TÍTULO

REVESTIMENTO ASFÁLTICO TIPO SMA

ÓRGÃO

DIRETORIA DE ENGENHARIA

PALAVRAS-CHAVE

Revestimento Asfáltico. SMA. Pavimentação.

APROVAÇÃO	PROCESSO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Proposta de Normalização Técnica de Camada de Rolamento de SMA, *Stone Mastic Asphalt* – Eng. Eduardo Samara.

ROAD AND TRANSPORTATION RESEARCH ASSOCIATION. **ZTV Asphalt – StB 01**. Additional Technical Conditions and Guidelines for the Construction of Pavements Surfacing Made of Asphalt. Technical Committee Asphalt Roads. Alemanha, 2001.

SILVA, P. B. **Estudo em Laboratório e em Campo de Misturas Asfálticas SMA 0/8S**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

COMISIÓN PERMANENTE DEL ASFALTO. **Especificaciones Técnicas Generales**. Concretos Asfálticos Stone Mastic Asphalt para Carpetas de Rodamiento. Argentina, 2005.

OBSERVAÇÕES

REVISÃO	DATA	DISCRIMINAÇÃO

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

ÍNDICE

1 OBJETIVO 4
2 DEFINIÇÃO 4
3 MATERIAIS 4
3.1 Cimento Asfáltico 4
3.2 Agregados 4
3.3 Composição da Mistura 6
4 EQUIPAMENTOS 8
4.1 Depósito para Cimento Asfáltico Modificado por Polímero ou Borracha 8
4.2 Depósito para Agregados 8
4.3 Silos para Agregados 9
4.4 Usina para Misturas Asfálticas 9
4.5 Caminhão para Transporte da Mistura Asfáltica 10
4.6 Equipamento para Distribuição e Acabamento da Mistura Asfáltica 10
4.7 Equipamento para Compactação 10
4.8 Ferramentas e Equipamentos Acessórios 11
5 EXECUÇÃO 11
5.1 Segmento Experimental 11
5.2 Condições Gerais 11
5.3 Preparo da Superfície 11
5.4 Produção do SMA 12
5.5 Transporte do SMA 13
5.6 Distribuição do SMA 13
5.7 Compactação do SMA 14
5.8 Juntas 14
5.9 Abertura ao Tráfego 15
6 CONTROLE 15
6.1 Controle dos Materiais 15
6.2 Controle da Produção da Mistura Asfáltica 16
6.3 Controle da Aplicação e Destinação da Mistura Asfáltica 17
6.4 Controle Geométrico e de Acabamento 18
6.5 Condições de Segurança 19

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

6.6 Deflexões 19
7 ACEITAÇÃO 19
7.1 Materiais 19
7.2 Produção 20
7.3 Execução 21
8 CONTROLE AMBIENTAL 22
8.1 Exploração de Ocorrência de Materiais - Agregados 22
8.2 Cimento Asfáltico 23
8.3 Operação das Usinas e Agentes e Fontes Poluidoras 23
8.4 Execução 25
9 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO 25
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 26
ANEXO A – TABELAS DE CONTROLE 29
ANEXO B – CONTROLE ESTATÍSTICO 39
ANEXO C – ESPECIFICAÇÃO PARA CIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO POR POLÍMERO DO TIPO ELASTOMÉRICO 41
ANEXO D – PROPRIEDADES DO LIGANTE ASFALTO BORRACHA 43

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

1 OBJETIVO

Definir os critérios que orientam os processos de produção, execução, aceitação e medição dos serviços de misturas asfálticas tipo SMA para revestimentos asfálticos em obras rodoviárias sob a jurisdição do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP.

2 DEFINIÇÃO

SMA (*Stone Matrix Asphalt* – Matriz Pétrea Asfáltica) é uma mistura asfáltica executada a quente, em usina apropriada, com características específicas. É composta por agregados minerais em graduação especificada, material de enchimento, fibras de celulose, cimento asfáltico modificado por polímero ou por borracha e, se necessário, melhorador de adesividade, sendo espalhada e compactada a quente. O revestimento asfáltico tipo SMA deve ser empregado como camada asfáltica intermediária ou como camada asfáltica de rolamento de pavimento.

