayers e Karamihas (1998), tem-se empregado largamente a seguinte classificação:





**Figura 9.6** Perfilógrafo do Departamento de Transportes de Illinois (Carey, Huckins e Leathers, 1962)



**Figura 9.7** Perfilômetro da AASHO empregado inicialmente na avaliação de suas pistas experimentais (Carey, Huckins e Leathers, 1962)

- *avaliação direta*: por meio de equipamentos de classe I (nível e mira; Dipstick, perfilômetro do TRL etc.) e classe II (perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser, APL francês etc.);
- *avaliação indireta*: equipamentos de classe III do tipo-resposta (TRL Bump integrator, Maysmeter, Merlin etc.).

A avaliação subjetiva da serventia realizada por um painel de avaliadores é classificada por alguns autores e órgãos como classe IV, uma vez que a serventia e a irregularidade se correlacionam.

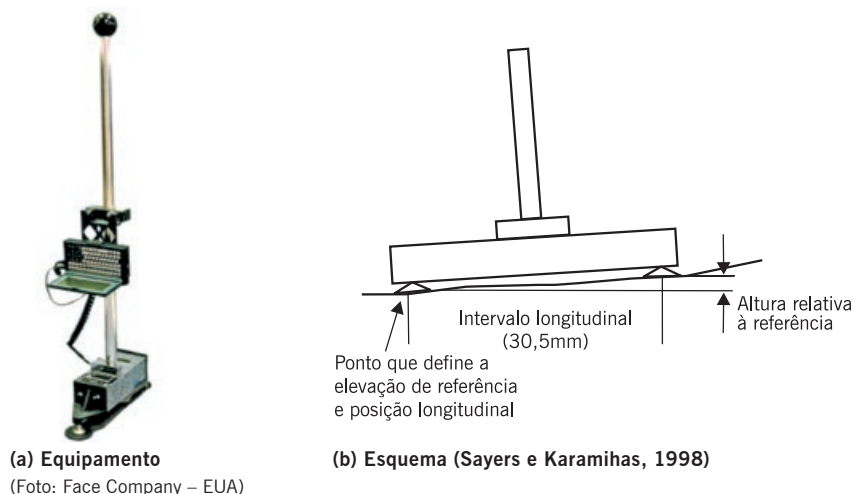
Como classe I, tem-se o levantamento topográfico do perfil longitudinal feito por nível e mira (DNER-ES 173/86). O levantamento longitudinal é feito nas trilhas de roda externa e interna a cada 0,50m, geralmente. Trata-se de método relativamente lento e trabalhoso, sendo empregado para calibração de outros instrumentos de medida de irre-

gularidade de maior rendimento. A Figura 9.8 mostra um exemplo de uma plotagem de levantamento de irregularidade longitudinal efetuado pelo método topográfico.

O *dipstick* é um equipamento classe I também usado para calibração de trecho de referência por se tratar de um método manual de nivelamento de pequeno rendimento. Um operador caminha com o aparelho ao longo das trilhas de roda; o aparelho é girado 180° em torno do segundo ponto de apoio de modo que os dois apoios estão sempre em uma linha imaginária na longitudinal paralela ao eixo. O aparelho possui um inclinômetro instalado que fornece leituras da ordem de um milésimo de polegada. A Figura 9.9 mostra uma foto do equipamento portátil e um esquema de seu funcionamento.



**Figura 9.8** Exemplo de levantamento da irregularidade longitudinal por nível e mira (Queiroz, 1984)



**(a) Equipamento** (Foto: Face Company – EUA)

**(b) Esquema (Sayers e Karamihias, 1998)**

**Figura 9.9** Exemplo de equipamento *dipstick* e esquema de funcionamento

O APL – *analyseur de profil en long* (analisador de perfil longitudinal) francês foi desenvolvido pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Laboratório Central de Pontes e Estradas) para medida de irregularidade. É um equipamento rebocável, podendo ser empregado um único equipamento ou dois paralelos, para o levantamento das

irregularidades nas trilhas de roda. O reboque é puxado por um braço muito rígido, com uma roda em contato com a superfície e possui um pêndulo inercial de baixa frequência que serve como referência horizontal. A velocidade de levantamento é de 72km/h; são registrados comprimentos de onda entre 1 e 40m (comprimentos de onda que interferem nos veículos trafegando entre 80 e 130km/h). A Figura 9.10 mostra uma foto do equipamento francês classificado como de classe II.

Ainda na classe II, existem os equipamentos que fazem o levantamento do perfil longitudinal sem contato. Um exemplo de equipamento dessa classe é mostrado na Figura 9.11, que é o TUS – *transversoprofilomètre à ultrasons* que emprega ondas ultra-sônicas para levantamento da irregularidade.

A Figura 9.12 mostra outro tipo de equipamento sem contato que utiliza o princípio da onda de luz laser para as medidas de irregularidade. Na Figura 9.12(a) encontra-se uma foto do equipamento francês Palas 2 que utiliza um conjunto composto por diodo laser e uma câmera filmadora acoplada capaz de levantar 175 pontos de uma seção transversal com 4m de largura. Na Figura 9.12(b) mostra-se um equipamento brasileiro da mesma



**Figura 9.10** Exemplo de equipamento APL francês

(Foto: Vectra, 2005)



**Figura 9.11** Exemplo de equipamento munido de barra com ultra-som

(Foto: Vectra, 2005)



**(a)** PALAS 2 com laser e câmara filmadora digital

(Foto: LCPC, 2003)



**(b)** Barra com vários lasers

(Foto: Ciber métrica, 2004)

**Figura 9.12** Exemplos de equipamentos medidores de irregularidade de classe II

classe com uma barra contendo cinco lasers para o levantamento da seção transversal com até 3,5m de comprimento.

A avaliação da irregularidade pode ser feita por equipamento Merlin, de classe III, desenvolvido pelo Transport Research Laboratory (TRL) inglês, para ser utilizado em países em desenvolvimento (Cundill, 1991). Na atualidade são mais empregados para levantamento de pequenos trechos ou para calibração de trechos para os equipamentos tipo-resposta também de classe III. Trata-se de uma estrutura metálica com 1,80m de comprimento, munido de uma roda na parte dianteira, uma ponta de prova e um pé traseiro – assemelha-se a uma bicicleta sem a roda traseira – Figura 9.13(a). Anexada à ponta de prova, há uma haste capaz de registrar em uma folha de papel um gráfico condizente com os movimentos da ponta de prova na proporção de 1:10 (1mm de irregularidade : 10mm de registro) – Figura 9.13(b).



(a) Vista geral do equipamento

(Foto: Silva, 2005)



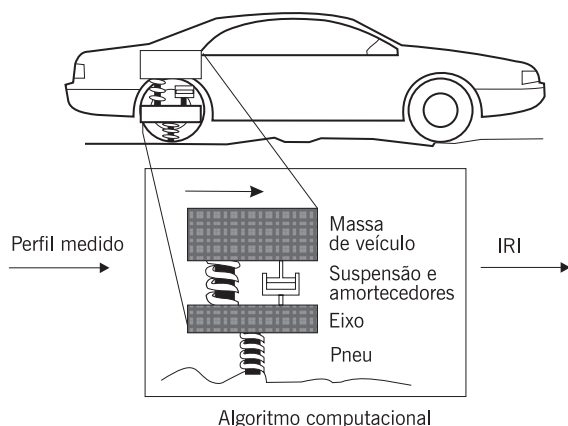
(b) Folha de registros

(Foto: Silva, 2005)

### Figura 9.13 Exemplo de equipamento Merlin medidor de irregularidade

Há uma série de equipamentos tipo-resposta de classe III, muito difundidos e utilizados pela sua praticidade. São sistemas de simples operação e relativamente de baixo custo, com uma unidade sensora/transmissora que registra os movimentos da carroceria do veículo em relação ao eixo traseiro, por meio de um sistema sensível a uma fotocélula, e transmite essas vibrações do movimento a uma unidade de processamento. Um registrador mostra a contagem de movimentos verticais em um trecho de via de determinada extensão (em geral de 80 a 320m). Os registros são de QI (quociente de irregularidade). A Figura 9.14 mostra o princípio de funcionamento de equipamentos dessa natureza.

O Maysmeter é um equipamento medidor de irregularidade do tipo-resposta; foi utilizado no Brasil na Pesquisa do Inter-relacionamento de Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias que estudou extensivamente a irregularidade longitudinal dos pavimentos e sua relação com os custos operacionais; seus modelos foram introduzidos pelo Banco Mundial no Programa HDM III para gerência de rodovias e de manutenção de pavimentos. A medição de irregularidade pelo Maysmeter é normatizada no Brasil pelo DNIT (DNER-PRO 182/94).



**Figura 9.14 Princípio de funcionamento de equipamento tipo-resposta (Gillespie et al., 1980)**

Na década de 1980, dentro do mesmo conceito, foi concebido um equipamento pelo IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias e pela USP – Universidade de São Paulo, denominado integrador IPR/USP. O equipamento é composto por dois conjuntos: um sensor de deslocamentos vertical instalado no diferencial para ser sensibilizado pelo movimento vertical entre o chassi e o diferencial, e um quantificador de irregularidades digital. A medição de irregularidade pelo IPR/USP é normatizada no Brasil pelo DNIT (DNER-PRO 182/94 – DNER, 1994b). Os equipamentos tipo-resposta fornecem um valor de  $QI$  (quociente de irregularidade) que numericamente pode ser relacionado com o  $IRI$  através da seguinte expressão:

$$QI = 13 \times IRI \quad (9.1)$$

O DNER especifica o procedimento de calibração e manutenção dos equipamentos Maysmeter e do IPR/USP, (DNER-PRO 164/94 e PRO 229/94, DNIT 1994a, 1994c). Alguns estudos complementares foram realizados para ajuste dos procedimentos de calibração para projetos de vias e de redes rodoviárias, e ainda para controle de concessões (Bottura, 1998).

## 9.4 DEFEITOS DE SUPERFÍCIE

Os defeitos de superfície são os danos ou deteriorações na superfície dos pavimentos asfálticos que podem ser identificados a olho nu e classificados segundo uma terminologia normatizada (DNIT 005/2003-TER-DNIT, 2003a). O levantamento dos defeitos de superfície tem por finalidade avaliar o estado de conservação dos pavimentos asfálticos e embasa o diagnóstico da situação funcional para subsidiar a definição de uma solução tecnicamente adequada e, em caso de necessidade, indicar a melhor ou melhores alternativas de restauração do pavimento. Na gerência de pavimentos ou de manutenção, o

conjunto de defeitos de um dado trecho pode ser resumido por índices que auxiliem na hierarquização de necessidades e alternativas de intervenção.

#### **9.4.1 Causas dos defeitos e importância do diagnóstico correto**

Os defeitos de superfície podem aparecer precocemente (devido a erros ou inadequações) ou a médio ou longo prazo (devido à utilização pelo tráfego e efeitos das intempéries). Entre os erros ou inadequações que levam à redução da vida de projeto, destacam-se os seguintes fatores, agindo separada ou conjuntamente: erros de projeto; erros ou inadequações na seleção, na dosagem ou na produção de materiais; erros ou inadequações construtivas; erros ou inadequações nas alternativas de conservação e manutenção.

Os erros de projeto decorrem de diferentes fatores, muitos comumente relacionados à dificuldade de prever o tráfego real que atuará no período de projeto. Essa dificuldade advém da ausência de dados de tráfego local ou da falta de planejamento estratégico regional, o que leva ao desconhecimento das taxas de crescimento real. Também é difícil quantificar o volume de tráfego gerado por uso não previsto em projeto, tais como utilização como via alternativa pelo maior conforto ao rolamento ou por não ser cobrado o pedágio. Deve-se incluir nessas falhas de prognóstico a dificuldade de prever o excesso de carga, comumente praticado em muitas rodovias brasileiras não controladas por balança.

Ainda com relação ao projeto, podem ocorrer erros ou problemas no dimensionamento estrutural, tais como: incompatibilidade estrutural entre as camadas gerando fadiga precoce dos revestimentos (ex.: revestimento asfáltico com módulo de resiliência muito elevado – alta rigidez, e muito delgado sobre camadas muito resilientes ou deformáveis); especificação em projeto de material inexistente ou de difícil disponibilidade local, obrigando substituições incorretas durante a obra; concepção estrutural que permita aprisionamento de água na estrutura de pavimento e falhas no sistema de drenagem; ou mesmo subdimensionamento estrutural, seja por erro de projeto ou erro na previsão da capacidade de suporte dos materiais.

Quanto aos erros ou inadequações na seleção de materiais, na dosagem ou na produção de misturas, destacam-se alguns exemplos ilustrativos: seleção incorreta de solo para reforços do subleito ou para misturas; seleção imprópria de agregados e de graduação para compor bases e sub-bases, ou ainda revestimentos asfálticos; dosagem incorreta de materiais estabilizados com cimento ou cal; dosagem incorreta do teor de ligante asfáltico nas misturas asfálticas; variações de materiais e teores durante a usinagem; uso de temperatura inadequada na usinagem das misturas asfálticas, entre outros.

Entre os erros e problemas construtivos, destacam-se alguns exemplos: espessuras menores que as previstas em projeto; falta de compactação apropriada das camadas, causando deformações e afundamentos excessivos ou rupturas localizadas; técnica de compactação inadequada, com uso de equipamentos de baixa eficiência; compactação de misturas asfálticas em temperaturas inadequadas ou variabilidade de temperatura na massa asfáltica durante o processo de compactação; erros nas taxas de imprimção ou de pintura de ligação, entre outros.

As inadequações na seleção de alternativas de conservação e manutenção podem causar novos defeitos, como por exemplo: reforço de revestimento asfáltico delgado de rigidez elevada sobre pavimento muito trincado possibilitando a reflexão de trincas precocemente; tratamentos superficiais delgados para redução de irregularidade; restauração com revestimentos permeáveis sobre superfícies já muito trincadas, permitindo a entrada de água, entre outros.

Antes da adoção de qualquer alternativa de restauração ou aplicação de qualquer critério numérico ou normativo para cálculo de reforços, um bom diagnóstico geral dos defeitos de superfície é imprescindível para o estabelecimento da melhor solução. Portanto, para corrigir ou minimizar uma consequência (defeito), deve-se conhecer as prováveis causas que levaram ao seu aparecimento. Para tanto, recomenda-se: verificação *in situ* dos problemas de superfície, relações com as condições geométricas, dos taludes e de drenagem; levantamento de dados climáticos, de tráfego, de mapas geológicos, pedológicos ou geotécnicos; levantamento de memórias técnicas e de relatórios de projeto e de controle; e estabelecimento de um cenário global dos defeitos e sua relação com todos os dados observados e levantados.

#### 9.4.2 Terminologia e tipos de defeitos

Para a classificação dos defeitos, utiliza-se a norma DNIT 005/2003 – TER: *Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia*.

Os tipos de defeitos catalogados pela norma brasileira e que são considerados para cálculo de indicador de qualidade da superfície do pavimento (IGG – Índice de Gravidade Global) são: fendas (F); afundamentos (A); corrugação e ondulações transversais (O); exsudação (EX); desgaste ou desagregação (D); panela ou buraco (P); e remendos (R).

As **fendas** são aberturas na superfície asfáltica e podem ser classificadas como *fissuras*, quando a abertura é perceptível a olho nu apenas à distância inferior a 1,5m, ou como *trincas*, quando a abertura é superior à da fissura. As fendas representam um dos defeitos mais significativos dos pavimentos asfálticos e são subdivididas dependendo da tipologia e da gravidade.

A gravidade é caracterizada por *classe 1* (fendas com abertura não superior a 1mm), *classe 2* (fendas com abertura superior a 1mm), e *classe 3* (fendas com abertura superior a 1mm e desagregação ou erosão junto às bordas).

Quanto à tipologia, as trincas *isoladas* podem ser: transversais curtas (TTC) ou transversais longas (TTL), longitudinais curtas (TLC) ou longitudinais longas (TLL), ou ainda de retração (TRR). As trincas *interligadas* são subdivididas em: trincas de bloco (TB) quando tendem a uma regularidade geométrica, ou ainda (TBE) quando as trincas de bloco apresentam complementarmente erosão junto às suas bordas; ou trincas tipo couro de jacaré (J) quando não seguem um padrão de reflexão geométrico de trincas como as de bloco e são comumente derivadas da fadiga do revestimento asfáltico, ou ainda (JE) quando as trincas tipo couro de jacaré apresentam complementarmente erosão junto às suas bordas.

Outro defeito importante são os **afundamentos** derivados de deformações permanentes seja do revestimento asfáltico ou de suas camadas subjacentes, incluindo o subleito.

Os afundamentos são classificados como: afundamento por consolidação (AC), quando as depressões ocorrem por densificação diferencial, podendo ser localizado (ALC) quando a extensão não supera 6m, ou longitudinal nas trilhas de roda (ATC) no caso que exceda 6m de extensão; ou afundamentos plásticos (AP), quando as depressões são decorrentes principalmente da fluência do revestimento asfáltico, podendo ser localizado (ALP) ou longitudinal nas trilhas de roda (ATP). Em geral, neste último tipo de afundamento, há certa compensação volumétrica, com solevamento da massa asfáltica junto às bordas do afundamento.

As **corrugações** (O) são deformações transversais ao eixo da pista, em geral compensatórias, com depressões intercaladas de elevações, com comprimento de onda entre duas cristas de alguns centímetros ou dezenas de centímetros. As **ondulações** (O) são também deformações transversais ao eixo da pista, em geral decorrentes da consolidação diferencial do subleito, diferenciadas da corrugação pelo comprimento de onda entre duas cristas da ordem de metros. Ambas são classificadas pela letra (O) na norma brasileira, embora sejam decorrentes de fenômenos diferentes.

A **exsudação** (EX) é caracterizada pelo surgimento de ligante em abundância na superfície, como manchas escurecidas, decorrente em geral do excesso do mesmo na massa asfáltica.

O **desgaste** (D) ou ainda **desagregação** decorre do desprendimento de agregados da superfície ou ainda da perda de mástique junto aos agregados.

A **panela** (P) ou **buraco** é uma cavidade no revestimento asfáltico, podendo ou não atingir camadas subjacentes. O **escorregamento** (E) é decorrente de fluência do revestimento asfáltico.

O **remendo** (R) é um tipo de defeito apesar de estar relacionado a uma conservação da superfície e caracteriza-se pelo preenchimento de painéis ou de qualquer outro orifício ou depressão com massa asfáltica.

Outros defeitos, apesar de não acarretarem prejuízo nos indicadores do tipo IGG, são também importantes e devem ser considerados para uma análise da solução de restauração: escorregamento do revestimento asfáltico, polimento de agregados, bombeamento de finos, trincas distintas das anteriores como trincas de borda próximas aos acostamentos e parabólicas, falhas do bico espargidor, desnível entre pista e acostamento, marcas impressas na superfície – marcas de pneus, empolamento ou elevações por expansão ou raízes de árvores, entre outros.

São ilustrados nas Figuras 9.15 a 9.20 alguns tipos dos defeitos de superfície citados e que serão considerados para o cálculo do IGG, além de alguns exemplos de defeitos não considerados pela especificação brasileira, mas que a observação e anotação de sua ocorrência auxiliarão na solução ou minimização de problemas futuros. A cada tipo de defeito são associadas algumas causas prováveis para seu aparecimento na superfície. O importante a ser ressaltado é que o diagnóstico da situação geral, envolvendo a compreensão das causas dos defeitos é a etapa mais importante do levantamento da condição funcional para fins de projeto de restauração ou de gerência de manutenção.



