



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
1 Introdução	9
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
2 Ligantes asfálticos	25
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
3 Agregados	115
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

4	Tipos de revestimentos asfálticos	157
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
5	Dosagem de diferentes tipos de revestimento	205
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
6	Propriedades mecânicas das misturas asfálticas	287
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
7	Materiais e estruturas de pavimentos asfálticos	337
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
8	Técnicas executivas de revestimentos asfálticos	373
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
9	Diagnóstico de defeitos, avaliação funcional e de aderência	403
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
10	Avaliação estrutural de pavimentos asfálticos	441
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
11	Técnicas de restauração asfáltica	463
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.

Técnicas executivas de revestimentos asfálticos

8.1 INTRODUÇÃO

O bom desempenho de revestimentos e de tratamentos superficiais asfálticos depende da utilização de procedimentos corretos em diversas etapas: projeto estrutural, escolha adequada de materiais e formulações de proporções ou misturas que atendam os condicionantes de uso do revestimento, e uso de técnicas adequadas de produção, distribuição e execução das camadas asfálticas na pista. Este capítulo trata da produção das misturas em usinas e em veículos especiais, do transporte e distribuição na pista das misturas asfálticas ou dos materiais para tratamentos, das técnicas de densificação e acabamento, assim como de algumas técnicas de controle executivo.

Como toda a indústria, na área de equipamentos de pavimentação o mercado está sempre evoluindo e o engenheiro de pavimentação deve estar atento a esse fato. Este comentário vale para todos os itens descritos e as figuras que ilustram este capítulo são meramente ilustrativas não representando preferência dos autores. Há sempre mais de um modelo ou fornecedor mas o escopo do livro não comporta comparações entre eles, o que deve ser pesquisado pelo leitor que for montar uma usina ou uma frota de equipamentos de compactação de revestimentos asfálticos. Recomenda-se fortemente a busca de informações mais detalhadas sobre cada equipamento.

8.2 USINAS ASFÁLTICAS

A obtenção de uma mistura asfáltica envolve a associação de agregado com ligante asfáltico em proporções predeterminadas no projeto de dosagem para produzir uma massa homogênea de acordo com especificações e critérios adotados (Capítulo 5). Antes da mistura com o ligante asfáltico, o agregado deve ser composto na graduação especificada por meio de mistura de diferentes frações granulométricas. Se o ligante a ser misturado é um cimento asfáltico de petróleo, o agregado deve ser aquecido previamente para remoção de umidade e sua temperatura elevada para que seja possível o seu envolvimento pelo ligante asfáltico. Esses procedimentos são realizados em instalações apropriadas conhecidas como usinas de asfalto, simplificação da designação, visto que se trata de usinas para a produção de misturas asfálticas a quente. Caso o ligante utilizado seja emulsão asfáltica, as usinas são para misturas a frio.

8.2.1 Tipos de usinas de asfalto para misturas a quente

O objetivo básico das usinas de asfalto é proporcionar de forma adequada a mistura de frações de agregados, aquecer essa mistura e o ligante asfáltico, e misturar todos esses materiais, produzindo misturas asfálticas dentro de características previamente especificadas.

Uma usina de asfalto é um conjunto de equipamentos mecânicos e eletrônicos interconectados de forma a produzir misturas asfálticas. Variam em capacidade de produção e princípios de proporcionamento dos componentes, podendo ser estacionárias ou móveis.

Existem dois tipos básicos de usina de asfalto que são: a usina de produção por batelada ou gravimétrica, conforme princípio geral exposto na Figura 8.1, que produz quantidades unitárias de misturas asfálticas, e a usina de produção contínua ou *drum-mixer*, conforme a Figura 8.2, cuja produção é contínua, como a própria designação classifica. As Figuras 8.3 e 8.4 mostram exemplos dessas usinas. Os dois tipos de usinas têm condições de produzir as misturas asfálticas em uso corrente no país. Normalmente, as misturas asfálticas, mesmo com características particulares, não exigem sua produção em um tipo específico de usina, a menos das misturas recicladas, que precisam de uma certa adaptação.

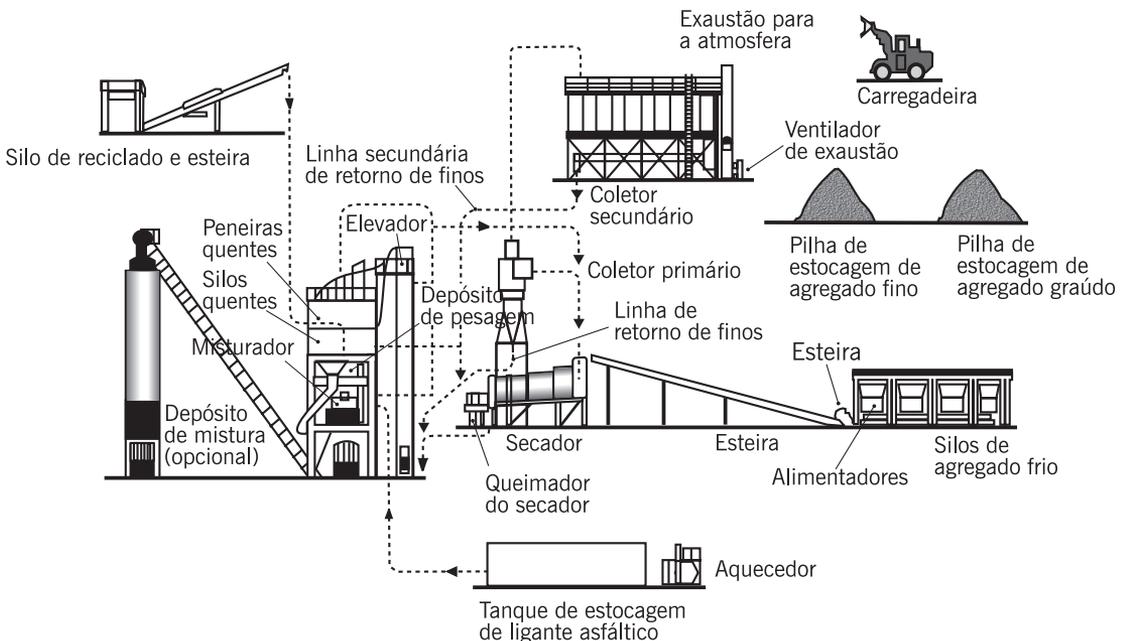


Figura 8.1 Representação esquemática de uma usina asfáltica por batelada (Asphalt Institute, 1998)

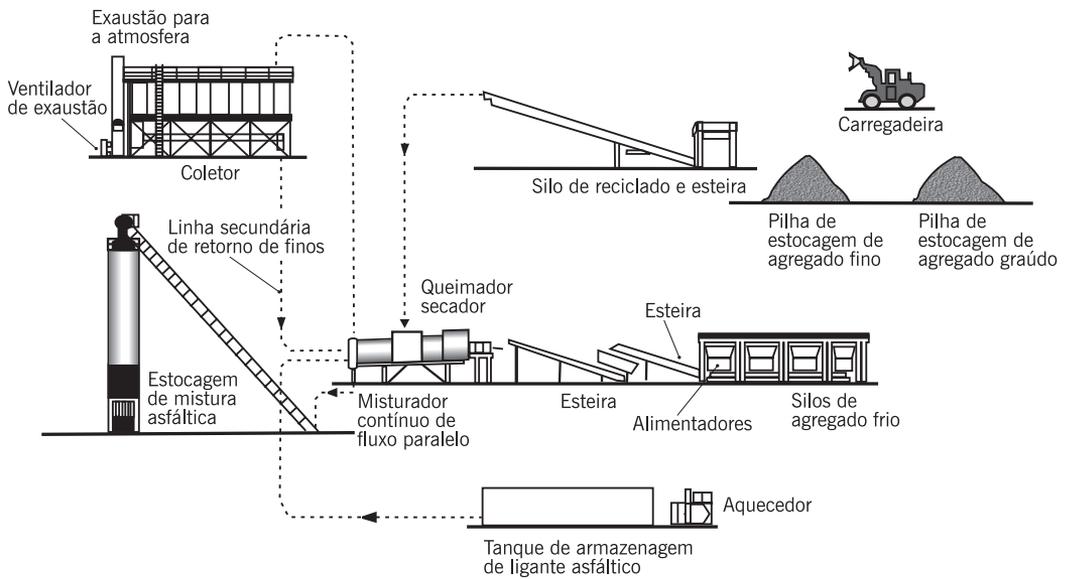


Figura 8.2 Representação esquemática de uma usina asfáltica contínua (Asphalt Institute, 1998)



Figura 8.3 Exemplo de uma usina asfáltica por batelada ou gravimétrica



Figura 8.4 Exemplo de uma usina asfáltica contínua

(Foto: Ciber Ltda.)

8.2.2 Operações básicas envolvidas na produção de misturas asfálticas a quente

As operações envolvidas na produção de misturas asfálticas a quente são as seguintes, descritas brevemente adiante:

- estocagem e manuseio dos materiais componentes das misturas asfálticas na área da usina;
- proporcionamento e alimentação do agregado frio no secador;
- secagem e aquecimento eficiente do agregado à temperatura apropriada;
- controle e coleta de pó no secador;
- proporcionamento, alimentação e mistura do ligante asfáltico com o agregado aquecido;
- estocagem, distribuição, pesagem e manuseio das misturas asfálticas produzidas.

