

GUIA TÉCNICO

UTILIZAÇÃO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EM SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Liedi Bariani Bernucci

Jorge Barbosa Soares



**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS**

UTILIZAÇÃO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EM SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Liedi Bariani Bernucci

Jorge Barbosa Soares

1ª Edição

Rio de Janeiro

2015



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS

APOIO

ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos

Copyright © 2015 Jorge Augusto Pereira Ceratti, Liedi Bariani Bernucci e Jorge Barbosa Soares

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Trama Criações de Arte

REVISÃO DE TEXTO

Mariflor Rocha

IMPRESSÃO

GRUPO SMART PRINTER

Utilização de ligantes asfálticos em serviços de pavimentação / Jorge

Augusto Pereira Ceratti... [et al.]. – Rio de Janeiro : ABEDA,
2015.

144 f. : il.

Inclui Bibliografias.

Apoio ABEDA

1. Asfalto. 2. Ligante 3. Pavimentação. 4. Revestimento asfáltico.
4. Mistura.

I. Ceratti, Jorge Augusto Pereira. II. Bernucci, Liedi Bariani.

III. Soares, Jorge Barbosa.

GUIA TÉCNICO

UTILIZAÇÃO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EM SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Liedi Bariani Bernucci

Jorge Barbosa Soares



**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS**



JORGE AUGUSTO PEREIRA CERATTI

Engenheiro civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1976). Possui mestrado em Engenharia Civil pela mesma Universidade (1979). Concluiu o doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1991. Atualmente é professor titular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, coordenador do Laboratório de Pavimentação da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, consultor *ad hoc* do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, membro da Comissão de Asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis e conselheiro *ad hoc* da Revista *Pavimentação* da Associação Brasileira de Pavimentação. Publicou mais de 200 trabalhos, formou alunos de graduação, de mestrado e de doutorado, foi coordenador da Comissão de Asfalto do IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustível em 2010, coordena projetos de pesquisa financiados por órgãos de fomento, agências e por empresas públicas e privadas. Atua como consultor na área de Engenharia Civil, com ênfase em pavimentos.



LIEDI BARIANI BERNUCCI

Graduada em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1981), possui mestrado em Engenharia Geotécnica pela Universidade de São Paulo (1987), tendo feito pesquisa para seu mestrado no Institut fuer Grundbau und Bodenmechanik - Eidgenoessische Technische Hochschule Zürich, ETHZ, Suíça, onde permaneceu de 1984 a 1986. Retornou à mesma Instituição suíça para seu doutorado sanduíche com bolsa da Fapesp (1988-1989) e finalizou seu doutorado em Engenharia de Transportes pela Universidade de São Paulo (1995). Realizou sua livre-docência em 2001 e tornou-se em 2006 professora titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, da qual é docente desde 1986. Foi chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP por 7 anos no total, cargo que ocupou até março de 2014. É atualmente vice-diretora da Escola Politécnica (2014-2018). Atua na área de infraestrutura de transportes: vias urbanas, rodovias, aeroportos e ferrovias. Formou alunos de graduação, de mestrado e de doutorado; supervisionou

pós-doutorados; é autora do livro *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*, juntamente com Laura M.G. Motta, Jorge A. P. Ceratti e Jorge B. Soares; publicou cerca de 200 trabalhos; foi editora da *Transportes*, de 1999 a 2003; coordena projetos de pesquisa financiados por órgãos de fomento, agências e por empresas públicas e privadas; foi coordenadora da Comissão de Asfalto do IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustível em 2007, coordenou e colaborou com alguns eventos nacionais e internacionais na área de pavimentos. Participa de diversas associações e grupos de trabalhos de normalização e estudos.



JORGE BARBOSA SOARES

Engenheiro civil pela Universidade Federal do Ceará (1991). MSc. (1994) e Ph.D. (1997) em Engenharia Civil pela Texas A&M University. Hoje é professor titular da UFC e diretor de Pesquisa do Centro de Tecnologia da UFC. Foi chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da UFC entre 2011 e 2014. Coordena o Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da UFC e a Rede Asfalto N/NE, uma iniciativa que envolve 10 universidades em 10 estados. Já atuou como consultor em diversos projetos rodoviários, e coordenou vários projetos de pesquisa e formação de recursos humanos junto à Funcap, Finep, Capes, CNPq e ANP. Presidiu a organização de importantes eventos nacionais e internacionais na área (Anpet, Sinappre, ABPv, Isap, IBP). Coordenou a Comissão de Asfalto do IBP/ABNT em 2013, sendo seu integrante desde 2003. É editor associado da revista *Transportes* da Anpet, entidade da qual foi diretor entre 2008 e 2014, membro do Corpo Editorial do *Road Materials and Pavement Design Journal*, e revisor das principais revistas internacionais da área de pavimentação. Entre os prêmios recebidos estão quatro vezes o Prêmio Petrobras de Tecnologia, IBP, CNT, ABPv, Mário Kabalen Reston. Já formou 33 alunos de pós-graduação (mestrado e doutorado), orientou sete pós-doutorandos, e possui diversas publicações nos principais periódicos e congressos técnico/científicos nacionais e internacionais na área de pavimentação.

APRESENTAÇÃO

Caro leitor,

O asfalto é sinônimo de progresso e representa o desenvolvimento socioeconômico de um país. Encurta distâncias, movimentando a cadeia produtiva nacional, facilita o escoamento da produção do pequeno, médio e grande produtor, seja na pecuária, agricultura, indústria de bens e serviços, entre outros. Além disso, ele democratiza e viabiliza o acesso de qualquer cidadão aos serviços de saúde, educação, lazer e transporte com muito mais dinamismo, conforto e rapidez, promovendo uma melhor qualidade de vida.

E, justamente por entender a importância desse nobre derivado do petróleo e o impacto que ele tem na sociedade como um todo, é que a Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos, cumprindo o seu papel social, está entregando à comunidade científica, acadêmica e técnica, o Guia Técnico de Utilização de Ligantes Asfálticos em Serviços de Pavimentação, cujo intuito é nortear os agentes atuantes da área de engenharia rodoviária (técnicos, projetistas, alunos e professores) na aplicação de ligantes asfálticos, apresentando soluções tecnológicas específicas, indicando o uso, o processo de produção e execução em serviços de pavimentação rodoviária no Brasil.

O Guia Técnico está dividido em três grandes etapas: Tipos de Ligantes e Revestimentos Asfálticos; Seleção de Camadas Asfálticas para Obras de Pavimentação; e Construção e Controle Tecnológico. Ele foi preparado criteriosamente por uma equipe de profissionais com larga experiência no ramo, liderada pelo professor doutor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Jorge Augusto Pereira Ceratti, pela professora doutora da Universidade de São Paulo – Liedi Bariani Bernucci, e pelo professor doutor da Universidade Federal do Ceará – Jorge Barbosa Soares. Entre tantas outras

publicações, estes autores também são responsáveis pelo livro Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros.

Além deste Guia Técnico, que contribuirá fortemente para o acervo bibliográfico da área, você receberá um anexo com encarte contendo as mais variadas especificações dos produtos, cujas tabelas serão atualizadas e disponibilizadas para o mercado, com o apoio da Abeda, sempre que for necessário.

Desejamos que você se debruce sobre este trabalho e faça dele seu manual de consultas técnicas para elaboração de projetos, pesquisas, orçamentos e nas escolhas das mais diversas aplicações práticas de ligantes e misturas asfálticas, apropriados a diferentes volumes de tráfego. Certamente embasarão o trabalho diário daqueles que lidam com a malha rodoviária em seus diversos segmentos.

José Alberto Piñón Gonzalez

Presidente da Abeda

Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos

PREFÁCIO

A ideia do presente livro, pensado como uma espécie de guia prático para o uso de ligantes asfálticos convencionais e modificados em pavimentos, foi de complementar o capítulo de ligantes do livro *Pavimentação Asfáltica – formação básica para Engenheiros* que também conta com a participação dos autores, além de outras publicações existentes no país. No prefácio daquele livro antecipávamos que o mesmo seria uma via que poderia estimular novas vias, da mesma forma que uma estrada possibilita a construção de outras tantas. Entre as possibilidades de novos textos de referência, entendemos que o dimensionamento de pavimentos asfálticos é essencial. Este tema tem progredido sobremaneira no Brasil em tempos recentes, valendo citar o desenvolvimento em curso do novo método de dimensionamento que será lançado nos próximos anos, numa parceria entre Petrobras, universidades e DNIT, e da qual os autores participam. Apesar da necessidade da atualização do método nacional de dimensionamento de modo a possibilitar a consideração de tecnologias modernas, o Brasil já usa há anos asfaltos com aditivos e misturas asfálticas especiais cujos benefícios devem ser levados em consideração num projeto de pavimentos. Observa-se no país, contudo, uma carência de material técnico contendo a experiência local e com instruções sobre a aplicação apropriada das diferentes alternativas de ligantes e misturas asfálticas para soluções tecnológicas específicas. Julgou-se então oportuno o desenvolvimento de um material bibliográfico prático sobre a utilização dos ligantes asfálticos em serviços de pavimentação, considerando aspectos relativos ao tráfego, clima e estrutura do pavimento, visando sempre ao melhor desempenho do revestimento.

Embora este livro possa perfeitamente ser usado como suporte adicional a estudantes e docentes de disciplinas de infraestrutura de transportes, os autores

buscaram atender a uma demanda de engenheiros e técnicos da área de pavimentação no que diz respeito a sugerir a definição daquelas situações mais apropriadas para utilizar a gama de ligantes asfálticos hoje disponíveis e associados a tecnologias de uso já consagrado.

A experiência anterior de cooperação em projetos de pesquisa, orientações de alunos e na produção de um livro didático ajudou os autores em mais esta construção conjunta. Partiu-se de referências existentes e delimitou-se o trabalho, focando-se no uso de ligantes e misturas asfálticas. Competências e distribuição dos assuntos foram devidamente dosadas entre os três autores. Registramos os nossos agradecimentos a alguns colegas por seus valiosos comentários e sugestões: profa. dra. Laura Maria Goretti da Motta (Coppe/UFRJ), eng. Alfredo Monteiro de Castro Neto (Dersa) e profa. dra. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco (UFC). Agradecimentos também são devidos aos nossos alunos, colegas de trabalho e colegas da Comissão de Asfaltos do IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustível) com os quais os nossos textos acabam se misturando na busca por contribuir para os melhores caminhos necessários à formação profissional. Como nas vias reais, espera-se que este texto seja complementado à medida que surjam novos desenvolvimentos e que se atualizem as normas técnicas nacionais, estimulando-se o surgimento de outros textos, na contínua melhoria e ampliação do conhecimento da pavimentação.

Agradecemos o inestimável apoio da Abeda – Associação Brasileira dos Distribuidores de Asfaltos, que nos convidou para este novo desafio. Nossos mais cordiais agradecimentos aos técnicos da Abeda, eng. Rafael Marçal Martins de Reis, eng. Luiz Henrique Teixeira e eng. Wander Omena que colaboraram de forma preciosa para que chegássemos ao cabo desta missão.

Desejamos uma boa leitura a todos os interessados e que tenhamos contribuído para a melhoria da pavimentação nacional.

Os autores

SUMÁRIO

2	SELEÇÃO DE CAMADAS ASFÁLTICAS PARA OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO	41
2.1	CONDICIONANTES PARA UM PROJETO DE PAVIMENTO	41
2.1.1	TRÁFEGO E PERÍODO DE PROJETO	41
2.1.2	GEOMETRIA DA VIA E CONDICIONANTES DO RELEVO	46
2.1.3	CONDICIONANTES CLIMÁTICOS E DISPOSITIVOS DE DRENAGEM	46
2.1.4	MATERIAIS	47
2.1.5	MATERIAIS PARA CAMADAS ASFÁLTICAS	49
2.1.6	TECNOLOGIAS OU FACILIDADES INSTALADAS E DISPONÍVEIS NA REGIÃO	50
2.2	SELEÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS PARA REVESTIMENTOS E BASES DE PAVIMENTOS	50
2.3	SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS ESPECIAIS PARA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO EM PISTA MOLHADA	59
2.4	SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA REDUÇÃO DE RÚIDO AO ROLAMENTO PNEU-PAVIMENTO	62
2.5	SELEÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS PARA OBRAS DE RESTAURAÇÃO E DE REABILITAÇÃO	64
2.5.1	LEVANTAMENTOS E AVALIAÇÕES	64
2.5.2	SOLUÇÕES DE REFORÇOS ESTRUTURAIS E DE RESTABELECIMENTO FUNCIONAL	65
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	139

2

SELEÇÃO DE CAMADAS ASFÁLTICAS PARA OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

2.1

CONDICIONANTES PARA UM PROJETO DE PAVIMENTO

A seleção do tipo de mistura asfáltica para compor camadas asfálticas de um pavimento, seja nos projetos de implantação ou naqueles destinados à reabilitação, está condicionada à estrutura do pavimento como um todo, incluindo o subleito, e demanda a consideração de uma série de pontos relevantes pelo projetista:

- tráfego atuante e período de projeto;
- geometria da via e condicionantes do relevo;
- condicionantes climáticos e dispositivos de drenagem;
- tipos de ocorrências de solos, natureza do subleito e disponibilidade de materiais no local ou nas proximidades;
- tecnologias ou facilidades instaladas e disponíveis na região.