## DEFEITOS



(a) Trincas isoladas curtas longitudinais (TLC)



(b) Trincas longitudinais longas (TLL)

## ALGUMAS CAUSAS PROVÁVEIS

(a) TLC: falhas na execução, na temperatura de compactação ou mesmo na dosagem da mistura asfáltica. Envelhecimento de ligante asfáltico

(b) TLL: falhas executivas, recalques diferenciais. Podem também aparecer junto à trilha de roda ou como falha de juntas longitudinais de diferentes frentes de compactação. Envelhecimento do ligante asfáltico



(c) Trinca de retração (TRR)



(d) Trinca de retração (TRR)

(c) e (d) TRR: trincas decorrentes da reflexão de trincas de placas de concreto de cimento Portland ou de trincas preexistentes



(e) Trincas de bloco com erosão (TBE)



(f) Trincas de bloco sem erosão (TB)

(e) TBE: trincas de bloco em tratamento superficial decorrentes de reflexão de trincas em solo-cal da base, com erosão junto às bordas

(f) TB: trincas de bloco decorrentes de reflexão das trincas em solo-cimento da base

Figura 9.15 Fendas

## DEFEITOS



(g) Trincas tipo couro de jacaré com erosão (JE)



(h) Trincas tipo couro de jacaré (J)

## ALGUMAS CAUSAS PROVÁVEIS

(g) e (h) JE e J – várias causas podem gerar o trincamento jacaré, entre elas: ação da repetição de cargas do tráfego; ação climática – gradientes térmicos; envelhecimento do ligante e perda de flexibilidade seja pelo tempo de exposição seja pelo excesso de temperatura na usinagem; compactação deficiente do revestimento; deficiência no teor de ligante asfáltico; subdimensionamento; rigidez excessiva do revestimento em estrutura com elevada deflexão; reflexão de trincas de mesma natureza; recalques diferenciais; entre outros. Podem aparecer em trilhas de roda, localizadamente, junto às bordas ou de forma generalizada



(i) Conjunto de trincas longitudinais longas



(j) Trinca de retração térmica

(i) Trincas decorrentes da ação de umedecimento da base por infiltração de água pelos acostamentos não protegidos e ação conjunta do tráfego

(j) Trinca de retração térmica em ambientes sujeitos a baixas temperaturas

Figura 9.15 Fendas (continuação)

## DEFEITOS



(a) Afundamento por consolidação em trilha de roda (ATC)



(b) Afundamento por consolidação localizado (ALC)

## ALGUMAS CAUSAS PROVÁVEIS

(a) ATC: afundamento decorrente de densificação ou ruptura por cisalhamento de camadas subjacentes ao revestimento; pode também ocorrer por descolamento de película de asfalto junto ao agregado (*stripping*); em geral desenvolvem-se trincas dentro das trilhas de roda ou à sua borda. Em geral sem compensação volumétrica lateral, a não ser em alguns casos de ruptura por cisalhamento

(b) ALC: problemas ou deficiências construtivas, falhas de compactação, presença de solo "borrachudo"; problemas de drenagem; rupturas por cisalhamento localizadas; em geral desenvolvem-se trincas nas depressões



(c) Afundamento plástico nas trilhas de roda (ATP)



(d) Escorregamento de massa (E)

(c) ATP: falha na dosagem de mistura asfáltica – excesso de ligante asfáltico; falha na seleção de tipo de revestimento asfáltico para a carga solicitante; em geral com sollevamento lateral – compensação volumétrica junto à depressão

(d) E: Escorregamento de massa asfáltica por fluência decorrente de excesso de ligante; em geral junto às depressões localizadas, às trilhas de roda e às bordas de pavimentos

Figura 9.16 Afundamentos e escorregamentos

## DEFEITOS



(a) Escorregamento do revestimento (E)



(b) Corrugação (O)

## ALGUMAS CAUSAS PROVÁVEIS

(a) E: escorregamento do revestimento asfáltico por falhas construtivas e de pintura de ligação; difere do escorregamento de massa por fluência do subitem (d) anterior

(b) O: corrugação devido à fluência da massa asfáltica – comprimento de onda da ordem de centímetros a dezenas de centímetros; em geral ocorre em área de aceleração ou desaceleração, rampas sujeitas ao tráfego de veículos pesados e lentos, curvas, entre outros locais. Não se deve confundir com a ondulação causada por adensamento diferencial do subleito que provoca comprimentos de ondas da ordem de metros



(c) Exsudação (EX)

(Foto: Moura, 2004)



(d) Detalhe de exsudação (EX)

(c) e (d) EX: falhas de dosagem provocando excesso de ligante em alguns pontos ou de maneira generalizada; pode ocorrer por segregação de massa, com concentração de ligante em alguns pontos e falta em outros; ou ainda por cravamento de agregados em base e ascensão de ligante à superfície

Figura 9.17 Escorregamento, corrugação e exsudação

## DEFEITOS



(a) Desgaste (D)



(b) Desagregação (D)

## ALGUMAS CAUSAS PROVÁVEIS

(a) e (b) D: falhas de adesividade ligante-agregado (*stripping*); presença de água aprisionada e sobrepressão em vazios da camada de revestimento gerando descolamento de ligante (*stripping*); problemas de dosagem – deficiência no teor de ligante; falhas de bico em tratamentos superficiais; problemas executivos ou de projeto de misturas – segregação de massa asfáltica



(c) Deslocamento e perda de agregados



(d) Polimento de agregado

(c) D: problemas na adesividade ligante asfáltico-agregado provocando o descolamento e remoção dos agregados pelo tráfego; agregados com baixa resistência mecânica ou química

(d) Seleção deficiente de agregados – problemas de adesividade somados à potencialidade de polimento das superfícies dos agregados pela ação dos pneus de veículos

Figura 9.18 Desgaste, desagregação, polimento de agregados

## DEFEITOS



(a) Painela atingindo a base (P)



(b) Painela (P)

(Foto: Silva, 2003)



(c) Remendo mal executado (R)



(d) Remendo bem executado (R)

## ALGUMAS CAUSAS PROVÁVEIS

(a) e (b) P: local onde havia trincas interligadas e com a ação do tráfego e intempéries houve remoção do revestimento ou mesmo de parte da base; falha construtiva – deficiência na compactação, umidade excessiva em camadas de solo, falha na imprimação; desagregação por falha na dosagem, *stripping* ou ainda segregação. Na foto (b): falha na pintura de ligação em camadas de revestimento causando o destacamento ou “despelamento”

(c) e (d) R: preenchimento de depressões ou painelas com massa asfáltica; apesar de ser uma atividade de conservação é considerado um defeito por apontar um local de fragilidade do revestimento e por provocar danos ao conforto ao rolamento. Na foto (d) consta uma conservação bem executada; na foto (c), demonstra-se falta de técnica para reparos

Figura 9.19 Painelas e remendos

## DEFEITOS



(a) Segregação



(b) Bombeamento de finos



(c) Falha de bico espargidor



(d) Recalque diferencial

## ALGUMAS CAUSAS PROVÁVEIS

(a) Concentração de agregados em uma área e de mástique em outras, resultado da deficiência de ligante em alguns locais e excesso em outros; problemas na definição de faixa granulométrica da mistura, problemas de usinagem, problemas diferenciais de temperatura de distribuição e compactação. Pode ser classificado como desgaste (D)

(b) Subida à superfície por meio de fendas de material fino devido à presença de água sob pressão causada pela ação do tráfego e rapidamente aliviada após solicitação provocando a ascensão dos finos

(c) Falha nos bicos espargidores em tratamentos superficiais, em geral com falta de ligante asfáltico provocando deficiência de cobertura e envolvimento dos agregados e seu conseqüente desprendimento pela ação do tráfego

(d) Falhas construtivas de compactação, adensamento diferencial causado por alterações substanciais no material da fundação, alargamentos de faixas com preexistência de pistas anteriores

Figura 9.20 Outros defeitos

## 9.5 AVALIAÇÃO OBJETIVA DE SUPERFÍCIE PELA DETERMINAÇÃO DO IGG

A condição de superfície de um pavimento asfáltico deve ser levantada, analisados seus defeitos e causas, e atribuídos indicadores numéricos que classifiquem seu estado geral. O DNIT 006/2003 – PRO (DNIT, 2003b) estabelece um método de levantamento sistemático de defeitos e atribuição do Índice de Gravidade Global (IGG), que poderá ser empregado em projetos de reforço. Para sistemas de gerência de manutenção emprega-se geralmente o DNIT 007/2003 – PRO (DNIT, 2003c). Muitas vezes o levantamento dos defeitos e o cálculo do IGG precedem o levantamento estrutural para poder melhor embasá-lo.

Para o levantamento dos defeitos são utilizadas planilhas para anotações das ocorrências, material para demarcação de estacas e áreas da pesquisa, e treliça metálica para determinação do afundamento nas trilhas de roda das áreas analisadas. A Figura 9.21 mostra um exemplo de treliça, com haste móvel central, capaz de medir os afundamentos com a precisão de 0,5mm.

O IGG não é determinado para toda a área da pista, mas de forma amostral para algumas estações com área e distanciamento entre elas prefixados pela especificação do DNIT. As estações são inventariadas nas rodovias de pista simples a cada 20m, alternados entre faixas, portanto, em cada faixa a cada 40m; nas rodovias de pista dupla, a cada 20m, na faixa mais solicitada pelo tráfego, em cada uma das pistas. A superfície de avaliação corresponde a 3m antes e 3m após cada uma das estacas demarcadas, totalizando em cada estação uma área correspondente a 6m de extensão e largura igual a da faixa a ser avaliada. A Figura 9.22 mostra um exemplo das estações em pista simples.

Faz-se a anotação numa planilha utilizando a terminologia e codificação de defeitos apresentados no item 9.4 existentes na área demarcada. Observe-se que não se dá importância neste método à área atingida pelo defeito, mas à sua ocorrência ou não. Os afundamentos nas trilhas de roda externa e interna devem ser mensurados com o auxílio

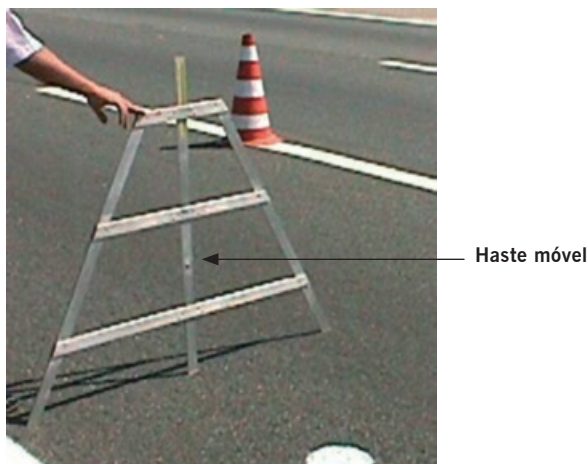
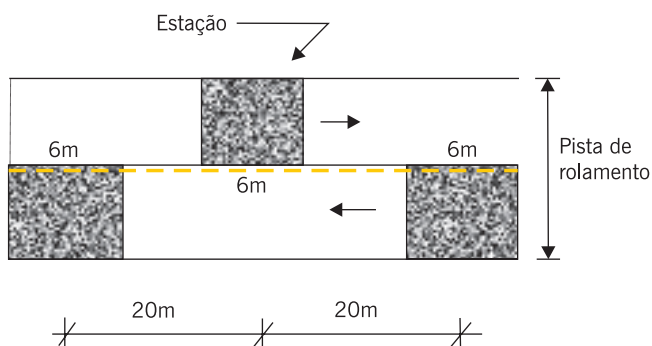


Figura 9.21 Treliça metálica para medida dos afundamentos em trilhas de roda





**Figura 9.22 Exemplo de demarcação de áreas para inventário de defeitos**

da treliça metálica e anotados na planilha na coluna referente à estação onde foi feita uma única medida em cada trilha. A Figura 9.23 mostra um exemplo de uma planilha com 18 estações inventariadas. A especificação do DNIT subdivide em oito categorias de defeitos: 1. fissuras e trincas; 2. trincas de bloco ou tipo couro de jacaré sem erosão; 3. trincas de bloco ou tipo couro de jacaré com erosão; 4. afundamentos localizados ou nas trilhas; 5. corrugação e painelas (além de ondulações); 6. exsudação; 7. desgaste; 8. remendos. Devem ser anotados os afundamentos nas trilhas externa e na interna, e registrada a existência de afundamentos por consolidação e escorregamentos.

De posse dos dados levantados, deve-se proceder a uma análise prévia de forma a subdividir a via em segmentos que possuam as mesmas características ou defeitos. No exemplo da planilha da Figura 9.23, há dois segmentos: o primeiro que se inicia na estação 1 e termina na 10, e o segundo com início na estação 11 e final na 18. O método contabiliza as frequências absolutas  $f_a$  de cada um dos oito tipos de defeitos (somatório da quantidade de estações que apresentam aquele tipo de defeito) e uma frequência  $f_r$ , relativa ao conjunto das estações de um dado segmento; ou seja, é a frequência absoluta multiplicada pela porcentagem de estações onde ocorre este determinado tipo de defeito, sendo que 100% corresponde à totalidade das estações de um dado segmento.

A Figura 9.24 mostra um exemplo do cálculo das frequências absolutas e relativas do primeiro segmento do exemplo anterior, com a computação dos defeitos da estação 1 a 10. Observe-se que a estação 5 possui dois defeitos do tipo 1; contabiliza-se apenas um defeito desta categoria nessa estação. Da mesma forma, deve-se contabilizar para os defeitos dos tipos 1, 2 e 3 apenas o mais grave deles na estação. Observe-se no exemplo que na estação 4 há trincas do tipo 1 e 2; deve prevalecer apenas o tipo 2 que é o mais grave deles; da mesma forma, no exemplo da estação 7, há trincas do tipo 1 e 3, devendo prevalecer a do tipo 3, ou seja, a mais grave delas. Assim, os defeitos do tipo 2 prevalecem sobre o 1, da mesma forma que o 3 prevalece sobre o 1 e 2. Os defeitos do tipo 1 somente são considerados quando não houver defeitos do tipo 2 ou 3.

A norma estabelece um fator de ponderação prefixado para os defeitos, ou seja, confere a gravidade daquele tipo de defeito sobre os demais. Na Figura 9.24 são apre-

Inventário de superfície		Trecho										Operador							
Rodovia		Subtrecho										Revestimento tipo							
Data	Folha	Estaca inicial										Estaca final							
Estação		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Faixa		D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E
Configuração da terraplenagem		A	A	A	SMA	C	C	SMC	C	C	C	A	A	SMC	C	C	A	A	A
Tipo	OK																		
1	F1																		
(FC)	TTC					X													
	TTL				X					X		X			X				
	TLC					X													
	TLL														X				
	TRR																		
2	J				X		X										X		X
(FCII)	TB																		
3	JE			X				X	X			X	X	X					
(FCIII)	TBE																		
4	ALP									X									
	ATP			X				X				X	X	X	X	X	X	X	X
5	O																		
	P											X							
6	EX															X			
7	D			X	X	X		X				X	X	X	X	X	X	X	X
8	R																X		
	ALC																		
	ATC																		
	E																		
	TRI	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	4	6	8	3	2	5	5	4
	TRE	0	3	1	0	1	0	3	1	0	1	7	4	9	6	7	6	4	8

D = direita  
E = esquerda  
A = aterro

C = corte  
SMA = seção mista  
(meia encosta)

Figura 9.23 Exemplo de planilha empregada para levantamento do estado de superfície pela norma do IGG

Tipo	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual
1	(FCI) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRE	3	30,0%	0,2	6,00
2	(FCII) J, TB	2	20,0%	0,5	10,00
3	(FCIII) JE, TBE	3	30,0%	0,8	24,00
4	ALP, ATP	3	30,0%	0,9	27,00
5	O, P, E	0	0,0%	1,0	0,00
6	Ex	0	0,0%	0,5	0,00
7	D	5	50,0%	0,3	15,00
8	R	0	0,0%	0,6	0,00
9	F = (TRI + TRE)/2 em mm	TRI = 0,2	TRE = 1,0	F = 0,6	0,15
10	FV = (TRlv + TREv)/2	TRlv = 0,18	TREv = 1,33	FV = 0,76	0,76
Número de estações inventariadas		10	IGI = (F x 4/3) quando F ≤ 30		IGI = FV quando FV ≤ 50
Índice de gravidade global		83	IGI = 40 quando F > 30		IGI = 50 quando FV > 50

Figura 9.24 Exemplo de planilha de cálculo do IGG

sentados estes fatores, que devem ser utilizados para o cálculo do índice de gravidade individual  $IGI$ , expresso por:

$$IGI = f_r \cdot f_p \quad (9.2)$$

Onde:

$IGI$  = índice de gravidade individual de cada tipo de defeito;

$f_r$  = frequência relativa;

$f_p$  = fator de ponderação.

Exemplificando, observe-se que o defeito do tipo 1, aparece em três das estações, entre as dez do segmento. Dessa forma, a frequência absoluta é 3, a frequência relativa é 30% (3 estações em 10), o fator de ponderação é 0,2 (prefixado por norma) e o  $IGI$  é 6 (30 x 0,2). Observe-se que a existência de corrugação (O) e panela (P) eleva significativamente o valor final do IGG uma vez que o fator de ponderação é igual à unidade.

Para o cálculo do  $IGI$  dos afundamentos em trilha de roda, considera-se a média  $F$  dos afundamentos (a norma denomina flechas para os afundamentos nas trilhas de roda) e a média  $FV$  das variâncias das flechas da seguinte forma:

$$F = \left( \sum_i^j FRE + \sum_i^j FRI \right) / 2 \quad (9.3)$$

$$FV = (FRE_v + FRI_v) / 2 \quad (9.4)$$

Onde:

$FRE$  = flecha na trilha externa em milímetros de cada uma das estações do segmento;

$FRI$  = flecha na trilha interna em milímetros de cada uma das estações do segmento;

$i$  = primeira estação do segmento;

$j$  = última estação do segmento;

$F$  = média aritmética da média das flechas na trilha externa e da média das flechas na trilha interna do segmento;

$FRE_v$  = variância das flechas medidas na trilha externa do segmento, considerando todas as estações de  $i$  a  $j$ ;

$FRI_v$  = variância das flechas medidas na trilha interna do segmento, considerando todas as estações de  $i$  a  $j$ ;

$FV$  = média da variância das flechas na trilha externa e da variância das flechas na trilha interna do segmento.

Para a contabilização da contribuição das flechas ou afundamentos nas trilhas para o IGG, calculam-se dois índices de gravidade individual da seguinte forma:

$$IGI_F = F \cdot \frac{4}{3} \quad (\text{quando } F \leq 30) \quad (9.5)$$

ou

$$IGI_F = 40 \quad (\text{quando } F > 30) \quad (9.6)$$

e

$$IGI_{FV} = FV \cdot 1,0 \quad (\text{quando } FV \leq 50) \quad (9.7)$$

ou

$$IGI_{FV} = 50 \quad (\text{quando } FV = 50) \quad (9.8)$$

A contribuição das flechas compreende, portanto, dois índices de gravidade individual: o primeiro calculado utilizando-se as expressões 9.5 ou 9.6, dependendo da magnitude da média das flechas; e um segundo calculado empregando-se as expressões 9.7 ou 9.8, dependendo da magnitude das variâncias. Além desses dois índices, observe-se que a norma leva ainda em consideração nos defeitos tipo 4 a existência de trilhas, com fator de ponderação bastante elevado de 0,9. Assim, pode-se constatar que a existência de trilhas de roda nos segmentos pode elevar sobremaneira o valor do índice de gravidade global.

O índice de gravidade global é calculado pela seguinte expressão:

$$IGG = \sum IGI \quad (9.9)$$

Onde:

*IGG* = índice de gravidade global do segmento em análise;

*IGI* = cada um dos índices de gravidade individual calculados para os oito tipos de defeitos e para as trilhas de roda.