Estocagem e manuseio dos materiais componentes das misturas asfálticas na área da usina

Os agregados devem ser manuseados e estocados de maneira a evitar contaminação e minimizar sua degradação e segregação. A área de estocagem deve ser limpa para a prevenção da contaminação do agregado. Deve ser também devidamente drenada para evitar acúmulo de umidade. Preferencialmente a estocagem de agregados deve ser feita em locais cobertos para evitar a ação de precipitação de águas – Figura 8.5.

O ligante asfáltico deve ser estocado em quantidade suficiente para manter a operação da usina de forma regular. Geralmente dois ou mais tanques são necessários, sendo um tanque abastecedor durante a usinagem e os demais de estocagem do ligante asfáltico. A Figura 8.6 apresenta um exemplo de tanque horizontal de ligante asfáltico.



Figura 8.5 Exemplo de estoques e silos cobertos para proteção dos materiais de uma usina gravimétrica



Figura 8.6 Exemplo de tanques horizontais para armazenamento com aquecimento de ligantes asfálticos de uma usina gravimétrica

O ligante asfáltico deve ser mantido fluido o suficiente para que possa se movimentar através dos dutos e ser utilizado na operação de usinagem. Para isso, os tanques devem possuir sistema de aquecimento através de circulação de óleo térmico ou elétrico. Nunca deve ser utilizado aquecimento através de chama em contato com o tanque ou seu conteúdo. Faz-se necessário uma atenção especial quanto às temperaturas de estocagem e

usinagem de ligantes asfálticos, pois quando superaquecidos esses materiais podem sofrer degradação térmica que por sua vez pode levar à perda das suas características aglutinantes. Na Tabela 8.1 estão indicadas, como exemplo de ordem de grandeza, faixas de temperaturas de estocagem e usinagem de alguns tipos de ligantes asfálticos e do agregado.

TABELA 8.1 EXEMPLO DE TEMPERATURAS DE ESTOCAGEM E USINAGEM DE ALGUNS LIGANTES ASFÁLTICOS E DO AGREGADO (ilustrativas)

Tipo de ligante	Temperatura de estocagem do ligante, máxima, °C	Temperatura de usinagem, °C	
		Ligante	Agregado
CAP – 50/70	160	150 – 155	160 – 165
Asfalto modificado por polímero SBS 45-70/55	170	160 – 165	170 – 175
Asfalto modificado por polímero SBS 45-70/60	175	165 – 170	175 – 180
Asfalto modificado por polímero SBS 45-70/70	180	170 – 175	180 – 185
Asfalto modificado por 15,0% de borracha de pneus	185	170 – 180	180 – 185

Proporcionamento e alimentação do agregado frio no secador

O sistema de silos frios é um dos principais componentes de uma usina asfáltica. Ele recebe agregados frios, proporciona as diferentes frações granulométricas e conduz para o secador. São compostos por uma série de pelo menos quatro silos, que são carregados individualmente com frações de agregados provenientes da zona de estocagem, conforme mostra a Figura 8.7. Cuidados devem ser tomados a fim de evitar a mistura de frações granulométricas dos diferentes silos. Isto inclui o adequado dimensionamento da largura desses silos, a instalação de divisores verticais nos limites entre silos e o não sobrecarregamento dos mesmos.



Figura 8.7 Exemplo de sistema de silos frios

Portas localizadas no fundo de cada silo controlam as quantidades de cada fração de agregado a ser transportada ao secador através de correia transportadora. A Figura 8.8(a) mostra o controle no fundo de cada silo e a Figura 8.8(b) a correia transportadora de agregados para o secador.



(a) Controle no fundo dos silos frios



(b) Correia transportadora de agregados para o secador

(Foto: Ferreira, 2005)

Figura 8.8 Exemplo de controle de alimentação de agregados de um silo frio e correia transportadora de agregados para o secador

Secagem e aquecimento eficiente do agregado à temperatura apropriada

Os agregados devidamente proporcionados provenientes dos silos frios são conduzidos ao tambor secador onde são secos e aquecidos à temperatura adequada.

O secador é um cilindro rotatório com diâmetro entre 1,5m e 3,0m e comprimento entre 6,0m e 12,0m, dependendo da capacidade da usina. A Figura 8.9(a) mostra um exemplo de secador. O sistema possui um queimador de óleo ou gás numa extremidade e um ventilador de exaustão na outra – Figura 8.9(b).



(a) Sistema de aquecimento do secador

(Foto: Abdou, 2005)



(b) Secador de agregados com ventilador de exaustão

Figura 8.9 Exemplo de secador e sistema de aquecimento para secagem dos agregados

Há dois tipos básicos de secadores, diferenciados pela relação entre o fluxo de agregados e o fluxo de ar no seu interior.

Nos secadores de fluxo paralelo o agregado e o ar fluem na mesma direção, conforme a Figura 8.10. Nesses secadores o agregado frio é introduzido no secador na mesma extremidade onde existe o queimador e movimenta-se na direção da outra extremidade.

Nos secadores de contrafluxo o agregado e o fluxo de ar aquecido movimentam-se em direções opostas, conforme o esquema mostrado na Figura 8.11. As usinas asfálticas mais modernas são em sua grande maioria equipadas com secadores do tipo contrafluxo.

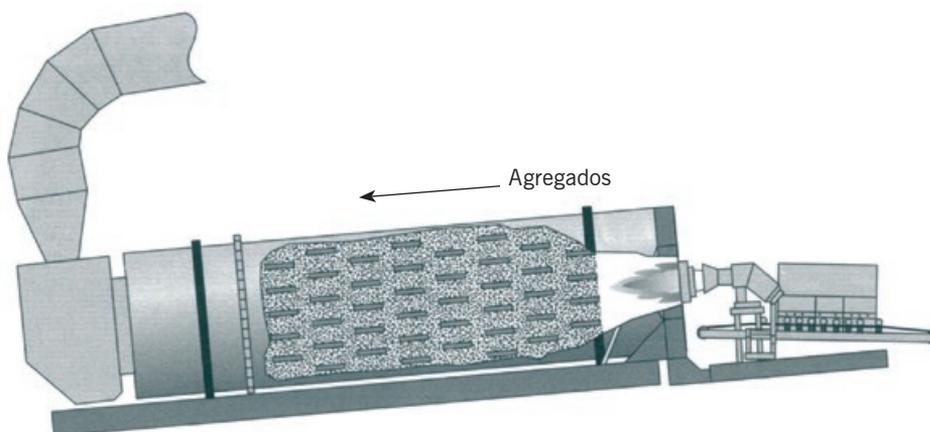


Figura 8.10 Secador de fluxo paralelo (Asphalt Institute, 1998)

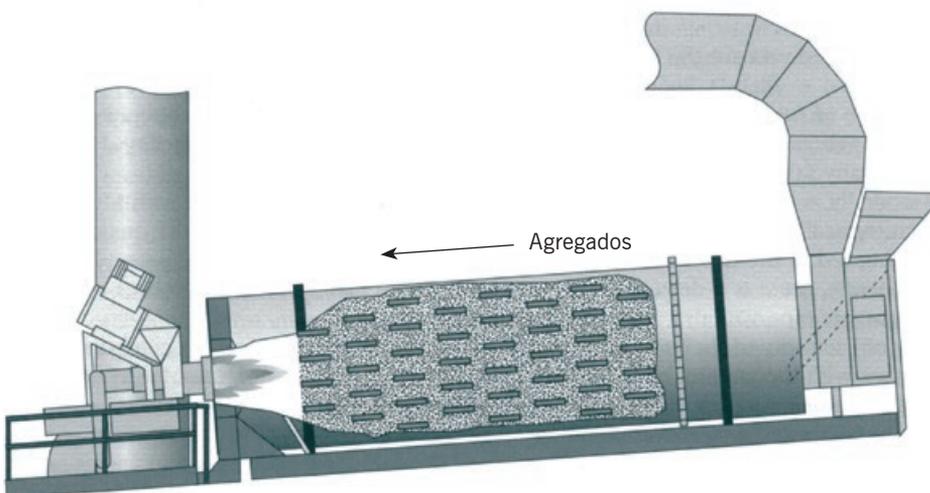


Figura 8.11 Secador de contrafluxo (Asphalt Institute, 1998)

Controle e coleta de pó no secador

O ar que flui através do secador carrega com ele gases de exaustão e pequena quantidade de partículas de pó do agregado. Essas partículas devem ser recolhidas antes que sejam descarregadas na atmosfera, por meio de um sistema de controle de emissões. Esse sistema é composto, na maioria das usinas de asfalto, por coletores de pó, primários e secundários. Eles são instalados no final do secador e filtram o ar que entra no queimador e o que sai no sistema de exaustão, conforme o esquema da Figura 8.12 e a foto de um exemplo do sistema na Figura 8.13 (existem outros fabricantes de usinas no país).

