



Publicação IPR 747

**DIRETRIZES BÁSICAS PARA
EXECUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS
MORNAS COM O USO DE ADITIVOS
SURFACTANTES**

2018

**MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA GERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS**

MINISTRO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL
Valter Casimiro Silveira

DIRETOR GERAL DO DNIT
Halpher Luiggi Mônico Rosa

DIRETOR DE PLANEJAMENTO E PESQUISA DO DNIT
André Martins de Araújo

COORDENADORA DO INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS
Luciana Nogueira Dantas

**DIRETRIZES BÁSICAS PARA
EXECUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS
MORNAS COM O USO DE ADITIVOS SURFACTANTES**

Equipe Técnica:

Luciana Nogueira Dantas
Nelson Wargha Filho

Colaboradores Técnicos:

Laura Maria Goretti da Motta
Leni Figueiredo Mathias Leite
Prepredigna Delmiro Elga Almeida da Silva

Supervisão:

Heloisa Maria Moreira Monnerat
João Misquita Ramos
Pedro Mansour

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
Diretoria Geral. Diretoria de Planejamento e Pesquisa.
Instituto de Pesquisas Rodoviárias.
Diretrizes básicas para execução de misturas asfálticas mornas
com o uso de aditivos surfactantes. - Rio de Janeiro, 2018.
48 p. (IPR. Publ., 747).

1. Materiais betuminosos. 2. Concreto asfáltico - Aditivos.
3. Pavimentação. I. Série. II. Título.

Reprodução permitida desde que citado o DNIT como fonte.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA GERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS

Publicação IPR 747

**DIRETRIZES BÁSICAS PARA
EXECUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS
MORNAS COM O USO DE ADITIVOS SURFACTANTES**

RIO DE JANEIRO

2018

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA GERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS
Rodovia Presidente Dutra, km 163 – Vigário Geral
CEP.: 21.240-000 – Rio de Janeiro/RJ
Tel.: (21) 3545-4504/4752/4753

e-mail: ipr@dnit.gov.br

TÍTULO: DIRETRIZES BÁSICAS PARA EXECUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS COM O USO DE ADITIVOS SURFACTANTES

Elaboração: DNIT/IPR

Aprovado pela Diretoria Colegiada do DNIT em 17/04/ 2018

Processo: 50600.015675/2015-57

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, Órgão executivo ligado ao Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil, tem regimentalmente a responsabilidade, por meio da Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR, de prover os profissionais da área rodoviária com diretrizes referentes à utilização de novas tecnologias de misturas asfálticas.

Este documento apresenta orientações práticas com o objetivo de promover o emprego de Misturas Asfálticas Mornas com a utilização de aditivos surfactantes, uma tecnologia que utiliza temperaturas de serviço abaixo das usualmente empregadas quando se compara à produção de misturas asfálticas a quente. O emprego das misturas asfálticas mornas vem crescendo nos últimos anos devido às maiores exigências em relação ao desenvolvimento sustentável e à preservação das condições de segurança, meio ambiente e saúde (SMS).

Entre as vantagens de utilização da técnica destacam-se a redução do envelhecimento do ligante asfáltico, a possibilidade de aumento na distância de transporte da massa e a execução em climas mais frios sem danos para a mistura, bem como a melhora nas condições de trabalho dos profissionais envolvidos na produção e aplicação. Este documento foi desenvolvido a partir de práticas internacionais e nacionais, além da verificação *in loco* de peculiaridades no processo de produção, espalhamento e compactação das misturas mornas.

A presente publicação está dividida nas seguintes seções:

Seção 1: Introdução;

Seção 2: Noções gerais sobre misturas mornas;

Seção 3: Aspectos práticos;

Seção 4: Execução de misturas asfálticas mornas com a utilização de aditivos surfactantes.

É muito importante para o aperfeiçoamento destas Diretrizes que sejam apresentadas sugestões, críticas e comentários, que podem ser encaminhados para o Instituto de Pesquisas Rodoviárias, e-mail: ipr@dnit.gov.br.

LUCIANA NOGUEIRA DANTAS

Coordenadora do Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

NBR – Norma Brasileira Registrada.