A norma DNIT 06/2003 foi revista em substituição à DNER-PRO 08/1994 e estabelece um novo critério ou novas faixas de qualidade do segmento com base no valor de IGG. A Tabela 9.2 mostra as duas escalas.

**TABELA 9.2 CONCEITOS DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL IGG POR FAIXA DE VALORES**

Norma DNIT 06/2003		Norma DNER 08/1994	
Conceito	Limites	Conceito	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$		
Bom	$20 < IGG \leq 40$	Bom	$0 < IGG \leq 20$
Regular	$40 < IGG \leq 80$	Regular	$20 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$	Mau	$80 < IGG \leq 150$
Péssimo	$IGG > 160$	Péssimo	$IGG > 150$

Embora o IGG reflita as condições funcionais do estado superficial dos pavimentos, a atribuição de um conceito serve para distinguir casos, subdividindo-os em poucas classes, mas o conceito não deve substituir a referência ao valor calculado, visto que segmentos de mesmo conceito podem ter diferentes valores de IGG, e portanto, condições diversas a serem consideradas no projeto de restauração. Vale a pena, mais uma vez, reforçar a idéia de que um bom diagnóstico dos defeitos, com observações globais, identificando as causas que levaram às patologias é imprescindível para um adequado projeto de restauração. O valor de IGG é um critério complementar.

## **9.6 AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA EM PISTAS MOLHADAS**

A avaliação da segurança envolve vários aspectos do pavimento, da sinalização, do comportamento humano etc. Quanto ao aspecto do pavimento, além da geometria e irregularidade superficial, é importante avaliar o atrito pneu-pavimento, principalmente em dias de chuva, que envolve a quantificação da resistência à derrapagem que é função da aderência.

Vários fatores colaboram para a aderência pneu-pavimento em pistas molhadas, mas dois são essenciais: a textura superficial da pista e características dos pneus (ranhuras, pressão de inflação, dimensões e tipo). A habilidade do motorista, a geometria da via e as condições gerais do veículo como amortecedores, freios etc., contribuem para evitar acidentes. A segurança em pistas molhadas pode ser considerada como um dos aspectos funcionais de um pavimento, muito embora haja pouca tradição no país de sua avaliação ou medida em rodovias, sendo mais usual em aeroportos. As condições de aderência de pavimentos aeroportuários constituem-se fatores de grande relevância nas avaliações de superfície e na decisão de manutenções, principalmente das pistas de pouso e decolagem.

A hidroplanagem ou aquaplagem ocorre quando os pneus perdem o contato com o pavimento devido à presença de um filme de água não rompido pelos pneus ou pela textura da pista. Nessa situação os pneus deixam de rolar sobre a superfície e passam a escorregar sobre ela. A manutenção do contato entre as superfícies é essencial, portanto, para evitar a hidroplanagem. Através desse contato pode-se garantir o atrito, que é mobilizado quando uma das superfícies está em movimento em relação à outra. Quando o atrito fica reduzido, pode-se perder o controle da direção e a frenagem também fica prejudicada. Um fator que interfere consideravelmente na redução do atrito é o aumento de velocidade de deslocamento de uma das superfícies (no caso os pneus) em relação à outra (no caso os pavimentos). O contato de um pneu com um pavimento é uma interação complexa, dependendo de fatores como adesão entre a borracha e o pavimento e histerese decorrente da deformação do pneu provocada principalmente pelos agregados presentes na superfície.

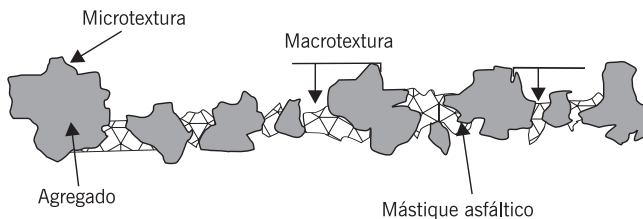
### 9.6.1 Microtextura e macrotextura

Como a textura do pavimento é um dos aspectos da aderência que os engenheiros rodoviários podem interferir, este é o principal foco das avaliações e medidas desses especialistas. A classificação da textura segundo a PIARC (The World Road Association) depende do comprimento de onda ou distância entre dois picos ou depressões na superfície conforme indicado na Tabela 9.3.

**TABELA 9.3 CLASSIFICAÇÃO DA TEXTURA DE UM PAVIMENTO**

Classificação da textura	Faixa de comprimento de onda
Microtextura	$\lambda < 0,5\text{mm}$
Macrotextura	$0,5\text{mm} \leq \lambda < 50\text{mm}$
Megatextura	$50\text{mm} \leq \lambda < 500\text{mm}$
Irregularidade	$0,5\text{m} \leq \lambda < 50\text{m}$

A megatextura e a irregularidade interferem na dinâmica veicular e no contato do veículo com o pavimento, afetando também a estabilidade direcional e a aderência em pistas molhadas. No entanto, para a avaliação da textura da superfície no que se refere à aderência são enfocadas a microtextura, dependente da superfície e aspereza dos agregados, e a macrotextura, dependente da rugosidade formada pelo conjunto agregados e mástique. A Figura 9.25 representa esquematicamente esses dois tipos de textura.



**Figura 9.25 Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico**

A microtextura pode ser avaliada por um equipamento simples como o pêndulo britânico (ASTM E 303). Esse equipamento é munido de um braço pendular cuja extremidade tem uma sapata recoberta de borracha para ser atritada contra a superfície do pavimento umedecida. A Figura 9.26 mostra o equipamento pêndulo britânico sendo operado para a determinação do VRD – valor de resistência à derrapagem. A Tabela 9.4 mostra as classes de microtextura dependentes do VRD.

Tem-se recomendado o valor mínimo de 47 para garantir pelo menos uma microtextura medianamente rugosa. A microtextura é uma característica muito importante para rompimento da película de água e promoção do contato pneu-pavimento para baixas velocidades de deslocamento, de até cerca de 40km/h.

A macrotextura pode ser determinada de várias formas, sendo a mais comum pelo ensaio simples de altura média da mancha de areia (ASTM E 965). Os materiais envolvidos nesse teste são de baixo custo e são mostrados na Figura 9.27(a). A areia deve ser

**TABELA 9.4 CLASSES DE MICROTEXTURA (ABPv, 1999)**

Classe	Valor de resistência à derrapagem
Perigosa	< 25
Muito lisa	$25 \leq \text{VRD} \leq 31$
Lisa	$32 \leq \text{VRD} \leq 39$
Insuficientemente rugosa	$40 \leq \text{VRD} \leq 46$
Medianamente rugosa	$47 \leq \text{VRD} \leq 54$
Rugosa	$55 \leq \text{VRD} \leq 75$
Muito rugosa	$\text{VRD} > 75$

uniforme, arredondada, passante na peneira N° 60 (0,177mm) e retida na peneira N° 80 (0,250mm), com um volume de 25.000mm<sup>3</sup>. A areia deve ser espalhada sobre a superfície do pavimento com auxílio de uma base de um pistão circular, que é movimentada em círculos, paralelamente à superfície do pavimento, de modo a distribuí-la de forma homogênea, perfazendo um círculo de areia – Figura 9.27(b). O espalhamento cessa quando aparecem algumas pontas dos agregados. Mede-se na seqüência o diâmetro do círculo de areia com auxílio de uma trena ou régua, em três direções distintas e faz-se a média das três determinações – Figura 9.27(c).



(a) Logo após o início do ensaio, com o pêndulo sendo solto livremente em direção ao pavimento



(b) Após atrito sobre a superfície do pavimento quando o pêndulo empurra a haste que marca o valor de VRD

**Figura 9.26 Operação do pêndulo britânico para a determinação do valor de resistência à derrapagem**

(Fotos: Moura)



(a) Materiais empregados no teste



(b) Espalhamento da areia sobre a superfície



(c) Medida do diâmetro do círculo formado

**Figura 9.27 Equipamentos e passos do ensaio de mancha de areia**

(Fotos: Moura, 2004)

A altura média de mancha de areia pode ser calculada pela expressão:

$$HS = \frac{4V}{D^2\pi} \quad (9.10)$$

Onde:

$HS$  = altura média de mancha de areia em mm;  
 $V$  = volume constante de areia de 25.000mm<sup>3</sup>;  
 $D$  = diâmetro médio do círculo de areia em mm.

A classificação da macrotextura é dada pela altura média de mancha de areia segundo critérios mostrados na Tabela 9.5.

**TABELA 9.5 CLASSES DE MACROTEXTURA (ABPV, 1999)**

Classe	Altura média de mancha de areia (mm)
Muito fina ou muito fechada	$HS \leq 0,20$
Fina ou fechada	$0,20 < HS \leq 0,40$
Média	$0,40 < HS \leq 0,80$
Grosseira ou aberta	$0,80 < HS \leq 1,20$
Muito grosseira ou muito aberta	$HS > 1,20$

Tem-se recomendado a macrotextura dos pavimentos asfálticos na faixa entre 0,6mm e 1,2mm de altura média da mancha de areia (ABPV, 1999). Abaixo de 0,6mm, a macrotextura passa a ter uma tendência de ser fechada e aumenta o risco de hidroplanagem. Acima de 1,2mm, a textura é muito aberta, causando desgaste excessivo nos pneus, maior consumo de combustível e tendência a maior ruído ao rolamento. A macrotextura é uma das características mais importantes e que afetam a aderência, principalmente para velocidades de deslocamento acima de 50km/h.

A Figura 9.28 mostra dois exemplos de mancha de areia em revestimentos asfálticos: um concreto asfáltico de macrotextura fechada, e um microrrevestimento asfáltico a frio com macrotextura aberta.



(a) Concreto asfáltico com macrotextura fechada



(b) Microrrevestimento asfáltico a frio com macrotextura aberta

**Figura 9.28 Exemplo de mancha de areia em dois tipos de revestimento com macrotexturas distintas**

(Fotos: Moura, 1998)



Um dos fatores que mais interfere no atrito é a macrotextura, portanto, qualquer defeito de superfície que promova o fechamento da textura é prejudicial. A exsudação (EX), vista no item 9.3, é um dos defeitos mais indesejáveis sob este aspecto. Em contrapartida, o desgaste (D) pode causar melhoria de macrotextura, pois a perda de mástique e a consequente exposição das pontas dos agregados fazem com que os canais formados entre agregados possibilitem maior vazão superficial. O polimento de agregados é prejudicial para a microtextura, tornando a superfície do agregado menos áspera e, portanto, com menor capacidade de ruptura da lâmina d'água.

Todos os defeitos que interferem na geometria da via, como afundamentos de trilhas de roda ou localizados, e que resultem no acúmulo de água na superfície do pavimento, são indesejáveis para a aderência, pois aumentam a espessura de película de água, aumentando o risco de hidroplanagem.

### 9.6.2 Equipamentos medidores de atrito

Para a medida do atrito, há diferentes métodos e técnicas. Os equipamentos medidores não-estáticos mais comuns são em geral rebocáveis e permitem a medida do atrito de um ou mais pneus que são bloqueados e arrastados (simulação de frenagem), ou ainda com pneus livres para rolar, porém neste caso com certo ângulo em relação à direção de deslocamento. Um exemplo deste último tipo de equipamento é o  $\mu$ Meter, muito utilizado em pistas de aeroportos e disponível no país para esta finalidade específica – Figura 9.29.

Tendo em vista que o teste de medida de atrito em condições molhadas é mais severo, a superfície é umedecida artificialmente de forma uniforme e com quantidade de água preestabelecida de modo a formar uma lâmina d'água de espessura padronizada. Por causa da complexidade desse fenômeno, as normas têm especificado dois padrões de pneu (liso ou ranhurado) para os equipamentos medidores de atrito de forma a analisar somente o efeito das diferentes texturas superficiais e dos agregados que compõem os

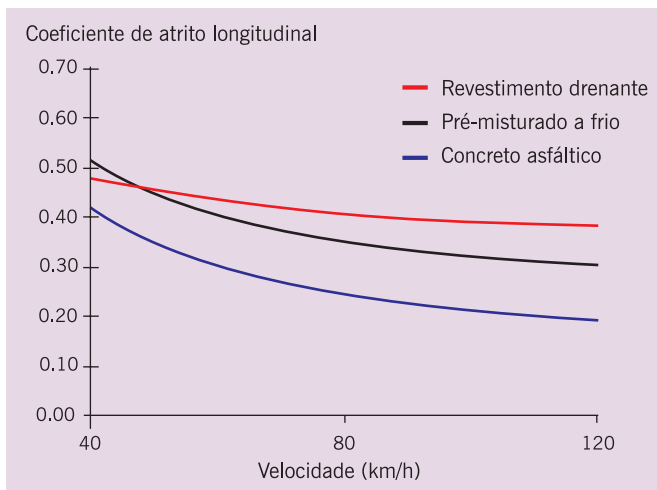


**Figura 9.29** Exemplo de equipamento de medida de atrito  $\mu$ Meter

(Foto: M. Paraízo)

revestimentos. Emprega-se comumente a velocidade de referência de 60km/h para as medidas de atrito.

Há equipamentos capazes de realizar as medidas de atrito a diferentes velocidades, como é o caso do equipamento francês Adhera que opera com pneu liso e roda bloqueada, sobre lâmina d'água de 1mm de espessura sobre o pavimento e velocidades de 40 a 120km/h. Resultados do coeficiente de atrito longitudinal obtidos com este equipamento são mostrados na Figura 9.30. Observe-se que nesse caso, o revestimento drenante, tipo camada porosa de atrito (CPA), é aquele que mostra a menor redução do atrito com o aumento da velocidade.



**Figura 9.30** Resultados de coeficiente de atrito longitudinal medido em três tipos diferentes de revestimentos asfálticos e a diferentes velocidades (modificado de Brosseau, 2002)

### 9.6.3 Índice de Atrito Internacional – IFI

Da mesma forma que o IRI para a avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos, para o atrito foi concebido o Índice Internacional de Atrito IFI (*International Friction Index*), em 1992 pela PIARC para criar uma escala única, permitindo a comparação de resultados. A concepção deste índice foi resultado de uma extensa pesquisa com 41 equipamentos diferentes, empregados para a investigação de atrito, e as correlações empíricas entre eles foram geradas a partir de 15.000 dados. O procedimento de cálculo do IFI consta na norma ASTM E-1960. O IFI corresponde ao atrito de um veículo de passeio deslocando-se a 60km/h, com pneus lisos e rodas travadas, sobre pavimento molhado.

Vários estudos vêm sendo realizados atualmente para definição de limites aceitáveis para o IFI, tanto em pavimentos asfálticos de rodovias como de aeroportos (Aps *et al.*, 2003; 2004a; 2004b).

## 9.7 AVALIAÇÃO DE RUÍDO PROVOCADO PELO TRÁFEGO

Cresce cada vez mais no mundo a preocupação com os danos ao meio ambiente e à qualidade de vida das pessoas. Um aspecto desses problemas é o excesso de ruído gerado nas cidades. Parte desse ruído provém do deslocamento dos veículos e nesse caso o pavimento tem também influência nessa geração. No país esta preocupação ainda é recente, mas espera-se que passe a ser cada vez mais considerada, especialmente nas áreas urbanas. Muitos tipos de misturas asfálticas têm sido projetadas atualmente já voltadas para esta questão. Devido à limitação de espaço, este tópico é somente introduzido neste livro, recomendando-se ao leitor interessado buscar informações sobre o assunto em outras publicações tais como Láo (2004), Láo e Motta (2004), Nascimento *et al.* (2005) entre outros. O excesso de ruído pode provocar doenças no homem, baixar sua capacidade de trabalho, aumentar o estresse etc.

Muitos estudos verificaram a contribuição de alguns tipos de revestimentos de pavimentos na emissão, propagação e absorção do ruído proveniente da interação de sua superfície com os pneumáticos dos veículos automotores que por ele circulam. No exterior esses estudos já se fazem há algum tempo. No país estão se iniciando. São necessários sensores e microfones adaptados para essas medições. Há também uma série de ensaios de laboratório que permitem avaliar a absorção dos ruídos em cada tipo de mistura asfáltica projetada, testando-se corpos-de-prova, e também revestimentos de concreto de cimento Portland.

Láo (2004) realizou campanhas de campo e de laboratório de medições do ruído no interior e exterior de um veículo, com ele se deslocando com o motor desligado. Essas medidas foram associadas à textura dos revestimentos asfálticos, à distribuição granulométrica dos agregados, sua disposição nos revestimentos dos pavimentos, a determinações do coeficiente de absorção acústico e à porcentagem de vazios em corpos-de-prova moldados ou extraídos das estações de teste.

A Figura 9.31 mostra parte do esquema utilizado por Láo (2004) nessas medições de campo de ruído gerado pelo veículo em movimento em pista seca e molhada, externos e internos ao veículo, e parte dos equipamentos usados nas avaliações de absorção acústica de amostras de misturas asfálticas em laboratório em tubos de impedância. A Figura 9.32 mostra alguns dos resultados obtidos no campo e no laboratório. As medidas são feitas em geral em decibéis.

Todos os estudos mostram a grande influência da textura superficial dos revestimentos nos ruídos gerados no deslocamento dos pneus sobre os pavimentos, da presença ou não de água no contato, da velocidade, do tipo de mistura asfáltica e, em algum grau, do tipo de ligante asfáltico.

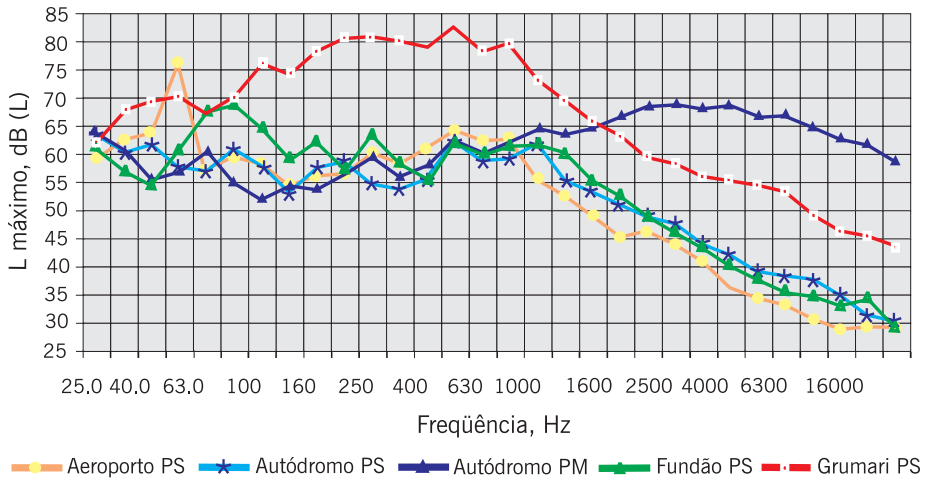
O emprego de técnicas de pavimentação capazes de contribuir com a redução do ruído oriundo das vias de alta velocidade e alto volume de tráfego, que cortam os grandes centros urbanos, traz benefícios econômicos ao poder público, pois poderá reduzir gastos com isolamentos das edificações que apresentam fragilidade acústica de suas fachadas

como por exemplo hospitais e repartições públicas de atendimento aos cidadãos, e traz grandes benefícios à saúde da população, além de reduzir o gasto energético devido à possibilidade de se manter as janelas abertas mesmo em moradias próximas a viadutos, auto-estradas etc.