O coletor primário tem como função recolher as partículas maiores de pó contidas nos gases de exaustão. Os coletores primários mais usuais são a caixa de queda e o tipo ciclone. O coletor secundário filtra e recolhe as partículas de pó mais finas. Os coletores secundários mais usuais são o filtro de mangas e o de coleta úmida. O pó recuperado neste último não pode ser reincorporado à mistura asfáltica em produção.

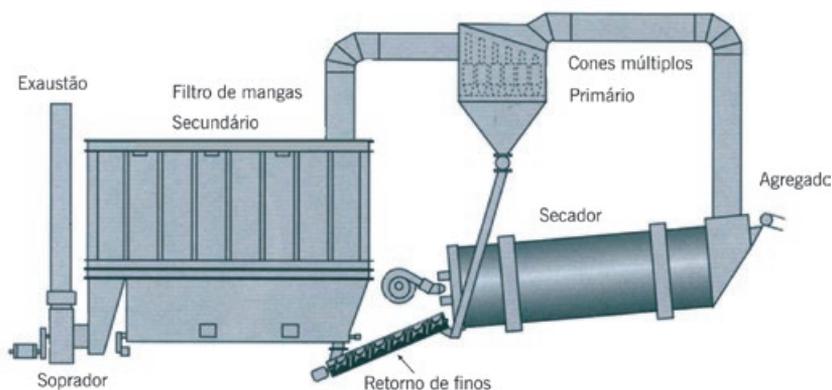


Figura 8.12 Esquema de coletores primário e secundário (Asphalt Institute, 1998)



Figura 8.13 Exemplo de sistema de coletores de pó
(Foto: Ciber Ltda)

Proporcionamento, alimentação e mistura do ligante asfáltico com o agregado aquecido

O processo de mistura do ligante asfáltico com o agregado varia de acordo com o tipo de usina de asfalto utilizado.

Na usina de produção por batelada ou gravimétrica, o agregado seco e aquecido proveniente do secador é transportado através de um elevador e passa por uma série de peneiras que o separa em várias frações granulométricas e que são depositadas nos silos quentes, conforme mostra o esquema da Figura 8.14. A Figura 8.15 mostra um exemplo de um elevador e os silos quentes.

Frações de agregados determinadas são pesadas e estocadas juntas em um depósito de pesagem. Deste depósito elas são transferidas a um misturador logo abaixo, onde são misturadas com o ligante asfáltico em proporção predeterminada. A Figura 8.16 ilustra o processo de mistura.

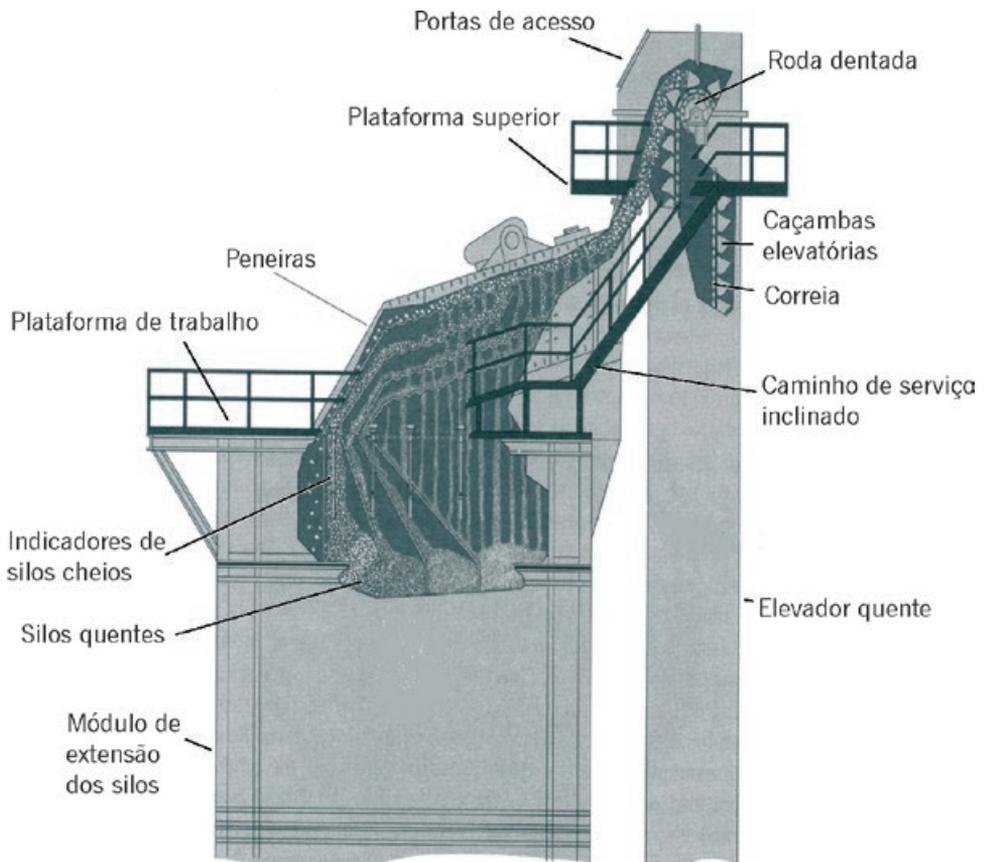


Figura 8.14 Esquema de unidade de peneiramento de usina asfáltica por batelada (Asphalt Institute, 1998)



Figura 8.15 Exemplo de um elevador de agregados aquecidos e silos quentes
(Foto: Abdou)

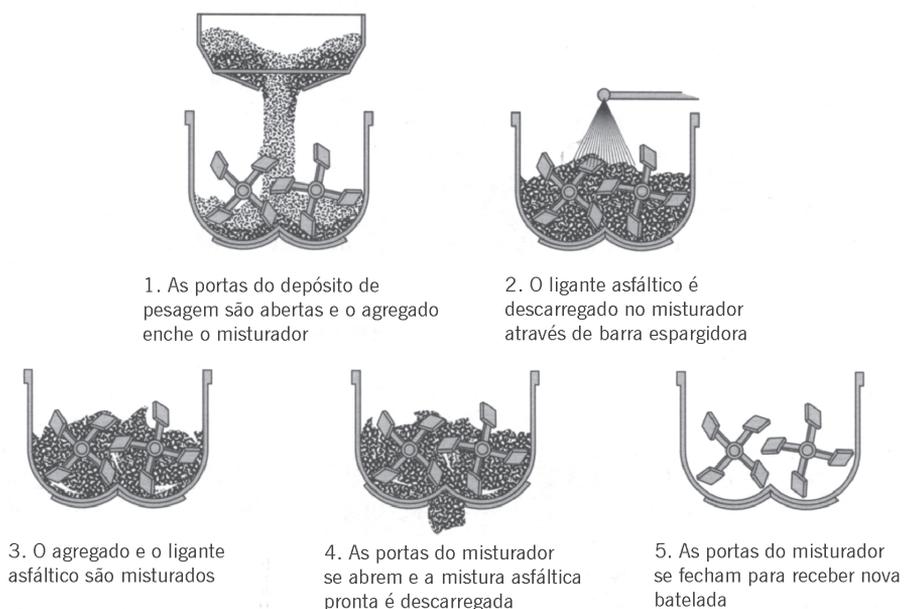


Figura 8.16 Esquema de produção de uma batelada de mistura asfáltica
(Asphalt Institute, 1998)

Na usina de produção contínua, a mistura do ligante asfáltico com agregado é realizada no próprio tambor secador, após a secagem e aquecimento do agregado, num processo contínuo. O agregado entra na zona primária do tambor e é seco e aquecido pelo calor produzido pelo queimador. Movimenta-se então para a zona secundária onde o

ligante asfáltico é introduzido e vigorosamente misturado. Durante esse processo o controle efetivo da temperatura dos componentes da mistura asfáltica é fundamental para o seu desempenho futuro.

Dois são os tipos principais de tambores secadores e misturadores. No de fluxo paralelo, o agregado entra no tambor na extremidade do queimador e flui na mesma direção dos gases aquecidos. O ligante asfáltico é introduzido no último terço do tambor, juntamente com algum pó necessário à mistura asfáltica, conforme a Figura 8.17. No de contrafluxo o agregado entra na extremidade oposta ao queimador e flui na direção oposta aos gases aquecidos. O queimador é posicionado de modo que a injeção de ligante e a mistura deste com o agregado ocorram fora de sua zona de influência, conforme a Figura 8.18.