Warm Mix Asphalt – Termo utilizado quando se refere às misturas asfálticas mornas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das misturas asfálticas em função da temperatura de produção.....	23
Figura 2 - Exemplo de depósito de agregados coberto.....	33
Figura 3 - Exemplo de correia transportadora de agregados coberta.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Benefícios e vantagens esperados com o uso de misturas mornas.	27
Tabela 2 - Especificações em vigor para produção de misturas a quente	37
Tabela 3 - Valores de referência de FN (Flow Number)	41

SUMÁRIO

SUMÁRIO

Apresentação.....	7
Lista de símbolos e abreviaturas	9
Lista de figuras.....	10
Lista de tabelas.....	11
Sumário	13
1 Introdução	17
2 Noções gerais sobre misturas mornas	21
2.1 Definição	23
2.2 Tecnologias existentes na produção de misturas asfálticas mornas	23
2.2.1 Formação de espuma	24
2.2.2 Aditivos surfactantes	24
2.2.3 Aditivos orgânicos/ceras	24
2.2.4 Outros aditivos	25
2.3 Vantagens na utilização de misturas mornas.....	25
3 Aspectos práticos	29
3.1 Processo de dosagem das misturas asfálticas mornas com aditivos químicos surfactantes	31
3.2 Tipos de usina utilizados na produção das misturas asfálticas mornas com aditivos químicos surfactantes	31
3.3 Incorporação do aditivo surfactante	31
3.4 Temperatura de aquecimento máxima do ligante asfáltico	32
3.5 Temperatura de usinagem e compactação da mistura asfáltica morna.....	32
3.6 Utilização da cal na produção de misturas asfálticas mornas	32
3.7 Utilização de agregados com taxas elevadas de absorção.....	32
4 Execução de misturas asfálticas mornas com a utilização de aditivos surfactantes.....	35
4.1 Procedimentos.....	37
4.2 Materiais	37
4.2.1 Materiais asfálticos.....	37
4.2.2 Aditivos químicos surfactantes.....	38
4.2.3 Agregados.....	39
4.2.3.1 Agregado graúdo.....	39
4.2.3.2 Agregado miúdo	39

4.2.3.3 Material de enchimento (filler)	39
4.2.4 Melhorador de adesividade.....	40
4.3 Composição da mistura	40
4.4 Equipamentos e execução	41
Referências Bibliográficas	43

1 INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Questões ligadas à sustentabilidade ambiental têm promovido alterações nos diversos meios de produção em todo o mundo. Esse tema tem igualmente mobilizado o setor rodoviário, pois se sabe que a produção de misturas asfálticas pode causar diversos danos ao meio ambiente e aos trabalhadores envolvidos no processo.

Os revestimentos asfálticos são responsáveis por resistir às cargas, impermeabilizar a estrutura do pavimento trazendo conforto e segurança aos usuários das rodovias. Apesar deste perfil ter elevada importância, modificações devem ser implementadas no processo produtivo de misturas asfálticas a quente para minimizar os danos ao meio ambiente e aos trabalhadores, causados pelo processamento e aplicação a altas temperaturas sem, entretanto, afetar o desempenho dessas misturas.

Nesse aspecto, as misturas conhecidas internacionalmente como “*Warm Mix Asphalt*”, ou seja, Misturas Asfálticas Mornas estão sendo cada vez mais utilizadas. A característica marcante desse tipo de mistura diz respeito às temperaturas de usinagem e de compactação, as quais são inferiores às temperaturas usualmente utilizadas no processamento e aplicação de misturas a quente.

Percebe-se que este tipo de mistura apresenta forte crescimento em muitos países, como por exemplo, os Estados Unidos, cuja produção saltou de 17 milhões de toneladas em 2009 para uma quantidade estimada de 114 milhões de toneladas em 2014, totalizando naquele ano 1/3 do mercado total de misturas asfálticas (JOHNSTON *et al.*, 2015).

A redução das temperaturas de usinagem e de compactação de misturas asfálticas é alcançada pelo emprego de aditivos e/ou de procedimentos, que podem proporcionar vantagens técnicas, econômicas e ambientais. A presente publicação tem o objetivo de apresentar orientações de ordem prática sobre a utilização de misturas asfálticas mornas, especificamente com o uso de uma família de produtos em particular que são os aditivos surfactantes.

2 NOÇÕES GERAIS SOBRE MISTURAS MORNAS

2. NOÇÕES GERAIS SOBRE MISTURAS MORNAS

2.1 Definição

A produção de misturas asfálticas pode gerar expressivos danos ao meio ambiente. Desta forma, desde a última década há um relevante interesse no sentido de implementação de pesquisas em diversos países, buscando-se uma minoração de danos ambientais mediante a redução de emissões de gases de efeito estufa e da utilização de recursos naturais. A partir deste pensamento surgiu na Europa uma tecnologia capaz de reduzir a temperatura de fabricação das misturas asfálticas, as quais são mais conhecidas como Misturas Asfálticas Mornas (PROWELL, 2007; CHOWDHURY e BUTTON, 2008).

A diminuição do consumo de energia, a redução de emissões de gases de efeito estufa e a melhoria da saúde dos trabalhadores envolvidos no processo fazem das misturas asfálticas mornas uma tecnologia de interesse, com aplicação cada vez mais frequente em diversos países e que pode ser executada através de diferentes técnicas e diversos tipos de aditivos (PROWELL, 2007).

São consideradas misturas mornas aquelas produzidas na faixa de temperatura de 100 a 150 °C. Acima de 150 °C são as misturas a quente, entre 60 e 100°C são as misturas semimornas e em temperatura ambiente são as misturas a frio. A Figura 1 ilustra essa divisão de nomenclatura, além de indicar, de forma aproximada, o consumo de energia utilizado na produção de cada tipo de mistura.

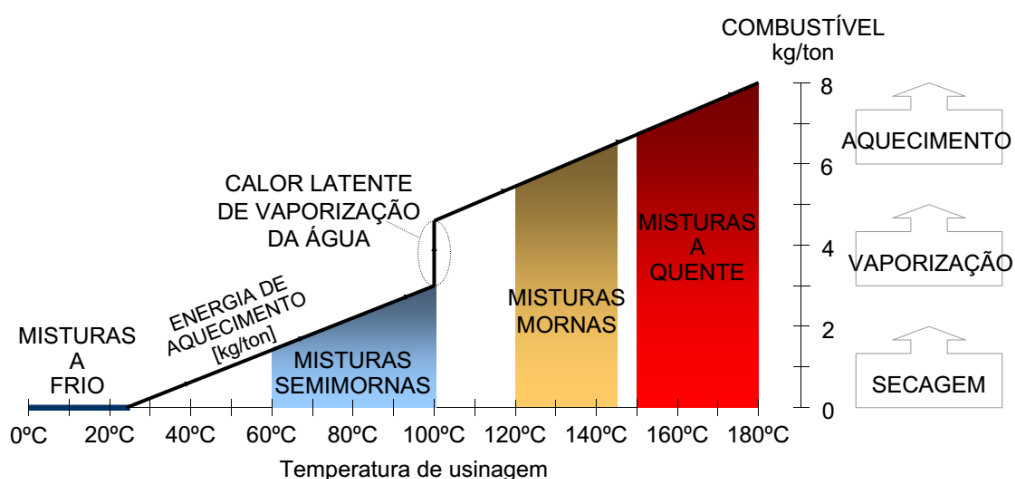


Figura 1 - Classificação das misturas asfálticas em função da temperatura de produção
Fonte: Prowell (2007) adaptado por Motta (2011)

2.2 Tecnologias existentes na produção de misturas asfálticas mornas

Pode-se separar os produtos e técnicas para produção de misturas mornas, em quatro tipos:

2.2.1 Formação de espuma

A técnica da formação de espuma consiste na adição de uma pequena quantidade de água no ligante asfáltico, direta ou indiretamente (agregado úmido ou material hidrofílico), produzindo uma reação térmica entre a água (temperatura ambiente) e o CAP (quente), formando a espuma de asfalto.

A interação ligante/água diminui a viscosidade do CAP, permitindo desta forma a redução da temperatura de usinagem, facilitando a compactação em campo (CHOWDHURY e BUTTON, 2008). Algumas técnicas que promovem a formação de espuma são:

- Advera WMA e Aspha-Min: Utilizam zeólitas sintéticas;
- Low Energy Asphalt (LEA): Utiliza agregados úmidos e é considerada uma mistura semi-morna;
- Double Barrel Green, WMA Terex e câmara de espumação CIBER: Técnica com injeção de água no momento da produção da mistura;
- WAM-Foam: Utiliza agregados úmidos.

2.2.2 Aditivos surfactantes

Os aditivos químicos atuam como agentes ativos de superfície, conseguindo reagir simultaneamente com o ligante e com o agregado, melhorando a lubricidade do ligante asfáltico. Dessa forma, a redução da temperatura de produção é obtida pelo melhor envolvimento entre o ligante e o agregado, mesmo em baixas temperaturas.

Por essa razão, esse tipo de aditivo é também considerado um melhorador de adesividade, além de permitir uma trabalhabilidade da mistura na fase de espalhamento e compactação. Na classe dos aditivos surfactantes podem ser encontrados diversos produtos comerciais, tais como Evotherm®, Rediset®, Cecabase®, Gemul® e outros.

2.2.3 Aditivos orgânicos/ceras

Os aditivos orgânicos/ceras são também conhecidos como fíleres inteligentes, pois promovem uma redução da viscosidade do CAP na temperatura de produção e de compactação das misturas asfálticas e um aumento dessa viscosidade na temperatura de serviço do revestimento.

Essa característica pode promover um aumento na resistência à deformação permanente das misturas asfálticas, especialmente quando aplicadas em locais em que a temperatura de serviço é elevada (CROTEAU e BERNARD, 2008).

Alguns aditivos existentes nesta classe são Sasobit®, CCBIT 113AD® e Asphaltan-B®.

2.2.4 Outros aditivos

Outros aditivos podem ser encontrados para a redução das temperaturas de produção de misturas asfálticas. A classe deles não está bem definida. Algumas pesquisas os consideram como aditivos químicos, enquanto outras os consideram como aditivos orgânicos.

Isso ocorre porque eles apresentam características de ambas as classes. Entre esses aditivos estão o Shell Thiopave® e o TLA-X, os quais agem como modificadores do ligante, em virtude dos teores mais elevados de adição do produto, que ficam em torno de 25 % em peso.

2.3 Vantagens na utilização de misturas mornas

São vários os aspectos do processo de produção e aplicação das misturas mornas que podem ser consideradas como vantagens da técnica:

a) Menor emissão de poluentes atmosféricos:

Wall (2012) cita que pesquisas realizadas pela Associação Europeia de Pavimentação (EAPA) mostram que a diminuição de 10 °C na temperatura de produção das misturas pode cortar a emissão de aerossóis pela metade.

Motta (2011) elaborou um estudo visando avaliar a diminuição do consumo energético e da emissão de poluentes gerados pela mistura morna, em comparação com as misturas produzidas a temperaturas convencionais (elevadas). Foi verificado que a concentração de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) liberados durante a produção, para as misturas mornas, foi cerca de três vezes inferior quando comparado à mistura a quente. Alguns compostos de HPAs são suspeitos de serem mutagênicos ou carcinogênicos e qualquer redução no nível de emissão destes é importante.

b) Melhoria do ambiente de trabalho na pavimentação

Considerando a expressiva redução de emissão de poluentes encontrada em vários estudos, como por exemplo em Motta (2011), pode-se estimar os benefícios trazidos aos trabalhadores envolvidos no processo, tanto de produção quanto de aplicação das misturas.

c) Diminuição do consumo energético

Motta (2011) estimou uma redução no consumo de energia utilizado na produção das misturas em torno de 15%, valor inferior ao indicado por Prowell (2007), mas igualmente substancial.

Fritzen et al. (2009) estimaram a redução de 30 % na redução de energia de mistura morna espumada pelo processo de agregado úmido.

Wargha Filho (2013) estimou uma redução de 23 % a 35 % no consumo de combustível utilizado, dependendo da técnica aplicada.

Merighi (2015) obteve economia de 20 % de GLP para produção de mistura morna, em comparação com a mistura produzida à temperatura convencional.

d) Utilização de maior percentagem de material fresado

Outro ponto importante que se tem observado nos estudos é a possibilidade da utilização de material fresado na composição das misturas mornas, já que a técnica minimiza os efeitos da elevada temperatura utilizada para o aquecimento do material fresado na técnica convencional.

Oliveira (2013) avaliou o desempenho de misturas asfálticas recicladas mornas.

Genesseeaux (2015) verificou a combinação de misturas mornas utilizando elevado teor de material fresado (50 %).

Zubaran (2014) e Zubaran e Motta (2015) mostram estudos de laboratório, usinagem e aplicação de mistura morna produzida por espuma de asfalto em um trecho experimental feito com 50 % de fresado.

- e) Menor dificuldade de aplicação em épocas ou locais de clima muito frio e maior habilidade de transporte por longas distâncias

Em situações onde há grandes preocupações com a queda de temperatura da mistura, causando dificuldade de compactação e possível perda do material, as misturas asfálticas mornas se apresentam como uma excelente opção, pois a taxa de resfriamento é dada pela diferença de temperatura entre a mistura asfáltica e o meio ambiente e, assim, a mistura produzida em temperatura mais baixa esfria a uma taxa menor Prowell (2007).

- f) Menor envelhecimento do ligante asfáltico

A diminuição da temperatura durante a usinagem acarreta menor oxidação do ligante asfáltico, reduzindo seu endurecimento, aumentando a resistência à fadiga e, consequentemente, a durabilidade do pavimento. Prowell (2007), conforme indicado na Tabela 1, apresenta de forma resumida as vantagens citadas.

Tabela 1 - Benefícios e vantagens esperados com o uso de misturas mornas.

Benefícios	Dados Esperados	
Redução das Emissões (%)	CO ₂	30-40
	SO ₂	35
	VOC	50
	NOX	60-70
	POEIRA	20-25
	CO	10-30
Redução do consumo de combustível (%)	20-35 %, podendo chegar a 50 % ou mais, no caso da técnica utilizando o agregado úmido.	
No pavimento	Melhoria da trabalhabilidade para maiores distâncias de transporte e de aplicação e menor esforço de compactação.	
Saúde dos trabalhadores envolvidos	30-50 % de redução na exposição aos fumos do asfalto, em comparação com a mistura a quente.	

Fonte: Adaptado de Prowell (2007)

3 ASPECTOS PRÁTICOS

3. ASPECTOS PRÁTICOS

3.1 Processo de dosagem das misturas asfálticas mornas com aditivos químicos surfactantes

As misturas mornas produzidas com aditivos químicos surfactantes seguem a dosagem estabelecida para a respectiva mistura a quente, independentemente do tipo de ligante asfáltico. Podem ser utilizadas as metodologias Marshall ou Superpave, respeitando-se os parâmetros indicados pelos respectivos procedimentos.

Ressalta-se que a metodologia de dosagem utilizada deve ser informada à Fiscalização do DNIT e à supervisão, para a adoção das devidas providências para as análises quanto ao atendimento dos respectivos parâmetros exigidos em documentos normativos do DNIT e outros que se fizerem necessários, de acordo com a metodologia de dosagem utilizada.

3.2 Tipos de usina utilizadas na produção das misturas asfálticas mornas com aditivos químicos surfactantes

As misturas asfálticas mornas com aditivos químicos surfactantes podem ser produzidas tanto em usinas gravimétricas como em usinas volumétricas, sem necessidade de alteração das características originais das mesmas.

Deve-se observar o tipo de combustível utilizado no tambor secador, que deve apresentar combustão completa em temperaturas inferiores às utilizadas para produção de misturas a quente. Recomenda-se, também, que os silos frios dos agregados sejam cobertos, para evitar o excesso de umidade dos agregados.

3.3 Incorporação do aditivo surfactante

O aditivo químico surfactante pode ser incorporado ao ligante asfáltico na usina, ou o ligante asfáltico pode ser previamente aditivado pela distribuidora de asfalto. O teor do aditivo químico surfactante varia de acordo com o tipo de agregado e ligante utilizados. Devem ser observadas as recomendações do fornecedor do aditivo, variando geralmente de 0,3 % a 0,7 %, em relação ao peso do ligante.

3.4 Temperatura de aquecimento máxima do ligante asfáltico

Há necessidade de se limitar a temperatura de aquecimento do ligante já aditivado, para evitar a perda das características originais do aditivo surfactante. A empresa contratada para a execução do serviço deve obedecer a orientação do fornecedor do aditivo surfactante quanto à temperatura máxima de aquecimento do ligante durante o processo de usinagem.

3.5 Temperatura de usinagem e compactação da mistura asfáltica morna

A redução da temperatura de produção é obtida pela redução da temperatura de aquecimento dos agregados em cerca de 30 °C a 35 °C, de acordo com as especificações do fornecedor do aditivo. A temperatura mínima selecionada deve atender a 95 % de recobrimento pelo ensaio AASHTO T195 (Determinação do grau de recobrimento de partícula de misturas asfálticas).

A temperatura mínima a ser utilizada deve ser avaliada por intermédio da moldagem de corpos de prova em laboratório e acompanhando-se durante a dosagem o comportamento mecânico da mesma, para se definir o limite da redução. A temperatura escolhida deve ser aquela que promova resultados de resistência mecânica similares ou superiores à mistura convencional a quente. Entre os parâmetros mecânicos que devem ser avaliados estão: a fadiga, a deformação permanente e o dano por umidade induzida, de acordo com as Normas DNIT (atualmente em consulta pública).

3.6 Utilização da cal na produção de misturas asfálticas mornas

Recomenda-se que a cal seja utilizada na proporção de, no mínimo, 0,5 %, para reduzir os efeitos provocados pela diminuição da temperatura de produção, principalmente quanto à resistência ao dano por umidade induzida, caso se verifique o não atendimento a este requisito.

3.7 Utilização de agregados com taxas elevadas de absorção

Deve-se evitar trabalhar com agregados com taxas elevadas de absorção, recomenda-se que esse valor seja limitado a 1%. É fundamental que sejam implantados silos cobertos para os agregados, a fim de reduzir a absorção de água e melhorar o processo produtivo da mistura asfáltica. Sempre que possível, as pilhas de agregados, além de estarem cobertas, devem estar assentadas em terreno com inclinação no sentido contrário à planta de carregamento do agregado, visando facilitar a drenagem da água que

porventura exista na pilha (NAPA, 2012). Ressalta-se a necessidade de controle de estocagem dos agregados para que os mesmos ao serem usinados em temperaturas inferiores às usualmente utilizadas consigam ser totalmente secos. As figuras 2 e 3 exemplificam o recomendado.



Figura 2 - Exemplo de depósito de agregados coberto (NAPA, 2012)



Figura 3 - Exemplo de correia transportadora de agregados coberta (NAPA, 2012)

4 EXECUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS COM A UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS SURFACTANTES

4. EXECUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS COM A UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS SURFACTANTES

4.1 Procedimentos

A mistura asfáltica morna produzida com aditivo químico surfactante é um produto resultante do processamento, em usina apropriada, de agregados bem graduados, ligante asfáltico e aditivo químico surfactante que permita a redução da temperatura de, no mínimo, 30 °C àquelas utilizadas nas misturas a quente.

A execução de misturas asfálticas mornas com a utilização de aditivos químicos surfactantes devem seguir, via de regra, os requisitos constantes na correspondente norma de especificação de serviço de mistura executada a quente, conforme a Tabela 2, respeitando-se as normas em vigor. As excepcionais e/ou particularidades constantes desta Seção 4 devem ser relatadas e integralmente atendidas, se sobrepondo ao estabelecido nas normas de especificação de serviço das misturas a quente.

Tabela 2 - Especificações em vigor para produção de misturas a quente

Ligante	Especificação de Serviço	Ano
Concreto Asfáltico	DNIT 031	2006
Concreto Asfáltico com asfalto polímero	DNER-ES 385*	1999
Concreto Asfáltico com asfalto borracha	DNIT 112	2009

*Em revisão quando da elaboração destas Diretrizes

4.2 Materiais

4.2.1 Materiais asfálticos

Para execução das misturas asfálticas mornas podem ser utilizados os seguintes ligantes:

- a) Cimento Asfáltico de Petróleo (norma DNIT 095/2006 - EM):
 - CAP 30-45
 - CAP 50-70

Nota: Deve-se evitar a utilização de ligantes menos consistentes que os indicados, como o CAP 85-100, quando se tratar de misturas mornas.

- b) Cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero elastomérico (DNIT 129/2011 - EM):
CAP 55-75 - E
CAP 60-85 - E
CAP 65-90 - E

- c) Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending” (norma DNIT 111/2009 - EM):
CAP AB 8
CAP AB 22

4.2.2 Aditivos químicos surfactantes

Os aditivos químicos surfactantes são agentes químicos caracterizados pela capacidade de alterar as propriedades superficiais e interfaciais dos líquidos, agindo de forma a proporcionar a redução da tensão superficial na interface ligante asfáltico/agregado promovendo, assim, uma boa compactação do material, mesmo com temperaturas de trabalho inferiores às convencionais.

Podem ser utilizados os seguintes aditivos químicos surfactantes existentes atualmente no mercado: Evotherrm®, Rediset®, Cecabase® e Gemul®. Caso outro aditivo, além dos aqui citados, seja objeto de interesse de uso por parte de empresa contratada junto ao DNIT, deve ser demonstrado, através de execução de ensaios técnicos, a eficiência do referido produto junto à fiscalização do DNIT.

O aditivo deve ser completamente miscível no ligante asfáltico, modificado ou não, sem a necessidade de equipamento de mistura adicional além do existente, e deve ser estável no ligante estocado em tanques à temperatura típica por um mínimo de 7 a 10 dias, sem causar degradação ou mudança nas propriedades visco-elásticas, ou seja, todos os parâmetros reológicos devem permanecer dentro dos limites especificados. A compatibilidade de ligantes modificados por polímero com o aditivo químico surfactante deve ser verificada junto aos respectivos fornecedores dos produtos que garantirão o atendimento a esta característica.

4.2.3 Agregados

Deve ser demonstrado por meio dos ensaios de caracterização que os agregados a serem utilizados seguem os parâmetros exigidos nas respectivas normas técnicas do DNIT constantes na Tabela 2, conforme o tipo de ligante utilizado. De uma forma geral, os ensaios são os que seguem:

4.2.3.1 Agregado graúdo

a) Desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50 % (norma DNER-ME 035/98) admitindo-se excepcionalmente agregados com valores maiores, no caso de terem apresentado comprovadamente desempenho satisfatório em utilização anterior;

NOTA: Caso o agregado graúdo a ser usado apresente um índice de desgaste (Abrasão Los Angeles) superior a 50 %, poderá ser usado o método de ensaio prescrito na norma DNER-ME 401/99: Agregados - Determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante IDml e sem ligante IDm - Método de ensaio, cujos valores de degradação para julgamento da qualidade de rochas destinadas ao uso do concreto asfáltico usinado a quente são: $IDml \leq 5\%$ e $IDm \leq 8\%$.

b) Índice de forma superior a 0,5 (norma DNER-ME 086/94);

c) Durabilidade, perda inferior a 12 % (norma DNER-ME 089/94).

4.2.3.2 Agregado miúdo

Deve ser evitada a utilização de areia natural na execução de misturas asfálticas mornas, conforme já descrito anteriormente. Outros tipos de agregados miúdos utilizados devem apresentar equivalente de areia igual ou superior a 55 % (DNER-ME 054/97).

4.2.3.3 Material de enchimento (*filler*)

Quando da aplicação deve estar seco e isento de grumos e deve ser constituído por materiais minerais finamente divididos, tais como pó de pedra, cimento Portland, cal extinta, pós-calcários, cinza volante, etc.; de acordo com a norma DNER-EM 367/97. Recomenda-se a utilização de cal, com o objetivo de melhorar as questões relacionadas à adesividade ligante-agregado, em virtude das baixas temperaturas aplicadas aos agregados.

4.2.4 Melhorador de adesividade

Os aditivos químicos surfactantes agem como também como melhoradores de adesividade. Entretanto, tendo em vista as menores temperaturas utilizadas para aquecimento dos agregados na produção de misturas asfálticas mornas, a adesividade deve ser devidamente verificada por meio dos seguintes ensaios:

- a) Métodos DNER-ME 078 e DNER-ME 079: antes e após deve-se submeter o ligante asfáltico contendo o agente melhorador de adesividade ao método de ensaio de determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional - RTFOT (norma NBR 15235:2009 - Materiais asfálticos - Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional)) ou ao método de ensaio de determinação do efeito do calor e do ar em película delgada TFOT (norma NBR 14736:2001 - Materiais asfálticos - Determinação do efeito do calor e do ar - Método da película delgada).
- b) Método para Determinação do Dano por Umidade Induzida (Método DNIT atualmente em consulta pública): Ensaio para determinar a resistência de misturas asfálticas compactadas à degradação produzida pela umidade antes e após submeter o ligante asfáltico contendo o agente melhorador de adesividade ao método de ensaio de determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional - RTFOT (norma NBR 15235:2009) ou ao método de ensaio de determinação do efeito do calor e do ar em película delgada TFOT (norma NBR 14736:2001). Neste caso a razão da resistência à tração por compressão diametral estática deve ser superior a 0,8 (norma DNIT 136/2017).

4.3 Composição da mistura

A composição da mistura deve satisfazer às faixas granulométricas, teor de ligante, percentual de vazios, relação de betume/vazios (RBV), vazios do agregado mineral (VAM), resistência a tração por compressão diametral e às exigências contidas nas normas de referência de misturas executadas a quente: DNIT 031/2006-ES, DNIT 112/2009-ES e DNER-ES 385/99, conforme o tipo de ligante utilizado, observando-se as normas em vigor no momento da execução.

A característica de resistência à deformação permanente da mistura morna deve ser avaliada pelo parâmetro de Flow Number, empregando norma DNIT denominada Pavimentação - Misturas asfálticas - Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência a deformação permanente

(Atualmente em consulta pública), e apresentar valores em conformidade com os critérios indicados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de referência de FN (Flow Number)

Classe da Rodovia	Condições da Rodovia	Flow Number
Auto estrada	$N > 10^7$	> 2000 ciclos
Principal	$10^6 < N \leq 10^7$	>750 ciclos
Secundária/Coletora	$N \leq 10^6$ e velocidade média < 60km/h	>300 ciclos

Fonte: Nascimento (2008)

4.4 Equipamentos e execução

Deve ser seguido o estabelecido nas normas de especificação de serviço DNIT 031/2006-ES, DNIT 112/2009-ES e DNER-ES 385/99, conforme o tipo de ligante utilizado, observando-se as normas em vigor no momento da execução.

Recomenda-se que a compactação seja realizada com o uso de rolos de aço duplo com capacidade de compactação vibratória. As máquinas devem ser operadas na frequência máxima de vibração e na amplitude mínima, a menos que a espessura da capa seja superior a 60 mm. A compactação deve ser iniciada logo após a colocação da mistura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14736: Materiais asfálticos — Determinação do efeito do calor e do ar - Método da película delgada*, Rio de Janeiro, 2001.

_____. *NBR 15235: Materiais asfálticos — Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional*. Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. *DNER-ME 035: Agregados - Determinação da abrasão “Los Angeles”: Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1998.

_____. *DNER - ME 054: Equivalente de areia: Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1997.

_____. *DNER - ME 078: Agregado graúdo - Adesividade a ligante betuminoso: Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *DNER - ME 079: Agregado - Adesividade a ligante betuminoso: Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *DNER-ME 086: Agregado - Determinação do índice de forma: Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *DNER-ME 089: Agregados - Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio: Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1994.

_____. *DNER-EM 367: Material de enchimento para misturas betuminosas: Especificação de material*. Rio de Janeiro, 1997.

_____. *DNER-ME 401: Agregados – Determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – IDML e sem ligante – IDM: Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1999.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *DNIT 031 – ES: Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico: Especificação de serviço*. Rio de Janeiro, 2006.

_____. *DNIT 095 – EM: Cimentos Asfálticos de Petróleo: Especificação de material*. Rio de Janeiro, 2006.

_____. *DNIT 111 – EM: Pavimentação flexível – Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de material*. Rio de Janeiro, 2009.

_____. *DNIT 129 – EM: Cimento Asfáltico de Petróleo – Modificado por Polímero Elastomérico - Especificação de material*. Rio de Janeiro, 2011.

_____. *DNIT 136 – ME: Pavimentação Asfáltica - Misturas Asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral: Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2018.

CHOWDHURY, A.; BUTTON, J.W. *A Review of warm mix asphalt*. College Park: Texas Transportation Institute, 2008. Disponível em: <<https://ntl.bts.gov/lib/31000/31200/31288/473700-00080-1.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

CROTEAU, J.M.; TESSIER, B. Warm mix asphalt paving technologies: a road builder's perspective. In: *Annual Conference & Exhibition of the Transportation Association of Canada*, 2008, Toronto. Ottawa: TAC, 2008. Disponível em: <<http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2008/docs/g1/Croteau.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

FRITZEN, M. A.; MOTTA, L. M. G.; NASCIMENTO, L. A. H.; CHACUR, M. Comportamento de misturas asfálticas mornas submetidas a ensaios acelerados por simulador de tráfego móvel. In: *Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projeto de Reforço*, 4., 2009, Fortaleza. *Anais...* Rio de Janeiro: ABPv, 2009.

GENNESSEAU, M. M. L. *Avaliação da durabilidade de misturas asfálticas a quente e mornas contendo material asfáltico fresado*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/.../ManueladeMesquitaLopesGennesseaux2015.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2017.

JOHNSTON, M. et al. Produção de Misturas Asfálticas Mornas com Agente Surfactante no Brasil. *Boletim Técnico SINICESP*, São Paulo, n. 08, jul. 2015. Disponível em: <<http://www.sinicesp.com.br/boltecnicosul.php>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

MERIGHI, C. F. *Estudo do comportamento de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimento com adição de borracha moída de pneu*. 2015. 201 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2017/11/Refer%C3%Aancia-2.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

MOTTA, R. S. *Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução de emissão de poluentes e de consumo energético*. 2011. 229 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <

www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072011.../Tese_Rosangela_Motta.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2018.

NASCIMENTO, L. A. H. *Nova abordagem da dosagem de misturas asfálticas densas com uso do compactador giratório e foco na deformação permanente*. 2008. 204 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: < obidig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/LuisAlbertoHerrmannDoNascimento.pdf >. Acesso em: 15 jan. 2018.

OLIVEIRA, J. A. *Avaliação do desempenho de misturas asfálticas recicladas mornas em laboratório e em campo*. 2013. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: < <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/11163> >. Acesso em: 15 jan. 2018.

PROWELL, B.D. *Warm mix asphalt: the International Technology Scanning Program – summary repor*. Washington, DC.: Federal Highway Administration; American Association of State Highway and Transportation Officials, 2007. Disponível em: < http://www.warmmixasphalt.org/submissions/38_20071219_Warm%20Mix%20Asphalt%20Summary%20Report%20Final%20091607.pdf >. Acesso em: 15 jan. 2018.

PROWELL, B. D.; HURLEY, G. C. *Warm-mix asphalt: best practices*. 3. ed. Lanham: National Asphalt Pavement Association, 2012. (Quality Improvement Series 125). Disponível em: < driveasphalt.org/assets/content/resources/QIP-125_Warm_Mix_Asphalt_3rd_edition.pdf >. Acesso em: 27 nov. 2017.

WALL, A. V. *Warm mix asphalt in a critical perspective*. In: EURASPHALT & EUROBITUME CONGRESS, 5th., 2012, Istambul. *Proceedings...* Istambul: FIGÜR, 2012.

WARGHA FILHO, N. *Avaliação da influência da redução das temperaturas de usinagem e de compactação no comportamento mecânico de misturas asfálticas mornas*. 2013. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: < http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/7988/1/2013_dis_nwarghafilho.pdf >. Acesso em: 08/02/2018.

ZUBARAN, M. *Avaliação do comportamento de misturas asfálticas recicladas mornas em laboratório e usina de asfalto*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de

Janeiro, 2014. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/MarceloZubaran.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2017.

ZUBARAN, M.; Motta. L. M. G. Avaliação de misturas asfálticas recicladas mornas em laboratório e usina de asfalto. In: Reunião Anual de Pavimentação, 44., 2015., Foz do Iguaçu. Trabalhos... Rio de Janeiro: ABPv, 2015. Disponível em: <http://www.sinicesp.com.br/44rapv/trabalhos/TrabalhoFinal_31.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2017.