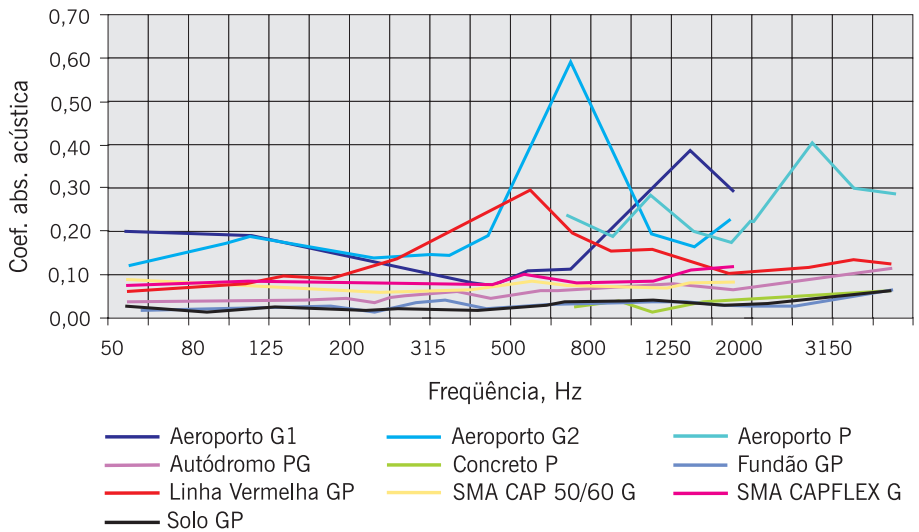


Figura 9.31 Exemplo de arranjos de conjunto de equipamentos para medições de ruído gerado com a contribuição do pavimento (Láo, 2004)

Espectros médios dos níveis máximos de todas as estações de teste – velocidade de 60km/h



(a) Medições de campo



(b) Medições de laboratório

Figura 9.32 Exemplo de resultados obtidos em medições de ruído em campo e em laboratório (Láo, 2004)

## BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA

- AASHTO – AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *Guide for design of pavement structures*. Washington: AASHTO, 1993.
- ABPv – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO. Informativo técnico sobre avaliação da resistência à derrapagem através de aparelhagem portátil. *Boletim Técnico*, Rio de Janeiro, n. 18, 1999.
- APS, M.; RODRIGUES FILHO, O.S.; BERNUCCI, L.L.B.; QUINTANILHA, J.A. Avaliação de superfícies antiderrapantes de pavimentos aeroportuários. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 17., 2003, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ANPET, 2003. v. 1. p. 286-97.
- APS, M.; BERNUCCI, L.L.B.; FABRÍCIO, J.M.; FABRÍCIO, J.V.F.; MOURA, E. Determinação do IFI – International Friction Index por intermédio de aparelhagem portátil. In: ENCONTRO DE ASFALTO, 17., 2004, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: IBP, 2004a.
- APS, M.; BERNUCCI, L.L.B.; FABRÍCIO, J.M.; FABRÍCIO, J.V.F. Classificação da aderência pneu-pavimento por meio de um índice combinado de macro e microtextura. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 9., 2004b, Natal. 1 CD-ROM, p. 84-91.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. ASTM E 965-96: *standard test method for measuring pavement macro texture depth using a volumetric technique*. USA, 2001.
- \_\_\_\_\_. ASTM E 303-93: *standard test method for measuring surface frictional properties using the British Pendulum tester*. USA, 2003.
- \_\_\_\_\_. ASTM E-1960: *Standard practice for calculating international friction index of a pavement surface*. USA, 2003.
- BALBO, J.T. *Pavimentos asfálticos. Patologias e manutenção*. 1. ed. São Paulo: Plêiade Editora. 1997.
- BOTTURA, E.J. *Contribuição para o estudo da calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade rodoviária tipo resposta*. 1998. 316 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- BROSSEAUD, Y. *Palestra no 17. Encontro do Asfalto*. Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Rio de Janeiro, 2002.
- CAREY JR., W.N.; IRICK, P.E. The pavement serviceability-performance concept. *HRB Bulletin*, n. 250, p. 40-58, 1960.
- CAREY JR., W.N.; HUCKINS, H.C.; LEATHERS, R.C. Slope variance as a measure of roughness and the Chloé profilometer. *Highway Research Board Special Report*, n. 73, 1962.
- CRONEY, D. *The design and performance of road pavements*. London: Her Majesty's Stationery Office, 1977.
- CUNDILL, M.A. The MERLIN low-cost road roughness measuring machine. *Research Report*, n. 301, 1991.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ES 173/86: *método de nível e mira para a calibração de sistemas medidores de irregularidades tipo resposta*. Rio de Janeiro, 1986.
- \_\_\_\_\_. DNER-PRO 08/94: *avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos: procedimento*. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-PRO 164/94: *calibração e controle de sistemas de medidores de irregularidade de superfície de pavimento (sistemas IPR/USP e Maysmeter)*. Rio de Janeiro, 1994a.
- \_\_\_\_\_. DNER-PRO 182/94: *medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter*. Rio de Janeiro, 1994b.

- \_\_\_\_\_. DNER-PRO 229/94: *manutenção de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento: integrador IPR/USP e Maysmeter*. Rio de Janeiro, 1994c.
- DNIT — DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 005-TER: *defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia*. Rio de Janeiro, 2003a.
- \_\_\_\_\_. DNIT 006-PRO: *avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos: procedimento*. Rio de Janeiro, 2003b.
- \_\_\_\_\_. DNIT 007-PRO: *levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos de projetos: procedimento*. Rio de Janeiro, 2003c.
- \_\_\_\_\_. DNIT 009-PRO: *avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos: procedimento*. Rio de Janeiro, 2003d.
- FERNANDES JR., J.L.; BARBOSA, R.E. Estimativa das cargas dinâmicas dos veículos rodoviários que atuam sobre os pavimentos e pontes. *Transportes*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 32-50, 2000.
- GEIPOP – GRUPO EXECUTIVO DE INTEGRAÇÃO DA POLÍTICA DE TRANSPORTES. *Pesquisa sobre inter-relacionamento dos custos de construção, conservação e utilização de rodovias*. Relatório Final. Brasília: Ministério dos Transportes, 1981.
- GILLESPIE, T.D.; SAYERS, M.W.; SEGEL, L. Calibration and correlation of response-type road roughness measuring systems. *National Cooperative Highway Research Program Report*, Washington, n. 228, 1980. 88p.
- HAAS, R.; HUDSON, W.R.; ZANIEWSKI, J. *Modern pavement management*. Florida: Krieger Publishing Company, 1994.
- HENRY, J. Evaluation of pavement friction characteristics. A synthesis of highway practice. *NCHRP Synthesis*, Washington, n. 291, 2000.
- LÁO, V.L.E.S.T. *Estudo comparativo do desempenho acústico de diferentes tipos de revestimento dos pavimentos*. 2004. 270 f. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- LÁO, V.L.E.S.T.; MOTTA, L.M.G. Verificação do desempenho acústico de alguns tipos de revestimentos de pavimento empregados nos logradouros da cidade do Rio de Janeiro. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 35., 2004, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABPv, 2004. CD-ROM.
- NASCIMENTO, L.A.H.; LEITE, L.F.M.; LÁO, V.L.E.S.T.; JESUS, G.F. Pavimentos silenciosos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 36., 2005, Curitiba. *Anais...* Rio de Janeiro: ABPv, 2005. CD-ROM.
- PINTO, S.; PREUSSLER, E. *Pavimentação rodoviária. Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis*. 2. ed. Rio de Janeiro: S. Pinto, 2002.
- QUEIROZ, C.A.V. *Modelos de previsão do desempenho para a gerência de pavimentos no Brasil*. Brasília: Ministério dos Transportes, 1984. 366p.
- ROBINSON, R. Road maintenance planning and management for developing countries. *Highways and Transportation*, v. 33, n. 6, p. 8-13; n. 7, p. 4-10, 1986.
- SAYERS, M.W.; KARAMIHAS, S.M. *The little book of profiling*. Basis information about measuring an interpreting road profiles. The Regent of the University of Michigan. 1998. 98p.
- SILVA, P.F.A. *Manual de patologia e manutenção de pavimentos*. 1. ed. São Paulo: Pini Editora, 2005.
- SOUZA, R.O. *Influência da irregularidade longitudinal na avaliação de pavimentos*. 2002. 215 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

- VILLIBOR, D.F.; FORTES, F.Q.; NOGAMI, J.S. Defeitos de pavimentos de baixo custo e sua conservação. In: 28 Reunião Anual de Pavimentação, 1994. Belo Horizonte. *Anais...* ABPv, v.2, p.1099-1126.
- WORLD BANK. *The highway design and maintenance standards model – HDM-III*. Washington: World Bank, 1985.
- \_\_\_\_\_. *The highway design and maintenance standards model – HDM-IV*. Washington, 2000.



## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 1 INTRODUÇÃO

Figura 1.1	Estruturas de pavimentos	10
Figura 1.2	Ilustração do sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes (Albernaz, 1997)	10
Figura 1.3	Vias romanas	14
Figura 1.4	Estrada do Mar ( <i>História das rodovias</i> , 2004)	16
Figura 1.5	Resquílios do Caminho do Ouro ou Estrada Real e pavimentação urbana em Paraty, RJ	17
Figura 1.6	Estrada União e Indústria – foto à época de sua construção (Concer, 1997)	18
Tabela 1.1 Evolução da rede rodoviária federal e estadual (km)		20

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 2 LIGANTES ASFÁLTICOS

Figura 2.1 Equipamentos utilizados no método SARA e esquema da análise química do ligante asfáltico (adaptado de Shell, 2003)	29
Figura 2.2 Representação esquemática dos componentes dos asfaltos (apud Shell, 2003)	30
Figura 2.3 Modelo de micelas de Yen (1991)	31
Figura 2.4 Representação esquemática do ligante asfáltico de comportamento Sol e Gel (Shell, 2003)	31
Figura 2.5 Modelo de estrutura do asfalto proposto pelo SHRP (apud Leite, 2003)	32
Figura 2.6(a) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	35
Figura 2.6(b) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	35
Figura 2.6(c) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	36
Figura 2.6(d) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	37
Figura 2.6(e) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	38
Figura 2.6(f) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	39
Figura 2.7 Localização e denominação das refinarias de petróleo brasileiras que produzem asfalto	40
Figura 2.8 Consumo brasileiro de asfalto nos últimos seis anos	41
Figura 2.9 Exemplo de equipamento manual de medida da penetração e esquema do ensaio	42
Figura 2.10 Esquema de escoamento de um fluido newtoniano	43
Figura 2.11 Equipamentos para ensaios de viscosidade absoluta e cinemática	45
Figura 2.12 Exemplo de equipamento Saybolt-Furol de ensaio de viscosidade e esquema do interior do equipamento	46
Figura 2.13 Equipamento Brookfield para medida de viscosidade de asfaltos e esquemas associados ao extensor	47
Figura 2.14 Equipamento automático para medida do ponto de amolecimento do asfalto e esquema do ensaio com equipamento mais simples	48
Figura 2.15 Esquema do ensaio de ductilidade em andamento e equipamento completo	49
Figura 2.16 Equipamentos e arranjo experimental para o ensaio de solubilidade	50
Figura 2.17 Estufa de película fina plana (TFOT) para medidas do efeito do calor e do ar (ECA) em ensaio de envelhecimento de ligante asfáltico simulado em laboratório	51
Figura 2.18 Estufa de filme fino rotativo ou película delgada rotacional ( <i>Rolling Thin Film Oven Test</i> – RTFOT)	51
Figura 2.19 Envelhecimento do ligante durante a mistura com o agregado em usina, estocagem, transporte, aplicação no campo e durante vários anos de serviço (Whiteoak, 1980, apud Shell, 2003)	52
Figura 2.20 Modelos de equipamentos para o ensaio e esquema do ensaio de ponto de fulgor pelo vaso aberto de Cleveland	53
Figura 2.21 Etapas do ensaio de massa específica do ligante	54
Figura 2.22 Equipamento de ensaio de ponto de ruptura Fraass	55
Figura 2.23 Exemplo esquemático de gráfico de Heukelom para classificação de ligantes asfálticos (BTDC)	57
Figura 2.24 Representação esquemática da estrutura de um elastômero termoplástico	

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

à temperatura ambiente (Shell, 2003)	65
Figura 2.25 Representação esquemática de um elastômero termoplástico EVA	66
Figura 2.26 Equipamento de análise da interação asfalto-polímero e fases do processo de incorporação	68
Figura 2.27 Ensaio de recuperação elástica mostrando em (a) o início do alongamento; (b) ductilidade em amostra de asfalto sem modificação (ao fundo) e modificado por polímero (na frente) e (c) o mesmo ensaio de (b) após ruptura	71
Figura 2.28 Ensaio de separação de fases ou estabilidade ao armazenamento de asfalto-polímero (a) recipientes padrões colocados dentro da estufa e (b) desenho esquemático da amostragem de ligante armazenado dentro do recipiente e ensaio	73
Figura 2.29 Equipamento de ensaio de coesão Vialit e exemplo de resultado (Leite, 2003)	74
Figura 2.30 Equipamento do ensaio de tenacidade, exemplo de resultados obtidos e tela do programa de controle do ensaio	75
Figura 2.31 Esquema de fabricação do asfalto-borracha via úmida pelo processo de mistura estocável ( <i>terminal blending</i> )	76
Figura 2.32 Exemplo de consistência do asfalto-borracha no momento da usinagem	77
Figura 2.33 Exemplo de usina móvel de preparação de asfalto-borracha do estado do Arizona, Estados Unidos	78
Figura 2.34 Equipamento para ensaio de recuperação elástica por torção	79
Figura 2.35 Exemplo de equipamento para ensaio de resiliência de ligantes asfálticos	80
Figura 2.36 Processo de fabricação de emulsões asfálticas (LCPC, 1976)	82
Figura 2.37 Exemplos de várias instalações de uma fábrica de emulsão	83
Figura 2.38 Esquema do ensaio de carga de partícula de uma emulsão asfáltica	86
Figura 2.39 Esquema do ensaio de determinação da sedimentação – DNER-ME 06/2000	87
Figura 2.40 Determinação do peneiramento de emulsão asfáltica	88
Figura 2.41 Determinação da desemulsibilidade de emulsões asfálticas	89
Figura 2.42 Exemplos de passos do ensaio de determinação do resíduo por evaporação	90
Figura 2.43 Aspectos do ensaio de determinação do resíduo por destilação de emulsões asfálticas	91
Figura 2.44 Etapas do ensaio de viscosidade Saybolt-Furol com emulsões	91
Figura 2.45 Determinação do pH da emulsão	92
Figura 2.46 Fábricas de emulsões asfálticas (Abeda, 2005)	93
Figura 2.47 Esquema da câmara de expansão do asfalto-espuma e o processo de espumação	98
Figura 2.48 Exemplo de esquema de avaliação da taxa de expansão e da meia-vida de um asfalto-espuma em campo	98
Figura 2.49 Exemplo de reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR)	104
Figura 2.50 Representação gráfica do modo de aplicação das tensões ou deformações cisalhantes, dos parâmetros e resultados obtidos com o DSR	105
Figura 2.51 Reômetro de viga BBR e esquema de ensaio	107
Figura 2.52 Exemplo de equipamento para ensaio de vaso de envelhecimento sob pressão – PAV	108
Figura 2.53 Aspectos do desenvolvimento do ensaio de tração direta – DTT	109

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 2.1 Exemplos de composições químicas de asfaltos por tipo de cru (Leite, 2003)	28
Tabela 2.2 Especificações para Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) Classificação por penetração (Portaria DNC 5 de 18/2/1993) vigente até julho de 2005	60
Tabela 2.3 Especificações para Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) Classificação por viscosidade (Portaria DNC 5 de 18/2/93) vigente até julho de 2005	60
Tabela 2.4 Nova especificação brasileira de cimento asfáltico de petróleo (CAP) (ANP, 2005)	61
Tabela 2.5 Especificação de asfaltos para pavimentação da Comunidade Européia (EN 12591/2000)	62
Tabela 2.6 Benefícios de diferentes tipos de modificadores de asfalto (modificado de Shell, 2003)	65
Tabela 2.7 Especificação técnica para asfalto modificado com polímero (AMP) (DNER – Em 396/99)	69
Tabela 2.8 Especificação de asfalto-polímero (SBS) proposta pela Comissão de Asfalto IBP (2005)	70
Tabela 2.9 Características exigidas do asfalto-borracha via úmida (DER/PR ES – 28/05)	79
Tabela 2.10 Especificação brasileira de emulsões asfálticas catiônicas (Conselho Nacional de Petróleo – CNP, 07/88)	84
Tabela 2.11 Especificação de emulsões asfálticas para lama asfáltica (CNP – 17/73)	85
Tabela 2.12 Especificação brasileira de emulsões modificadas por polímero SBR (proposta do IBP para a ANP em 2006)	94
Tabela 2.13 Especificação brasileira de emulsões modificadas por polímero SBS (proposta do IBP para a ANP em 2006)	95
Tabela 2.14 Especificação brasileira de asfalto diluído, tipo cura rápida (DNC 43/97)	96
Tabela 2.15 Especificação brasileira de asfalto diluído, tipo cura média (DNC 43/97)	97
Tabela 2.16 Especificação brasileira para agentes rejuvenescedores (DNC 733/97)	100
Tabela 2.17 Proposta de especificação brasileira para agentes rejuvenescedores emulsionados feita pelo IBP (IBP, 1999)	101
Tabela 2.18 Parte da especificação SHRP ou Superpave de ligantes asfálticos tipo CAP (ASTM 63+73/1999)	103

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 3 AGREGADOS

Figura 3.1 Ilustração da análise por peneiramento	121
Figura 3.2 Graduações típicas de agregados	123
Figura 3.3 Esquema simplificado do processo de britagem (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	125
Figura 3.4 Carregamento de um caminhão na pedreira	126
Figura 3.5 Exemplo de britador primário	126
Figura 3.6 Vista geral de uma instalação de britagem	127
Figura 3.7 Redução mecânica por impacto (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	127
Figura 3.8 Redução mecânica combinando impacto e desgaste por atrito (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	128
Figura 3.9 Redução mecânica combinando impacto, cisalhamento e compressão (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	128
Figura 3.10 Redução mecânica por compressão e impacto em um britador de mandíbula que brita sem atrito (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	129
Figura 3.11 Equipamento separador mecânico de amostras	131
Figura 3.12 Redução de amostra de agregado por quarteamento manual	132
Figura 3.13 Equipamentos para o ensaio de equivalente de areia e esquema da proveta com os materiais depositados para a leitura final	133
Figura 3.14 Equipamento para ensaio de abrasão Los Angeles	135
Figura 3.15 Equipamento utilizado no ensaio Treton	138
Figura 3.16 Conjunto de cilindro e êmbolo utilizado no ensaio de 10% de finos e prensa	139
Figura 3.17 Exemplo de equipamento para determinação do índice de forma	141
Figura 3.18 Exemplo de agregados com diferentes formas	142
Figura 3.19 Exemplo de materiais utilizados no ensaio de sanidade e resultado	144
Figura 3.20 Esquema da partícula de agregado na determinação da <i>G<sub>sa</sub></i>	145
Figura 3.21 Esquema da partícula de agregado na determinação da <i>G<sub>sb</sub></i>	146
Figura 3.22 Esquema da partícula de agregado na determinação da <i>G<sub>se</sub></i>	147
Figura 3.23 Esquema de determinação de massas no método DNER-ME 081/98	148
Figura 3.24 Esquema do ensaio de massa específica de agregados miúdos	148
Figura 3.25 Esquema do ensaio de massa específica de agregados miúdos considerando a absorção pelo método ASTM C 127	149
Figura 3.26 Equipamento para determinação da angularidade do agregado miúdo	151
Figura 3.27 Medição de partículas alongadas e achatadas	152
Tabela 3.1 Tipos de rochas comumente usados como fonte de agregados para pavimentação no país	118
Tabela 3.2 Classificação de rochas quanto ao teor de sílica presente (Metso Minerals, 2005)	119
Tabela 3.3 Dimensões nominais das peneiras segundo o DNER-ME 035/95	122