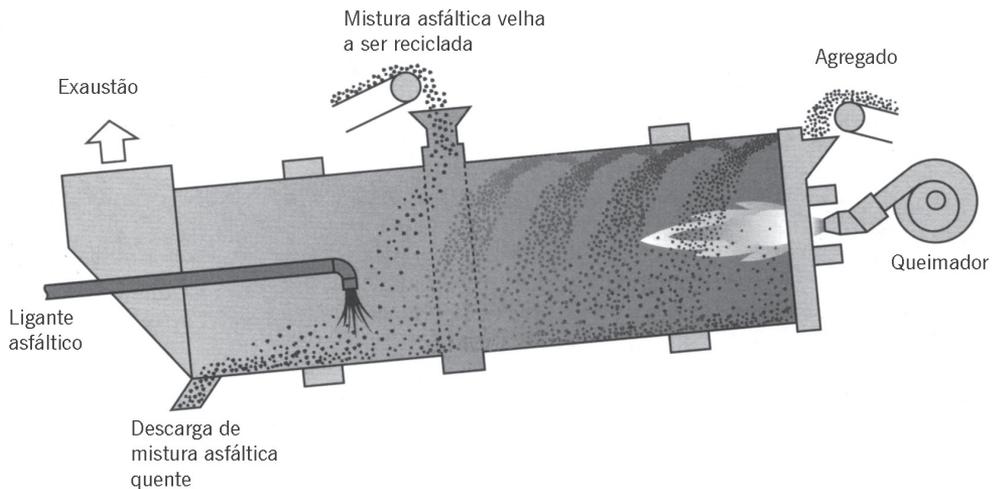


Figura 8.17 Esquema de tambor secador-misturador de fluxo paralelo em usina contínua (Asphalt Institute, 1998)

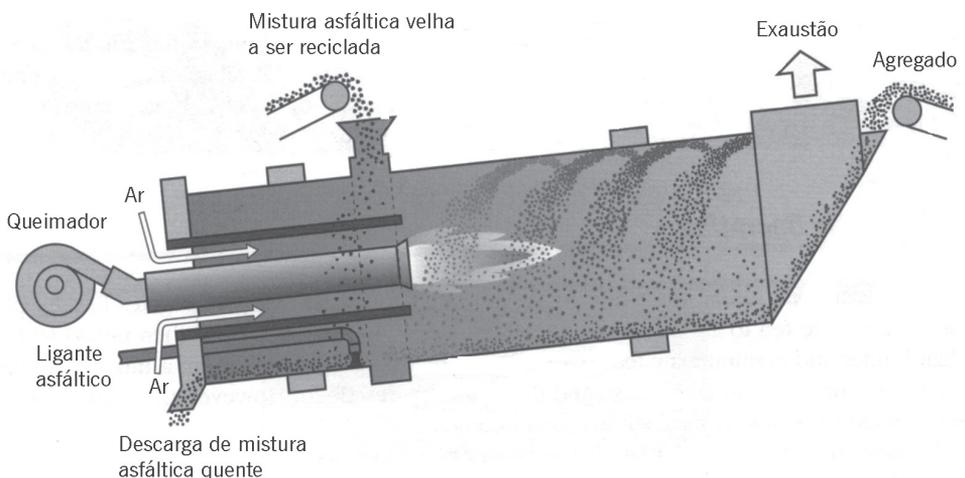


Figura 8.18 Esquema de tambor secador-misturador de contrafluxo de usina contínua (Asphalt Institute, 1998)

Esses tambores secadores das Figuras 8.17 e 8.18 admitem a introdução de material fresado para a sua reciclagem, devidamente afastado da chama para evitar danos.

Existem variantes dos dois tipos principais de tambores secadores e misturadores, como o de cilindro duplo onde o agregado é seco e aquecido em um tambor de contrafluxo e a mistura com o ligante asfáltico ocorre em um tambor de maior diâmetro que cobre dois terços do tambor interno. Há o sistema com tambor triplo de contrafluxo onde as fases de secagem, aquecimento e mistura são realizadas em três zonas distintas. E ainda o de tambor duplo, onde é utilizado um tambor de contrafluxo para secagem e aquecimento do agregado e um misturador rotatório no qual o ligante asfáltico e os finos são introduzidos e misturados.

Estocagem, distribuição, pesagem e manuseio das misturas asfálticas produzidas

A maioria das usinas asfálticas contínuas é equipada com silos de estocagem ou com depósitos de controle de produção das misturas asfálticas. Nesses, a prevenção de segregação da mistura asfáltica deve ser constante. Um sistema de pesagem deve ser conectado aos silos para controle de quantidade de mistura asfáltica a ser carregada em cada caminhão transportador.

8.2.3 Usinas para misturas a frio

As misturas dos agregados com emulsões asfálticas são realizadas em usinas que podem ser estacionárias ou móveis, com capacidade de produção de 30tf/h a 600tf/h. Essas usinas são mais simples por não terem necessidade de aquecimento nem do agregado, nem do ligante.

Geralmente as usinas estacionárias utilizadas são aquelas empregadas também para produzir misturas de solos, britas, solo-cimento etc. As de maior capacidade de produção possuem silos individuais para os agregados com comportas reguláveis, que descarregam os agregados em uma correia transportadora que os conduz ao misturador, onde é injetada a emulsão asfáltica na dosagem previamente estabelecida. A Figura 8.19 apresenta um exemplo de uma usina estacionária.

As usinas do tipo móvel são montadas sobre um chassi único e devido à sua funcionalidade podem ser colocadas em operação em poucas horas. Um exemplo de uma usina desse tipo está na Figura 8.20. Há vários fabricantes de usinas de misturas a frio no país.

8.3 TRANSPORTE E LANÇAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS

As misturas asfálticas são levadas ao local de execução do pavimento por meio de caminhões transportadores geralmente com balsa traseira. O número de caminhões necessário é determinado por alguns fatores tais como: a velocidade de produção da mistura asfáltica na usina; a distância de transporte; o tipo de tráfego no percurso e o tempo

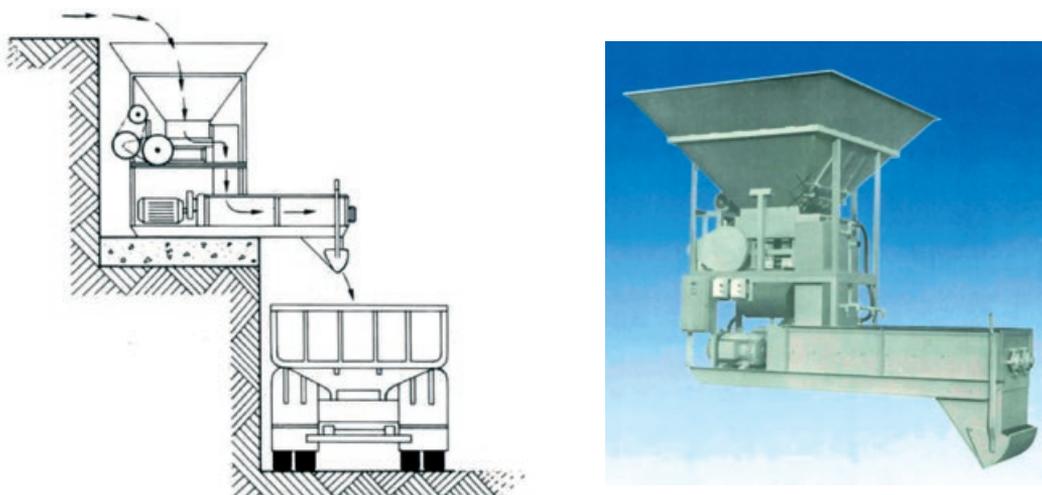


Figura 8.19 Exemplo de usina estacionária para produção de misturas a frio
(Fonte: Consmaq S.A.)



Figura 8.20 Exemplo de usina de pré-misturado a frio móvel
(www.ciber.com.br)

estimado para descarregamento. O número de caminhões necessários para manter constante o lançamento da mistura asfáltica na pista pode ser estimado considerando-se o tempo de ida e volta dividido pelo tempo de carregamento de cada caminhão mais um.

As principais razões que podem justificar a rejeição de cargas de mistura asfáltica transportadas para a obra, são:

- temperatura excessiva – o aquecimento em excesso da mistura é normalmente indicado por emissão de fumaça de coloração azul. A temperatura deve ser verificada imediatamente e se ultrapassar os limites especificados a carga deve ser rejeitada;
- temperatura baixa – a mistura asfáltica apresenta aspecto endurecido ou recobrimento irregular das partículas maiores do agregado. A temperatura deve ser verificada imediatamente e se for menor que os limites especificados a carga deve ser rejeitada;

- excesso de ligante asfáltico – a mistura asfáltica apresenta aparência de montes com picos abatidos na caçamba do caminhão e aspecto brilhante;
- falta de ligante asfáltico – a mistura asfáltica apresenta aspecto opaco, sem qualquer brilho e granular;
- mistura não-homogênea – são observados pontos onde o agregado encontra-se parcialmente recoberto e de aspecto opaco e pontos onde a mistura apresenta-se brilhante;
- excesso de agregado graúdo em relação ao projeto de dosagem – misturas asfálticas com excesso de agregado graúdo apresentam baixa trabalhabilidade e aparência granular após compactação;
- excesso de agregado miúdo – misturas asfálticas com excesso de agregado miúdo apresentam textura diferente daquelas com agregados apropriadamente graduados após compactação e aspecto de falta de ligante asfáltico;
- excesso de umidade – a liberação de vapor d'água durante o processo de descarregamento do caminhão transportador é indicativa de presença de umidade na mistura asfáltica. Essa apresenta aspecto brilhante e pode-se observar a formação de bolhas. A umidade em excesso faz com que a mistura asfáltica apresente comportamento como se tivesse ligante asfáltico em excesso;
- segregação – a segregação dos agregados da mistura asfáltica pode ocorrer em algum ponto antes da mistura ser lançada no local de execução da camada ou durante o processo de lançamento devido ao manuseio de maneira indevida. Sua causa deve ser corrigida na origem. A segregação pode ser potencializada pela graduação escolhida na dosagem (excesso de agregados graúdos) ou pela diferença de temperatura nos diversos componentes da massa asfáltica;
- contaminação – contato com substâncias indesejáveis normalmente devido à má limpeza das caçambas dos caminhões transportadores. Se verificada em pequena escala pode ser removida, caso contrário a carga deve ser rejeitada.