2.1.1 Tráfego e período de projeto

Para os projetos das vias, o volume de tráfego é relevante para o cálculo da capacidade viária e do nível de serviço, que direcionam o projeto de terraplenagem (cortes e aterros, túneis e viadutos), o número de faixas de tráfego, a largura mínima das mesmas, as declividades máximas, entre outros aspectos geométricos.

Para o projeto da estrutura de pavimento dessas vias, devem ser considerados os veículos comerciais (caminhões e ônibus) com a maior precisão possível, pois estes são os maiores responsáveis pela solicitação da estrutura e sua deterioração. É importante lembrar que cada carga solicitante gera um dano à estrutura e que os danos são cumulativos, levando a mesma a níveis de deterioração que o projetista designa de “final da vida de projeto”. O final da vida de projeto é estabelecido pelo órgão gestor, que em geral vincula este a uma área trincada máxima admissível do revestimento asfáltico, ao afundamento máximo admissível nas trilhas de roda, ou mesmo à irregularidade longitudinal máxima admissível.

O tráfego solicitante é um dos parâmetros de maior dificuldade de determinação ou de estimativa futura nos projetos de pavimentação e que, ao ser subestimado, pode levar ao subdimensionamento das estruturas de pavimentos ou à redução de sua vida de projeto. Vários fatores devem ser mensurados, determinados, previstos, ou mesmo estimados, para considerar o tráfego de veículos, principalmente de veículos comerciais:

- 1 Volume diário médio de veículos comerciais no total, estando atento às épocas de safra e entressafra quando pertinentes. No Brasil, empregam-se as rodovias como um dos mais importantes meios de transporte de carga, prevalecendo sobre os demais modos e respondendo por praticamente 60% do total da carga transportada. Dado esse panorama de logística de transporte de carga e à reduzida malha rodoviária brasileira pavimentada, a participação de veículos comerciais sobre o total que utiliza essas vias pavimentadas é elevado, sendo frequentes percentuais de 30 a 60%;
- 2 A porcentagem dos veículos por sentido, que pode ser desbalanceada se há majoritariamente um sentido mais carregado do que o outro. Em projetos de pista simples, deve-se sempre considerar o sentido mais carregado devido ao fator preponderante que é a continuidade geométrica de camadas, facilitando a construção e a continuidade hidráulica;
- 3 A porcentagem de veículos comerciais por faixa de tráfego para vias com duas ou mais faixas por sentido, sendo em geral considerada a faixa mais carregada ou a mais solicitada pelos veículos comerciais para o projeto do pavimento; e
- 4 A frequência de distribuição de peso dos veículos comerciais, configurações de eixos e tipos de pneus, fatores preponderantes no cálculo das solicitações do tráfego. Esses dados são, infelizmente, escassos no Brasil dada a pequena quantidade de balanças instaladas e, frequentemente, o projetista estima uma porcentagem de eixos carregados no limite legal de carga e uma porcentagem complementar que circula vazio (carga do próprio veículo). Essas estimativas podem levar a cálculos que subestimam a solicitação real do tráfego, pois há uma porcentagem, às vezes expressiva, de veículos que circulam com excesso de carga.

O excesso de carga dos veículos comerciais (carga acima da carga legal) tem sido constatado em vários estudos e pesquisas brasileiras. O Conselho Nacional de Trânsito (Contran), responsável pela regulamentação para aferição de peso de veículos, também estabelece, por meio de resoluções, percentuais de tolerância de peso. Em 2014, a Resolução de número 489 do Contran estabeleceu novos limites de tolerância, sancionados pela LEI nº 13.103, de março de 2015, com pequenas alterações com relação à Resolução 489, resumidos nos dois itens a seguir:

- 1 de 5% sobre os limites de pesos regulamentares para o peso bruto total (PBT);
- 2 de 10% sobre os limites regulamentares de peso bruto transmitido por eixo dos veículos.

A deterioração dos pavimentos é dada por veículos comerciais e já se comprovou, até experimentalmente, que a magnitude do dano aos pavimentos é exponencial com a carga aplicada, ou seja, o dano é proporcional à carga solicitante elevada a uma potência (quarta potência ou até superior a esta) (HRB, 1962). Dessa forma, pode-se compreender que as cargas dos veículos comerciais (e o excesso de cargas) são um dos fatores responsáveis pela maior variação das solicitações que devem ser consideradas ou previstas para o dimensionamento de estruturas de pavimentos. Recomenda-se fortemente que os projetos de pavimentação avaliem a sensibilidade ou as alterações nas espessuras de camadas calculadas frente à provável variação dos parâmetros do tráfego solicitante.

Até o momento, os métodos empíricos de dimensionamento de pavimentos levam em consideração a solicitação equivalente de repetições acumuladas de eixo-padrão. Ou seja, a solicitação real dos pavimentos acumulada na vida de projeto equivale ao somatório de solicitações do eixo-padrão adotado, atuantes de forma transiente, e que resultam, de forma equivalente, em um dano total acumulado, similar ao causado pelo tráfego real. O eixo-padrão é aquele que causa um dano unitário à estrutura de pavimento.

O eixo-padrão, também adotado no Brasil, foi estabelecido pelos norte-americanos na década de 1950 (AASHO, 1961), sendo a configuração escolhida a de um eixo simples de rodas duplas (ESRD), com carga total no eixo, somando as quatro rodas, de 18kpis ou 80kN (8,2tf). Vários métodos empíricos de dimensionamentos de pavimentos existentes, como a AASHTO (1961, sendo a última versão publicada em 1993), e o método brasileiro do DNIT (última versão em 1981, reproduzida em DNIT, 2006a) transformam todos os veículos comerciais, com as mais distintas cargas e configurações de eixos, empregando diferentes procedimentos, em um número **N** acumulado de repetições de eixos-padrão, no período de projeto.

Uma crítica que se faz em relação ao uso do número **N** para representar a solicitação do tráfego, é que se estimam os danos de forma particularizada, levando em consideração um determinado problema ou ruptura provável. Esses pressupostos e hipóteses não são

aplicáveis indistintamente para todos os tipos de estruturas e espessuras de camadas de pavimentos. Ou seja, o emprego do número **N** para representar a solicitação de tráfego é simplista e aplicável para um critério específico.

O projetista de pavimentos poderá avaliar as solicitações na estrutura de pavimento considerando cada tipo de solicitação (cada tipo de configuração de eixos e carga por roda). Os novos métodos de dimensionamento de pavimento mecanicistas levam em consideração o acúmulo total de danos, sendo este o somatório de danos diferentes para cada tipo de carga atuante (AASHTO, 2002), podendo ser particularizado para a estrutura que se está concebendo. Esta é uma tendência também em nosso país, pois considera as especificidades de cada projeto, de cada estrutura e de cada material nas respostas das solicitações, como por exemplo está proposto em Franco (2007).

No Brasil, nas últimas duas décadas, tem-se considerado o período de projeto de 10 anos para uma grande gama de pavimentos e solicitações, embora para algumas situações de maior volume de tráfego, venham sendo adotados maiores períodos, de 15 até 20 anos.

Para a seleção de misturas asfálticas, este *Guia técnico* baseou-se no número **N** de repetições de carga equivalentes do eixo-padrão, por ser ainda usual no país pelos métodos empíricos de dimensionamento de pavimentos flexíveis. Embora o *Guia técnico* não trate especificamente de dimensionamento de pavimentos, os autores propõem que sejam feitos os projetos de dimensionamento com base em análises mecanicistas das estruturas de pavimento e, para tanto, que os ensaios laboratoriais e de campo, essenciais para determinação dos parâmetros necessários, sejam todos realizados.

Os pavimentos foram subdivididos em categorias segundo o número **N** de repetições equivalentes do eixo-padrão de 80kN (8,2tf) no período de projeto, para a seleção das soluções de pavimentação e tipos de misturas asfálticas indicadas – Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Níveis de tráfego para a seleção de soluções de misturas asfálticas

Designação segundo o nível de tráfego	Número N de repetições equivalentes de carga do eixo-padrão de 80kN ou 8,2tf (USACE – DNIT, 2006a) (1)	Rodovias e vias típicas nesta categoria ⁽²⁾
B: Baixo volume de tráfego	$\leq 10^6$	Vias de tráfego local, estradas vicinais, rodovias com tráfego de algumas dezenas ou poucas centenas de veículos comerciais diários, vias urbanas de pequena solicitação por tráfego comercial etc.
M: Moderado volume de tráfego	$10^6 < N \leq 10^7$	Vias e rodovias coletoras, rodovias de pista simples ou dupla, rodovias com centenas de veículos comerciais diários, acessos rodoviários etc.
A: Alto volume de tráfego	$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Rodovias e vias urbanas em geral com pista dupla, com 2 ou mais faixas por sentido, rodovias com tráfego de várias centenas até um ou dois milhares de veículos comerciais diários, implantação de terceiras faixas para caminhões lentos em pistas simples, faixas de ônibus urbanos etc.
MP: Muito pesado – volume muito alto de tráfego e vias especiais	$N > 5 \times 10^7$	Rodovias e vias de tráfego muito pesado, com 2 ou mais faixas por sentido, com grande participação de veículos comerciais, rodovias que ultrapassem em geral 2.000 veículos comerciais diários, corredores de ônibus tipo BRT com elevada solicitação, acessos a terminais de carga etc.

(1) Número de repetições de carga do eixo padrão AASHTO é calculado empregando outros Fatores de Equivalência de Carga da AASHTO, que resultam em números **N** diferentes do N USACE, para o mesmo tráfego. O N USACE tem sido empregado tradicionalmente para dimensionamento de pavimentos pelo método empírico de dimensionamento de estruturas de pavimento novos vigente no Brasil. O N AASHTO também é empregado no Brasil para algumas verificações estruturais e projetos de restauração.

(2) O número de repetições acumuladas de eixos deve ser calculado e não estimado pela categoria da rodovia ou via; a descrição na presente tabela é empregada para exemplificar algumas ocorrências frequentes, não generalizadas. O volume de tráfego diário de veículos comerciais descritos é meramente indicativo e ilustrativo, devendo ser calculado com rigor, levando em consideração a magnitude das cargas, configurações de eixos etc. Rodovias ou vias urbanas de mesmo VDM (volume de tráfego diário médio) podem resultar em diferentes **N** - número de solicitações equivalentes de carga do eixo padrão.

2.1.2 Geometria da via e condicionantes do relevo

A geometria da via segue os preceitos de projeto viário e depende de vários fatores. Para a pavimentação asfáltica, um relevante fator geométrico são os aclives, principalmente aqueles com mais de 5%, que reduzem significativamente as velocidades dos veículos pesados. Essa redução de velocidade gera cargas dinâmicas mais elevadas aplicadas ao pavimento, que correspondem a maiores magnitudes de tensões e, portanto, de deslocamentos na estrutura do pavimento. Esses carregamentos podem ser calculados e, conseqüentemente, o aumento de dano à estrutura também. O aumento de dano implicará projetar uma estrutura mais robusta, com camadas asfálticas de melhor desempenho.

Alternativamente, de forma simplificada, recomenda-se neste *Guia técnico* aumentar de maneira empírica a solicitação a que a estrutura de pavimento estará sujeita nessas condições adversas, como aclives fortes, considerando um aumento no nível de tráfego, conforme indicado – de **B** para **M**, de **M** para **A**, de **A** para **MP** (ver Tabela 2.1). No caso do nível de tráfego **MP**, sugere-se que nas condições adversas (como aclives fortes), sejam feitas opções por ligantes asfálticos de melhor desempenho, empregando um material recomendado, ao invés de adequado (ver Tabela 2.5).