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 3.4 Métodos de ensaio para determinação de características mecânicas de agregados e valores de aceitação (IPR, 1998)	140
Tabela 3.5 Classificação da forma das partículas (ABNT NBR 6954/1989)	142
Tabela 3.6 Critério de definição da angularidade do agregado graúdo	150
Tabela 3.7 Critério de definição da angularidade do agregado miúdo – valores mínimos	152
Tabela 3.8 Valores máximos percentuais de partículas alongadas e achatadas	153
Tabela 3.9 Valores mínimos percentuais de equivalente de areia	153

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 4 TIPOS DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

Figura 4.1 Exemplos de estrutura de pavimento novo com revestimento asfáltico	157
Figura 4.4 Exemplos de curvas granulométricas de diferentes misturas asfálticas a quente	160
Figura 4.2 Exemplos de composições granulométricas dos tipos de misturas a quente	160
Figura 4.3 Exemplo de várias frações de agregados e filer que compõem um concreto asfáltico – mistura densa ou bem-graduada e contínua	160
Figura 4.5 Exemplos de corpos-de-prova de misturas asfálticas a quente	161
Figura 4.6 Corpo-de-prova extraído de pista mostrando a composição do revestimento asfáltico	161
Figura 4.7 Exemplo da representação da granulometria segundo a especificação Superpave para um tamanho nominal máximo de 19mm	163
Figura 4.8 Exemplos de rodovias com camada porosa de atrito sob chuva	166
Figura 4.9 Aspectos da CPA no Aeroporto Santos Dumont – RJ	166
Figura 4.10 Composições granulométricas comparativas entre um SMA e um CA	169
Figura 4.11 Exemplo do aspecto de uma camada de SMA executada em pista	169
Figura 4.12 Características da faixa granulométrica <i>gap-graded</i> e a curva usada no experimento da Rodovia Rio–Teresópolis (Fritzen, 2005)	174
Figura 4.13 Aspecto da superfície do revestimento construído com a mistura indicada na Figura 4.12 (Fritzen, 2005)	174
Figura 4.14 Exemplo de aplicação de lama asfáltica em um trecho de via urbana	186
Figura 4.15 Equipamentos de LWT e WTAT usados na dosagem de microrrevestimento e lama asfáltica	187
Figura 4.16 Etapas do ensaio de coesão de dosagem de microrrevestimento asfáltico	187
Figura 4.17 Etapas do ensaio Schulze-Breuer e Ruck de dosagem de microrrevestimento asfáltico	188
Figura 4.18 Exemplos de aplicação de microrrevestimento asfáltico em rodovia de tráfego pesado como restauração funcional	189
Figura 4.19 Exemplo de aplicação de microrrevestimento asfáltico	189
Figura 4.21 Exemplo de fresadora e de serviço de fresagem em uma rodovia	190
Figura 4.20 Exemplo de um rolo de corte de uma fresadora	190
Figura 4.22 Exemplos de equipamentos do tipo fresadoras-recicladoras <i>in situ</i>	192
Figura 4.23 Esquema de tratamentos superficiais	193
Figura 4.24 Etapas construtivas de um tratamento superficial simples pelo sistema convencional	196
Figura 4.25 Exemplos de equipamentos e etapas construtivas de um tratamento superficial simples pelo sistema do equipamento especial com silos de agregado e ligante no mesmo veículo	197
Figura 4.26 Ensaio de desgaste LWT modificado para antipó (Duque Neto <i>et al.</i> , 2004)	198
Figura 4.27 Ensaio de desgaste WTAT modificado para antipó (Duque Neto <i>et al.</i> , 2004)	199
Figura 4.28 Exemplos de aplicação em campo de tratamento antipó com emulsão à base de óleo de xisto (Castro, 2003)	199

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 4.1 Faixas granulométricas e requisitos para concreto asfáltico (DNIT 031/2004-ES)	163
Tabela 4.2 Pontos de controle de acordo com o tamanho nominal máximo do agregado (Superpave)	164
Tabela 4.3 Zona de restrição de acordo com o tamanho nominal máximo pela especificação (Superpave)	164
Tabela 4.4 Faixas granulométricas e requisitos de dosagem da camada porosa de atrito (DNER-ES 386/99)	167
Tabela 4.5 Faixas granulométricas e requisitos de SMA pela especificação alemã (ZTV Asphalt – StB 94, 2001)	170
Tabela 4.6 Faixas granulométricas norte-americanas segundo AASHTO MP 8-02	171
Tabela 4.7 Características e propriedades da mistura SMA segundo AASHTO MP 8-02	171
Tabela 4.8 Exemplo de uma faixa <i>gap-graded</i> com asfalto-borracha usada em projetos no país	173
Tabela 4.9 Exemplo de características de uma mistura <i>gap-graded</i> com asfalto-borracha usada no país	173
Tabela 4.10 Características de asfalto-borracha utilizado em projetos de <i>gap-graded</i>	173
Tabela 4.11 Faixas granulométricas e características de dosagem recomendadas pelo DNIT para AAUQ com CAP (DNIT 032/2004 – ES)	175
Tabela 4.12 Faixas granulométricas e características de dosagem recomendadas pelo DNIT para AAUQ com asfalto polímero (DNER-ES 387/99)	175
Tabela 4.13 Características de ligantes duros produzidos na França para emprego em misturas de módulo elevado (EME) (AIPCR, 1999)	177
Tabela 4.14 Revestimentos asfálticos normalizados pela AFNOR (SETRA e LCPC, 1994)	180
Tabela 4.15 Características das misturas asfálticas delgadas ( $\leq 50\text{mm}$ ) para camada de rolamento (Brosseau, 2002b)	181
Tabela 4.16 Características das misturas asfálticas espessas ( $> 50\text{mm}$ ) para camada de rolamento (Brosseau, 2002b)	181
Tabela 4.17 Características das misturas asfálticas para camada intermediária ou de ligação (Brosseau, 2002b)	181
Tabela 4.18 Desempenho mecânico exigido para misturas de módulo elevado EME (NF P 98-140)	182
Tabela 4.19 Desempenho mecânico exigido para misturas de módulo elevado BBME (NF P 98-141)	182
Tabela 4.20 Faixas granulométricas e características de dosagem recomendadas pelo DNIT para pré-misturados a frio (DNER-ES 317/97)	184
Tabela 4.21 Faixas granulométricas e características de mistura recomendadas pelo DNIT para lama asfáltica (DNER-ES 314/97)	186
Tabela 4.22 Exemplo de faixas granulométricas para tratamento superficial duplo DNER-ES 309/97	193



## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 5 DOSAGEM DE DIFERENTES TIPOS DE REVESTIMENTO

Figura 5.1 Exemplos de corpos-de-prova de diversas formas e compactadores de misturas asfálticas	206
Figura 5.2 Esquema de componentes em uma mistura asfáltica compactada	207
Figura 5.3 Pesagem de corpos-de-prova	208
Figura 5.4 Obtenção da condição de superfície saturada seca em corpo-de-prova de mistura asfáltica compactada	209
Figura 5.5 Ilustração dos volumes considerados na determinação da DMT e da <i>Gmm</i>	210
Figura 5.6 Exemplo de procedimento para determinação da <i>Gmm</i> em laboratório	212
Figura 5.7 Ilustração dos vazios existentes entre os agregados recobertos ou entre os grumos	213
Figura 5.8 Seqüência final do procedimento para determinação da <i>Gmm</i>	213
Figura 5.9 Massas consideradas para o cálculo da <i>Gmm</i>	214
Figura 5.10 Tampa de borracha com orifício preenchido com vidro de diâmetro reduzido	215
Figura 5.11 Ilustração da volumetria em uma mistura asfáltica	217
Figura 5.12 Exemplos de compactadores Marshall	218
Figura 5.13 Exemplos de curvas de viscosidade obtidas em diferentes viscosímetros e faixas de mistura e compactação	219
Figura 5.14 Moldagem de corpos-de-prova tipo Marshall em laboratório	220
Figura 5.15 Exemplo de corpos-de-prova submersos em banho-maria e molde de compressão	223
Figura 5.16 Exemplo de equipamento de ensaio de estabilidade Marshall	223
Figura 5.17 Exemplos de curvas dos parâmetros determinados na dosagem Marshall	224
Figura 5.18 Representação esquemática dos grupos de corpos-de-prova	225
Figura 5.19 Teor de asfalto <i>versus</i> Vv e RBV	226
Figura 5.20 Exemplo de granulometria adequada à especificação Superpave	231
Figura 5.21 Ilustração esquemática e exemplo de compactador giratório Superpave (CGS)	232
Figura 5.22 Fluxograma da dosagem Superpave	233
Figura 5.23 Seqüência do procedimento de compactação Superpave	236
Figura 5.24 Curva de compactação típica obtida do CGS (Motta <i>et al.</i> , 1996)	237
Figura 5.25 Gráfico de compactação dos corpos-de-prova do exemplo	240
Figura 5.26 Curva de compactação da mistura 3 com 4,2% de ligante e Tamanho Máximo Nominal de 19mm	248
Figura 5.27 Representação esquemática dos parâmetros volumétricos de controle do SMA	250
Figura 5.28 Ensaio de escorrimento de ligante asfáltico de mistura SMA	252
Figura 5.29 Fluxograma para determinação da massa específica real média dos agregados	255
Figura 5.30 Viscosidade <i>versus</i> porcentagem de ligante novo	257
Figura 5.31 Temperatura <i>versus</i> porcentagem de ligante novo (Kandhal e Foo, 1997)	260
Figura 5.32 Determinação do teor de fresado a ser incorporado na MARQ	262
Figura 5.33 Exemplos de equipamentos para ensaios em agregados para tratamento superficial	264
Figura 5.34 Caixa dosadora para tratamento superficial (Larsen, 1985)	267

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 5.35 Exemplo de equipamento WTAT	270
Figura 5.36 Exemplo de equipamento LWT	271
Figura 5.37 Exemplo de teste de coesão	272
Figura 5.38 Exemplo de confecção de corpo-de-prova para o ensaio Schulze-Breuer e Ruck	272
Figura 5.39 Exemplo de equipamento para ensaio Schulze-Breuer e Ruck	273
Figura 5.40 Definição do teor ótimo do microrrevestimento	276
Figura 5.41 Definição do teor ótimo da lama asfáltica	280
Tabela 5.1 Exemplo da composição dos agregados (números indicam percentual passante em cada peneira)	218
Tabela 5.2 Ajuste do percentual em massa dos agregados em função do teor de asfalto (por simplificação são mostrados apenas quatro teores)	221
Tabela 5.3 Massa específica real dos constituintes ( $g/cm^3$ ) e DMT da mistura em função do teor de asfalto	221
Tabela 5.4 Cálculo da massa específica das misturas compactadas (por simplificação são mostrados apenas dois corpos-de prova, quando devem ser usados três para cada teor de asfalto)	222
Tabela 5.5 Exemplos de limites de Vv e RBV para diferentes faixas granulométricas de concreto asfáltico	225
Tabela 5.6 Resultados da dosagem	226
Tabela 5.7 Requisitos de dosagem de concreto asfáltico do DNIT-ES 031/2004)	227
Tabela 5.8 Organização hierárquica do método Superpave	231
Tabela 5.9 Número de giros especificados na norma de dosagem Superpave	237
Tabela 5.10 Critérios volumétricos para escolha do teor de projeto	238
Tabela 5.11 Exemplo de compactação por amassamento (CGS)	238
Tabela 5.12 Dados dos agregados das misturas tentativas 1, 2 e 3	240
Tabela 5.13 Valores de $G_{mb}$ corrigidos e respectivos critérios, dados como % $G_{mm}$	243
Tabela 5.14 Resumo das informações da compactação das misturas tentativas	244
Tabela 5.15 Resumo das informações das misturas tentativas para Vv = 4% no $N_{projeto}$	246
Tabela 5.16 Resumo das informações da mistura 3	248
Tabela 5.17 Propriedades de projeto da mistura com 4,7% de ligante	249
Tabela 5.18 Definição da fração graúda de agregado (NAPA, 1999)	251
Tabela 5.19 Especificação para misturas SMA utilizando método Marshall (NAPA, 1999)	251
Tabela 5.20 Fatores corretivos da superfície específica do método de Duriez	255
Tabela 5.21 Exemplo de composição granulométrica da mistura reciclada (% passante)	262
Tabela 5.22 Recomendação para agregados de tratamentos superficiais (Larsen, 1985)	265
Tabela 5.23 Graduação dos agregados para TST usados no exemplo	268
Tabela 5.24 Resultados dos demais ensaios	268

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 5.25 Resultados da dosagem	269
Tabela 5.26 Requisitos para agregados usados em microrrevestimento asfáltico a frio (DNIT 035/2005-ES)	274
Tabela 5.27 Composição dos agregados para microrrevestimento	275
Tabela 5.28 Resultados dos ensaios mecânicos em microrrevestimento	275
Tabela 5.29 Dados de coesão no teor ótimo	276
Tabela 5.30 Cálculo dos índices em função do teor ótimo de emulsão	277
Tabela 5.31 Limites do teor de emulsão para faixas do DER/PR	278
Tabela 5.32 Granulometria do projeto e faixa de trabalho	279
Tabela 5.33 Composição dos agregados para lama asfáltica	279
Tabela 5.34 Resultados dos ensaios mecânicos em lama asfáltica	280
Tabela 5.35 Cálculo dos índices em função do teor ótimo de emulsão	280

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Figura 6.1	Exemplo de equipamento e resultado do ensaio de estabilidade Marshall	289
Figura 6.2	Ilustração do ensaio de compressão diametral e estado de tensões gerado	292
Figura 6.3	Arranjo dos LVDTs para medidas de deslocamentos horizontais e verticais	293
Figura 6.4	Exemplos de equipamento para ensaio de compressão diametral de carga repetida	295
Figura 6.5	Exemplos de arranjos experimentais para a colocação dos medidores de deslocamento ao corpo-de-prova para o ensaio de MR	295
Figura 6.6	Duração dos tempos de carregamento e repouso	296
Figura 6.7	Parcelas dos deslocamentos resilientes e permanentes registrados durante ensaios de módulo de resiliência	297
Figura 6.8	Forma do pulso de carregamento (adaptado de NCHRP-285)	298
Figura 6.9	Subdivisões do pulso de deslocamento	298
Figura 6.10	Regressões das porções de descarregamento do pulso de deslocamento	299
Figura 6.11	Deslocamento resiliente instantâneo	300
Figura 6.12	Deslocamento resiliente total	300
Figura 6.13	Desenho esquemático do comportamento viscoelástico sob carregamento harmônico	304
Figura 6.14	Exemplos de equipamentos usados na determinação do módulo complexo	305
Figura 6.15	Curva mestra de módulo dinâmico	306
Figura 6.16	Serragem da face do corpo-de-prova	307
Figura 6.17	Retirada do núcleo do corpo-de-prova	307
Figura 6.18	Exemplo da realização do ensaio em uma máquina universal	308
Figura 6.19	Esquema do ensaio de compressão diametral	309
Figura 6.20	Exemplo de equipamento para ensaio de RT	310
Figura 6.21	Estágios existentes num processo de fadiga	312
Figura 6.22	Exemplos de equipamentos para ensaios de fadiga	313
Figura 6.23	Vida de fadiga considerando diferentes faixas granulométricas	314
Figura 6.24	Representação das tensões no centro da amostra de um corpo-de-prova cilíndrico	314
Figura 6.25	Deformações permanentes em pavimentos asfálticos	316
Figura 6.26	Exemplos de equipamentos e arranjos experimentais para o ensaio de <i>creep</i>	319
Figura 6.27	Posicionamento dos LVDTs para registro de deslocamento axial no ensaio de <i>creep</i>	319
Figura 6.28	Informações do ensaio de <i>creep</i>	319
Figura 6.29	Função fluência e respectivo ajuste para a série de Prony (Souza e Soares, 2003)	319
Figura 6.30	Carregamento e deformação no ensaio de <i>creep</i> dinâmico	321
Figura 6.31	Conjunto de mesa compactadora e simulador de tráfego LCPC para ensaios de deformação permanente em laboratório	322

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 6.32 Resultados de deformação permanente de misturas asfálticas no ensaio de simulador de tráfego LCPC	323
Figura 6.33 Percentual de afundamento <i>versus</i> teor de asfalto para 30.000 ciclos no simulador de tráfego LCPC (Bernucci <i>et al.</i> , 2002)	324
Figura 6.34 Compactador e simulador APA	325
Figura 6.35 Simulador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Portugal	326
Figura 6.36 Simulador da Universidade da Carolina do Norte	326
Figura 6.37 Exemplo de aparelho de abrasão Los Angeles utilizado para o ensaio Cântabro	328
Figura 6.38 Exemplos de corpos-de-prova submetidos ao ensaio Cântabro indicando a determinação do resultado pela média de três corpos-de-prova	329
Figura 6.39 Passos para o condicionamento e para a determinação da RT	331
Tabela 6.1 Módulos de resiliência e resistência de misturas investigadas no país (25°C)	302
Tabela 6.2 Ensaio de sensibilidade à umidade para corpos-de-prova compactados (Solaimanian <i>et al.</i> , 2004)	329
Tabela 6.3 Resultados de RT, RT <sub>u</sub> e RRT para duas misturas asfálticas analisadas (Vasconcelos, 2004)	331

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 7 MATERIAIS E ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Figura 7.1 Pavimento de concreto de cimento Portland	337
Figura 7.2 Pavimento asfáltico	337
Figura 7.3 Classificação MCT (Nogami e Villibor, 1981)	341
Figura 7.4 Etapas do ensaio ISC	343
Figura 7.5 Esquema e exemplo de equipamento de ensaio triaxial de carga repetida	347
Figura 7.6 Tensões aplicadas e deslocamentos no ensaio de carga repetida	348
Figura 7.7 Modelos clássicos de comportamento resiliente de solos	349
Figura 7.8 Outros comportamentos de solos quanto à resiliência	350
Figura 7.9 Outros ensaios de resistência em materiais cimentados quimicamente	351
Figura 7.10 Materiais granulares empregados em bases, sub-bases ou reforços	353
Figura 7.11 Solos e solo-agregados empregados em bases, sub-bases ou reforços	354
Figura 7.12 Lateritas, saibros e materiais reciclados empregados em bases, sub-bases ou reforços	355
Figura 7.13 Materiais cimentados empregados em bases, sub-bases ou reforços	356
Figura 7.14 Tipos de solo-agregado (Yoder e Witczak, 1975)	359
Figura 7.15 Estruturas típicas de pavimentos asfálticos	366
Figura 7.16 Estruturas típicas de pavimentos asfálticos	367
Figura 7.17 Estruturas típicas de pavimentos asfálticos	368
Tabela 7.1 Emprego recomendado de solos tropicais em obras viárias (modificado de Nogami e Villibor, 1995)	341
Tabela 7.2 Faixas A, B, e C de solos arenosos finos lateríticos para bases e sub-bases de pavimentos (DER-SP, 1991)	361
Tabela 7.3 Valores de propriedades mecânicas e hidráulicas que o solo arenoso fino deve seguir para ser empregado como base de pavimento (DER-SP, 1991)	361

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 8 TÉCNICAS EXECUTIVAS DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