O lançamento de uma mistura asfáltica e o início de um serviço de compactação de uma camada de revestimento asfáltico devem ser precedidos por um planejamento onde são considerados detalhes importantes no processo, como por exemplo:

- continuidade e seqüência de operações;
- número de vibroacabadoras necessárias para a execução do serviço;
- número e tipos de rolos compactadores necessários;
- número de caminhões transportadores necessários;
- a cadeia de comando para dar e receber instruções;
- razões para possível rejeição de mistura asfáltica;
- condições climáticas e de temperatura;
- controle de tráfego.

Além da consideração desses detalhes, devem ser realizadas todas as preparações e inspeções necessárias para garantir seu sucesso. Normalmente os seguintes itens são verificados:

- superfície da base ou revestimento existente apropriadamente preparada (imprimação ou pintura de ligação executadas);
- plano de execução do serviço;
- sincronia apropriada de produção da mistura asfáltica, lançamento e compactação;
- equipamentos em boas condições e calibrados;
- meios para pesagem da mistura asfáltica;
- planejamento de amostragem e ensaios de controle.

A mistura asfáltica deve ser lançada em camada uniforme de espessura e seção transversal definidas, pronta para a compactação. O lançamento é realizado por vibroacabadoras que sejam capazes de executar camadas de menos de 25mm até aproximadamente 300mm de espessura, em larguras ajustáveis de acordo com o serviço. As velocidades de deslocamento são reguláveis e podem atingir até 20m/min.

As vibroacabadoras são compostas por duas unidades: a tratora e a de nivelamento.

A unidade tratora compreende o motor, as transmissões e os controles, o silo de carga com laterais basculantes, as barras alimentadoras, as roscas distribuidoras e o posto de condução. A unidade tratora é apoiada sobre um par de esteiras ou sobre pneus. Esta unidade tem como funções o deslocamento da vibroacabadora e o recebimento, condução e lançamento uniforme da carga de mistura asfáltica à frente da unidade de nivelamento.

A unidade de nivelamento é formada por uma mesa flutuante e vibratória ligada à unidade tratora por braços de nivelamento fixados através de articulações próximas à parte central do equipamento. Suas funções são nivelar e pré-compactar a mistura asfáltica sobre a superfície em que foi lançada, de acordo com especificações de geometria previamente definidas. As Figuras 8.21 e 8.22 apresentam tipos de vibroacabadoras e seus componentes e a Figura 8.23 mostra um exemplo de vibroacabadora.

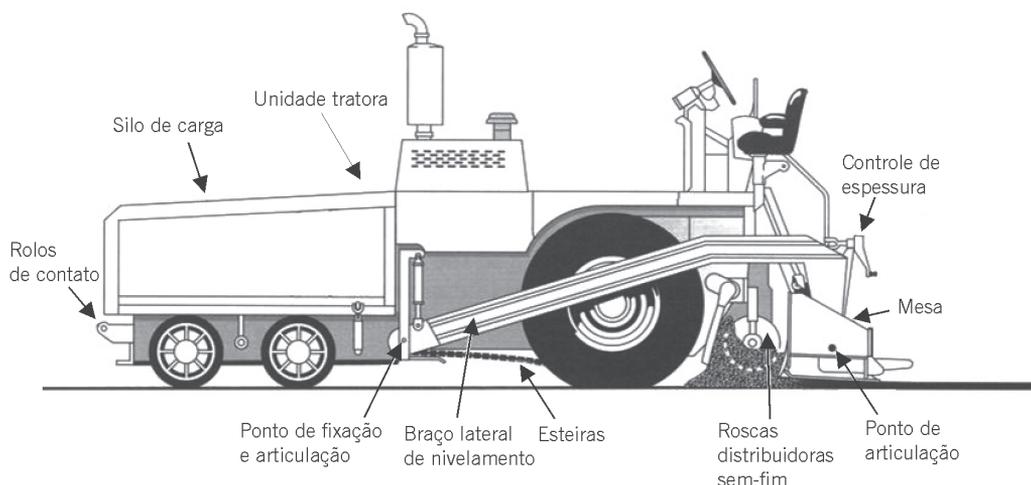


Figura 8.21 Esquema de componentes de uma vibroacabadora de pneus (Asphalt Institute, 1998)

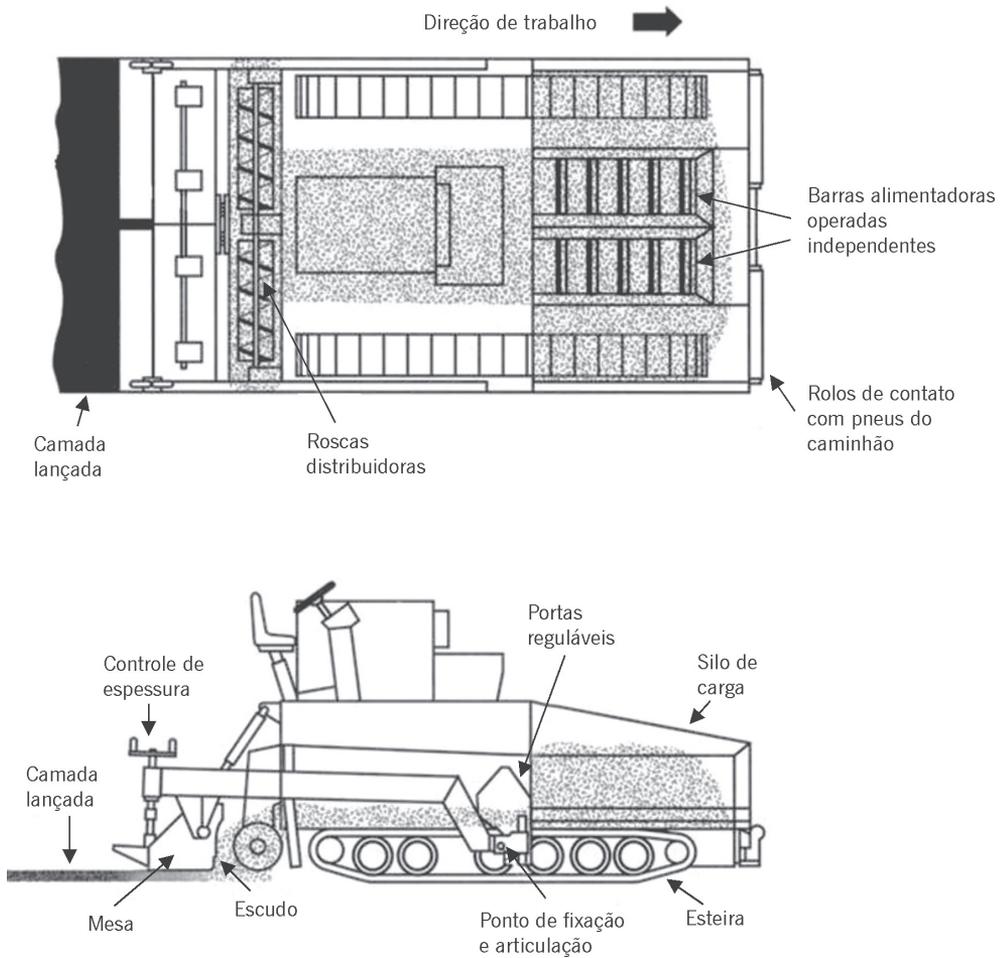


Figura 8.22 Esquema do fluxo de mistura asfáltica em uma vibroacabadora de esteiras (Asphalt Institute, 1998)



Figura 8.23 Exemplo de um tipo de vibroacabadora
(Foto: Ciber Ltda.)

8.4 COMPACTAÇÃO

A compactação de uma camada asfáltica de revestimento aumenta a estabilidade da mistura asfáltica, reduz seu índice de vazios, proporciona uma superfície suave e despenhada e aumenta sua vida útil. No país, a espessura máxima de mistura asfáltica compactada em uma única vez é de 100mm e está relacionada com a eficiência dos equipamentos de compactação disponíveis. Usualmente essas espessuras em uma única camada de compactação não ultrapassam 75 a 80mm.

Para que a compactação possa ser executada de maneira eficiente, duas condições fundamentais devem estar presentes: existência de confinamento ao compactar e temperatura adequada da mistura asfáltica.

O confinamento é adequado quando a mistura asfáltica a ser compactada é contida em todas as direções de modo que ela possa ser comprimida, estruturando os agregados e reduzindo o volume de vazios. Exemplo de excelentes condições de confinamento ocorre em laboratório quando uma mistura asfáltica é compactada no interior de um molde. O molde e o compactador confinam a mistura em todas as direções, e esta é compactada devido a não ser possível escapar da ação do esforço de compactação. No campo, a obtenção do confinamento adequado não é tão simples. Quando uma camada asfáltica é compactada, o confinamento a partir de baixo é obtido pela presença da camada subjacente, que deve ser estável. O confinamento na superfície é obtido pelo contato dos equipamentos de compactação durante sua execução. O confinamento lateral é interno, proveniente da mistura asfáltica circundante sendo compactada, que deve para isto ser resistente à fluência e ao escorregamento.

Misturas asfálticas com temperatura elevada tendem a fluir e deformar-se devido a maior lubrificação e menor ligação exercida pelo ligante asfáltico aquecido em excesso. Contrariamente, se a temperatura for muito baixa o ligante asfáltico torna-se plástico e pegajoso, dificultando a compressão da mistura e a obtenção de um estado mais denso. Cada mistura asfáltica tem uma faixa de temperatura de compactação própria, relacionada ao tipo de ligante asfáltico utilizado, conforme descrito no Capítulo 5. Geralmente é obtida maior eficiência na compactação quando se trabalha com temperaturas próximas do limite superior desta faixa.

A verificação se a compactação foi executada de forma apropriada é feita utilizando-se dois ensaios que determinam o grau de compactação (razão entre a massa específica aparente da mistura compactada e a massa específica aparente de projeto) e verificam a homogeneidade e a suavidade da superfície da camada compactada. A massa específica pode ser determinada de duas maneiras: pela remoção de corpos-de-prova da camada compactada e respectivas análises em laboratório, ou pela utilização de densímetros com fontes radioativas ou eletromagnéticas, conforme exemplos da Figura 8.24, que são posicionados sobre a superfície da camada, fornecendo em poucos segundos e automaticamente a densidade, que corresponde numericamente à massa específica da mistura asfáltica no local de posicionamento do equipamento. A suavidade (regularidade) e a



(a) Densímetro com fonte radioativa



(b) Densímetro eletromagnético

Figura 8.24 Exemplos de densímetros para determinação da massa específica *in situ*

homogeneidade da superfície são verificadas por meio de régua ou equipamentos do tipo perfilômetros (Capítulo 9).

O processo de execução de uma camada asfáltica geralmente é compreendido por duas fases: a rolagem de compactação e a rolagem de acabamento. É na fase de rolagem de compactação que se alcança a densidade, a impermeabilidade e grande parte da suavidade superficial. Na rolagem de acabamento são corrigidas marcas deixadas na superfície da camada pela fase de rolagem anterior.

8.4.1 Tipos de rolos compactadores

Rolos compactadores estáticos

A compactação obtida por meio dos rolos estáticos é devida ao seu peso próprio. Em alguns rolos compactadores este peso pode ser aumentado pela utilização de lastros, que consiste em pesos adicionais inseridos dentro dos tambores. Três são os tipos de rolos compactadores estáticos: de pneus, em tandem liso e de três rodas liso. Com o rolo de pneus obtém-se um ajuste adicional pela possibilidade de variação da pressão dos pneus. Na Figura 8.25 são mostrados exemplos de rolo de pneus e rolo tandem liso. Há vários fabricantes e importadores no país.



Figura 8.25 Exemplos de rolo de pneus e rolo tandem liso

Rolos compactadores vibratórios

Os rolos vibratórios são compostos por um ou dois tambores de aço com pesos giratórios. Estes pesos são os responsáveis pela vibração dos tambores e criam forças dinâmicas que, somadas ao seu peso próprio, aumentam o esforço de compactação. Na Figura 8.26 é mostrado um rolo vibratório; ressalta-se que existem outros fabricantes ou importadores no país.



Figura 8.26 Exemplo de rolo vibratório

8.4.2 Técnicas de rolagem

A compactação eficiente é obtida a partir de uma correta escolha do padrão de rolagem a ser utilizado, conforme esquematizado na Figura 8.27. A figura apresenta a seqüência de rolagem (1 a 6) a partir de uma borda externa. Com isso é alcançada a uniformidade e a eficiência necessárias para se obter a densidade e a suavidade superficial de acordo com as especificações e com volume de produção adequado.

A escolha do padrão de rolagem adequado deve ser realizada através da execução de uma pista-teste com monitoramento de densidade por meio de densímetros. Nesta pista-teste devem ser definidos quatro parâmetros:

- número de passagens necessárias para uma cobertura da largura da faixa ou pista em execução;
- número de repetições necessárias para alcançar o grau de compactação de projeto;
- velocidade de rolagem;
- faixa de temperatura correta de aplicação e rolagem.

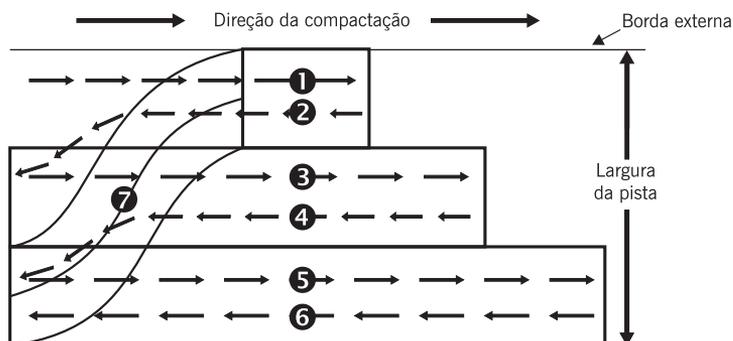


Figura 8.27 Exemplo de padrão de rolagem de uma camada de mistura asfáltica

Para determinar quantas passagens são necessárias para cobrir a largura da pista uma vez, deve-se comparar a largura do rolo de compactação a ser utilizado com a largura da pista, permitindo-se uma sobreposição mínima de 150mm, conforme a Figura 8.28, até metade da largura do rolo compactador.

Se existir mudança de inclinação transversal da pista no eixo longitudinal, o padrão mostrado na Figura 8.27 deverá ser modificado de forma a se ter o mesmo número de passagens em cada tramo inclinado, conforme a Figura 8.29.

Se a camada a ser compactada é espessa e não há confinamento lateral, para evitar o escorregamento lateral da mistura asfáltica no limite da camada, deve-se ajustar as passagens de maneira que a primeira seja realizada próxima dessa extremidade, mas a aproximadamente 300mm para conferir confinamento, conforme mostra a Figura 8.30.

Para obter-se uma compactação eficiente é necessário que a largura da pista seja coberta pelos rolos compactadores tantas vezes quantas forem necessárias para que o grau de compactação desejado seja atingido, sem que a temperatura da mistura asfáltica alcance valores abaixo do mínimo correspondente à faixa de trabalho. Para isto é necessário que os rolos compactadores trabalhem o mais próximo possível da vibrocabadora. São vários os fatores que influem na temperatura da mistura e determinam o tempo necessário de rolagem, conforme a Tabela 8.2.

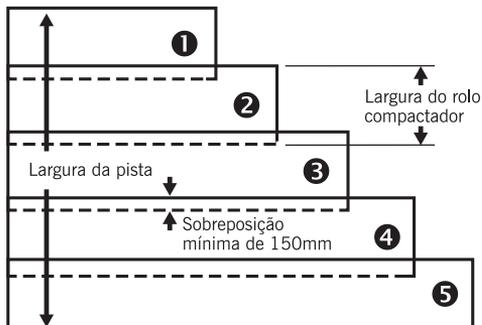


Figura 8.28 Definição do padrão de rolagem

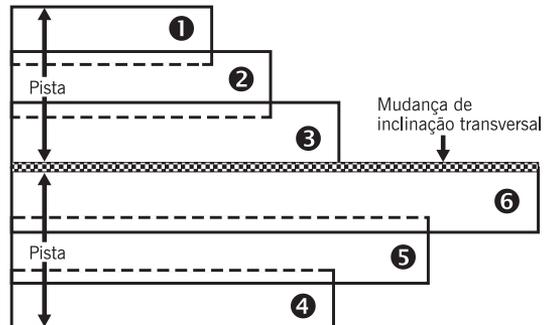


Figura 8.29 Esquema de padrão de rolagem em pista com mudança de inclinação transversal no eixo longitudinal

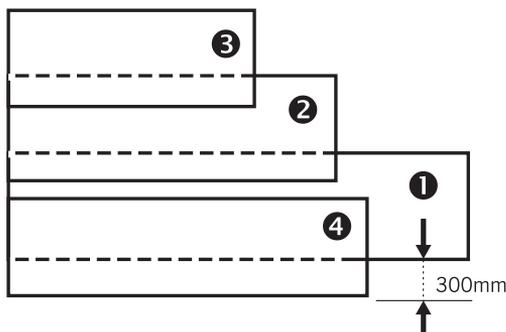


Figura 8.30 Esquema de padrão de rolagem em pistas com extremidade desconfineda

TABELA 8.2 FATORES QUE AFETAM O TEMPO DE ROLAGEM

Principais fatores que afetam o tempo de rolagem	Permite mais tempo	Permite menos tempo
Espessura da camada em execução	Espessa	Delgada
Temperatura da mistura em compactação	Alta	Baixa
Temperatura da superfície da camada subjacente	Alta	Baixa

A rolagem de compactação pode ser iniciada com rolos compactadores vibratórios ou rolos tandem lisos estáticos e em seguida são utilizados os rolos de pneus. Em algumas obras, inicia-se diretamente com os rolos de pneus. O número de rolos a serem utilizados deve ser o necessário para a obtenção do grau de compactação desejado, com a mistura asfáltica mantendo sua temperatura dentro da faixa de trabalho. A rolagem de acabamento é executada com rolos tandem lisos estáticos.

Na execução de camadas com misturas asfálticas com agregados de granulometria descontínua, a rolagem é realizada somente com o rolo tandem liso estático, pois é fundamental evitar a segregação durante o processo e também manter a estrutura pétreo desejada na camada compactada.

8.5 EXECUÇÃO DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS POR PENETRAÇÃO

A execução de tratamentos superficiais por penetração é realizada por meio da combinação de um caminhão espargidor, responsável pela distribuição do ligante asfáltico, com um distribuidor de agregados, conforme mostrado na Figura 8.31. O caminhão espargidor aplica o ligante asfáltico por meio de bicos espargidores instalados em uma barra transversal, que pode ser vista na Figura 8.31(a). É necessária a limpeza e a regulagem dos bicos antes do início de cada operação do caminhão espargidor, pois a uniformidade e a regularidade da aplicação do ligante são fundamentais no desempenho do revestimento executado.

Atualmente o equipamento mais indicado para esse tipo de serviço é o que está mostrado na Figura 8.32, que aplica o ligante asfáltico e o agregado, em seqüência, de forma homogênea e controlada, obtendo-se uma adequada uniformidade da camada executada. Para isso é necessário que o equipamento esteja devidamente ajustado para aplicar o ligante asfáltico e o agregado nas proporções definidas previamente e também calibrado adequadamente e com capacidade de operação uniforme de todos seus sistemas.

Normalmente os tratamentos superficiais por penetração são executados na forma invertida (Capítulo 4), conforme mostrado nas Figuras 8.33 e 8.34. Inicialmente deve ser feita uma varredura da pista (imprimada, no caso de aplicação sobre a base) para eliminar todas as partículas de pó. Em seguida é aplicado o ligante asfáltico e, imediatamente após, o agregado, ambos na quantidade indicada no projeto (Capítulo 5). A temperatura para aplicação do ligante é determinada em função da relação viscosidade-temperatura:

- para cimento asfáltico – 20 a 60SSF (segundos Saybolt-Furol);
- emulsão asfáltica – 20 a 100SSF, no caso de RR-1C e 100 a 250SSF, em se tratando da RR-2C.



Figura 8.31 Exemplo das etapas de construção de um tratamento superficial

(Fotos: Franklin Chaves)

Geralmente os serviços de tratamento são realizados com emulsão do tipo RR-2C que pode ser modificada ou não por polímeros SBR ou SBS (Capítulo 2).

A compressão do agregado é realizada imediatamente após o seu lançamento na pista. Ela deve começar pelas bordas e progredir para o eixo, nos trechos em tangente e, nas curvas, deverá progredir sempre da borda mais baixa para a borda mais alta, sendo cada passagem do rolo recoberta na vez subsequente em, pelo menos, metade da largura deste.

O número de passadas depende das características do rolo compressor, do substrato, do agregado e do ligante. É necessária uma avaliação subjetiva, por inspeção visual, do resultado da compressão de um trecho-teste para a determinação de qual o procedimento mais adequado de execução e o número ótimo de passadas do rolo. Como a compressão num tratamento superficial por penetração não é tão crítica como a compactação nas misturas asfálticas a quente, pode-se considerar que o número de passadas necessário deve ser tal que não se perceba mais o rearranjo significativo das



(a) Equipamento multidistribuidor



(b) Equipamento multidistribuidor em operação



(c) Detalhes dos sistemas de aplicação de ligante asfáltico e de agregado



(d) Sistemas de aplicação em operação

Figura 8.32 Exemplos de equipamento multidistribuidor para execução de tratamentos superficiais por penetração invertida

(Fotos: Romanelli S.A.)

partículas nem o sulcamento ou outra marcação pelo rolo compressor. Em agregados com baixa resistência à abrasão, faz-se necessária a limitação da compressão para evitar a quebra das partículas. O tipo de rolo a ser utilizado bem como a ordem de rolagem são geralmente recomendados na especificação de serviço do órgão responsável, podendo ser utilizados rolo tandem liso estático, rolo de pneu e/ou rolo conjugado. Após a compressão da camada, obtida a fixação ideal do agregado, faz-se uma varredura do material solto.

No caso de um tratamento superficial duplo executa-se a segunda camada de maneira idêntica à primeira. Em se tratando de um tratamento superficial triplo, o mesmo procedimento é repetido mais uma vez para a execução da terceira camada.

Pode-se aplicar uma capa selante sobre os tratamentos superficiais, sendo o ligante dessa capa quase sempre uma emulsão asfáltica, freqüentemente diluída com água. Em seguida à aplicação da emulsão, ela é coberta por agregado miúdo (areia ou pó-de-pedra) e realizada a compressão. Antes de aplicar o ligante, é aconselhável a passagem de

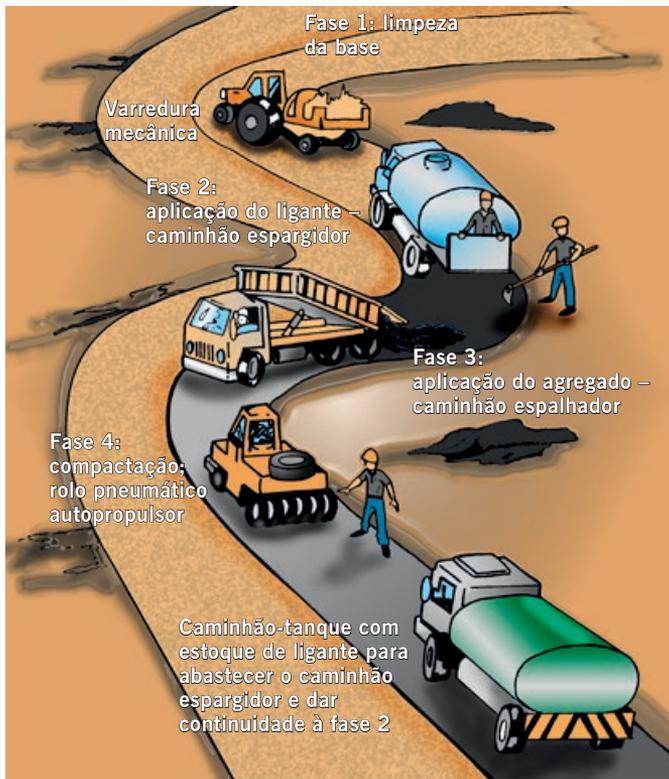


Figura 8.33 Seqüência esquemática de construção de um tratamento superficial
(Fonte: BR Distribuidora)



(a) Demarcação do início de aplicação de ligante asfáltico



(b) Caminhão espargidor



(c) Distribuição de camada de agregado



(d) Detalhe da distribuição de agregado

Figura 8.34 Exemplo de aplicação de tratamento superficial por penetração invertida
(Fotos: Betunel Koch S.A.)

vassoura de arrasto (sem contrapeso) sobre a última camada de agregado do tratamento, para melhor penetração da emulsão.

A liberação ao tráfego, no caso de se usar como ligante o cimento asfáltico, é permitida após o término da compactação. Quando se usa emulsão asfáltica como ligante, é aconselhável que a pista fique fechada até a ruptura e cura total desta, o que se dá em algumas horas.

8.6 EXECUÇÃO DE LAMAS E MICRORREVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

As lamas asfálticas são misturas de agregado miúdo, fíler (cal hidratada ou cimento Portland), água, aditivo (em casos específicos) e emulsão asfáltica. São aplicadas por usinas móveis como a da Figura 8.35, que possui depósitos para os constituintes, misturador e mesa ou caixa distribuidora. A Figura 8.36 apresenta dois exemplos de aplicação de lama asfáltica.

Assim como as lamas asfálticas, os microrrevestimentos a frio são misturas de agregado miúdo, fíler (cal hidratada ou cimento Portland), água, aditivo e emulsão asfáltica. A principal diferença entre ambos é o tipo de emulsão asfáltica utilizada: enquanto na lama asfáltica é utilizada uma emulsão de ruptura lenta convencional, no microrrevestimento a frio a emulsão deve ser de ruptura controlada modificada por polímero.

As usinas móveis para produção e aplicação de lama asfáltica geralmente não possuem depósito para armazenamento de aditivo controlador de ruptura. A mistura produzida com emulsão de ruptura lenta convencional não apresenta, necessariamente, um tempo preestabelecido para a ruptura da emulsão e cura da mistura, evaporação de toda a água e liberação ao tráfego, tempo este que pode ser de 4 a 6 horas.

No microrrevestimento a frio com emulsão de ruptura controlada, é necessária a utilização de aditivos retardadores que tem o propósito de evitar a ruptura prematura da



Figura 8.35 Exemplo de equipamento para produção e aplicação de lama asfáltica

(Foto: Romanelli S.A.)



Figura 8.36 Exemplos de aplicação de lama asfáltica

(Foto: Betunel Koch S.A.)

emulsão na caixa distribuidora ou aditivos aceleradores que são responsáveis em auxiliar na cura da mistura após a aplicação na pista. A usina móvel de microrrevestimento a frio difere da usina móvel de lama asfáltica pela presença de um depósito desses aditivos e de uma caixa distribuidora, dotada de uma rosca sem-fim com a função de levar a mistura de forma mais rápida aos pontos laterais da caixa – Figura 8.37.

Deve ser realizada uma regulagem prévia das taxas de cada componente da mistura de modo a assegurar o perfeito controle da dosagem dos materiais conforme projeto de laboratório (Capítulo 5). A mistura ocorre na seguinte seqüência:

- a) O agregado cai do silo numa esteira que o leva até a parte de trás da usina móvel numa velocidade previamente estabelecida.
- b) O fíler é dosado, numa taxa que geralmente varia de 0,5 a 1,5% sobre o total de agregado, logo antes do agregado cair no misturador (*pug-mill*), onde é adicionada a água já misturada com o aditivo (se necessário). A quantidade de água ideal é aquela na qual é obtida uma consistência uniforme da mistura de modo a facilitar a sua distribuição pela caixa. A quantidade de aditivo pode variar atingindo até 1,0%, dependendo das características da emulsão, agregado, temperatura de pista e condições climáticas.
- c) Logo em seguida, após a total mistura dos componentes anteriores, é adicionada a emulsão convencional (no caso da lama asfáltica) ou modificada por polímeros (no caso do microrrevestimento a frio).
- d) A mistura pronta cai numa caixa de distribuição que tem o objetivo de realizar, de forma contínua e homogênea, o espalhamento da mistura asfáltica sobre toda superfície a ser revestida. A largura da caixa de distribuição é regulável e varia de acordo com a largura da faixa de rolamento, algumas podendo chegar a até 4,0m.

Um tempo de mistura adequado deve ser aquele que permita que a mistura asfáltica seja conduzida do meio até os extremos da caixa distribuidora (trave) sem que ela rompa.

Após a distribuição da massa na pista o serviço está concluído, sendo necessário esperar a cura da mistura para que se possa liberar o tráfego. Esse período é denominado de tempo de cura ou liberação, podendo variar em geral de 1 a 3 horas.

O processo de cura se dá pela ação do calor e por reações físico-químicas que acontecem entre os emulsificantes e o agregado. Estes dois processos estimulam a liberação e evaporação da água do sistema, evento facilmente visualizado pela mudança na coloração da mistura aplicada, que passa de marrom (cor inicial) ao preto (cor final).

A espessura desses tipos de serviços varia entre 4 a 15mm, sendo que para espessuras superiores a 8mm recomenda-se sua aplicação em duas camadas.

Recomenda-se executar pintura de ligação somente sobre pavimentos bastante envelhecidos ou em concreto de cimento Portland. Essa pintura deve ser feita com emulsão de ruptura rápida diluída em água, na proporção de 1:3 em volume, respectivamente, e aplicada na taxa de 0,5 litros/m².

Geralmente a lama asfáltica ou o microrrevestimento a frio não são compactados. Caso isso seja necessário em áreas como estacionamentos, aeroportos e rodovias de alto volume de tráfego, recomenda-se o emprego de rolo pneumático de 10tf, com pressão de 50lb/in², equipado com sistema de aspersão de água e de limpeza dos pneus.

Os microrrevestimentos também podem ser a quente, consistindo de misturas de cimento asfáltico de petróleo e agregados, produzidas em usinas de asfalto e aplicadas utilizando-se vibrocabadora, exatamente como uma mistura a quente convencional discutida anteriormente, sendo utilizadas espessuras delgadas (10 a 25mm) e, por isso, recebendo esta denominação particular de microrrevestimento a quente.

É possível combinar técnicas consagradas, como o tratamento superficial, seguido de aplicação de microrrevestimento, gerando o que se denomina de *cape seal*, aplicada como uma solução técnica de recuperação estrutural (Capítulo 11). Em geral consiste de um tratamento superficial simples composto de pedrisco com diâmetro máximo de 12,5mm ou ½ polegada e emulsão asfáltica modificada por polímero do tipo RR-2C, sobre o qual se executa um microrrevestimento a frio ou lama asfáltica.



Foto: Romanelli S.A.



Foto: BR Distribuidora

Figura 8.37 Exemplos de equipamento e execução de microrrevestimento a frio

Na recuperação de revestimentos asfálticos com o *cape seal*, o tratamento superficial simples é responsável pela inibição da reflexão de pequenas trincas no pavimento existente, além de conferir características de flexibilidade e suporte ao sistema. O microrrevestimento a frio diminui o tempo para liberação ao tráfego (1,5 a 2 horas) e tem a função de reduzir a rugosidade excessiva do tratamento, promovendo uma característica ideal de macrotextura da superfície que garanta a segurança sem comprometer o conforto do usuário. Na Figura 8.38 estão apresentadas as etapas de execução de um serviço típico de *cape seal*.



Figura 8.38 Etapas da execução de *cape seal*
(Fotos: Greca Asfaltos S.A.)

8.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme foi mencionado na introdução do presente capítulo, o bom desempenho de revestimentos e de tratamentos superficiais asfálticos depende, entre outros aspectos, do uso de técnicas adequadas de produção, distribuição, execução e controle de execução das camadas asfálticas na pista.

Há vários anos vêm sendo produzidos e utilizados equipamentos com recursos que possibilitam o aprimoramento das técnicas envolvidas na execução. São usinas asfálticas com controles automatizados de fluxo de materiais, de pesagem e de temperaturas, vibroacabadoras capazes de conferir um lançamento de misturas asfálticas mais regular e uniforme e pré-adensadas, unidades capazes de executar tratamentos superficiais por penetração e microrrevestimentos de forma automatizada, equipamentos de compactação com eficiência aumentada e equipamentos que permitem o controle e o acompanhamento da evolução do grau de compactação de camadas durante a sua execução, e não apenas uma verificação posterior através de extração de corpos-de-prova.

O uso correto e o conseqüente bom desempenho destes equipamentos só é alcançado a partir do domínio pleno de seu funcionamento pelos operadores e de uma preocupação constante com manutenção e calibração de suas várias partes ou sistemas.

BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA

- ABEDA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO. *Manual básico de emulsões asfálticas*. Rio de Janeiro: ABEDA, 2001.
- ANTOSCZEZEM JR., J.A.; MASSARANDUBA, J.C.M. *Contribuição ao estudo do comportamento de emulsões com polímero SBS e SBR em dosagens de microrrevestimento a frio*. Monografia. Universidade Tuiuti do Paraná. Curso de Especialização em Engenharia de Infra-Estrutura de Transporte Rodoviário, Curitiba, 2004.
- ASPHALT INSTITUTE. *The asphalt handbook*. Manual Series n. 4 (MS-4). 1989.
- _____. *HMA construction*. 2. ed. Manual Series n. 22 (MS-22). 1998.
- DER-PR – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. *Manual de execução de serviços rodoviários*. Curitiba, 1991.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. *Especificações gerais para obras rodoviárias – v. III/IV*. Rio de Janeiro: DNER, 1997.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. *ES 031: pavimentos flexíveis: concreto asfáltico*. Rio de Janeiro, 2004.
- FHWA – US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *Crumb rubber modifier – Summary of practices in Arizona, California and Florida*. 1995.
- GONTIJO, P.R.A. Vibroacabadoras de asfalto – princípios de funcionamento e de regulação. In: ENCONTRO DE ASFALTO, 7., 1984, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: IBP, 1984. p. 15-36.
- HUNTER, R.N. *Asphalts in road construction*. London: Thomas Telford Publishing, 2000.
- LCPC – LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES. *Les enduits superficiels et les routes économiques*. Paris: LCPC, 1989.
- NAPA – NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. *Rolling and compaction of asphalt pavement*. Riverdale: Napa, 1998.
- SANTANA, H. *Manual de pré-misturados a frio*. 1. ed. Rio de Janeiro: IBP, 1993.
- SHELL. *The Shell bitumen handbook*. 5. ed. London: Thomas Telford Publishing, 2003.
- WAPA – WASHINGTON ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. *The WAPA asphalt pavement guide*. Washington: WAPA, 2004.

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_{sa}</i>	145
Figura 3.21 Esquema da partícula de agregado na determinação da <i>G_{sb}</i>	146
Figura 3.22 Esquema da partícula de agregado na determinação da <i>G_{se}</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 _u 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 Karamihas, 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 μ 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
Juntas, 76, 469, 472

J

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
macrotextura, 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 pétreo 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-Furoil, 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

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^a., 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^{aa}. 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