3 MATERIAIS

Os materiais constituintes do SMA são: agregados graúdos, agregados miúdos, material de enchimento, fibras de celulose, ligante asfáltico modificado por polímero ou por borracha e, se necessário, melhorador de adesividade. Devem satisfazer às normas pertinentes e às especificações aprovadas pelo DER/SP.

3.1 Cimento Asfáltico

Devem ser empregados cimentos asfálticos de petróleo modificados por polímero do tipo elastomérico ou por borracha, devendo atender à Resolução da ANP nº 897/2022 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, apresentadas nos anexos C e D, ou a especificação que estiver em vigor na época de sua utilização.

Todo o carregamento de cimento asfáltico modificado por polímero ou por borracha que chegar à obra deve apresentar por parte do fabricante ou distribuidor o certificado de resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos pela especificação, correspondente à data de fabricação, ou ao dia de carregamento para transporte com destino ao canteiro de serviço, se o período entre os dois eventos ultrapassar 10 dias.

O certificado deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e a usina de mistura asfáltica a quente.

3.2 Agregados

3.2.1 Agregado Graúdo

Deve constituir-se por pedra britada ou seixo rolado britado, retidos na peneira nº 4, de 4,8 mm, apresentando partículas sãs, limpas e duráveis, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. Deve atender aos seguintes requisitos:

a) desgaste *Los Angeles* igual ou inferior a 30%, conforme NBR 16974(1);

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

b) quando obtidos por britagem de pedregulhos ou seixos, 100% em massa dos fragmentos devem apresentar no mínimo uma face fragmentada pela britagem e 90% em massa dos fragmentos devem apresentar no mínimo duas faces britadas;

c) índice de forma, superior a 0,5, conforme DNIT 425/2020 - ME[2];

d) os agregados utilizados devem apresentar perdas inferiores a 12% quando submetidos à avaliação da durabilidade com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNIT 446/2024 – ME[3].

3.2.2 Agregado Miúdo

Deve constituir-se por agregados minerais britados passantes integralmente da peneira nº 4, de 4,8 mm, e retidos na peneira 200, de 0,075mm. É vetado o uso de areia natural para constituir esta fração. Deve apresentar partículas individuais resistentes, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. O equivalente de areia obtido conforme NBR 12052[4] deve ser igual ou superior a 55%.

3.2.3 Material de Enchimento – Fíler

O material de enchimento deve ser cimento Portland ou cal calcítica tipo CH-I até o limite de 2%, conforme DNIT 418/2019 – EM[5]. Na aplicação, o fíler deve estar seco e isento de grumos. A granulometria a ser atendida deve obedecer aos limites estabelecidos na Tabela 1.

No projeto da mistura asfáltica deve ser realizado o ensaio de Danos por Umidade Induzida, conforme NBR 15617[8] onde a mistura asfáltica deve apresentar um valor de RRT mínimo de 80%.

Tabela 1 – Granulometria do Material de Enchimento

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando
ASTM	mm	
n° 40	0,42	100
n° 80	0,18	95 – 100
n° 200	0,075	65 – 100

3.2.4 Fibra de Celulose

As fibras são empregadas com a finalidade de evitar o escorrimento do ligante durante a usinagem, transporte e aplicação da mistura. Podem ser utilizadas soltas ou envolvidas por ligante asfáltico formando grânulos ou *pellets*. O fabricante deve apresentar o certificado de qualidade contendo as características do produto e recomendações de uso.

3.2.5 Melhorador de Adesividade

A adesividade dos agregados ao ligante asfáltico é determinada conforme os métodos NBR 12583[6] e NBR 12584[7].