Figura 8.1 Representação esquemática de uma usina asfáltica por batelada (Asphalt Institute, 1998)	374
Figura 8.2 Representação esquemática de uma usina asfáltica contínua (Asphalt Institute, 1998)	375
Figura 8.3 Exemplo de uma usina asfáltica por batelada ou gravimétrica	375
Figura 8.4 Exemplo de uma usina asfáltica contínua	375
Figura 8.5 Exemplo de estoques e silos cobertos para proteção dos materiais de uma usina gravimétrica	376
Figura 8.6 Exemplo de tanques horizontais para armazenamento com aquecimento de ligantes asfálticos de uma usina gravimétrica	376
Figura 8.7 Exemplo de sistema de silos frios	377
Figura 8.8 Exemplo de controle de alimentação de agregados de um silo frio e correia transportadora de agregados para o secador	378
Figura 8.9 Exemplo de secador e sistema de aquecimento para secagem dos agregados	378
Figura 8.10 Secador de fluxo paralelo (Asphalt Institute, 1998)	379
Figura 8.11 Secador de contra-fluxo (Asphalt Institute, 1998)	379
Figura 8.12 Esquema de coletores primário e secundário (Asphalt Institute, 1998)	380
Figura 8.13 Exemplo de sistema de coletores de pó	380
Figura 8.14 Esquema de unidade de peneiramento de usina asfáltica por batelada (Asphalt Institute, 1998)	381
Figura 8.15 Exemplo de um elevador de agregados aquecidos e silos quentes	382
Figura 8.16 Esquema de produção de uma batelada de mistura asfáltica (Asphalt Institute, 1998)	382
Figura 8.17 Esquema de tambor secador-misturador de fluxo paralelo em usina contínua (Asphalt Institute, 1998)	383
Figura 8.18 Esquema de tambor secador-misturador de contrafluxo de usina contínua (Asphalt Institute, 1998)	383
Figura 8.19 Exemplo de usina estacionária para produção de misturas a frio	385
Figura 8.20 Exemplo de usina de pré-misturado a frio móvel	385
Figura 8.21 Esquema de componentes de uma vibroacabadora de pneus (Asphalt Institute, 1998)	387
Figura 8.22 Esquema do fluxo de mistura asfáltica em uma vibroacabadora de esteiras (Asphalt Institute, 1998)	388
Figura 8.23 Exemplo de um tipo de vibroacabadora	388
Figura 8.24 Exemplos de densímetros para determinação da massa específica <i>in situ</i>	390
Figura 8.25 Exemplos de rolo de pneus e rolo tandem liso	390
Figura 8.26 Exemplo de rolo vibratório	391
Figura 8.27 Exemplo de padrão de rolagem de uma camada de mistura asfáltica	391
Figura 8.28 Definição do padrão de rolagem	392

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 8.29	Esquema de padrão de rolagem em pista com mudança de inclinação transversal no eixo longitudinal	392
Figura 8.30	Esquema de padrão de rolagem em pistas com extremidade desconfiada	392
Figura 8.31	Exemplo das etapas de construção de um tratamento superficial	394
Figura 8.32	Exemplos de equipamento multidistribuidor para execução de tratamentos superficiais por penetração invertida	395
Figura 8.33	Seqüência esquemática de construção de um tratamento superficial	396
Figura 8.34	Exemplo de aplicação de tratamento superficial por penetração invertida	396
Figura 8.35	Exemplo de equipamento para produção e aplicação de lama asfáltica	397
Figura 8.36	Exemplos de aplicação de lama asfáltica	398
Figura 8.37	Exemplos de equipamento e execução de microrrevestimento a frio	399
Figura 8.38	Etapas da execução de <i>cape seal</i>	400
Tabela 8.1	Exemplo de temperaturas de estocagem e usinagem de alguns ligantes asfálticos e do agregado (ilustrativas)	377
Tabela 8.2	Fatores que afetam o tempo de rolagem	393



## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 9 DIAGNÓSTICO DE DEFEITOS, AVALIAÇÃO FUNCIONAL E DE ADERÊNCIA

Figura 9.1 Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via	405
Figura 9.2 Variação da carga dinâmica de dois eixos legais trafegando em uma via com elevada irregularidade (Fernandes Jr. e Barbosa, 2000)	405
Figura 9.3 Período recomendável para a manutenção dos pavimentos	406
Figura 9.4 Período recomendável para a manutenção dos pavimentos	407
Figura 9.5 Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação (Sayers e Karamihias, 1998)	408
Figura 9.6 Perfilógrafo do Departamento de Transportes de Illinois (Carey, Huckins e Leathers, 1962)	409
Figura 9.7 Perfilômetro da AASHO empregado inicialmente na avaliação de suas pistas experimentais (Carey, Huckins e Leathers, 1962)	409
Figura 9.8 Exemplo de levantamento da irregularidade longitudinal por nível e mira (Queiroz, 1984)	410
Figura 9.9 Exemplo de equipamento <i>dipstick</i> e esquema de funcionamento	410
Figura 9.10 Exemplo de equipamento APL francês	411
Figura 9.11 Exemplo de equipamento munido de barra com ultra-som	411
Figura 9.12 Exemplos de equipamentos medidores de irregularidade de classe II	411
Figura 9.13 Exemplo de equipamento Merlin medidor de irregularidade	412
Figura 9.14 Princípio de funcionamento de equipamento tipo-resposta (Gillespie <i>et al.</i> , 1980)	413
Figura 9.15 Fendas	417
Figura 9.15 Fendas (continuação)	418
Figura 9.16 Afundamentos e escorregamentos	419
Figura 9.17 Escorregamento, corrugação e exsudação	420
Figura 9.18 Desgaste, desagregação, polimento de agregados	421
Figura 9.19 Panelas e remendos	422
Figura 9.20 Outros defeitos	423
Figura 9.21 Treliça metálica para medida dos afundamentos em trilhas de roda	424
Figura 9.22 Exemplo de demarcação de áreas para inventário de defeitos	425
Figura 9.23 Exemplo de planilha empregada para levantamento do estado de superfície pela norma do IGG	426
Figura 9.24 Exemplo de planilha de cálculo do IGG	427
Figura 9.25 Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico	430
Figura 9.26 Operação do pêndulo britânico para a determinação do valor de resistência à derrapagem	431
Figura 9.27 Equipamentos e passos do ensaio de mancha de areia	431
Figura 9.28 Exemplo de mancha de areia em dois tipos de revestimento com macrotexturas distintas	432

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 9.29 Exemplo de equipamento de medida de atrito $\mu$ Meter	433
Figura 9.30 Resultados de coeficiente de atrito longitudinal medido em três tipos diferentes de revestimentos asfálticos e a diferentes velocidades (modificado de Brosseaud, 2002)	434
Figura 9.31 Exemplo de arranjos de conjunto de equipamentos para medições de ruído gerado com a contribuição do pavimento (Láo, 2004)	436
Figura 9.32 Exemplo de resultados obtidos em medições de ruído em campo e em laboratório (Láo, 2004)	437
Tabela 9.1 Níveis de serventia (DNIT, 2003c)	404
Tabela 9.2 Conceitos do índice de gravidade global IGG por faixa de valores	428
Tabela 9.3 Classificação da textura de um pavimento	430
Tabela 9.4 Classes de microtextura (ABPv, 1999)	431
Tabela 9.5 Classes de macrotextura (ABPv, 1999)	432

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 10 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Figura 10.1 Representações esquemáticas de curvas de desempenho de um pavimento e etapas de restauração	442
Figura 10.2 Exemplos de extração corpos-de-prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso	444
Figura 10.3 Exemplo de equipamentos DCP de avaliação estrutural expedita de subleitos e camadas de solo	444
Figura 10.4 Equipamento de avaliação expedita do módulo elástico do pavimento	444
Figura 10.5 Defeitos estruturais de trincamento e afundamento por repetição de cargas	445
Figura 10.6 Esquema da viga Benkelman (DNER ME 24/94) e exemplo de medida em campo	447
Figura 10.7 Passos do ensaio com a viga Benkelman	448
Figura 10.8 Esquema de leituras com a viga Benkelman para obtenção da deformada	449
Figura 10.9 Esquema de medida e cálculo do raio de curvatura	449
Figura 10.10 Esquema de um defletômetro de impacto	450
Figura 10.11 Exemplos de modelos de FWD	451
Figura 10.12 Exemplo de modelo de centro de calibração de FWD	451
Figura 10.13 Esquema de medidas com o FWD	452
Figura 10.14 Esquema dos dados necessários para se fazer uma retroanálise de pavimento (Nóbrega, 2003)	453
Figura 10.15 Diferentes formas de bacia deflectométrica indicam diferentes capacidades de carga para a mesma deflexão máxima (Nóbrega e Motta, 2003)	455
Figura 10.16 Tela do programa RETRAN2CL (Albernaz, 1997)	457
Figura 10.17 Exemplos de simuladores de tráfego	459
Figura 10.18 Exemplos de simuladores de tráfego tipo HVS – <i>heavy vehicle simulator</i> em outros países	460

Sem tabelas

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

### 11 TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO ASFÁLTICA

Figura 11.1 Exemplo de delimitação dos segmentos homogêneos pelo método das diferenças acumuladas (AASHTO, 1993)	466
Figura 11.2 Exemplo de selagem de trincas	467
Figura 11.3 Posicionamento de geotêxtil em pavimento recapeado	469
Figura 11.4 Exemplo de execução de geotêxtil em restauração de revestimento asfáltico	470
Figura 11.5 Exemplo de execução de geogrelha em restauração de revestimento asfáltico	471
Figura 11.6 Posicionamento da camada intermediária de alívio de tensões	472
Figura 11.7 Posicionamento de camada de interrupção de trincas	473
Figura 11.8 Reciclagem com espuma de asfalto	474
Tabela 11.1 Exemplo de aplicação do procedimento para delimitação em segmentos homogêneos (AASHTO, 1993)	465

## ÍNDICE REMISSIVO DE TERMOS

### A

AASHTO, 287, 306, 346, 404, 406, 464  
abrasão, 116, 124, 133, 153, 187, 269, 273, 395  
abrasão Los Angeles, 134, 140, 261, 273, 327, 357  
absorção, 142, 149, 167, 216, 271, 435  
aderência, 165, 179, 403, 429, 430, 483  
adesão, 116, 187, 264, 273, 275, 280  
adesividade, 64, 118, 143, 328, 421  
afundamento de trilha de roda, 322, 417, 443  
afundamentos, 322, 414, 416, 417, 419, 424, 442, 443, 445  
agentes rejuvenescedores, 41, 99, 188, 190, 256, 473  
agregado, 115, 207  
    artificial, 119  
    britado, 124  
    gráudo, 120, 132, 139, 142, 150, 152  
    miúdo, 85, 120, 148, 150, 151  
    natural, 99, 116  
    propriedades (ver propriedades dos agregados)  
    reciclado, 116, 119, 351, 352, 355, 362  
alcatrão, 25, 26  
amostragem, 73, 130, 142, 387  
amostragem de agregados, 130  
análise granulométrica, 122, 132  
análise petrográfica, 117  
análise por peneiramento, 119, 121, 122, 125, 139  
angularidade de agregado, 150, 151, 152, 240, 261

ângulo de fase, 104, 260, 290, 303  
areia, 116, 119, 120, 141, 151, 164, 174, 341, 354, 356, 363, 430  
areia-asfalto, 174, 253, 328  
areia-cal-cinza volante, 356  
argila, 132, 143, 150, 153, 340, 341, 354, 358, 360, 363  
argila calcinada, 119, 134  
argila expandida, 119  
aromáticos, 27, 30, 37, 51, 64  
asfaltenos, 27, 30, 32, 68, 176  
asfalto, 25, 27, 30, 34, 41, 58, 100  
    asfalto-borracha, 75, 162, 165, 172, 302, 324, 377  
    asfaltos diluídos, 81, 96  
    asfalto-espuma, 38, 41, 97, 441  
    asfalto modificado por polímeros, 59, 63, 67, 69, 92, 162, 174, 377, 472  
    asfalto natural, 26  
    composição química, 27  
    especificação brasileira, 58, 61, 83, 94, 95, 96, 97, 99  
    especificação européia, 62  
    especificação SHRP, 32, 100, 102, 103  
    produção, 32, 33, 34, 39  
    programa SHRP, 100  
    propriedades físicas-ensaios, 41  
        coesividade Vialit, 72  
        densidade relativa, 53  
        durabilidade, 49  
        dutilidade, 49  
        espuma, 53  
        estabilidade à estocagem, 72  
        fragilidade e tenacidade, 73  
        massa específica, 53  
        penetração, 42

ponto de amolecimento, 48  
ponto de fulgor, 52  
ponto de ruptura Fraass, 54  
recuperação elástica, 70  
reômetro de cisalhamento dinâmico, 104  
reômetro de fluência em viga (BBR), 106  
retorno elástico, 70  
separação de fases, 72  
suscetibilidade térmica, 55  
solubilidade, 49  
tração direta (DTT), 108  
vaso de envelhecimento sob pressão (PAV), 108  
viscosidade, 43  
avaliação, 403, 441  
    de aderência em pistas molhadas, 429  
    estrutural, 9, 441, 463  
    funcional, 9, 403, 441, 463  
    objetiva, 424  
    subjativa, 404, 409

### B

“bacia de deflexão, bacia de deformação”, 445, 452  
basalto, 116, 118, 119, 142, 143  
base (camada de pavimento), 176, 183, 194, 337, 339  
base asfáltica, 176  
BBM, BBME, BBTM, BBUM, 176, 177, 179, 180, 181, 182  
betume (ver asfalto), 25, 26, 49  
bica corrida, 353, 357  
bombeamento de finos, 416, 423  
borracha (ver asfalto-borracha), 59, 62, 63, 65, 75  
brita graduada simples, 352, 353, 357

brita graduada tratada com cimento, 352, 356, 362  
britador, 124, 127  
britagem, 124  
Brookfield, 47  
buraco (panela), 415, 416, 422, 425

## C

camada(s)  
“de base; de sub-base”, 352  
“de dissipação de trincas (de absorção de trincas; anti-reflexão de trincas)”, 468, 469  
de módulo elevado, 162, 165, 176  
de reforço do subleito, 337, 339  
de rolamento (ver revestimento asfáltico), 9, 162, 176, 468, 473  
de revestimento intermediárias, 9, 162, 179, 183, 187, 253, 472  
intermediárias de alívio de tensões, 472  
porosa de atrito (ver revestimento drenante), 159, 161, 165, 253, 328, 434, 468  
superficiais de revestimentos delgados, 165, 179, 473  
caminhão espargidor, 393, 396  
Cannon-Fenske, 44, 45  
Cannon-Manning, 44, 45  
CAP (cimento asfáltico de petróleo) (ver asfalto)  
capa selante, 183, 193, 395  
cimento asfáltico de petróleo (ver asfalto)  
classificação de agregados, 116, 119, 142  
classificação de asfaltos, 41, 43, 60, 100  
classificação de defeitos, 415  
classificação de solos, 340, 341  
classificação de textura, 430, 432  
coesão (coesividade), 49, 72, 187, 194, 271, 338, 342, 352  
coletores de pó (filtros de manga), 380  
compactação, 389

compactador giratório (Superpave), 230, 232  
compatibilidade, 66, 67, 72, 129, 271  
compressão, 10, 127, 195, 289, 308, 311, 330, 338, 350, 352, 470  
compressão uniaxial não-confinada (*creep*), 317  
concreto asfáltico, 158, 159, 161, 162, 217, 302, 432, 468  
concreto asfáltico de módulo elevado, 162, 165, 176, 302, 311, 352  
concreto asfáltico delgado, 177, 178  
concreto asfáltico denso, 161, 162  
cone de penetração dinâmico (DCP), 345, 443, 444  
contrafluxo, 379, 383, 384  
corrugação, 415, 416, 420, 425, 427  
*creep*, 106, 317, 318, 319, 320, 321  
cura, 96, 254, 351, 363, 364, 397, 399  
curva de Fuller, 229  
curvas granulométricas (ver granulometria), 123, 261

## D

DCP (*dynamic cone penetrometer cone* de penetração dinâmico), 345, 444  
defeitos de superfície, 413, 414, 415, 416  
deflexão, 346, 443, 445, 446, 448, 454, 463, 464  
deformação, 43, 49, 104, 105, 304, 313, 315, 443  
deformação permanente (ver afundamento em trilha de roda), 316, 317, 320, 321, 322, 443  
degradação, 133, 134, 137, 139  
densidade (ver massa específica) específica, 144 específica Rice, 210 máxima medida, 209 máxima teórica, 209 relativa, 53, 145, 147

densímetro com fonte radioativa, 390  
densímetro eletromagnético, 390  
desagregação (ver desgaste, descolamento, *stripping*), 415, 416, 421, 422  
descolamento, 129, 419, 421  
desempenho, 101, 373, 401, 403, 441, 442, 457  
desgaste, 134, 135, 327, 415, 416, 421, 423  
deslocamento, 289, 291, 297, 298, 299, 300, 301, 318, 321, 346, 348, 421, 443, 445, 446  
diorito, 118, 119  
distribuidor de agregados, 197, 393  
dosagem, 157, 205, 217, 227, 229, 253, 256, 258, 259, 266, 269, 274, 277  
dosagem ASTM, 217, 235  
dosagem de misturas asfálticas recicladas a quente, 256  
dosagem Marshall, 206, 217, 224, 227  
dosagem Superpave, 229, 233, 259  
drenagem superficial, 264, 407  
DSC, 33, 58  
DSR, 104, 105  
DTT, 108, 109  
durabilidade, 49  
dureza, 124, 134, 178  
dureza dos agregados, 134

## E

elastômeros, 62, 63  
EME, 162, 165, 176, 178, 179, 180, 181, 182  
emulsão aniônica, 81, 84, 85  
emulsão asfáltica, 81, 82, 83, 84, 92, 93  
emulsão catiônica, 81, 82, 84  
endurecimento, 34, 49, 52, 108  
endurecimento do ligante asfáltico, 34, 51, 52  
ensaio  
azul-de-metileno, 187, 275, 279  
bandeja, 266, 267  
Cântabro, 167, 253, 328

carga de partícula, 86  
desemulsibilidade, 89  
determinação do pH, 92  
10% de finos, 134, 139, 140  
efeito do calor e do ar, 49  
equivalente de areia, 132, 133, 153  
espuma, 53  
estabilidade à estocagem, 67, 72  
flexão, 291, 303  
mancha de areia, 430, 431, 432  
pêndulo britânico, 430, 431  
peneiração, 88  
penetração, 42  
placa, 266  
ponto de amolecimento, 48  
ponto de fulgor, 52, 53  
ponto de ruptura Fraass, 54, 55  
recuperação elástica por torção, 78, 79  
resíduo por destilação, 90, 91  
resíduo por evaporação, 90  
sanidade, 143, 144  
Schulze-Breuer and Ruck, 188, 271, 272, 273  
sedimentação, 87  
separação de fases, 72, 73  
solubilidade, 49, 50  
tenacidade, 73, 74, 75  
tração direta, 108, 109  
tração indireta, 308  
Tretón, 137, 138  
viscosidade, 43, 45, 46, 91  
envelhecimento, 49, 50, 51, 52, 108  
escória de aciaria, 119, 355  
escória de alto-forno, 119  
escorregamento, 419, 420  
especificação brasileira de asfalto diluído, 96, 97  
especificação brasileira de emulsões asfálticas catiônicas, 84  
especificação brasileira de emulsões asfálticas modificadas por polímero, 94, 95  
especificação de emulsões asfálticas para lama asfáltica, 85  
especificações para cimento asfáltico de petróleo, 60

espuma de asfalto, 53, 192, 474  
estabilidade, 67, 72, 92, 121, 132, 222, 223, 288  
estocagem, 33, 36, 37, 38, 67, 72, 376, 384  
estufa de filme fino rotativo, 50, 51  
estufa de película fina plana, 50, 51  
EVA, 66, 67, 68  
expressão de Duriez, 255  
exsudação, 415, 416, 420