O artifício de aumentar o nível de tráfego (de **B** para **M**, de **M** para **A**, de **A** para **MP**) ou na indicação de ligante asfáltico e das misturas asfálticas (de adequado para recomendado) devido às condições adversas (geometria, clima etc.) será designado neste *Guia técnico* de aumento no **nível de desempenho**, empregado para levar em consideração o aumento de solicitação de forma indireta.

Os declives e as curvas de pequeno raio são locais de maior probabilidade de ocorrência de problemas de aderência pneu-pavimento em pista molhada. Esses locais devem, da mesma forma, ser tratados com um aumento no grau de solicitação ou um aumento no nível de desempenho em relação aos trechos em tangente e planos.

2.1.3 Condicionantes climáticos e dispositivos de drenagem

As vias que operam em regiões sujeitas a elevadas temperaturas podem apresentar maior propensão a defeitos como exsudação ou mesmo de deformações em trilhas de roda nos revestimentos asfálticos, principalmente se essa situação estiver conjugada com a existência de rampas.

Locais onde há precipitações intensas, mesmo que sejam de curta duração, ou com somatório elevado de precipitações anuais, são propensos à ocorrência de acidentes por derrapagens ou até hidroplanagem. Nas rodovias e vias urbanas onde se possa desenvolver maiores velocidades, o risco aumenta, pois o coeficiente de atrito em pavimentos molhados cai com o aumento da velocidade. Nessas regiões, a existência de curvas de pequeno raio e rampas também são pontos de maior atenção. Em rodovias de tráfego intenso e altas velocidades, com curvas de grandes raios e diversas faixas de rolamento, também se faz necessário um bom projeto de drenagem superficial, pois a área de contribuição é expres-

siva. A água pode acumular nas faixas mais externas, que recebem toda a contribuição das demais, levando ao aumento da lâmina d'água e a problemas de redução de aderência pneu-pavimento.

Essas situações citadas podem ser tratadas de forma diferenciada, utilizando revestimentos asfálticos que contribuam para o aumento no coeficiente de atrito entre o pneu e pavimento (ver item 2.3 e Tabela 2.6). É importante ressaltar que um bom projeto de drenagem e de dispositivos adequados para promover a retirada da água da superfície ou daquela que infiltre na estrutura de pavimento são imperativos, tanto para melhoria das condições de aderência, quanto para o funcionamento estrutural dos pavimentos.

2.1.4 Materiais

Subleito

Um bom projeto de dimensionamento de pavimentos envolve um estudo apurado da geologia, da pedologia e da geotecnia locais. Nos cortes e aterros, o tratamento que será dado ao subleito é essencial para um bom desempenho da estrutura do pavimento. Recomenda-se fortemente que haja um processo de densificação intenso do subleito, alcançando-se o maior grau de compactação possível do solo em questão, desde que o processo executivo não leve o mesmo a apresentar anisotropia (“lamelas” construtivas). Recomenda-se ainda que se empreguem tecnologias e metodologias nacionais de reconhecimento de solos e para sua seleção, como a miniatura compactada tropical – MCT (Nogami e Villibor, 1995).

Recomenda-se que as respostas do subleito (quanto à resistência e à deformabilidade) sejam as mais similares possível, de maneira a eliminar uma elevada complexidade em projetos de restauração futuros. É importante controlar além do grau de compactação e a umidade, a deformabilidade no topo do subleito (obtida através da viga Benkelman, do *falling weight deflectometer* – FWD, ou *light weight deflectometer* – LWD) para assegurar respostas estruturalmente compatíveis para os pavimentos projetados. Caso não esteja disponível um desses recursos de medida da deformabilidade, pode-se empregar, embora de maneira limitada, o cone de penetração sul-africano (DCP). Importante realçar que as medidas de DCP são de resistência e não de deformabilidade. A homogeneidade do subleito facilita, inclusive, as intervenções futuras, sejam preventivas ou de reabilitação. A pequena variação de respostas da estrutura implica possibilitar maiores extensões de uma mesma solução (trechos homogêneos), ou seja, implica não gerar uma complexidade em projetos futuros.

Subleitos de baixa capacidade de suporte e de alta deformabilidade (resilientes) comprometem o desempenho futuro, ora exigindo estruturas muito robustas estruturalmente, ora obrigando a executar reforços estruturais para a redução das deflexões. Nesses casos, deve-se estudar sempre a viabilidade econômica de troca de subleito, em geral com 60cm de espessura de troca ou superior, ou sua estabilização com cimento ou com cal, ou até mesmo com resíduos com ação pozolânica como as cinzas volantes, de carvão ou provenientes da queima do lixo, entre outros.

A presença de solo mole, passível de adensamento sob carregamento, implica necessariamente um estudo geotécnico cuidadoso para propor:

- 1 Troca total, quando for viável a espessura a ser removida e substituída, ou troca parcial por aterro no topo da camada com a devida construção de bermas de equilíbrio.
- 2 A construção de aterros temporários quando viável para propiciar o adensamento e depois ser aliviado novamente com a remoção do mesmo e a construção do pavimento – recurso que demanda em geral custos elevados e com cronograma de obra que permita essa técnica.
- 3 Uso de técnicas de aceleração de adensamento como drenos, aplicação de vácuo etc.
- 4 Uso de geossintéticos como reforços e/ou elementos de separação.
- 5 Emprego de rachão, desde que seja limitado o volume a ser empregado até que seja obtida resistência mínima necessária no topo da camada (em camadas muito espessas de solo mole, pode haver um consumo muito grande de rachão até que haja um certo travamento e resistência suficiente para dar suporte a equipamentos).
- 6 Estaqueamento, *jet-grouting*, colunas de brita ou de cal etc. quando forem ocorrências de extensão limitadas. Caso permaneça a presença de solo mole por inviabilidade de tratamento ou remoção, o projetista deve estudar cautelosamente a magnitude dos recalques diferenciais e suas consequências em camadas cimentadas por resultarem em elevação das tensões de tração e redução, portanto, da vida de fadiga dessas camadas.

Materiais para as camadas de base, sub-base e reforço do subleito do pavimento

O estudo da disponibilidade de material no local é essencial para fazer um projeto voltado à realidade local. Da mesma forma, devem ser verificadas as tecnologias e as facilidades disponíveis no local da obra.

Um pavimento com desempenho adequado é aquele que apresenta compatibilidade estrutural do conjunto de suas camadas quanto às resistências (ao cisalhamento) dos materiais e, principalmente, quanto à deformabilidade. Uma verificação das tensões e das deformações atuantes é essencial para um bom projeto de dimensionamento. Este *Guia técnico* sugere fortemente que todo dimensionamento de pavimentos seja feito por análise mecanicista.

Este *Guia técnico* sugere que para tráfego **A** e **MP** (Tabela 2.1) sejam empregadas bases ou sub-bases de elevados módulos de resiliência ou elástico. Nesse sentido indica para alívio de tensões de tração no revestimento asfáltico e aumento de sua vida de fadiga:

- 1 As bases asfálticas de elevado módulo (EME), usinadas com asfaltos de baixa penetração (entre 10 e 25 × 0,1mm);
- 2 Em algumas situações, camadas asfálticas usinadas com asfaltos altamente modificados por polímeros elastoméricos, de elevada vida de fadiga; ou
- 3 Bases ou sub-bases cimentadas (BGTC – brita graduada tratada com cimento ou CCR – concreto compactado com rolo).

Deve-se estar muito atento à continuidade hidráulica das camadas e ao projeto de drenagem. A construção de faixas adicionais não deve ser projetada sem conhecimento prévio da estrutura existente, com o risco de bloqueamento do fluxo de água para fora do pavimento e de acúmulo desta entre o pavimento existente e a faixa adicional.

2.1.5 Materiais para camadas asfálticas

Agregados

Para a concepção do tipo de revestimento asfáltico que melhor se aplica ao projeto de pavimento, devem-se estudar minuciosamente as pedreiras disponíveis na região, a geologia das rochas exploradas, os tipos e as sequências de britadores e beneficiamentos, bem como fontes naturais devidamente licenciadas de cascalhos, seixos, areia etc. Vale lembrar que cada vez mais tem-se feito uso de agregados provenientes de fresagem de pavimentos deteriorados. Nas instalações mais modernas de usinas de asfalto tem-se um silo reservado para material fresado, que foi ou não britado previamente.

Os agregados para camadas asfálticas devem seguir normas específicas de modo a apresentarem propriedades e características que promovam a qualidade desejada para as misturas asfálticas. Enumeram-se algumas dessas características e propriedades: resistência à abrasão e à quebra, forma, absorção de água ou de ligante, adesividade ao ligante asfáltico, durabilidade, equivalente de areia, rugosidade superficial, porosidade, entre outros aspectos. Em Bernucci *et al.* (2006) esses aspectos são apresentados e discutidos em detalhes.

Fíler e aditivos

Dependendo do tipo de mistura asfáltica selecionada para a obra, deve-se também prever a disponibilidade de fíler ativo (como a cal), e aditivos (como fibras, melhoradores de adesividade líquidos, entre outros produtos).

Ligantes asfálticos

Este *Guia técnico* sugere a seleção de ligantes asfálticos em função do tráfego, do tipo de obra (implantação ou reabilitação), das especificidades locais e do tipo de misturas asfálticas. Caso haja situações ou condições adversas, tais como: rampas fortes, curvas fechadas, presença de tráfego canalizado de veículos pesados, temperaturas médias do ar muito elevadas, entre outras situações que exijam misturas asfálticas especiais para garantir o desempenho adequado, sugere-se que seja elevado o nível de desempenho em

um grau: aumentar o nível de tráfego (de **B** para **M**, de **M** para **A**, de **A** para **MP**) ou na indicação de ligante asfáltico e das misturas asfálticas (de **adequado** para **recomendado**).

Caso a logística da obra não comporte alterações de misturas asfálticas ou de ligantes somente nos locais cujas condições sejam adversas, sugere-se um estudo detalhado de alterações granulométricas ou de incrementos de melhoria de desempenho para o bom funcionamento das estruturas de pavimentos nesses locais. De maneira geral, as indicações dos tipos de ligantes asfálticos propostas por este *Guia técnico* para misturas asfálticas usinadas a quente ou usinadas mornas constam das Tabelas 2.2 a 2.5.

Para os tratamentos superficiais por penetração invertida, as lamas asfálticas e micror-revestimento asfáltico a frio, este *Guia técnico* indica os ligantes constantes nas Tabelas 2.6 a 2.8. Para as misturas asfálticas usinadas a frio, este *Guia técnico* indica os ligantes constantes nas mesmas Tabelas 2.6 a 2.8.

As indicações dos tipos de emulsões e de asfaltos diluídos para a realização de serviços de imprimação sobre bases e pinturas de ligação entre camadas asfálticas propostas por este *Guia técnico* constam da Tabela 2.9.

2.1.6 Tecnologias ou facilidades instaladas e disponíveis na região

Toda estrutura de pavimento deve ser projetada tendo em vista os recursos naturais, as fontes de materiais para exploração e os equipamentos disponíveis (como usinas de asfalto, usinas de solos etc.). Os equipamentos e as facilidades instaladas para garantia de uma execução apropriada dos revestimentos asfálticos e camadas asfálticas são tratadas no Capítulo 3 deste *Guia técnico*.

2.2

SELEÇÃO DE REVESTIMENTOS E DE BASES ASFÁLTICAS DE PAVIMENTOS EM OBRAS DE IMPLANTAÇÃO

Os diversos tipos de soluções de revestimentos asfálticos estão definidos no Capítulo 1 deste *Guia técnico*. Nas Tabelas 2.2 a 2.8 são sugeridas as misturas asfálticas adequadas para obras de implantação de rodovias e de vias urbanas dependendo do tráfego solicitante. Trata-se de sugestões e não dispensam uma análise minuciosa da pertinência ao projeto.

Os cálculos de espessura das camadas asfálticas dependem dos tipos de ligantes asfálticos e graduação utilizados, do tráfego atuante, dos materiais e das espessuras das camadas subjacentes às camadas asfálticas, do subleito, e das condições climáticas. Não é adequado o cálculo de espessuras que não levem em consideração as propriedades mecânicas das camadas asfálticas. A diferenciação dos tipos de ligantes e de soluções de revestimentos e bases asfálticas somente é bem avaliada pelas propriedades mecânicas (ver Capítulo 3 deste *Guia técnico*).

Tabela 2.2: Tipos de serviços a quente ou mornos para baixo volume de tráfego – misturas asfálticas usinadas a quente ou usinadas mornas e tratamentos superficiais a quente adequados e recomendados em obras de implantação de rodovias e vias urbanas

Tipos de serviços (misturas usinadas e tratamentos superficiais)	Nível de tráfego: B (baixo volume de tráfego $N \leq 10^6$)								
	Ligantes asfálticos a quente								
	CAP convencional			CAP modificados					
	30-45	50-70	85-100 ou 150-200	CAP elastomérico			CAP borracha		
55/75-E				60/85-E	65/90-E	AB8	AB22		
Tratamentos superficiais de penetração a quente									
TSS (simples)	x	x	✓	✓✓					✓✓
TSD (duplo)	x	x	✓	✓✓					✓✓
TST (triplo)	x	x	✓	✓✓					✓✓
Camadas intermediárias (binder) e bases									
Macadame betuminoso por penetração a quente (base)			✓						
Misturas asfálticas usinadas a quente ou mornas (binder e base)	✓	✓	x						
Camadas de rolamento: misturas usinadas									
Areia asfalto a quente - AAUQ	✓	✓	x	✓					
Concreto asfáltico - CA	✓	✓	x	✓					
Camadas de rolamento: misturas especiais usinadas									
Camada porosa de atrito - CPA ^(*)	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x
Mistura asfáltica tipo <i>Gap-graded</i> - GG ^(*)	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x
Mistura asfáltica tipo BBTM / RAUD ^(*)	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x
Mistura asfáltica tipo SMA	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x

- x **Não adequado:** produto cuja aplicação não é indicada tecnicamente.
- ✓ **Adequado:** produto cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
- ✓✓ **Recomendado:** produto cuja aplicação é recomendada do ponto de vista técnico e de durabilidade (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).

A não indicação de uso ou de restrição significa muitas vezes que se trata de uma solução não usual ou economicamente inviável, ou mesmo de pouca experiência prática neste tipo de serviço ou emprego específico.

(*) Camadas que devem ser executadas sobre camadas asfálticas densas (não drenantes)

Observação importante: trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural. As espessuras mínimas estruturais de projeto devem ser seguidas, a menos que estudos complementares sejam realizados e que comprovem a eficiência de adoção de menores espessuras.

Tabela 2.3: Tipos de serviços a quente ou mornos para moderado volume de tráfego – misturas asfálticas usinadas a quente ou usinadas mornas e tratamentos superficiais a quente adequados e recomendados em obras de implantação de rodovias e vias urbanas

Tipos de serviços (misturas usinadas e tratamentos superficiais)	Nível de tráfego: M (moderado volume de tráfego $10^6 < N \leq 10^7$)										
	Ligantes asfálticos a quente										
	CAP convencional			CAP modificados						CAP de baixa penetração (modificado ou não)	
				CAP elastomérico				CAP borracha			
30-45	50-70	85-100 ou 150-200	55/75-E	60/85-E	65/90-E	Altamente modificado	AB8	AB22			
Tratamentos superficiais de penetração a quente sobre camada asfáltica usinada											
TSD (duplo)	x	x	x	✓✓					✓✓		
TST (triplo)	x	x	x	✓✓					✓✓		
Camadas intermediárias (binder) e bases											
Macadame betuminoso por penetração a quente (base)			✓	✓							
Misturas asfálticas usinadas a quente ou mornas (binder e base)	✓	✓	x	✓	✓	✓		✓	✓		
EME - mistura de módulo elevado (base)										✓	
SAMI (sobre camada que possui trincas de retração)					✓	✓✓	✓✓		✓		
Camadas de rolamento: misturas usinadas											
Concreto asfáltico - CA	✓✓	✓	x	✓	✓	✓		✓			
Camadas de rolamento: misturas especiais usinadas											
Camada porosa de atrito - CPA(*)	x	x	x	x	✓	✓✓		✓	x		
Mistura asfáltica tipo Gap-graded - GG(*)	x	x	x	x	✓	✓✓		✓✓	x		
Mistura asfáltica tipo BBTM / RAUD(*)	x	x	x	✓	✓✓	✓✓		x	x		
Mistura asfáltica tipo SMA	x	x	x	✓✓	✓✓	✓✓					

- x **Não adequado:** produto cuja aplicação não é indicada tecnicamente.
- ✓ **Adequado:** produto cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
- ✓✓ **Recomendado:** produto cuja aplicação é recomendada do ponto de vista técnico e de durabilidade (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).

A não indicação de uso ou de restrição significa muitas vezes que se trata de uma solução não usual ou economicamente inviável, ou mesmo de pouca experiência prática neste tipo de serviço ou emprego específico.

(*) Camadas que devem ser executadas sobre camadas asfálticas densas (não drenantes).

Observação importante: trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural. As espessuras mínimas estruturais de projeto devem ser seguidas, a menos que estudos complementares sejam realizados e que comprovem a eficiência de adoção de menores espessuras.

Tabela 2.4: Tipos de serviços a quente ou mornos para alto volume de tráfego – misturas asfálticas usinadas a quente ou usinadas mornas adequadas e recomendadas em obras de implantação de rodovias e vias urbanas

Tipos de serviços (misturas usinadas e tratamentos superficiais)	Nível de tráfego: A (alto volume de tráfego $10^7 < N \leq 5 \times 10^7$)									
	Ligantes asfálticos a quente									
	CAP convencional			CAP modificados						CAP de baixa penetração (modificado ou não)
	30-45	50-70	85-100 ou 150-200	CAP elastomérico			CAP borracha			
55/75-E				60/85-E	65/90-E	Altamente modificado	AB8	AB22		
Camadas intermediárias (binder) e bases										
Misturas asfálticas usinadas a quente ou mornas (binder e base)	✓		✗	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓		
EME - mistura de módulo elevado (base)										✓✓
SAMI (sobre camada que possui trincas de retração)						✓	✓✓		✓	
Camadas de rolamento: misturas usinadas										
Concreto asfáltico - CA	✓	✗	✗	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓		
Camada porosa de atrito - CPA(*)	✗	✗	✗	✗	✓	✓✓	✓✓	✓	✗	
Mistura asfáltica tipo <i>Gap Graded</i> - GG(*)	✗	✗	✗	✗	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✗	
Mistura asfáltica tipo BBTM / RAUD(*)	✗	✗	✗	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓		
Mistura asfáltica tipo SMA(*)	✗	✗	✗	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✗	✗	

- ✗ **Não adequado:** produto cuja aplicação não é indicada tecnicamente.
- ✓ **Adequado:** produto cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
- ✓✓ **Recomendado:** produto cuja aplicação é recomendada do ponto de vista técnico e de durabilidade (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).

A não indicação de uso ou de restrição significa muitas vezes que se trata de uma solução não usual ou economicamente inviável, ou mesmo de pouca experiência prática neste tipo de serviço ou emprego específico.

(*) Camadas que devem ser executadas sobre camadas asfálticas densas (não drenantes).

Observação importante: trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural. As espessuras mínimas estruturais de projeto devem ser seguidas, a menos que estudos complementares sejam realizados e que comprovem a eficiência de adoção de menores espessuras.

Tabela 2.5: Tipos de serviços a quente ou mornos para volume de tráfego muito pesado e vias especiais – misturas asfálticas usinadas a quente ou usinadas mornas adequadas e recomendadas em obras de implantação de rodovias e vias urbanas

Tipos de serviços (misturas usinadas e tratamentos superficiais)	Nível de tráfego: MP (tráfego muito pesado $N > 5 \times 10^7$)									
	Ligantes asfálticos a quente									
	CAP convencional			CAP modificados						CAP de baixa penetração (modificado ou não)
	30-45	50-70	85-100 ou 150-200	CAP elastomérico			CAP borracha			
			55/75-E	60/85-E	65/90-E	Altamente modificado	AB8	AB22		
Camadas intermediárias (binder) e bases										
Misturas asfálticas usinadas a quente ou mornas (binder e base)	✓	✗	✗	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓		
EME - mistura de módulo elevado (base)										✓✓
SAMI (sobre camada que possui trincas de retração)						✓	✓✓		✓	
Camadas de rolamento: misturas usinadas										
Concreto asfáltico - CA	✗	✗	✗	✓	✓✓	✓✓	✓✓			
Camada porosa de atrito - CPA(*)	✗	✗	✗	✗	✓	✓✓	✓✓	✓	✗	
Mistura asfáltica tipo <i>Gap-graded</i> - GG(*)	✗	✗	✗	✗	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓		
Mistura asfáltica tipo BBTM / RAUD(*)	✗	✗	✗	✓	✓✓	✓✓	✓✓		✗	
Mistura asfáltica tipo SMA(*)	✗	✗	✗	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✗	✗	

- ✗ **Não adequado:** produto cuja aplicação não é indicada tecnicamente.
- ✓ **Adequado:** produto cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
- ✓✓ **Recomendado:** produto cuja aplicação é recomendada do ponto de vista técnico e de durabilidade (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).

A não indicação de uso ou de restrição significa muitas vezes que se trata de uma solução não usual ou economicamente inviável, ou mesmo de pouca experiência prática neste tipo de serviço ou emprego específico.

(*) Camadas que devem ser executadas sobre camadas asfálticas densas (não drenantes).

Observação importante: trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural. As espessuras mínimas estruturais de projeto devem ser seguidas, a menos que estudos complementares sejam realizados e que comprovem a eficiência de adoção de menores espessuras.

Tabela 2.6: Tipos de serviços a frio para baixo volume de tráfego – misturas asfálticas usinadas a frio e tratamentos superficiais a frio adequados e recomendados em obras de implantação de rodovias e vias urbana

Tipos de serviços asfálticos a frio	Nível de tráfego: B (baixo volume de tráfego $N \leq 10^6$)													
	Emulsões asfálticas													
	Convencionais								Elastoméricas					
	Ruptura rápida		Ruptura média		Ruptura lenta				Ruptura controlada	Ruptura rápida		Ruptura média	Ruptura controlada	Ruptura lenta
	RR-1C	RR-2C	RM-1C	RM-2C	RL-1C	LA-1C	LAN	EA I	LA-RC	RR1C-E	RR2C-E	RM1C-E	RC1C-E	RL1C-E
Tratamentos superficiais de penetração a frio														
TSS	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	x	x
TSD	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	x	x
TST	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	x	x
Camadas intermediárias (binder) e bases														
Macadame betuminoso	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x
Solo-emulsão	x	x	x	x	✓✓	✓✓	✓✓	✓	x	x	x	x	x	x
Camadas de rolamento: misturas usinadas														
PMF aberto	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	x
PMF semidenso	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	✓✓
PMF denso	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓
Areia asfalto - AAUF	x	x	x	x	✓✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Camadas de rolamento: tratamentos de superfície														
Microrrevestimento - MRAF	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x
Lama asfáltica - LA	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓✓	x	x	x	x	x
Tratamento tipo SAM	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	✓✓	x

- x **Não adequado:** produto cuja aplicação não é indicada tecnicamente.
- ✓ **Adequado:** produto cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
- ✓✓ **Recomendado:** produto cuja aplicação é recomendada do ponto de vista técnico e de durabilidade (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).

Observação importante: trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural. As espessuras mínimas estruturais de projeto devem ser seguidas, a menos que estudos complementares sejam realizados e que comprovem a eficiência de adoção de menores espessuras.

Tabela 2.7: Tipos de serviços a frio para moderado volume de tráfego – misturas asfálticas usinadas a frio e tratamentos superficiais a frio adequados e recomendados em obras de implantação de rodovias e vias urbanas

Tipos de serviços asfálticos a frio	Nível de tráfego: M (moderado volume de tráfego $10^6 < N \leq 10^7$)													
	Emulsões asfálticas													
	Convencionais								Elastoméricas					
	Ruptura rápida		Ruptura média		Ruptura lenta				Ruptura controlada	Ruptura rápida		Ruptura média	Ruptura controlada	Ruptura lenta
	RR-1C	RR-2C	RM-1C	RM-2C	RL-1C	LA-1C	LAN	EA I	LA-RC	RR1C-E	RR2C-E	RM1C-E	RC1C-E	RL1C-E
Tratamentos superficiais de penetração a frio sobre camada asfáltica														
TSD	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	x	x
TST	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	x	x
Camadas intermediárias (binder) e bases														
Macadame betuminoso	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x
Solo-emulsão	x	x	x	x	✓✓	✓✓	✓✓	✓	x	x	x	x	x	x
PMF aberto	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	x
PMF semidenso	x	x	✓	x	✓	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	✓✓
PMF denso	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓
Areia asfalto - AAUF	x	x	x	x	✓✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Camadas de rolamento: tratamentos de superfície sobre camada asfáltica														
Microrrevestimento - MRAF	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x
Lama Asfáltica - LA	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	✓✓	x	x	x	x	x
Tratamento tipo SAM	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	✓✓	x

- x **Não adequado:** produto cuja aplicação não é indicada tecnicamente.
- ✓ **Adequado:** produto cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
- ✓✓ **Recomendado:** produto cuja aplicação é recomendada do ponto de vista técnico e de durabilidade (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).

Observação importante: trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural. As espessuras mínimas estruturais de projeto devem ser seguidas, a menos que estudos complementares sejam realizados e que comprovem a eficiência de adoção de menores espessuras.

Tabela 2.8: Tipos de serviços a frio para alto volume de tráfego e tráfego muito pesado – tratamentos superficiais a frio adequados e recomendados em obras de implantação de rodovias e vias urbanas

Tipos de serviços asfálticos a frio	Nível de tráfego: A e MP (alto volume de tráfego e tráfego muito pesado $N > 10^7$)														
	Emulsões asfálticas														
	Convencionais								Elastoméricas						
	Ruptura rápida		Ruptura média		Ruptura lenta				Ruptura controlada	Ruptura rápida		Ruptura média	Ruptura controlada	Ruptura lenta	
	RR-1C	RR-2C	RM-1C	RM-2C	RL-1C	LA-1C	LAN	EA I	LA-RC	RR1C-E	RR2C-E	RM1C-E	RC1C-E	RL1C-E	
Camadas de rolamento: tratamentos de superfície sobre camadas usinadas^(*)															
Microrrevestimento - MRAF	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	
Tratamento tipo SAM	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓✓	x	✓✓	x	

- x **Não adequado:** produto cuja aplicação não é indicada tecnicamente.
- ✓ **Adequado:** produto cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
- ✓✓ **Recomendado:** produto cuja aplicação é recomendada do ponto de vista técnico e de durabilidade (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).

(*) Serviços de caráter excepcional na implantação de rodovias e vias urbanas, construídas sobre camadas usinadas.

Observação importante: trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural. As espessuras mínimas estruturais de projeto devem ser seguidas, a menos que estudos complementares sejam realizados e que comprovem a eficiência de adoção de menores espessuras.

Tabela 2.9: Tipos de ligantes asfálticos adequados e recomendados para imprimação e pintura de ligação

Tipos de ligantes asfálticos	Tráfego			
	B Baixo	M Moderado	A Alto	MP Muito Pesado
Pinturas de ligação (entre camadas asfálticas de revestimento ou entre revestimento e base asfáltica)				
Emulsões asfálticas RR-1C ou RR-2C	✓	✓		
Emulsões asfálticas modificadas elastomérica RR-1CE	✓	✓✓	✓✓	✓✓
Emulsões asfálticas modificadas elastomérica RR-2CE	✓	✓	✓	✓
Imprimação (sobre camadas de base não cimentada)				
Emulsões asfálticas para imprimação EAI	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Asfalto diluído CM30 (em desuso)	✓	✓	✓	✓
Imprimação (sobre camadas de base cimentada)				
Emulsões asfálticas para imprimação EAI(*)	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Asfalto diluído CM30 (em desuso)	✗	✗	✗	✗

- ✗ **Não adequado:** produto cuja aplicação não é indicada tecnicamente.
- ✓ **Adequado:** produto cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
- ✓✓ **Recomendado:** produto cuja aplicação é recomendada do ponto de vista técnico e de durabilidade (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).

A não indicação de uso ou de restrição significa que se trata de uma solução não indicada, embora não se possa dizer que seja inadequada.

- (*) Seleção recomendada se a emulsão asfáltica para imprimação não contiver solvente em sua formulação. Caso tenha solvente, este pode reagir com o cimento causando o desprendimento da película da camada de base, interferindo negativamente na aderência entre revestimento e base.

Observação importante: trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais e dosagens das taxas adequadas de aplicação.

2.3

SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS ESPECIAIS PARA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO EM PISTA MOLHADA

Para as aplicações funcionais de melhoria de aderência pneu-pavimento em pistas molhadas, de modo a reduzir problemas de derrapagem e aquaplanagem, indicam-se, na Tabela 2.6, algumas soluções para aumentar principalmente a macrotextura superficial dos pavimentos, dada pela “topografia” ou configuração geométrica da textura superficial. A macrotextura superficial é altamente dependente da granulometria, embora a forma dos grãos também constitua um fator relevante para o arranjo superficial. A textura superficial dos agregados (chamada de microtextura), resultante da natureza da rocha de origem, técnica de britagem, entre outros fatores, também é importante no aumento do atrito entre os dois corpos (o pneu e o pavimento).

A Figura 2.1 mostra de forma esquemática a macrotextura superficial de um revestimento asfáltico e a microtextura de seus agregados. A Tabela 2.10 traz a classificação da macrotextura superficial e a Tabela 2.11 a classificação da microtextura dos agregados, ambas adotadas pelo DNIT, 2006b.



Figura 2.1 Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico

Tabela 2.10: Classes de macrotextura (adotada pelo DNIT, 2006b)

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

Tabela 2.11: Classes de microtextura (ABPv, 1999, adotada pelo DNIT, 2006b)

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

O DNIT (2006b) tem recomendado o uso de revestimentos asfálticos com macrot textura entre 0,6mm e 1,2mm, medida pelos testes de altura média de mancha de areia – método ASTM E965-96 (2006). Deve-se ressaltar que a faixa de valores de macrot textura, especificada pelo DNIT e também empregados pela ANTT para fiscalização de rodovias concessionadas, é difícil de ser obtido para o concreto asfáltico cujo valor mais comum varia entre 0,4mm e 0,8mm. Pode-se determinar a macrot textura por equipamentos a laser, que vêm sendo cada vez mais utilizados dada a elevada velocidade de determinação. A ASTM recomenda atualmente o emprego dessas técnicas em substituição ao uso da mancha de areia ou do método volumétrico. As normas empregadas são a ASTM E1845-09 ou a ISO 13473-1:1997.

A microtextura dos agregados é uma propriedade importante para colaborar na aderência pneu-pavimento em pavimentos molhados. Para velocidades mais baixas, o atrito na superfície dos agregados (dado pela microtextura) é uma característica muito importante para romper o filme de água entre o pneu e o pavimento. Portanto, para vias urbanas, em cruzamentos, em corredores de ônibus, entre outros locais, é importante a avaliação da microtextura. Infelizmente no Brasil não são adotados os testes de desgaste acelerado de agregados para aprovar o uso dos mesmos em misturas asfálticas para camadas de rolamento. Quando há realização de testes, estes são feitos *a posteriori*, com o pavimento executado, ou já após alguns anos. São avaliadas as microtexturas principalmente pelo ensaio de atrito pelo pêndulo britânico. O método de ensaio segue a ASTM E303-93 (2013). Técnicas de imagens têm sido bastante empregadas também para avaliação da microtextura.

O DNIT (2006b), em seu *Manual de restauração de pavimentos asfálticos*, recomenda o BPN (*British pendulum number* – medida obtida diretamente no aparelho) igual ou superior a 47 para garantia de superfícies, no mínimo, medianamente rugosas. O DNIT classifica a superfície segundo o BPN em rugosas para valores entre 55 e 74, e como muito rugosas para BPN igual ou superior a 75.

Atualmente no Brasil, está sendo disseminado o uso de equipamentos dinâmicos, como o *Grip-tester*, instalados em reboques, operados em velocidades em geral de 65km/h a 95km/h, para a medida de atrito em pista molhada de forma controlada e contínua, em rodovias e vias em geral (ASTM E274/E274M-11). Essa prática já está presente no Brasil há décadas para a medida de atrito em pistas de pouso e de decolagem de aeroportos para que se reportem os valores de atrito médio nos três terços das pistas, para os pilotos e as companhias aéreas, por normalização internacional. No Brasil, emprega-se em pistas de aeroporto o equipamento μ -meter e, mais recentemente, também o skidometer. Há normalização para as correlações entre os resultados fornecidos por diferentes equipamentos (ASTM E2666-09, a ASTM E2793-10 e a ASTM E2883-13).

O atrito pode ser reportado por um indicador que independe do equipamento, pois emprega as correlações entre eles. Esse parâmetro é conhecido por International Friction Index (IFI), traduzido no Brasil por APS (2006) como Índice de Atrito Internacional (ASTM E1960-07, 2011).

Embora a aderência seja um parâmetro fundamental para a segurança dos usuários das vias e rodovias, há ainda muito que se fazer e a se implantar no Brasil nesse aspecto. Há diversas técnicas de pavimentos asfálticos para melhorar as condições de atrito, principalmente em superfícies molhadas, apontadas e recomendadas na Tabela 2.12.

Tabela 2.12: Tipos de misturas asfálticas usinadas a quente ou mornas e tratamentos superficiais para aumento de aderência em pontos críticos, curvas fechadas, locais de elevada pluviosidade - projetos de implantação ou reabilitação

Camadas de rolamento	Tráfego			
	B Baixo	M Moderado	A Alto	MP Muito Pesado
Camadas de rolamento				
Concreto asfáltico denso (somente com altura média de mancha de areia $\geq 0,6$ mm)	✓	✓		
SMA	✓	✓✓	✓✓	✓✓
Gap-graded ⁽¹⁾	✓	✓✓	✓✓	✓✓
CPA ⁽¹⁾	✓	✓✓	✓✓	✓✓
Camadas delgadas usinadas BBTM e RAUD (2,0 a 3,0cm) ⁽¹⁾	✓	✓✓	✓✓	✓✓
Tratamentos superficiais de penetração invertida ⁽²⁾	✓✓	✓		
Lama asfáltica ⁽²⁾	✓	✓		
Microrrevestimento asfáltico a frio ⁽²⁾	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓

- ✓ **Adequado:** produto cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
- ✓✓ **Recomendado:** produto cuja aplicação é recomendada do ponto de vista técnico e de durabilidade (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).

A não indicação de uso ou de restrição significa que se trata de uma solução não indicada, embora não se possa dizer que seja inadequada, pois a macrotextura deve ser elevada para colaborar com o atrito, o que de difícil obtenção em concretos asfálticos.

- (1) Misturas asfálticas porosas (drenantes) devem ser construídas obrigatoriamente sobre camadas asfálticas densas e impermeáveis. Devem ser testadas à desagregação em curvas fechadas ou rampas fortes.
- (2) Tratamentos superficiais de penetração invertida, executados com emulsão modificada por polímero e construídos sobre uma camada asfáltica usinada.

Observação importante: trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural. As espessuras mínimas estruturais de projeto devem ser seguidas, a menos que estudos complementares sejam realizados e que comprovem a eficiência de adoção de menores espessuras.

2.4

SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA REDUÇÃO DE RÚIDO AO ROLAMENTO PNEU-PAVIMENTO

O contato pneu-pavimento é o fator que responde pela maior contribuição ao ruído gerado por um veículo em movimento, trafegando acima de 50km/h. O tipo de camada de rolamento do pavimento é uma das formas de redução de ruído (dependendo da topografia da região, do volume e da velocidade do tráfego) mais eficientes, porém, dependendo da velocidade dos veículos e local, pode ser necessário o emprego de barreiras acústicas ou de outros elementos para que, somado ao revestimento do pavimento, possa ser controlada ou amenizada a geração de ruído dos veículos para as áreas lindeiras à via.

O projeto da mistura asfáltica pode ser realizado com foco em duas características básicas que contribuem para a redução do ruído pneu-pavimento, decorrente do rolamento: a superfície da camada de rolamento e os vazios interligados (com ar) dessa camada. Na Tabela 2.13 apresentam-se as sugestões para a seleção de misturas asfálticas que podem contribuir para a redução do ruído ao rolamento.

A graduação da mistura asfáltica pode ser concebida de modo que se gere uma textura superficial que propicie a perda de energia da onda sonora no contato do pneu com essa superfície. Nesse sentido, as misturas usinadas com maior macrotextura e com menor tamanho máximo nominal de agregados tendem a ser menos ruidosas se comparadas àquelas usinadas com texturas fechadas, e as usinadas tendem a ser mais silenciosas se comparadas aos tratamentos superficiais por penetração, aos microrrevestimentos asfálticos a frio e às lamas asfálticas.

A macrotextura por si só não é um parâmetro que explique o ruído gerado entre o pneu e o pavimento. Esse parâmetro depende também da conformação (topografia ou arranjo) dos agregados na superfície (macrotextura positiva ou negativa), e esse aspecto é essencial para compreender e comparar duas superfícies com a mesma macrotextura (Callai, 2011). De forma simplista, a macrotextura positiva é aquela onde na superfície tem-se cumes e arestas dos agregados expostos e, na negativa, há planos britados dos agregados expostos. A configuração dos agregados na superfície depende basicamente do tipo de agregados (forma), do tipo de mistura asfáltica e do processo executivo. Ilustra-se com a comparação de um tratamento superficial duplo executado por penetração invertida, em geral de macrotextura muito aberta, com uma camada porosa de atrito (CPA), que também apresenta em geral macrotextura muito aberta. A CPA é o revestimento, em geral, mais silencioso que existe e o TSD um dos mais ruidosos. Igualmente, pode-se comparar o microrrevestimento asfáltico a frio com usinados do tipo *gap-graded* ou delgados usinados especiais (BBTM, SMA 0/8S, SMA 0/6 etc. – ver Capítulo 1) que apresentam macrotextura similar àquela encontrada para o microrrevestimento asfáltico a frio. Os materiais usinados são mais silenciosos que os tratamentos, em geral.

Misturas asfálticas com maior volume de vazios com ar interligados são favoráveis para a redução de ruído se comparadas às misturas asfálticas do tipo densas (impermeáveis, com vazios com ar oclusos). Nas misturas asfálticas não impermeáveis, quanto menores

forem as dimensões dos agregados e dos poros com ar interligados, maior deve ser a absorção do ruído gerado. Camadas asfálticas com poros de ar interligados devem ser executadas sobre camadas impermeáveis para evitar a entrada de água na estrutura do pavimento.

Tabela 2.13: Tipos de misturas asfálticas usinadas a quente ou mornas e tratamentos superficiais para redução de ruído ao rolamento pneu-pavimento – obras de implantação ou reabilitação

Camadas de rolamento	Tráfego			
	B Baixo	M Moderado	A Alto	MP Muito pesado
Concreto asfáltico denso	✓	✓		
SMA	✓	✓✓	✓✓	✓
<i>Gap-graded</i>	✓	✓✓	✓✓	✓✓
CPA ⁽¹⁾	✓	✓	✓✓	✓✓
Camadas delgadas usinadas tipo BBTM ou RAUD (2,0cm a 3,0cm) ⁽¹⁾	✓	✓✓	✓✓	✓✓
Tratamento superficial de penetração, lama asfáltica e microrrevestimento asfáltico a frio	x	x	x	x

x **Não adequado:** produto cuja aplicação não é indicada tecnicamente.

✓ **Adequado:** produto cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).

✓✓ **Recomendado:** produto cuja aplicação é recomendada do ponto de vista técnico e de durabilidade (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).

(1) Misturas asfálticas drenantes (com vazios interconectados, em geral entre 18% a 25%) devem ser construídas obrigatoriamente sobre camadas asfálticas densas e impermeáveis. Devem ser testadas à desagregação em curvas fechadas ou rampas fortes.

Observações importantes:

a redução de ruído ao rolamento é direcionada para os usuários dos veículos e para aqueles que se encontram em áreas lindeiras a rodovias e vias urbanas de alta velocidade ou hospitais e escolas.

Trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural. As espessuras mínimas estruturais de projeto devem ser seguidas, a menos que estudos complementares sejam realizados e que comprovem a eficiência de adoção de menores espessuras.

2.5

SELEÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS PARA OBRAS DE RESTAURAÇÃO E DE REABILITAÇÃO

Nas Tabelas 2.14, 2.15 e 2.16 são sugeridas algumas técnicas para uso em obras de restauração e de reabilitação de rodovias e de vias urbanas com revestimentos asfálticos, dependendo do tipo de defeito existente. As sugestões são indicativas e não cobrem todas as técnicas e todos os recursos existentes. Trata-se de sugestões e não dispensam uma análise minuciosa da pertinência ao projeto. Todas as soluções indicadas remetem às Tabelas 2.2 a 2.8.

2.5.1 Levantamentos e avaliações

Antes do estabelecimento de uma solução deve-se proceder à verificação das causas que geraram o problema ou problemas estruturais ou funcionais (defeitos), caso contrário, não é possível indicar uma solução adequada. Em nenhum caso dispensa-se o levantamento dos defeitos. As seguintes normas podem ser utilizadas para este fim: DNIT 006/2003 – PRO; DNIT 007/2003 - PRO; e/ou DNIT 008/2003 – PRO.

As avaliações estruturais devem ser realizadas para o levantamento das deflexões e, sempre que possível, das bacias de deflexão que auxiliam em um diagnóstico do problema. As normas brasileiras do DNIT para tais finalidades são: DNER-ME 024/94 e DNER-PRO 273/96, para levantamentos com a viga Benkelman e FWD (*falling weight deflectometer*), respectivamente. Há outros equipamentos e facilidades disponíveis atualmente no país para a realização de levantamentos de deflexões, mas ainda não normatizados. Para a compreensão e o diagnóstico dos defeitos, devem-se conhecer as estruturas de pavimentos avaliados: espessuras e materiais utilizados nas camadas. Se não houver disponível cadastro do projeto estrutural ou *as-built* da obra, devem ser abertos poços de inspeção, preferencialmente com coleta de materiais para ensaios em laboratório. Há atualmente no Brasil o recurso de uso de GPR – *ground penetrating radar*, que é um tipo de ensaio não destrutivo, de alto rendimento, cujos resultados podem ser analisados por geofísicos para identificar as diferentes camadas dos pavimentos (materiais e espessuras).

As avaliações funcionais devem ser realizadas para levantamento das irregularidades longitudinais. Adicionalmente, dependendo da natureza dos problemas, podem ser realizados levantamentos funcionais relativos à segurança (aderência em pista molhada) e ao conforto acústico. Para o levantamento da irregularidade longitudinal, o DNIT disponibiliza a norma DNER-PRO 182/94, para equipamentos do tipo *maysmeter* e tipo-resposta. Tem-se empregado, frequentemente, equipamentos medidores dos deslocamentos permanentes da superfície (irregularidades) por meio de lasers instalados em uma barra fixada nos pára-choques de veículos de levantamento. Estes equipamentos estão em vias de normalização no Brasil.

Dependendo do local e dos problemas constatados, recomenda-se que seja determinado o coeficiente de atrito em pistas molhadas (por equipamentos estáticos tipo pêndulo britânico ou, preferencialmente, por levantamento contínuo com equipamentos como *grip-tester* ou similares) para as questões relativas à aderência, e a magnitude do ruído devido ao conforto acústico e saúde dos lindeiros às vias (ver itens 2.3 e 2.4). Em rodovias concessionadas, há indicadores de coeficiente de atrito mínimo a serem obtidos.

2.5.2 Soluções de reforços estruturais e de restabelecimento funcional

O cálculo de espessuras necessárias de reforço estrutural depende muito do tráfego solicitante e da condição estrutural do pavimento, bem como do estado das camadas (presença de trincas, afundamentos, entre outros defeitos). Recomenda-se sempre a realização de levantamentos de campo, ensaios de laboratório e de projeto de reabilitação visando às questões estruturais.

Procedimentos de projeto que resultem em uma espessura de camada asfáltica usinada complementar de reforço estrutural não devem ser empregados sem que haja necessariamente a verificação do estado do pavimento existente. Camadas superficiais deterioradas ou a presença de trincas no pavimento antigo podem ser refletidas em um curto intervalo de tempo após a execução da restauração asfáltica.

As soluções funcionais para a correção de irregularidade devem levar em conta o estado da superfície, as magnitudes de afundamentos e irregularidades em geral. Deve-se ter especial atenção à execução de camada asfáltica sobre o pavimento existente que leve ao alteamento do greide de projeto, para que tal solução não comprometa o sistema de drenagem, o nivelamento e as declividades, e redução de vãos sob viadutos.

Para a correção de irregularidade, frequentemente não são aplicáveis tratamentos superficiais, lamas asfálticas ou microrrevestimentos asfálticos por serem estas camadas de espessuras reduzidas e que acompanham normalmente o perfil já existente. Ou seja, estes materiais reproduzem as imperfeições e as irregularidades existentes para a superfície restaurada. Somente em alguns casos tem-se sucesso na aplicação de microrrevestimento asfáltico para o preenchimento de trilhas de rodas pouco profundas (menores do que 20mm), contínuas, de profundidade pouco ou não variável, executados exclusivamente nas larguras com depressões geométricas (nas trilhas de rodas). Excepcionalmente, caso as condições estruturais admitam, pode-se realizar uma microfresagem superficial para acerto da geometria e do nivelamento (correção das irregularidades), seguida da execução de camadas delgadas (tratamentos superficiais de penetração invertida, lamas asfálticas, microrrevestimentos asfálticos a frio, e camadas usinadas delgadas).

Deve ser avaliada a solução de fresagem da camada asfáltica deformada, quando essa é a responsável pelos problemas de deformação, seguida pela execução de uma recomposição com mistura asfáltica devidamente dosada e testada. Se não for empregada a fresagem, são necessários frequentemente mais de 40mm de espessura de novo revestimento asfáltico para correções geométricas, porém essa solução depende do estado da superfície. Neste último caso, deve-se estar assegurado da possibilidade de alteamento da espessura do pavimento, sem que haja prejuízo de outras características geométricas e de drenagem.

As técnicas para restauração funcional para atender aos critérios e aos indicadores de aderência ou de ruído devem ser remetidas às soluções indicadas nas Tabelas 2.12 e 2.13, respectivamente.

Quando os pavimentos asfálticos estão muito deteriorados e demandam reabilitação envolvendo o revestimento asfáltico e a camada de base de forma generalizada, ou mesmo em casos mais graves que incluem a remoção de outras camadas subjacentes, o projetista deve programar a remoção dos materiais por fresagem profunda, procurando sempre o reaproveitamento ou a reciclagem dos materiais removidos. A programação pressupõe a fresagem em etapas distintas caso a separação de materiais das camadas originais seja necessária no projeto de reabilitação ou de reconstrução.

A reciclagem de fresados é altamente desejável pois são materiais nobres, com agregados pétreos e asfalto antigo. Recomenda-se fortemente a reciclagem dos fresados por técnica a quente (em usina), mornas (em usina) ou a frio (em usina ou por equipamento *in situ*) – ver Capítulo 1.

Em países desenvolvidos têm sido frequentemente empregados fresados em projetos de misturas asfálticas a quente, mesmo que em pequenas porcentagens (cerca de até 15%). Várias soluções de reciclagem a quente empregam porcentagens maiores de fresados, podendo chegar a 50%. Há algumas utilizações que ultrapassam estes valores, porém o controle é bastante mais delicado e complexo, levando seu emprego em camadas intermediárias e para menor volume de tráfego. A reciclagem em usina de fresados para confecção de misturas asfálticas mornas é uma das técnicas mais atuais.

A reciclagem a frio pode ser feita *in situ* ou em usina estacionária ou mesmo em usina móvel (ver Capítulo 3). Para tráfego **A** (alto) ou **MP** (muito pesado), recomenda-se fortemente que a reciclagem a frio seja feita em usina, de modo que se viabilize a visualização da superfície da estrutura de pavimento remanescente e, se necessário, que se tomem medidas corretivas localizadas, o que não é possível por reciclagem *in situ* (*in loco*), com equipamentos posicionados sobre o local de remoção e de recomposição.

Há atualmente no Brasil várias soluções de reciclagem a frio disponíveis, entre elas a que emprega espuma de asfalto e aquela com emulsão asfáltica e adição de fíler ativo. Essas soluções têm sido empregadas em projetos que prevejam a reciclagem de fresados asfálticos. A complementação com materiais britados novos e fíler depende das propriedades dos materiais fresados, da dosagem e do projeto estrutural. Geralmente

essas soluções de reciclagem a frio demandam a execução de uma camada de rolamento, podendo ser esta uma mistura usinada ou até mesmo um microrrevestimento asfáltico a frio, de maneira que a camada reciclada fique protegida do contato direto com os pneus dos veículos.

A incorporação dos materiais de base ao revestimento asfáltico fresado pode ser viável. Como todos os outros materiais, este também requer ensaios de laboratório para a dosagem e para a determinação de propriedades mecânicas.

A reciclagem de bases granulares por adição de cimento é uma outra alternativa, geralmente feita *in situ* ou através do uso de usina móvel. Estas soluções são concebidas para favorecer o enrijecimento da camada (e portanto do pavimento como um todo) ou para recuperar a rigidez original de bases cimentadas perdidas por fadiga ou por outros mecanismos de deterioração.

Tabela 2.14: Soluções para restauração estrutural e funcional e rodovias e vias urbanas (ver também Tabelas 2.15 e 2.16)

Tipos de problemas/defeitos	Selagem de trincas	Remendos/remendos profundos	Fresagem/remoção	Microrevestimento asfáltico ou lama asfáltica ou tratamento superficial de penetração invertida ⁽¹⁾	Recapeamento com mistura asfáltica usinada (reciclada ou não) (recomposição)	Recapeamento com mistura asfáltica usinada (recomposição ou não) + reforço estrutural)	Recapeamento com mistura asfáltica usinada com tratamento antirreflexão de trincas ⁽²⁾	Reciclagem de base e revestimento ⁽³⁾ + camada de rolamento asfáltica ⁽⁴⁾
Trincamento isolado – verificar as recomendações adequadas	✓							
	✓			✓				
	✓				✓			
Trincamento moderado em pequenas áreas		✓	✓					
		✓	✓	✓				
			✓		✓			
Trincamento de fadiga FC2 e FC3 ⁽⁵⁾			✓					
			✓			✓		
			✓				✓	
			✓					✓
			✓					
Trincamento de base e reflexão de trincas no revestimento			✓				✓	
			✓					✓
Restauração sobre placas de concreto de cimento	✓						✓	
Restauração sobre placas de concreto de cimento muito trincadas			✓ (6)				✓	
			✓ (7)					✓

- ▼ **Adequado:** produto/técnica cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
A não indicação de uso significa que se trata de uma solução não usual ou não indicada, ou mesmo economicamente inviável.
- (1) A escolha depende do tráfego, do tipo de obra e da disponibilidade de equipamentos.
- (2) Os tratamentos antirreflexão de trincas podem ser: (i) camada asfáltica usinada muito aberta; (ii) camada de SAMI; (iii) aplicação de geossintético – geogrelhas ou geotêxteis ou geogrelha combinado com geotêxtil; (iv) SAMI + geossintético.
- (3) Reciclagem *in situ* ou em usina (móvel ou fixa): (i) com espuma de asfalto; (ii) com emulsão asfáltica + cimento/cal; (iii) com soluções de reciclagem devem ser realizadas com adição ou não de materiais pétreos novos.
- (4) Sobre camadas recicladas, serão executadas camadas asfálticas de rolamento, cujo tipo e espessura dependem do projeto.
- (5) As soluções dependem da porcentagem de área trincada e do grau de severidade do trincamento.
- (6) Quebra das placas de modo que se produza uma camada granular de base.
- (7) Quebra e reaproveitamento como material para reciclagem.
- **Observações complementares:**
- As indicações pressupõem muitas vezes duas ou três soluções combinadas.
- Todas as soluções pressupõem um projeto específico e exigem um estudo cauteloso das causas que levam ao defeito para poder corrigi-lo.
- Trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural e/ou funcional.
- A ocorrência de vários tipos de defeitos pode levar a soluções combinadas com as demais tabelas apresentadas neste *Guia técnico* ou mesmo à reconstrução quando pertinente.
- Sugere-se fortemente o reaproveitamento do material asfáltico fresado em proporções a serem estudadas.

Tabela 2.15: Soluções para restauração estrutural e funcional ou reabilitação em rodovias e vias urbanas (ver também Tabelas 2.14 e 2.16)

Tipos de problemas/défeitos	Remendos/remendos profundos	Microfresagem/fresagem/remoção ⁽¹⁾	Microrevestimento asfáltico ou lama asfáltica ou tratamento superficial de penetração invertida	Recapeamento com mistura asfáltica usinada	Recapeamento com mistura asfáltica usinada + camada de reperfilagem ⁽²⁾	Reciclagem revestimento ⁽³⁾ + camada de rolamento asfáltica ⁽⁵⁾	Reciclagem de base e revestimento ⁽⁴⁾ + camada de rolamento asfáltica ⁽⁵⁾
Deformações localizadas	✓	✓					
Deformação permanente em trilhas de roda por consolidação ⁽⁶⁾				✓			
		✓	✓ ⁽⁹⁾		✓		✓
Deformação permanente em trilhas de roda por fluência principalmente ⁽⁷⁾		✓		✓			
		✓				✓	
Exsudação ⁽⁸⁾			✓	✓			
		✓				✓	
Escorregamento de massa		✓		✓			
		✓				✓	
Corrugação		✓		✓			
		✓			✓		✓

- ▼ **Adequado:** produto/técnica cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
 - (1) A escolha depende do estado da camada de rolamento e das condições de integridade e da espessura da camada de rolamento.
 - (2) A camada de reperfilagem é em geral constituída de agregados de menor dimensão para poder ser executada em espessura variável de modo a corrigir o nivelamento da superfície. Superfícies muito deformadas devem ser fresadas.
 - (3) Reciclagem em usina (móvel ou fixa): (i) a quente; (ii) morna; (iii) a frio. Todas as soluções de reciclagem com adição ou não de materiais pétreos novos e adição de ligantes novos.
 - (4) Reciclagem *in situ* ou em usina (móvel ou fixa): (i) com espuma de asfalto; (ii) com emulsão asfáltica + cimento/cal; (iii) com cimento. Todas as soluções de reciclagem devem ser realizadas com adição ou não de materiais pétreos novos.
 - (5) Sobre camadas recicladas, serão executadas camadas asfálticas de rolamento, cujo tipo e espessura dependem do projeto.
 - (6) As soluções para os casos de deformação por consolidação devem ser estudadas pois devem requerer em geral reforços estruturais.
 - (7) Caso o revestimento asfáltico apresente pequena instabilidade pode ser possível a execução de nova camada de rolamento sobre esta. No entanto, a maior parte das vezes, requer-se a remoção da camada asfáltica instável para a execução de nova camada asfáltica.
 - (8) Dispensa-se a microfresagem, ou mesmo a fresagem, caso seja viável a execução de camada executada diretamente sobre a área exsudada e onde as deformações permanentes sejam pouco significativas.
 - (9) Recomendado somente a aplicação de microrrevestimento para o preenchimento de trilhas de roda com equipamentos dedicados para este fim (afundamentos inferiores a 2,0cm) e provenientes da consolidação apenas do revestimento asfáltico.
- **Observações:**
 - As indicações pressupõem muitas vezes duas ou três soluções combinadas.
 - Todas as soluções pressupõem um projeto específico e exigem um estudo cauteloso das causas que levam ao defeito para poder corrigi-lo.
 - Trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural e/ou funcional.
 - A ocorrência de vários tipos de defeitos pode levar a soluções combinadas com as demais tabelas apresentadas neste *Guia técnico* ou mesmo à reconstrução quando pertinente.
 - Sugere-se fortemente o reaproveitamento do material asfáltico fresado em proporções a serem estudadas.

Tabela 2.16: Soluções para restauração estrutural e funcional e funcional ou reabilitação em rodovias e vias urbanas (ver também Tabelas 2.14 e 2.15)

Tipos de problemas/defeitos	Remendos/remendos profundos	Fresagem/remoção	Microrrevestimento asfáltico ou lama asfáltica ou tratamento superficial de penetração invertida	Recapeamento com mistura asfáltica usinada	Recapeamento com mistura asfáltica usinada + reforço estrutural	Recapeamento com mistura asfáltica usinada com tratamento antirreflexão de trinças ⁵⁾	Reciclagem de revestimento ⁽¹⁾ + camada de rolamento asfáltica ⁽³⁾	Reciclagem de base e revestimento ⁽²⁾ + camada de rolamento asfáltica ⁽³⁾
Ondulação ⁽⁴⁾		✓		✓				
		✓					✓	
Painéis ⁽⁵⁾	✓							
		✓		✓				
		✓			✓			
		✓				✓		
		✓					✓	
Desagregação com perda de mástico ou de agregados		✓		✓				
		✓		✓				
		✓					✓	
Bombeamento de finos ⁽⁶⁾	✓							
			✓	✓				
		✓		✓				
Falha de aderência em pista molhada ⁽⁷⁾		✓						
		✓						
		✓						✓
Ruído elevado ao rolamento ⁽⁸⁾				✓				

- ✓ **Adequado:** produto/técnica cuja aplicação pode levar ao sucesso técnico (pressupõe realização de ensaios de dosagem e de propriedades, seguindo especificações, e aplicação dentro das boas técnicas executivas).
 - (1) Reciclagem em usina (móvel ou fixa): (i) a quente; (ii) morna; (iii) a frio. Todas as soluções de reciclagem devem ser executadas com adição ou não de materiais pétreos novos e adição de ligantes novos.
 - (2) Reciclagem *in situ* ou em usina (móvel ou fixa): (i) com espuma de asfalto; (ii) com emulsão asfáltica + cimento/cal; (iii) com cimento. Todas soluções de reciclagem devem ser executadas com adição ou não de materiais pétreos novos.
 - (3) Sobre as camadas recicladas, serão executadas camadas asfálticas de rolamento, cujo tipo e espessura dependem do projeto.
 - (4) Os problemas de ondulação estão interligados em geral a problemas geotécnicos ou a existência de solo mole. Neste último caso, qualquer camada complementar executada irá propiciar aumento da carga e nova possibilidade de recalque.
 - (5) Depende muito do nível de severidade e da porcentagem de área atingida.
 - (6) Problemas de drenagem que devem ser corrigidos antes de qualquer solução de restauração/reabilitação.
 - (7) Ver Tabela 2.12.
 - (8) Ver Tabela 2.13.
- Observações:**
- As indicações pressupõem muitas vezes duas ou três soluções combinadas.
 - Todas soluções pressupõem um projeto específico e requerem um estudo cauteloso das causas que levam ao defeito para poder corrigi-lo.
 - Trata-se de sugestão de seleção de uso e não assegura sucesso caso não sejam feitos os ensaios de caracterização de materiais, dosagem e determinação de propriedades mecânicas e hidráulicas indicados para cada caso, que acompanhem um projeto estrutural e/ou funcional.
 - A ocorrência de vários tipos de defeitos pode levar a soluções combinadas com as demais tabelas apresentadas neste *Guia técnico* ou mesmo à reconstrução quando pertinente.
 - Sugere-se fortemente o reaproveitamento do material asfáltico fresado em proporções a serem estudadas.

O bom desempenho de revestimentos e de tratamentos de superfícies asfálticas 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 e controle tecnológico dos serviços.

As misturas asfálticas a quente são as mais empregadas na pavimentação rodoviária do país. As misturas asfálticas são constituídas por agregados distribuídos em granulometria definida e CAP convencionais ou modificados, ambos aquecidos e misturados em proporções pré-definidas, em usinas asfálticas apropriadas. Estes assuntos sobre usinagem e execução das camadas asfálticas são tratados no Capítulo 3 a seguir.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AASHTO – AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO interim guide for the structural design of flexible pavements. AASHTO Committee on Design, Washington, D.C., 1961.

ABEDA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS. Manual básico de emulsões asfálticas. 2. ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2010.

_____. Temperatura de manuseio e trabalhos com ligantes asfálticos a quente. Informativo Técnico nº 3. 2011.

_____. Diretrizes para execução e controle de qualidade de misturas asfálticas a quente. Informativo Técnico nº 5. 2013.

_____. Diretrizes para execução e controle de qualidade de microrrevestimento asfáltico a frio. Informativo Técnico nº 6. 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7208 – Materiais betuminosos para emprego em pavimentação. Rio de Janeiro, 1990.

AI – ASPHALT INSTITUTE. Alternatives in pavement maintenance, rehabilitation and reconstruction. Asphalt Institute. Information Series nº 178 (IS-178). 2005.

_____. Mixture classification of hot-mix asphalt. Asphalt Institute. Information Series nº 187 (IS-187).

- AIREY, G.D. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens. *Fuel*, v. 82, p. 1709-1719, 2003.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em: http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2005/janeiro/ranp%20%20-%202005.xml. Acesso em: 2 out. 2013.
- APA. Pavement type selection. The Asphalt Pavement Alliance. IM-45. 2010.
- APS, M. Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transpores da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2006.
- ASPHALT INSTITUTE. Asphalt Institute ES-2. Vibratory compaction of asphalt paving mixtures. 2. ed.
- _____. Asphalt Institute ES-9. Factors affecting compaction.
- _____. Asphalt Institute IS-201. Grade controls guidelines for smooth HMA pavements.
- _____. Asphalt Institute MS-22. Construction of hot mix asphalt pavements. 2. ed.
- _____. Asphalt Institute MS-4. The asphalt handbook. 7. ed. 2007.
- _____. The asphalt handbook. Manual series, n. 4 (MS-4), College Park, 1956. p. 46-8. Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types. Manual series n. 2, 1995.
- ARRA – ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION. Manual básico de reciclagem de materiais de pavimentação. Asphalt Recycling and Reclaiming Association. Tradução. FRESAR Tecnologia de Pavimentos Ltda., 2001.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E1845-09. Standard practice for calculating pavement macrotexture mean profile depth. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2009.
- _____. ASTM E1960-07. Standard practice for calculating international friction index of a pavement surface. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2011.
- _____. ASTM E274/E274M-11. Standard test method for skid resistance of paved surfaces using a full-scale tire. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2011.
- _____. ASTM E2793-10. Standard guide for the evaluation, calibration, and correlation of E274 friction measurement systems and equipment. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2010.

- . ASTM E2883-13. Standard guide for the evaluation, and calibration, continuous friction measurement equipment (CFME). American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2013.
- . ASTM E303 – 93. Standard test method for measuring surface frictional properties using the British pendulum tester. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2013.
- . ASTM E965-96. Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2006.
- BENNERT, T.; MAHER, A. Field and laboratory evaluation of a reflective crack interlayer in New Jersey. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, n. 2084, p. 114-123, 2008.
- BENNERT, T.; WORDEN, M.; TURO, M. Field and laboratory forensic analysis of reflective cracking on Massachusetts Interstate 495. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, n. 2126, p. 27-38, 2009.
- BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras/Asfaltos; Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, 2006.
- BLANKENSHIP, P.; IKER, N.; DRHOHLAV, J. Interlayer and design considerations to retard reflective cracking. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. 1896, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 177-186, 2004.
- BROSSEAUD, Y. Reciclagem de misturas asfálticas: evolução após 20 anos e a situação atual na França. In: 3. SALÃO DE INOVAÇÃO ABCR – 7. CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS E CONCESSÕES, Foz do Iguaçu – PR, 2011.
- CALLAI, S.C. Estudo do ruído causado pelo tráfego de veículos em rodovias com diferentes tipos de revestimentos de pavimentos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2011.
- CASTRO NETO, A.M. Proposta de projeto de dosagem de concreto betuminoso reciclado a quente. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica / USP – Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo – SP, 2000.
- CASTRO, P.B. Avaliação de agregados da Região Metropolitana de Fortaleza para aplicação em microrrevestimento asfáltico a frio. Monografia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

- CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – Brasil, 2014. Disponível em: http://www.cempre.org.br/ciclosoft_2012.php. Acessado em: 14 fev. 2014.
- CERATTI, J.A.P.; REIS, R.M.M. Manual de dosagem de concreto asfáltico. Instituto Pavimentar. Petrobras, Abeda e Aneor, 2011.
- _____. Manual de microrevestimento asfáltico a frio. Instituto Pavimentar. Petrobras, Abeda e Aneor, 2011.
- CHAVES, J.M.C.; CASTRO, F.; MOREIRA, M.; ALBA, V.; MARCANDALI, A. Operação de usinas de asfalto com qualidade. Paulista Infraestrutura Ltda., 2010.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE nº 307 – Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. 2002.
- CORTÉ, J.F. Use of modified bituminous binders, special bitumens and bitumens additives in pavement applications – Permanent International Association of Road Congresses103 (PIARC). Technical Committee on Flexible Roads – Italy, 1998.
- DEINFRA-SC-ES-P-11/14. Tratamento Superficial - Minuta.
- DEINFRA-ES-P 20/00. Microrrevestimento asfáltico a frio. Especificações gerais para serviços e obras rodoviárias. Pavimentação, 2000.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 155/2010-ME. Material asfáltico – determinação da penetração – método de ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. DNIT 006/2003 – PRO. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasil.
- _____. DNIT 007/2003 – PRO. Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos – procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasil.
- _____. DNIT 008/2003 – PRO. Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasil.
- _____. DNIT 035/2005-ES. Pavimentos flexíveis – microrrevestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2005.

- _____. DNIT 112/2009-ES. Pavimentos flexíveis – concreto asfáltico com asfalto borracha, via úmida, do tipo “terminal blending” – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. DNIT. Manual de pavimentação. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. IPR Publicação 719. Ministério dos Transportes. Brasília, 2006a.
- _____. DNIT. Manual de restauração de pavimentos asfálticos. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. IPR Publicação 720. Ministério dos Transportes. Brasília, 2006b.
- EAPA – EUROPEAN ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. Asphalt in figure 2010. Disponível em: http://eapa.org/usr_img/Asphalt%20in%20figures%20Version%2022-12-2011.pdf. Acessado em: 16 jan. 2013, 2011.
- FERREIRA, P.N. Estudo da utilização de revestimentos asfálticos delgados a quente para pavimentos tipo BBTM no Brasil. 200f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- FRAENTZIS, P. Development of crumb rubber reinforced bituminous binder under laboratory conditions. *Journal of Materials Science*, v. 38, p. 1397-1401. 2003.
- FRANCO, F.A.C.P. Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – Sispav. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- GARCÍA-MORALES, M.; PARTAL, P.; NAVARRO, F.J.; MARTÍNEZ-BOZA, F.J.; GALLEGOS, C. Process rheokinetics and crostructure of recycled EVA/LDPE – modified bitumen. *Rheol Acta*, v. 45, p. 513-524; 2006.
- HIGHWAY RESEARCH BOARD. The AASHO road test. Special Rep. n. 61A-E, National Academy of Science, National Research Council, Washington, D.C, 1962.
- IMPERPAV PROJETOS E CONSULTORIA. Estudo comparativo: CAP 30-45 e CAP 50-70 sua utilização em revestimentos asfálticos. Relatório Técnico. Editora ABCR, 2008.
- INSTITUTO PAVIMENTAR. Curso de aperfeiçoamento em operação de usina de asfalto. Petrobras, Abeda e Aneor. 2013.
- _____. Curso de aperfeiçoamento em operação de usina de microrrevestimento asfáltico a frio. Petrobras, Abeda e Aneor. 2012.
- ISACSSON, U.; LU, X. Modification of road bitumens with thermoplastic polymers. *Polymer Testing*, v. 20, p. 77-86, 2001.

- ISO 13473-1:1997. Characterization of pavement texture by use of surface profiles – part 1: determination of mean profile depth.
- ISSA – INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION. ISSA A-143. Recommended performance guideline for micro surfacing. Annapolis, MD. Estados Unidos, 2010.
- JAHROMI, S.G.; KHODAI, A. Construction and Building Materials, n. 23, p. 2894-2904, 2009.
- JIN, H.; GAO, Z.; ZHANG, Y.; SUN, K.; FAN, Y. Improved properties of polystyrene-modified asphalts through dynamic vulcanization. Polymer Testing, v. 21, p. 633-640, 2002.
- LCPC. Manual LPC de ayuda en la formulación de mezclas bituminosas em caliente. Coord: Jean-Luc Delorme, Chantal de la Roche, Louise Wendling. Laboratoire Central de Ponts et Chaussées. Paris, 2005.
- LEITE, L.F.M. Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros. Tese de Doutorado – Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1999.
- LIMA, A.T. Caracterização mecânica de misturas asfálticas recicladas a quente. Dissertação de Mestrado, Petran/UFC – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Transportes, Fortaleza, CE, 2003.
- LOGARAJ, S.; ALMEIDA, A. Surface-active bitumen additive for warm mix asphalt with adhesion promoting properties. Akzo Nobel Surface Chemistry LLC Paper. USA, 2009.
- LOIOLA, P.R.R. Estudo de agregados e ligantes alternativos para emprego em tratamentos superficiais de rodovias. Dissertação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- MAKOWSKI, L.; BISCHOFF, D.L.; BLANKENSHIP, P.; SOBCHAK, D.; HAULTER, F. Wisconsin experiences with reflective crack relief projects. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. 1905, p. 44–55, 2005.
- MELO, A.L. Tratamentos superficiais. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Recife, 1978.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Reciclagem – Brasil, 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/7656>. Acessado em: 14 fev. 2014.
- MORALES, M.G.; PARTAL, P.; NAVARRO, F.J.; BOZA, F.M.; GALLEGOS, C.; GONZÁLEZ, N.; GONZÁLEZ, O.; MUÑOZ, M.E. Fuel, v. 83, p. 31-38; 2004.

- MORILHA, A.J.; Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento nos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadigas das misturas asfálticas. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- NAPA – NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. NAPA. HMA pavement mix type selection guide. National Asphalt Pavement Association. FHWA. Information Series 128. Washington, 2001.
- _____. NAPA. Design, construction and maintenance of open-graded asphalt friction courses. National Asphalt Pavement Association IS-115. 2002.
- _____. NAPA. Rollers operations for quality. National Asphalt Pavement Association IS-121, 2001.
- _____. NAPA. Pavers operations for quality. National Asphalt Pavement Association IS-125/2002.
- _____. NAPA. Warm-mix asphalt: contractors' experiences. National Asphalt Pavement Association IS-134. 2008.
- _____. NAPA. Best practices for emulsion tack coats. National Asphalt Pavement Association QIP-128. 2013.
- _____. NAPA. Designing and constructing SMA mixtures – state-of-the-practice. National Asphalt Pavement Association QIS-122. 2002.
- _____. NAPA. Warm-mix asphalt: best practices. National Asphalt Pavement Association QIS-125. 2007.
- _____. NAPA. Rolling and compaction of hot mix asphalt pavement. National Asphalt Pavement Association TAS-15.
- NCHRP. A manual for design of hot-mix asphalt with commentary. National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board. NCHRP Report 673. Washington, 2011.
- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. 213 p. São Paulo: Editora Villibor, 1995.
- PEREIRA, S.L.O. Avaliação dos tratamentos superficiais simples, duplo e triplo de rodovias através do emprego de diferentes agregados da Região Metropolitana de Fortaleza. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- PINTO, S. Tratamento superficial betuminoso. Instituto Militar de Engenharia – IME/RJ, 2002.
- POLACCO, G.; STASTNA, J.; BIONDI, J.; ZANZOTTO, L. Relation between polymer architecture and non linear viscoelastic behavior of modified asphalts. Current Opinion in Colloid in Interface Science, v. 11, p. 230-245; 2006.

- PROAS. Vademécum de pavimentación. Coord. Felix Edmundo Pérez Jimenez. Madrid: Productos Asfálticos SA., 2011.
- REIS, R.M.M. Investigação de campo e laboratório sobre revestimento asfáltico ultra delgado. 2012. 317 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- SANTO, N.R.E.; REIS, R.M.M. Microrrevestimento asfáltico a frio. Uma inovação tecnológica para tratamentos de superfície. 1999.
- SHIMAZAKI, M.K.; TAKAHASHI, M.; KASAHARA, A. Development of high performance asphalt for prevention of reflective cracking. Compendium of Papers from the First International Conference on Pavement Preservation, Chapter 4: Paper 71, pp. 227-244, 2010.
- SHRP – STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM A-410. Superior performing asphalt pavements (Superpave): The Product of SHRP Asphalt Research Program. National Research Council. Washington, DC, 1994.
- SILVA, I.S. Contribuição ao estudo do envelhecimento de ligantes asfálticos. Influência da adição de polímeros e comportamento frente à radiação UV. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais); Escola de Engenharia – UFRGS; Porto Alegre, 2005.
- STRUFALDI, E.G.B.; BERNUCCI, L.L.B.; APS, M.; VITTORINO, F.; SOUZA, D.R. Traffic noise reduction using porous asphalt course as an overlay of a Portland cement concrete pavement in Sao Paulo, Brazil. In: 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering., 2010, Lisboa. Noise and sustentability, 2010.
- SHELL BITUMEN. The Shell Bitumen handbook. 5. ed. Shell Bitumen, 2003.
- VIEIRA, T. Asphalt pavement surface analysis and its effects on the tire – pavement friction and on noise generation. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2014.
- VILLELA, A.R.A. Estudo de camada de base asfáltica de módulo elevado para restauração de rodovias de tráfego muito pesado. Tese de Doutorado, Poli/USP, 2012.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS

www.abeda.org.br

ISBN 978-85-69658-00-9



9 788569 658009