## F

fadiga, 288, 311, 312, 313, 315, 316, 445  
feldspato, 117, 119  
fendas, 117, 119  
fibras, 172, 252  
fíler, 120, 160  
filtro de mangas, 380  
fluência, 106, 222, 318  
fluxo paralelo, 379, 383  
forma dos agregados, 141, 142, 172  
fórmula de Vogt, 254  
fragilidade, 73  
fresadoras, 189, 192  
fresagem, 188, 190, 191, 468  
fundação, 337  
FWD, 445, 448, 450, 451, 452

## G

gabro, 118, 119  
GB, 176, 179, 180  
gel, 28, 30, 31  
geogrelhas, 471  
geossintéticos, 469  
geotêxteis, 469, 470  
gerência, 403, 413, 441  
gnaisse, 117, 118, 362  
graduação, 122, 123, 131, 159, 161, 169, 172, 183, 229, 264, 323  
graduação aberta, 122, 159  
graduação com intervalo, 172  
graduação densa, 122, 159  
graduação descontínua, 159  
graduação do agregado, 159  
graduação uniforme, 123

gráfico de Heukelom, 56, 57  
granito, 117, 118, 119  
grau de compactação, 389  
grau de desempenho, 101, 259  
grumos, 88, 89, 132, 213, 216

## H

hidrocarbonetos, 25, 27, 30, 33, 37  
hidroplanagem, 429, 433  
histórico, 11, 16  
Hveem, 50, 291, 346

## I

IBP, 70, 80, 99, 291  
IFI, 434  
IGG, 415, 424, 427, 428, 429  
IGI, 427, 428  
impacto, 72, 127, 128, 205, 206, 448  
imprimação, 97, 414  
índice de atrito internacional, 434  
índice de degradação após compactação Marshall, 139, 140  
índice de degradação após compactação Proctor, 137  
índice de degradação Washington, 136  
índice de forma, 141, 264  
índice de gravidade global, 415, 424, 428  
índice de gravidade individual, 427, 428  
índice de irregularidade internacional, 407  
índice de penetração, 55, 56  
índice de suporte Califórnia, 342  
índice de susceptibilidade térmica, 41  
IRI, 407, 408, 413  
irregularidade, 404, 405, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413  
irregularidade longitudinal, 407, 410  
J  
juntas, 76, 469, 472

## L

lama asfáltica, 85, 185, 186,  
187, 269, 277, 397  
laterita, 119, 355, 362  
ligantes asfálticos modificados  
com polímeros, 59, 63, 69,  
473  
limpeza, 132, 167, 386  
Lottman, 143  
LWT, 185, 187, 197, 198, 269,  
270, 271, 275

## M

macadame betuminoso, 194, 195,  
352  
macadame hidráulico, 352, 353,  
357  
macadame seco, 353, 357, 358  
macromoléculas, 59  
macrot textura, 430, 432, 433  
maltenos, 27, 30, 68  
manutenção, 406, 407, 413, 441  
manutenção preventiva, 406, 407,  
441  
massa específica, 53, 54, 144,  
145, 148, 149, 237, 389, 390,  
443  
massa específica aparente, 146,  
207, 208, 209  
massa específica efetiva, 146, 211  
massa específica máxima medida,  
209, 211, 214  
massa específica máxima teórica,  
209  
massa específica real, 145  
materiais asfálticos, 10, 352  
materiais estabilizados  
granulometricamente, 358  
material de enchimento, 120,  
185, 358  
matriz pétreas asfáltica, 159, 168  
Mecânica dos Pavimentos, 10,  
339, 453  
megatextura, 430  
método Marshall, 205, 217, 227,  
228  
metodologia MCT, 359, 360, 361  
microrrevestimento, 186, 269,  
274, 397  
microtextura, 430, 431

mistura asfáltica, 26, 157, 205,  
373  
misturas asfálticas drenantes, 179  
módulo complexo, 104, 303,  
305, 306  
módulo de resiliência, 291, 294,  
296, 297, 300, 301, 345,  
346, 348, 349  
módulo de rigidez, 106  
módulo dinâmico, 304, 306  
multidistribuidor, 395

## O

ondulações transversais, 415  
osmometria por pressão de vapor,  
28  
oxidação, 34, 50

## P

panela, 415, 416, 422, 427  
parafinas, 33, 58  
partículas alongadas e achatadas,  
150, 152, 153  
PAV, 108  
pavimentação, 10, 20, 25, 373,  
403  
pavimentos asfálticos, 9, 10, 337,  
338, 365, 366, 367, 368, 441  
pavimentos de concreto de  
cimento Portland, 9, 338  
pavimentos flexíveis, 337, 415  
pavimentos rígidos, 337  
pedregulhos, 115, 116  
pedreira, 124, 126  
peneiramento, 88, 121, 122, 125  
peneiras, dimensões, 122  
penetração, 10, 42, 43, 55, 56,  
58, 194, 343, 393, 443  
penetrômetro de cone dinâmico,  
345  
percolação, 159, 165  
perda ao choque, 137, 138  
perda por umidade induzida, 328  
perfilômetro, 408, 409  
permeabilidade, 165, 166, 183  
petróleo, 25, 33, 96  
PG, 101, 102, 103, 259, 260  
pH, 86, 92  
pintura de ligação, 414, 420, 422

plastômeros, 65, 68  
PMF, 183, 184, 253, 255  
pó, 65, 76, 120, 132, 195, 198,  
380  
pó de pedra, 120, 184, 274  
polimento, 117, 421, 433  
ponto de amolecimento, 33, 48,  
55, 100  
ponto de amolecimento anel e  
bola, 48  
pré-misturado, 10, 385, 468, 472  
processo estocável, 76  
processo seco, 76, 78, 80  
processo úmido, 76  
produção de asfalto, 27, 35, 36,  
37, 38  
propriedades físicas, 41, 126, 129

## Q

QI, 412, 413  
quarteamento, 131, 132  
quartzito, 118, 119  
quartzito, 117, 118, 119  
quociente de irregularidade, 412,  
413

## R

raio de curvatura, 446, 447, 449,  
454  
RASf, 37, 178  
recapeamento, 441, 468, 469,  
470, 471, 472  
reciclado, 116, 119, 261, 352, 355  
reciclagem, 53, 99, 119, 188,  
190, 191, 352, 441, 473, 474  
reciclagem em usina, 191  
reciclagem *in situ*, 191, 192, 474  
reconstrução, 22, 406, 441  
recuperação elástica, 69, 70, 71,  
78, 79, 80, 300, 472  
refino do petróleo, 33, 35, 36, 37,  
38, 39  
reforço, 9, 337, 339, 342, 352,  
365, 424, 441, 453, 468  
rejeitos, 352  
remendo, 416, 422  
reologia, 30, 259  
reômetro de cisalhamento  
dinâmico, 103, 104



reômetro de fluência em viga, 103, 106  
reperfilagem, 467, 468  
resíduo, 34, 75, 87, 89, 90, 91, 120, 178, 355  
resíduo de vácuo, 34, 36  
resinas, 28, 30  
resistência, 67, 133, 143, 150, 165, 176, 251, 302, 308, 327, 342, 351, 431  
resistência à abrasão, 133, 134, 153, 264, 269  
resistência à deformação permanente, 67, 150, 165, 179  
resistência à fadiga, 67, 179  
resistência à tração estática, 249, 288, 308  
resistência à tração retida, 251  
resistência ao atrito, 119, 140  
resistência ao trincamento por fadiga, 178, 315  
ressonância nuclear magnética, 28, 72  
restauração, 176, 185, 188, 406, 407, 413, 441, 442, 463, 466, 467, 468  
retorno elástico, 68, 70, 79  
retroanálise, 452, 453, 454, 455, 456, 457  
revestimento asfáltico drenante, 165  
revestimentos asfálticos, 10, 157, 164, 205, 373, 473  
revestimentos delgados, 165, 179, 473  
RNM, 28, 72  
rochas ígneas, 116, 117, 118  
rochas metamórficas, 116  
rochas sedimentares, 116  
rolagem, 206, 390, 391, 392, 393  
rolo compactador, 390, 391, 392, 393  
rolos compactadores estáticos, 390  
rolos compactadores vibratórios, 391  
rolos de pneus, 390  
RTFOT, 50, 51, 103, 108  
ruído, 165, 172, 179, 435, 436, 437  
ruptura da emulsão, 87, 92  
RV, 36, 103

## S

SAMI, 472  
SARA, 27, 28, 29  
saturados, 27, 28, 30, 32  
Saybolt-Furool, 46, 91, 219  
SBR, 66, 92, 94  
SBS, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 95  
Schellenberg, 252  
secador, 377, 378, 379, 380, 383  
secador de contrafluxo, 379  
secador de fluxo paralelo, 379, 383  
segmentos homogêneos, 463, 464, 465, 466  
segregação, 120, 123, 130, 172, 386, 393, 423  
segurança, 52, 97, 100, 403, 429  
selagem de trincas, 466, 467  
serventia, 404, 405, 406, 407, 409, 441  
SHRP, 32, 100, 102, 120, 123, 150, 229, 230  
silos frios, 377, 378  
silos quentes, 381, 382  
simuladores de laboratório, 317  
simuladores de tráfego, 321, 457, 458, 459  
sintético, 62, 134  
SMA, 161, 168, 169, 170, 171, 172, 249, 250, 251, 252  
sol, 30, 31  
solo arenoso fino laterítico, 354, 360  
solo-agregado, 358, 359  
solo-areia, 354, 359  
solo-brita descontínuo, 354, 359  
solo-cal, 352, 356, 364  
solo-cimento, 351, 352, 356, 363, 364  
sub-base, 9, 337, 339, 342, 352  
Superpave, 100, 103, 229, 232, 233, 236, 259  
susceptibilidade térmica, 41, 55, 56

## T

tamanho máximo, 120, 131, 230  
tamanho nominal máximo, 120, 164

teor de argila, 153  
teor de asfalto, 162, 221, 224, 226, 234  
teor de parafinas, 33, 58  
teor de sílica, 119  
termoplásticos, 62, 63, 64  
textura superficial, 140, 166, 435  
TFOT, 49, 50, 51  
tipos de ligantes asfálticos, 40, 41  
tipos de modificadores, 65  
tipos de rochas, 118  
transporte, 11, 12, 14, 18, 20, 384  
tratamento superficial duplo, 192, 263, 395  
tratamento superficial primário, 193, 195  
tratamento superficial simples, 192, 194, 196, 263, 400  
tratamento superficial triplo, 192, 263, 395  
tratamentos superficiais, 180, 191, 193, 194, 393  
triaxial com carregamento repetido, 317, 347, 348  
trincamento, 9, 230, 350, 361, 406, 445, 469  
trincamento por fadiga, 9, 150, 230, 315  
trincas, 311, 354, 356, 415, 417, 418, 425, 467, 469, 472, 473

## U

usina asfáltica por batelada, 374, 381, 382  
usina contínua, 383  
usina de asfalto, 374  
usina de produção, 374, 381, 382  
usina gravimétrica, 374, 381  
usinas asfálticas, 373, 379, 384

## V

valor de resistência à derrapagem, 172, 429, 430, 431  
valor de serventia atual, 404, 406  
vaso de envelhecimento sob pressão, 108  
vibroacabadora de esteiras, 388  
vibroacabadora de pneus, 387

vibroacabadoras, 387  
viga Benkelman, 346, 445, 446,  
447, 448, 449  
viscosidade absoluta, 44, 45  
viscosidade cinemática, 44, 45  
viscosidade rotacional, 47  
viscosímetro capilar, 44  
VPO, 28  
VRD, 430, 431

## **W**

WST, 270  
WTAT, 187, 197, 199, 269, 270

## **Z**

zona de restrição, 164, 230, 231

## ÍNDICE REMISSIVO DAS BIBLIOGRAFIAS

### A

- AASHTO (1986), 369  
AASHTO (1989) AASHTO T 283/89, 154  
AASHTO (1991) AASHTO T85, 154  
AASHTO (1993), 438  
AASHTO (1997) AASHTO T305, 281  
AASHTO (1999) AASHTO T104, 200  
AASHTO (1999) AASHTO T209, 281  
AASHTO (2000) AASHTO T166, 281  
AASHTO (2001) AASHTO D5821, 200  
AASHTO (2003) AASHTO T312, 281  
AASHTO (2003) AASHTO T319, 281  
AASHTO (2005) AASHTO MP8-01, 332  
AASHTO PP35, 281  
ABEDA (2001), 110  
ABINT (2004), 475  
ABNT (1989) NBR 6954, 154  
ABNT (1991) NBR 12261, 369  
ABNT (1991) NBR 12262, 369  
ABNT (1991) NBR 12265, 369  
ABNT (1992) NBR 12053, 369  
ABNT (1993) NBR 12891, 281  
ABNT (1994) NBR 13121, 110  
ABNT (1998) NBR 6576, 110  
ABNT (1998) NBR 9619, 110  
ABNT (1999) NBR 14249, 110  
ABNT (1999) NBR 14393, 110  
ABNT (1999) NBR 6299, 110  
ABNT (2000) NBR 14491, 110  
ABNT (2000) NBR 14594, 110  
ABNT (2000) NBR 6302, 110  
ABNT (2000) NBR 6560, 110  
ABNT (2000) NBR 6567, 110  
ABNT (2000) NBR 6569, 110  
ABNT (2000) NBR 6570, 110  
ABNT (2001) NBR 14736, 111  
ABNT (2001) NBR 14746, 200  
ABNT (2001) NBR 5847, 110  
ABNT (2001) NBR 6293, 110  
ABNT (2001) NBR 6300, 110  
ABNT (2003) NBR 6297, 111  
ABNT (2003) NBR NM 52, 154  
ABNT (2003) NBR NM 53, 154  
ABNT (2004) NBR 14896, 111  
ABNT (2004) NBR 15087, 281  
ABNT (2004) NBR 15115, 369  
ABNT (2004) NBR 15140, 281  
ABNT (2004) NBR 15166, 111  
ABNT (2004) NBR 15184, 111  
ABNT (2004) NBR 5765, 111  
ABNT (2005) NBR 9935, 154  
ABNT (2005) NBR 15235, 111  
ABNT (2005) NBR 6568, 111  
ABNT NBR 11341, 111  
ABNT NBR 11805, 369  
ABNT NBR 11806, 369  
ABNT NBR 14376, 110  
ABNT NBR 14756, 111  
ABNT NBR 14757, 200  
ABNT NBR 14758, 200  
ABNT NBR 14798, 200  
ABNT NBR 14841, 200  
ABNT NBR 14855, 111  
ABNT NBR 14948, 200  
ABNT NBR 14949, 200  
ABNT NBR 14950, 111  
ABNT NBR 6296, 111  
ABNT P-MB 326, 110  
ABNT P-MB 425/1970, 110  
ABNT P-MB 43/1965, 110  
ABNT P-MB 581/1971, 110  
ABNT P-MB 586/1971, 110  
ABNT P-MB 590/1971, 110  
ABNT P-MB 609/1971, 110  
ABNT P-MB 826/1973, 110  
ABNT (2002) NBR 14856, 111  
ABPv (1999), 438  
Adam, J-P. (1994), 24  
AFNOR (1991) AFNOR-NF-P-98-253-1, 332  
AFNOR (1991a), 332  
AFNOR (1993) AFNOR-NF-P-98-260-1, 332  
AIPCR (1999), 200  
Albernaz, C.A.V. (1997), 461  
Aldigueri, D.R., Silveira, M.A. e Soares, J.B. (2001), 281  
Allen, D. H. e Haisler, W. E. (1985), 332  
Alvarenga, J.C.A. (2001), 369  
Alvarez Neto, L. (1997), 461  
Alvarez Neto, L., Bernucci, L.L.B., Nogami, J.S. (1998), 461  
Amaral, S.C. (2004), 369  
ANP (1993), 281  
Antoszczem Jr, J.A. e Massaranduba, J.C.M. (2004), 402  
APRG (1997), 281  
Aps, M.; Bernucci, L.L.B.; Fabrício, J.M.; Fabrício, J.V.F.; Moura, E. (2004a), 438  
Aps, M.; Bernucci, L.L.B.; Fabrício, J.M.; Fabrício, J.V.F. (2004b), 438  
Aps, M.; Rodrigues Filho, O.S.; Bernucci, L.L.B.; Quintanilha, J.A. (2003), 438  
Asphalt Institute (1989), 154  
Asphalt Institute (1995), 154  
Asphalt Institute (1998), 402  
ASTM ( 2003b) ASTM E-1960, 438  
ASTM (1982) ASTM D4123, 332

- ASTM (1986) ASTM C496, 332  
 ASTM (1993) ASTM C 1252, 282  
 ASTM (1994) ASTM D5002, 282  
 ASTM (1995) ASTM D1856, 282  
 ASTM (1997) ASTM D5, 111  
 ASTM (1998) ASTM C702, 154  
 ASTM (1999) ASTM D4791, 154  
 ASTM (2000) ASTM D2041, 282  
 ASTM (2000) ASTM D2726, 282  
 ASTM (2000) ASTM D 1075-96, 154  
 ASTM (2000) ASTM D 4791-99, 282  
 ASTM (2000) ASTM D244, 111  
 ASTM (2000) ASTM D5840, 111  
 ASTM (2000) ASTM D5976, 111  
 ASTM (2000) ASTM D6521, 111  
 ASTM (2001) ASTM D2042, 111  
 ASTM (2001) ASTM D2170, 112  
 ASTM (2001) ASTM D2171, 112  
 ASTM (2001) ASTM D2172, 282  
 ASTM (2001) ASTM D4124, 112  
 ASTM (2001) ASTM D5581, 282  
 ASTM (2001) ASTM D5801, 112  
 ASTM (2001) ASTM D5841, 111  
 ASTM (2001) ASTM D6648, 112  
 ASTM (2001) ASTM E 965-96, 438  
 ASTM (2002) ASTM D 1754/97, 112  
 ASTM (2002) ASTM D1188, 282  
 ASTM (2002) ASTM D4402, 112  
 ASTM (2002) ASTM D6723, 112  
 ASTM (2002) ASTM D6816, 112  
 ASTM (2003) ASTM D3497-79, 332  
 ASTM (2003a) ASTM E 303-93 S, 438  
 ASTM (2004) ASTM D2872, 111  
 ASTM (2004) ASTM D6084, 112  
 ASTM (2004) ASTM D7175, 112  
 ASTM (2005) ASTM C 125, 154  
 ASTM C127, 154  
 ASTM C128, 282  
 ASTM D 113, 111  
 ASTM D 2007, 111  
 ASTM D 270, 111  
 ASTM D 36, 111  
 ASTM D 5329, 112  
 ASTM D 5858, 461  
 ASTM D 88, 111
- ASTM D 92, 112  
 ASTM D 95, 111  
 ASTM D4748-98, 461  
 ASTM E102, 112  
 ASTM(2002) ASTM D402, 112
- B**
- Balbo, J.T. (1993), 369  
 Balbo, J.T. (2000), 332  
 Barksdale (1971), 332  
 Beligni, M., Villibor, D.F. e Cincere, J.R. (2000), 200  
 Bely, L. (2001), 24  
 Benevides, S.A.S. (2000), 332  
 Benkelman, A.C.; Kingham, R.I. e Fang, H.Y. (1962), 369  
 Bernucci, L.L.B. (1995), 369  
 Bernucci, L.B.; Leite, L.M. e Moura, E. (2002), 332  
 Bertollo, S.A.M. (2003), 112  
 Bertollo, S.A.M., Bernucci, L.B., Fernandes, J.L. e Leite, L.M. (2003), 112  
 Bittencourt, E.R. (1958), 24  
 Bohong, J. (1989), 24  
 Bonfim, V. (2000), 200  
 Bonnaure, F., Gest, G., Gravois, A. e Uge, P. (1977), 332  
 Boscov, M.E.G. (1987), 369  
 Bottin Filho, I.A. (1997), 332  
 Bottura, E.J. (1998), 438  
 Brito, L.A.T (2006), 333  
 Brosseau, Y. (2002), 438  
 Brosseau, Y. (2002a), 200  
 Brosseau, Y. (2002b), 201  
 Brosseau, Y., Bogdanski, B., Carre, D., (2003), 201  
 Brosseau, Y., Delorme, J-L., Hiernaux, R.(1993), 201  
 Buchanan, M.S.; Brown, E.R. (2001), 282  
 Bukowski, J.R. (1997), 282
- C**
- Cabral, G.L.L. (2005), 154  
 Camacho, J. (2002), 369  
 Carey Jr., W.N. e Irick, P.E. (1960), 438  
 Carey Jr., W.N.; Huckins, H.C. e Leathers, R.C. (1962), 438  
 Carneiro, F.L. (1943), 333  
 Carneiro, F.B.L.(1965), 461  
 Carpenter, S.H.; K.A. Ghuzlan, e S. Shen (2003) , 333  
 Castelo Branco, V.T.F., Aragão, F.T.S. e Soares, J.B. (2004), 282  
 Castro Neto, A.M. (1996), 282  
 Castro Neto, A.M. (2000), 282  
 Castro, C.A.A. (2003), 112  
 Centro de Estudios de Carreteras (1986), 333  
 Ceratti, J.A.P. (1991), 369  
 Chevallier, R. (1976), 24  
 Christensen, R.M. (1982), 333  
 CNT (2004), 333  
 Coelho, W. e Sória, M.H.A. (1992), 282  
 COMITEE ON TROPICAL SOILS OF ISSMFE (1985), 369  
 Concer (1997), 24  
 Cordeiro, W.R. (2006), 201  
 Corté, J.-F. (2001), 201  
 Costa, C.A. (1986), 201  
 Croney, D. (1977), 438  
 Cundill, M.A. (1991), 438
- D**
- DAER/RS-EL 108/01, 282  
 Dama, M.A. (2003), 112  
 Daniel, J.S. e Y.R. Kim (2002), 333  
 Daniel, J.S. e Y.R. Kim e Lee, H.J. (1998), 333  
 DERBA (1985), 201  
 DER-BA ES P 23/00, 201  
 DER-PR (1991), 402  
 DER-SP (1991), 369  
 Dijk, W.V. (1975), 333  
 DNC (1993), 112  
 DNC 733/1997 (1997), 112  
 DNER (1979) DNER PRO-10/79, 461  
 DNER (1979) DNER PRO-11/79, 461  
 DNER (1985) DNER PRO-159/85, 461

DNER (1994), 112	DNER (1996), 113	DNER (1998), 113, 283
DNER (1994) DNER-ME 138/94, 333	DNER (1996) DNER-ME 193/96, 283	DNER (1998) DNER-ME 035/98, 155
DNER (1994) DNER-IE 006/94, 154	DNER (1996) DNER-PRO 199/96, 155	DNER (1998) DNER-ME 081/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 053/94, 154	DNER (1996) DNER-PRO 273/96, 461	DNER (1998) DNER-ME 083/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 061/94, 461	DNER (1997), 283, 402	DNER (1998) DNER-ME 096/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 063/94, 112	DNER (1997) DNER ME 367/97, 155	DNER (1999) DNER-ES 386/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 078/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 308/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 387/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 086/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 309/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 388/99, 475
DNER (1994) DNER-ME 089/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 310/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 389/99, 202
DNER (1994) DNER-ME 093/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 311/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 390/99, 202
DNER (1994) DNER-ME 107/94, 282	DNER (1997) DNER-ES 312/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 382/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 117/94, 282	DNER (1997) DNER-ES 313/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 383/99, 333
DNER (1994) DNER-ME 133/94, 333,	DNER (1997) DNER-ES 314/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 397/99, 155
DNER (1994) DNER-ME 222/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 317/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 398/99, 155
DNER (1994) DNER-ME 24/94, 461	DNER (1997) DNER-ES 318/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 399/99, 155
DNER (1994) DNER-PRO 08/94, 438	DNER (1997) DNER-ES 319/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 400/99, 155
DNER (1994) DNER-PRO 269/94, 461	DNER (1997) DNER-ES 320/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 401/99, 155
DNER (1994a) DNER-PRO 164/94, 438	DNER (1997) DNER-ME 054/97, 155	DNIT (2003) DNIT 005-TER, 439
DNER (1994b) DNER ME 228/94, 370	DNER (1997) DNER-ME 153/97, 283	DNIT (2003) DNIT 006-PRO, 439
DNER (1994b) DNER-PRO 182/94, 438	DNER (1997) DNER-ME 197/97, 155	DNIT (2003c) DNIT 009-PRO, 439
DNER (1994c) DNER ME 256/94, 370	DNER (1997) DNER-PRO 120/97, 155	DNIT (2004) DNIT 031/04-ES, 155
DNER (1994c) DNER-PRO 229/94, 438	DNER (1997c) DNER ES 301/97, 370	DNIT (2005), 155
DNER (1994d) DNER ME 258/94, 370	DNER (1997d) DNER ES 303/97, 370	DNIT (2005) DNIT 034/05-ES, 202
DNER (1995) DNER-EM 035/95, 154	DNER (1997e) DNER ES 304/97, 370	DNIT (2005) DNIT 035/05-ES, 202
DNER (1995) DNER-ME 043/95, 282	DNER (1997f) DNER ES 305/97, 370	DNIT (2006), 370
DNER (1995) DNER-ME 084/95, 155	DNER (1997g) DNER ME 254/97, 370	DNIT(2005) DNIT 032/05-ES, 202
		DNIT(2005) DNIT 033/05-ES, 202

Duque Neto, F.S. (2004), 202  
Duque Neto, F.S., Motta, L.M.G. e  
Leite, L.F.M. (2004), 202

## E

EN 12591 (2000), 113  
EN 12593 (2000), 113  
EN 12697-5 (2002), 283  
Epps, J<sup>a</sup>., Sebaaly, P.E., Penaranda, J., Maher, M.R. Mccann, M.B. e Hand, A.J. (2000), 333  
Epps, J.A. e C.L. Monismith (1969), 333  
Espírito Santo, N.R. e Reis, R.M. (1994), 283

## F

Falcão, M.F.B. e Soares, J.B. (2002), 333  
Fernandes Jr., J.L. e Barbosa, R.E. (2000), 439  
Fernandes, C.G. (2004), 155  
Ferry, J.D. (1980), 333  
FHWA (1994), 283  
FHWA (1995), 283  
Finn, F.N., Monismith, C.L. e Makevich, N.J. (1983), 334  
Fonseca, O.A. (1995), 334  
Fortes, R.M. e Nogami, J.S. (1991), 370  
Francken, L.; Eustacchio, E.; Isacson, U e Partl, M.N. (1997), 283  
Francken, L. e Partl, M.N. (1996), 334  
Fritzen, M.A (2005), 202

## G

GEIPOT (1981), 24, 439  
Ghuzlan, K.A. e Carpenter, S.H. (2000), 334  
Gillespie, T.D.; Sayers, M.W. e Segel, L. (1980), 439  
Girdler, R.B. (1965), 113  
Godoy, H. (1997), 370  
Godoy, H. ; e Bernucci, L.L.B. (2002), 370

Gonçalves, F.P., Ceratti, J.A.P. (1998), 461  
Gontijo, P.R.A. (1984), 402  
Goodrich, J.L. (1991), 334  
Gouveia, L.T. (2002), 155  
Guimarães, A.C.R. e Motta, L.M.G. (2000), 155

## H

Haas, R. Hudson, W.R e Zaniewski, J. (1994), 439  
Hafez, I.H. e Witczak, M.W. (1995), 283  
Hagen, V.W. (1955), 24  
Harman, T.; Bukowski, J.R.; Moutier, F.; Huber, G.; McGennis, R. (2002), 283  
Hawkes, I. e Mellor, M. (1970), 334  
Heide J.P.J. e J.C. Nicholls (2003), 283  
Henry, J. (2000), 439  
Heukelom, W. (1969), 113  
Hill, J.F. (1973), 334  
Hinrichsen, J. (2001), 283  
História das Rodovias (2004), 24  
Hondros, G. (1959), 334  
Huang, Y.H. (1993), 334  
Huang, Y.H. (2003), 461  
Hunter, R.N. (2000), 113  
Hveem, F. N (1955), 334  
Hveem, F. N.; Zube, E.; Bridges, R.; Forsyth, R. (1963), 113

## I

IA (Instituto do Asfalto, versão em português) (2001), 113  
IBP (1999), 113  
Instituto do Asfalto (1989), 283  
IPR (1998), 155  
ISSA (2001), 202  
ISSA (2005), 202  
ISSA (2005a), 202  
ISSA TB-100 (1990), 284  
ISSA TB-109 (1990), 284  
ISSA TB-114 (1990), 284  
ISSA TB-145 (1989), 283

## J

Jackson, N.M. e Czor, L.J. (2003), 284  
Jooste, F.J.; A. Taute; B.M.J.A. Verhaeeghe; A.T. Visser e O.A. Myburgh (2000), 284

## K

Kandhal, P.S. e Koehler, W.S. (1985), 284  
Kandhal, P.S. e Brown, E.R. (1990), 284  
Khandal, P. e Foo, K.Y. (1997), 284  
Kim, Y.R. e Y.C. Lee (1995), 334  
Kim, Y.R., H.J. Lee e D.N. Little (1997), 334  
Kim, Y.R.; D.N. Little e F.C. Benson (1990)", 334  
Kleyn, E. G. (1975), 370  
Klumb, R.H. (1872), 24

## L

Lama, R.D. e Vutukuri, V.S. (1978), 334  
Láo, V.L.E.S.T. (2004), 439  
Láo, V.L.E.S.T. e Motta, L.M.G. (2004), 439  
Larsen, J. (1985), 202  
LCPC (1976), 113  
LCPC (1989), 402  
Lee, H.J. e Kim, Y.R. (1998), 334  
Leite, L.F.M (1999), 113  
Leite, L.F.M (2003), 113  
Leite, L.F.M. & Tonial, I.A. (1994), 113  
Leite, L.F.M., Silva, P., Edel, G., Motta, L.M. e Nascimento L. (2003), 113  
Lentz, R.W. and Baladi, G.Y. (1980), 370  
Liberatori, L.A. (2000), 113  
Little, D.N.; R.L. Lytton; D. Williams e R.Y. Kim (1999)", 334  
Livneh, M (1989), 371  
Loureiro, T.G. (2003), 334  
Lovato, R.S. (2004), 371  
Love, A.E.H. (1944), 334  
Luong, M.P. (1990), 334

## M

Macêdo, J.A.G. (1996), 462  
Magalhães, S.T. (2004), 202  
Magalhães, S.T.; Motta, L.M.G e Leite, L.F.M. (2004), 202  
Malliagros, T.G. e Ferreira, C.P. (2006), 24  
Mamlouk, S.M. e Sarofim, R.T. (1988), 334  
Mano (1991), 113  
Mano, E.B. (1985), 113  
Margary, I. (1973), 24  
Marques, G.Lº. e Motta, L.M.G. (2006), 334  
Marques, G.L.O. (2001), 155  
Marques, G.L.O. (2004), 284  
Mascarenhas Neto, J.D. (1790), 24  
McDaniel, R. e Anderson, R.M. (2000), 284  
McDaniel, R. e Anderson, R.M. (2001), 284  
McGennis, R.B.; Anderson, R.M.; Perdomo, D.; Turner, P. (1996), 284  
Medina, J e Motta, L.M.G. (2005), 371  
Medina, J. (1997), 24  
Medina, J., Motta, L.M., Pinto, S. e Leite, L.M. (1992), 335  
Metso Minerals (2005), 156  
Meurer Filho, E. (2001), 335  
Monismith, C.L.; Seed, H.B.; Mitry, F.G.; Chan, C.K. (1967), 371  
Moreira, H.S. e Soares, J.B. (2002), 284  
Morilha Junior, A. & Trichês, G. (2003), 113  
Morilha Júnior, A.(2004), 113  
Motta, L.M.G. (1991), 335  
Motta, L.M.G. e Leite, L.F.M. (2000), 156  
Motta, L.M.G., Tonial, I., Leite, L. F. et al. (1996), 202  
Motta, L.M.G.; Medina, J.; Matos, M.V.M.; Vianna, A.A.D. (1990), 371  
Motta, L.M.G. (1998), 284  
Motta, R.S. (2005), 371  
Moura, E. (2001), 335

Mourão, F.A.L. (2003), 202  
Mouthrop, J.S. e Ballou, W.R. (1997), 285

## N

NAPA (1982), 285  
NAPA (1998), 402  
NAPA (1999), 203  
Nardi, J.V. (1988), 371  
Nascimento, L., Leite, L., Campos, E.F., Marques, G. e Motta, L. (2006), 335  
Nascimento, L., Leite, L., Láo, V.L.E.S.T e Jesus, G.F. (2005), 439  
NCHRP 9-12 (2000), 285  
NCHRP-285 (2204), 335  
Nóbrega, E.S. (2003), 462  
Nóbrega, E.S. e Motta, L.M.G. (2003), 462  
Nóbrega, E.S., Motta, L.M.G., Macedo, J.A.G. (2003), 462  
Nogami, J.S. e Villibor, D.F. (1981), 371  
Nogami, J.S.; Villibor, D.F. (1995), 156  
Núñez, W.P. (1997), 371

## O

Oda, S. (2000), 113  
Oliveira, C.G.M. (2003), 335

## P

Papazian, H.S. (1962), 335  
Park, S.W. e Kim, Y.R. (1998), 335  
Park, S.W., Kim, Y.R. e Schapery, R.A. (1996), 335  
Patriota, M.B (2004), 113  
Peralta, X., González, J.M., Torres, J. (2000), 203  
Phandnavis, D.G. e C.G. Swaminathan (1997), 335  
Pinheiro, J.H.M. (2004), 114  
Pinheiro, J.H.M. e Soares, J.B. (2004), 114  
Pinto, C.S. (2000), 156  
Pinto, I.E. (2002), 114

Pinto, S. (1991), 114  
Pinto, S. (1996), 285  
Pinto, S. (1998), 114  
Pinto, S. (2004), 285  
Pinto, S. e Preussler, E. (2002), 462  
Pinto, S., Guarçoni, D. e Chequer, C.J. (1998), 114  
Pinto, S., Preussler, E, e Farah, H. (1983), 114  
Porter, O.J. (1950), 371  
Prego, A.S.S. (1999), 114  
Prego, A.S.S. (2001), 24  
Preussler, E.S. (1983), 371  
Pronk, A.C. e Hopman, P.C. (1990), 335

## Q

Queiroz, C.A.V. (1984), 439

## R

Ramos, C.R., Salathé, J.E. e Martinho, F.G. (1993), 114  
Ramos, C.R et al (1995). Curso de ligantes asfálticos. IBP, 114  
Ribas, M.C. (2003), 24  
Ricci, E.; Vasconcelos, J. F.; Kraemer, J.L. (1983), 371  
Roberts, A. (1977), 335  
Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D-Y. e Kennedy, T.W. (1996), 156  
Roberts, F.L.; Mohammad, L.N.; Wang, L.B. (2002), 285  
Robinson, R. (1986), 439  
Rodrigues, R.M. (1991), 335  
Röhm, S.A. (1984), 371  
Rowe, G.M. (1993), 335  
Ruwer, P., Marcon, G., Morilha J.R.A. e Ceratti, J.A. (2001), 114

## S

Santana, H. (1978), 203  
Santana, H. (1992), 203  
Santana, H. (1993), 335  
Santos, C. (2003), 203  
Santos, J.D.G. (1998), 371

- Saunier, B.; Dolfus, C. e Geffroy, G. (1936), 24
- Sayers, M.W. e S.M. Karamihas (1998), 439
- Schapery, R.A. (1969), 336
- Schapery, R.A. (1974), 336
- Seed, H.B. and Chan, C.K. (1958), 372
- Seed, H.B.; Chan, C.K.; Lee, C. E. (1962), 372
- Seed, H.B.; Chan, C. K.; Monismith, C.L. (1955), 372
- Seed, H.B.; Mitry, F.G.; Monismith, C.L.; Chan, C.K. (1967), 372
- Serfass, J.P., Bauduin, A., Garnier J.F. (1992), 203
- SETRA e LCPC (1994), 203
- SETRA e LCPC (1998), 203
- SETRA (1997), 203
- Shell (2003), 114
- SHRP (1991), 114
- SHRP (1994a), 285
- SHRP (1994b), 285
- SILVA, P.D.E.A. (2001), 462
- Silva, P.B. (2005), 114
- Silveira, M.A. (1999), 285
- Soares, J.B. (2003) Notas de Aula UFC. Fortaleza – CE, 114
- Soares, J.B., Leite, L.M. Motta, L.M. e Branco, J.V.C. (1999), 285
- Soares, J.B., Motta, L.M. e Soares, R.F. (2000), 285
- Soares, J.B., Motta, L.M., Nóbrega, L.M., Leite, L.M., Paiva, J<sup>aa</sup>. e Nobre Jr, E.F. (1998), 285
- Solamianian, M., Harvey, J., Tahmoressi, M. e Tandon, V. (2004), 336
- Souza, F.V. (2005), 336
- Souza, F.V. e J. B. Soares (2003a), 336
- Souza, M.L. (1966), 372
- Souza, M.L. (1979), 372
- Souza, M.L. (1980), 372
- Souza, M.L.; Magalhães, J.P.; Silva, R.B.; Schlosser, R. (1977), 372
- Souza, R.O. (2002), 439
- Specht, L.P. (2004), 114
- Suzuki, C.Y. (1992), 372
- T**
- Taira, C. e Fabbri, G.T.P. (2001), 336
- Tayebali, A.A.; J.A. Deacon; J.S. Coplantz e C.L. Monismith (1993), 336
- Thuler, R.B. (2005), 203
- Timoshenko, S.P. e Goodier, J.N. (1951), 336
- Tonial, I.A. (2001), 114
- Tonial, I.A. e Bastos, A.C.R. (1995), 114
- Trichês, G. e Cardoso, A.B. (1999), 372
- Trichês, G.; Cardoso, A. B. (2001), 462
- Trichês, G.; Fontes, L.P.T.L.; Dal Pai, C.M. (2004), 462
- Tuchumantel Jr., O. (1990), 285
- V**
- Valkering, C.P., Lancon, D.J.L., Hilster, E.D. e Stoker, D.A. (1990), 336
- Vaniscotte, J.C. e Duff, M. (1978a), 285
- Vaniscotte, J.C. e Duff, M. (1978b), 285
- Vasconcelos, K.L. (2004), 285
- Vasconcelos, K.L., Soares, J.B. e Leite, L.M. (2003), 286
- Vertamatti, E. (1988), 372
- Viana, A.D. (2004), 336
- Villela e Marcon, (2001), 462
- Villibor, D.F. (1981), 372
- Von Quintus, H.L., J.A. Scherocman, C.S. Hughes e T.W. Kennedy (1991), 336
- W**
- Wang, J.N.; Kennedy, T.W. e McGennis, R.B. (2000), 286
- WAPA (2004), 156
- White, T.D. (1985), 286
- Whiteoak (1980), 286
- Whiteoak, D. (1990), 114
- Wild, O. (1992), 24
- Witczak, M.W. e Root, R.E. (1974), 336
- Woods, K.B. (1960), 156
- World Bank (1985), 439
- World Bank (2000), 439
- Y**
- Yen T. F (1991), 114
- Yildirim, Y.; Solaimanian, M.; McGennis, R.B. e Kennedy, T.W. (2000), 286
- Yoder, E. J. e Witczak, M.W. (1975), 336
- Zhang, W.; A. Drescher e D.E. Newcomb (1997), 336
- ZTV Asphalt (2001), 203



realização



**PETROBRAS**

*ASFALTOS*



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS