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

Quando não houver boa adesividade entre o ligante asfáltico e os agregados, deve-se empregar aditivo melhorador de adesividade na quantidade fixada no projeto de mistura asfática, verificando novamente a adesividade, conforme NBR 15617[8]. A razão da resistência à tração por compressão diametral retida (RTT), compreendida pela razão da resistência à tração por compressão diametral após e antes o condicionamento severo recomendado na especificação da NBR 15617 [8], deve ser superior a 0,70. O ensaio de resistência à tração por compressão diametral deve seguir a especificação NBR 15087[17].

3.3 Composição da Mistura

A composição dos agregados da mistura deve satisfazer aos requisitos apresentados na Tabela 2, conforme norma alemã ZTV Asphalt – StB[9]. As faixas I e II são indicadas para tráfego pesado ou solicitações especiais.

O projeto da mistura deve atender aos seguintes requisitos:

a) o tamanho nominal máximo do agregado da faixa adotada deve ser inferior ou igual a 1/3 da espessura da camada compactada;

b) a faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer a tolerância indicada para cada peneira na Tabela 2.

Tabela 2 – Faixas Granulométricas de SMA

Peneira de Malha Quadrada		Designação				Tolerâncias
		I	II	III	IV	
ASTM	mm	% em Massa, Passando				
5/8”	15,9	100				
½”	12,5	95-100				± 5%
3/8”	9,5	65-80	100	100		± 5%
5/16”	7,93	42-60	90-100	90-100	100	± 5%
Nº 4	4,75	30-40	28-42	29-52	90-100	± 3%
Nº 10	2,0	20-27	20-27	20-30	30-40	± 3%
Nº 200	0,075	9-13	9-13	7-12	7-12	± 2%
Espessura (cm)		3,5-5,0	3,0-4,0	2,5-4,0	1,5-2,5	

O projeto SMA deve ser feito para a obtenção de um esqueleto pétreo onde seja garantido o contato entre os grãos de agregados graúdos, o que ocorre quando os vazios da fração graúda do agregado na mistura compactada são menores ou iguais aos vazios da fração graúda do agregado compactado. Esses parâmetros são obtidos através das expressões[10]:

$$VCA_{DRC} = \left(\frac{G_{CA} \times \gamma_W - \gamma_S}{G_{CA} \times \gamma_W} \right) \times 100$$

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

$$VCA_{MIX} = 100 - \left(\frac{G_{MB}}{G_{CA}} \times P_{CA} \right)$$

Onde:

VCA_{DRC} - vazios da fração graúda do agregado compactado, %;

γ_s - massa específica aparente da fração graúda do agregado seco compactado, g/cm^3, conforme DNER ME 153[11];

γ_w - massa específica da água à temperatura de 20 ºC de 0,998 g/cm^3;

G_{CA} - densidade aparente da fração graúda do agregado, conforme DNER ME 081[12];

VCA_{MIX} - vazios da fração graúda do agregado na mistura compactada, %;

G_{MB} - densidade aparente da mistura compactada, conforme DNER ME 117[13];

P_{CA} - % de fração graúda do agregado em relação ao peso total da mistura.

A fração de agregado graúdo é definida como sendo a porção relativa à mistura total de agregados, retida numa determinada peneira que varia de acordo com o diâmetro nominal máximo dos agregados, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Definição da Fração de Agregado Graúdo

Diâmetro Nominal Máximo do Agregado[1]		Porção de Agregado Retida na Peneira	
mm	**ASTM**	**mm**	**ASTM**
25,0	1”	4,75	Nº 4
19,0	¾”	4,75	Nº 4
12,5	½”	4,75	Nº 4
9,5	3/8”	2,36	Nº 8
4,75	Nº 4	1,18	Nº 16

[1] diâmetro nominal máximo do agregado é definido como “o diâmetro da peneira imediatamente superior àquela que retém mais que 10% dos agregados”.

A Tabela 4 contém as características requeridas para a mistura, para corpos-de-prova compactados segundo método Marshall, conforme DNIT 447/2024 - ME[16], com 50 golpes por face.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

Tabela 4 – Requisitos para o Projeto de SMA

Características	Método de Ensaio	Parâmetros
Volume de Vazios com Ar – Vv (%)		4
Vazios do Agregado Mineral – VAM (%)		≥ 17
Vazios da fração graúda do agregado na mistura compactada - VCA_{MIX} (%)	-	≤ VCA_{DRC}[1]
Porcentagem em massa de fibras de celulose no total da mistura	-	0,3 a 1,5
Escorrimento de ligante asfáltico na temperatura de usinagem, máximo, (%)	ASTM D 6390(33) ou AASHTO T 305(34)	0,3
Resistência à Tração por Compressão Diametral a 25ºC, mínima, (MPa)	NBR 15087(17)	0,6

[1] vazios da fração graúda do agregado compactado.

As condições de vazios da mistura, devem ser verificadas pelo procedimento abaixo:

a) determinação da densidade efetiva através da densidade máxima teórica pelo método Rice, conforme DNIT 427/2020(14).

4 EQUIPAMENTOS

Antes do início da execução dos serviços todo o equipamento deve ser examinado e aprovado pelo DER/SP.

Os equipamentos básicos para execução dos serviços de SMA são compostos das seguintes unidades:

4.1 Depósito para Cimento Asfáltico Modificado por Polímero ou Borracha

Os depósitos para o cimento asfáltico devem possuir capacidade adequada, possuir dispositivos capazes de aquecer o ligante nas temperaturas fixadas nesta especificação. Estes dispositivos devem também evitar qualquer superaquecimento localizado. É necessário que sejam instalados agitadores mecânicos nos tanques e um sistema de circulação para o ligante asfáltico, de modo a garantir a circulação contínua do depósito ao misturador durante todo o período de operação.

4.2 Depósito para Agregados

Os agregados devem ser estocados convenientemente, isto é, em locais drenados, cobertos, dispostos de maneira que não haja mistura de agregados, preservando a sua homogeneidade e granulometria, e não permitindo contaminações de agentes externos.

A transferência para silos de armazenamento deve ser feita o mais breve possível.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

4.3 Silos para Agregados

Os silos devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador e ser divididos em compartimentos, dispostos de modo a separar e estocar, adequadamente, as frações apropriadas do agregado. Cada compartimento deve possuir dispositivos adequados de descarga. Deve haver um silo adequado para fíler, conjugado com dispositivos para sua dosagem.

O número de silos frios deve ser maior ou igual ao número de frações de agregados disponíveis.

4.4 Usina para Misturas Asfálticas

A usina utilizada deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, e dispor de misturador capaz de produzir uma mistura homogênea. Um termômetro, com proteção metálica e escala de 90 ºC a 210 ºC, com precisão de ± 1 ºC, deve ser fixado no dosador de ligante ou na linha de alimentação do asfalto, em local adequado, próximo à descarga do misturador. A usina deve ser equipada, além disso, com pirômetro elétrico, ou outros instrumentos termométricos aprovados, colocados na descarga do secador, com dispositivos para registrar a temperatura dos agregados, com precisão de ± 5 ºC. A usina deve possuir termômetros nos silos quentes.

Pode, também, ser utilizada uma usina do tipo tambor-secador-misturador, de duas zonas, convecção e radiação, providas de: coletor de pó, alimentador de fíler, sistema de descarga da mistura asfáltica, por intermédio de transportador de correia com comporta do tipo *clam-shell* ou alternativamente, em silos de estocagem.

Nas usinas do tipo mistura contínua, recomenda-se que possuam um silo de estocagem para armazenamento da mistura asfáltica recém produzida com o objetivo de evitar paralisação da obra por falta de caminhões ou qualquer outro motivo. A capacidade de armazenamento do silo deverá ser equivalente a, no mínimo, a produção de uma hora de usina.

A usina deve possuir silos de agregados múltiplos, silo para fibra de celulose, com pesagens dinâmicas individuais e deve ser assegurada a homogeneidade das granulometrias dos diferentes agregados.

A usina deve possuir um sistema de controle de fluxo de asfalto do tipo fechado, onde não há interferência do operador na velocidade da bomba de alimentação do ligante asfáltico, bem como de retorno de fíler. Estes sistemas devem ser sincronizados com o da correia principal de agregados do silo frio.

A bomba de alimentação do ligante asfáltico deve estar posicionada, no máximo, a dois metros de distância do misturador.

Ainda para as usinas de fluxo contínuo, recomenda-se que haja um misturador externo.

Recomenda-se que as usinas tenham tanque de armazenamento de cimento asfáltico vertical. Os tanquesda usina, tanto horizontal quanto vertical, devem possuir agitadores.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

A usina deve possuir ainda uma cabine de comando e quadros de força. Tais partes devem estar instaladas em recinto fechado, com cabos de força e comandos ligados em tomadas externas especiais para esta aplicação. A operação de pesagem de agregados e do ligante asfáltico deve ser semiautomática com leitura instantânea e acumulada, por meio de registros digitais em *display* de cristal líquido. Devem existir potenciômetros para compensação das massas específicas dos diferentes tipos de ligantes asfálticos e para seleção de velocidade dos alimentadores dos agregados frios

Nas usinas tipo tambor-secador-misturador, a fibra de celulose deve ser adicionada no tambor misturador sobre os agregados já previamente aquecidos e antes da adição do ligante. Nas usinas gravimétricas, a fibra deve ser adicionada no misturador, antes da adição do ligante. A fibra deve estar bem dispersa no agregado, antes da adição do ligante.

4.5 Caminhão para Transporte da Mistura Asfáltica

Os caminhões para o transporte do SMA devem ter caçambas metálicas robustas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas com água e sabão, óleo cru fino, óleo parafínico, líquido de propriedades similares aos anteriores ou solução de cal hidratada (3:1), de modo a evitar a aderência da mistura à chapa. A utilização de produtos suscetíveis à dissolução do ligante asfáltico, como óleo diesel, gasolina etc. não é permitida. As caçambas devem ser providas de lona para proteção da mistura.

4.6 Equipamento para Distribuição e Acabamento da Mistura Asfáltica

O equipamento de espalhamento e acabamento deve constituir-se de vibro-acabadoras, capazes de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento definidos no projeto.

As vibro-acabadoras devem ser equipadas com parafusos sem fim, e com esqui eletrônico de 3 m para garantir o nivelamento adequado para colocar a mistura exatamente nas faixas, e devem possuir dispositivos rápidos e eficientes de direção, além de marchas para a frente e para trás. As vibro-acabadoras devem estar equipadas com alisadores e dispositivos para aquecimento à temperatura requerida para a colocação da mistura sem irregularidade. Devem ser equipadas com sistema de vibração que permita pré-compactação na mistura espalhada.

No início da jornada de trabalho, a mesa deve estar aquecida, no mínimo, à temperatura definida pela especificação para descarga da mistura asfáltica.

4.7 Equipamento para Compactação

A compactação da mistura é efetuada pela ação de rolo liso tipo tandem e vibratório autopropelido, com peso compatível à espessura da camada. Os rolos lisos vibratórios devem ser usados com precaução, para evitar a quebra do agregado.

O equipamento em operação deve ser suficiente para compactar a mistura de forma que esta atinja o grau de compactação exigido, enquanto esta se encontrar em condições de trabalhabilidade.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

4.8 Ferramentas e Equipamentos Acessórios

Devem ser utilizados, complementarmente, os seguintes equipamentos e ferramentas:

a) soquetes mecânicos ou placas vibratórias para a compactação de áreas inacessíveis aos equipamentos convencionais;

b) pás, garfos e rodos, para operações eventuais.

5 EXECUÇÃO

5.1 Segmento Experimental

A execução do primeiro segmento de SMA, que deverá ter o mínimo de 200 metros de extensão, será considerada experimental, para obtenção dos objetivos:

a) verificar se a mistura produzida na usina apresenta características que atendam as indicadas no projeto. Caso isso não ocorra, realizar um novo estudo para este fim;

b) definir o processo construtivo da camada (distribuição da massa, temperatura de início de compactação, equipamentos de compactação e número de passadas de cada um deles) para obter uma camada integra de concreto asfáltico, assim como seu grau de compactação;

c) Verificar se os equipamentos a serem utilizados na obra estão adequados, em condições de uso e suficientes para a execução da mesma (checklist dos equipamentos).

As diretrizes estabelecidas no segmento experimental, desde que homologadas pelos engenheiros responsáveis da contratada e contratante, serão utilizadas na execução dos novos segmentos de concreto asfáltico, que tenham o mesmo projeto.

A execução do segmento experimental deverá atender aos itens 5.2 ao 5.7 da especificação.

5.2 Condições Gerais

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva. O SMA somente deve ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10 °C.

5.3 Preparo da Superfície

A superfície deve apresentar-se limpa, isenta de pó ou outras substâncias prejudiciais. Eventuais defeitos existentes devem ser adequadamente reparados, previamente à aplicação da mistura.

Caso tenha ocorrido chuva previamente à aplicação do SMA, a camada de apoio deverá estar seca não apenas na superfície, como principalmente no interior da camada subjacente.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

A imprimação ou pintura de ligação deve ser modificada por polímero e deve ser executada, obrigatoriamente, com a barra espargidora, respeitando os valores recomendados para taxa de ligante. Caneta ou regador podem ser utilizados somente para correções localizadas ou em locais de difícil acesso. Deve apresentar película homogênea e promover adequadas condições de aderência quando da execução do SMA.

Quando a imprimação ou a pintura de ligação não tiverem condições satisfatórias de aderência, uma nova pintura de ligação deve ser aplicada previamente à distribuição da mistura.

Deve-se tomar cuidado para que não ocorra superposição de imprimadura ligante quando da execução de duas faixas contíguas tanto transversal quando longitudinalmente.

No caso de desdobramento da espessura total de SMA em duas camadas, a pintura de ligação entre estas pode ser dispensada se a execução da segunda camada ocorrer logo após a execução da primeira.

O tráfego de caminhões, para início do lançamento do SMA, sobre a pintura de ligação, só é permitido após o rompimento e cura do ligante aplicado.

5.4 Produção do SMA

O SMA deve ser produzido em usinas apropriadas, conforme anteriormente especificado. A usina deve ser calibrada, de forma a assegurar a obtenção das características desejadas para a mistura.

Os agregados, principalmente os finos devem ser homogeneizados com a pá-carregadeira, antes de serem colocados nos silos frios.

Para o caso de usinas gravimétricas, as aberturas dos silos frios devem ser ajustadas de acordo com a granulometria do traço e dos agregados para evitar sobras nos silos quentes.

Os materiais devem ser misturados na seguinte ordem: agregados e fíler, fibra de celulose e cimento asfáltico. O tempo de mistura a seco dos agregados e fíler com a fibra de celulose deve ser de 10 segundos.

A temperatura do cimento asfáltico modificado por polímero empregado na mistura deve ser determinada para cada tipo de ligante em função da relação temperatura-viscosidade *Brookfield*, definida pelo fabricante. A temperatura do ligante não deve exceder a 177 °C.

Variações constantes ou desvios significativos em relação à faixa de temperatura desejável indicam a necessidade de suspensão temporária do processo de produção para que sejam executados os necessários ajustes.

Os agregados devem ser aquecidos a temperaturas de 5 °C a 10 °C acima da temperatura do cimento asfáltico, sem ultrapassar 177 °C.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

A carga dos caminhões deve ser feita de maneira a evitar segregação da mistura dentro da caçamba, sugerindo uma 1ª descarga na frente, a 2º na traseira e 3º no meio, entre as duas pilhas.

O início da produção na usina só deve ocorrer quando todo o equipamento de pista estiver em condições de uso, para evitar a demora na descarga na acabadora que pode acarretar na diminuição da temperatura da mistura com prejuízo da compactação.

5.5 Transporte do SMA

O SMA produzido deve ser transportado da usina ao local de aplicação, em caminhões, atendendo ao especificado no item 4.4 para que a mistura seja colocada na pista à temperatura especificada.

As caçambas dos veículos devem ser cobertas com lonas impermeáveis durante o transporte de forma a proteger a massa asfáltica da ação de chuvas ocasionais, da eventual contaminação por poeira e, especialmente, da perda de temperatura e queda de partículas durante o transporte. As lonas devem estar bem fixadas na dianteira para não permitir a entrada de ar entre a cobertura e a mistura, o que provoca resfriamento precoce da mistura.

O tempo máximo de permanência da mistura no caminhão é dado pelo limite de temperatura estabelecido para aplicação da massa na pista.

5.6 Distribuição do SMA

A distribuição do SMA deve ser feita por equipamentos adequados, conforme especificado no item 4.5.

Deve ser assegurado, previamente ao início dos trabalhos, o aquecimento conveniente da mesa alisadora da acabadora à temperatura compatível com a da massa a ser distribuída. Deve-se observar que o sistema de aquecimento se destina exclusivamente ao aquecimento da mesa alisadora e nunca de massa asfáltica que eventualmente tenha esfriado em demasia.

Caso ocorram irregularidades na superfície da camada acabada, estas devem ser corrigidas de imediato pela adição manual da mistura. Seu espalhamento deve ser efetuado por meio de rodos metálicos. Esta alternativa deve ser, no entanto, minimizada, já que o excesso de reparo manual é nocivo à qualidade do serviço.

Na partida da acabadora devem ser colocadas de 2 a 3 réguas, com a espessura do empolamento previsto, onde a mesa deve ser apoiada.

A mistura deve apresentar textura homogênea, sem pontos de segregação, indicados por acúmulo de agregados graúdos sem quantidade suficiente do mástique. Qualquer falha constatada na superfície deve ser sanada antes do início da compactação, com espalhamento manual.

A descarga do material da vibro-acabadora deve ser contínua, de modo que trabalhe sempre com o reservatório meio cheio. O caminhão deve ser empurrado pela acabadora, não se permitindo choques ou travamento dos pneus durante a operação.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

A vibro-acabadora deve sempre ser abastecida exclusivamente com o material da caçamba, sendo vedado o aproveitamento do material das abas entre as cargas

O tipo de acabadora deve ser definido em função da capacidade de produção da usina, de maneira que esta esteja continuamente em movimento, sem paralisações para aguardar caminhões. A velocidade da acabadora deve estar sempre entre 2,5 m/minuto e 10,0 m/minuto.

Quando for utilizado o prolongamento da mesa, devem ser instaladas as respectivas extensões da "rosca sem fim", de modo que o término dela fique situado a aproximadamente 20,0 cm antes da lateral da mesa deslizante, de forma a evitar segregação.

5.7 Compactação do SMA

A rolagem tem início logo após a distribuição da mistura. Os rolos lisos devem posicionar-se o mais próximo possível da acabadora, passando à compressão do SMA assim que este é distribuído. A fixação da temperatura de rolagem condiciona-se à natureza da massa, às características do equipamento utilizado e ao tipo de ligante asfáltico. Como norma geral, deve-se iniciar a compactação na temperatura mais elevada que a mistura asfáltica possa suportar, temperatura esta fixada experimentalmente em cada caso.

A rolagem deve ser feita com rolo metálico liso tipo tandem, sem vibrar. As operações de rolagem devem atender às seguintes orientações:

a) a compactação deve ser iniciada pelas bordas, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista;

b) nas curvas, a compactação deve começar sempre do ponto mais baixo para o mais alto;

c) cada passada do rolo deve ser recoberta na seguinte, em pelo menos 1/3 da largura do rolo;

d) durante a rolagem não são permitidas mudanças de direção ou inversões bruscas de marcha, nem estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém-rolado, ainda quente;

e) as rodas dos rolos devem ser ligeiramente umedecidas para evitar a aderência da mistura. Podem ser utilizados os mesmos produtos indicados para a caçamba dos caminhões transportadores. Se for utilizada água, esta deve ser pulverizada, não devendo escorrer pelo tambor nem acumular na superfície da camada.

5.8 Juntas

O processo de execução das juntas transversais e longitudinais deve assegurar condições de acabamento adequadas, de modo que não sejam percebidas irregularidades nas emendas.

Em rodovias de pista dupla, é recomendado o uso de duas vibro-acabadoras, de modo que os panos adjacentes sejam executados simultaneamente, tanto nas faixas da pista quanto nos acostamentos.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

Em rodovias em operação, devem ser evitados degraus longitudinais muito extensos, permitindo-se no máximo o resultante de uma jornada de trabalho. Na jornada de trabalho seguinte, a aplicação da massa asfáltica deve começar no início do degrau remanescente da jornada de trabalho anterior.

No reinício dos trabalhos, deve-se realizar a compactação da emenda com o rolo perpendicular ao eixo, com 1/3 do rolo sobre o pano já compactado e os outros 2/3 sobre a massa recém aplicada.

5.9 Abertura ao Tráfego

A camada de SMA recém-acabada deve ser liberada ao tráfego somente quando a massa atingir a temperatura ambiente.

6 CONTROLE

6.1 Controle dos Materiais

6.1.1 Cimento Asfáltico Modificado por Polímero

Para todo carregamento que chegar à obra, devem ser realizados:

a) um ensaio de ponto de amolecimento, conforme NBR 6560[18];
b) um ensaio de viscosidade *Brookfield*, conforme NBR 15184[19];
c) um ensaio de ponto de fulgor, conforme NBR 11341[20];
d) um ensaio determinação de formação de espuma, quando aquecido a 175° C;
e) um ensaio de recuperação elástica, conforme NBR 15086[21].

Para cada 100 t:

a) um ensaio de estabilidade à estocagem, conforme NBR 15166[22];
b) um ensaio de penetração a 25° C, conforme NBR 6576[23];
c) um ensaio do resíduo no RTFOT: variação em massa conforme NBR 15235[24], ponto de amolecimento conforme NBR 6560[18], penetração conforme NBR 6576[23] e recuperação elástica conforme NBR 15086[21].

Para todo carregamento de cimento asfáltico que chegar à obra deve-se retirar uma amostra que deve ser identificada e armazenada para possíveis ensaios posteriores.

6.1.2 Agregados

Diariamente deve-se inspecionar a britagem e os depósitos, com o intuito de garantir que os agregados estejam limpos, isentos de pó e de outras contaminações prejudiciais.

Devem ser executadas as seguintes determinações no agregado graúdo:

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

a) abrasão *Los Angeles*, conforme NBR 16974(1): um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;

b) índice de forma, conforme DNIT 425/2020 – ME(2): um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;

c) ensaio de durabilidade, com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNIT 446/2024 – ME(3): um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;

d) a adesividade dos agregados ao ligante asfáltico, conforme NBR 12583(6) e NBR 12584(7): um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.

Para agregado miúdo, determinar:

a) equivalente de areia, conforme NBR 12052(4): um ensaio por jornada de 8 horas de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material.

6.1.3 Melhorador de Adesividade

Quando a adesividade não for satisfatória e o melhorador de adesividade for incorporado na mistura, deve-se verificar o dano por umidade induzida na mistura asfáltica compactada, conforme NBR 15617 (8).

6.2 Controle da Produção da Mistura Asfáltica

O controle da produção do SMA deve ser acompanhado por laboratório, o qual deve realizar o acompanhamento e os ensaios pertinentes devendo obedecer à metodologia indicada pelo DER/SP e atender os parâmetros recomendados.

6.2.1 Temperaturas

O controle da temperatura da produção da mistura asfáltica modificada por polímero deve ser realizado de acordo com os seguintes procedimentos:

a) para o caso de usinas gravimétricas, temperatura dos agregados nos silos quentes: duas determinações de cada silo, por jornada de 8 horas de trabalho;

b) temperatura do cimento asfáltico, antes da entrada do misturador: duas determinações por jornada de 8 horas de trabalho;

c) temperatura da massa asfáltica, na saída dos caminhões carregados na usina: em todo caminhão.

6.2.2 Granulometria dos Agregados

Devem ser executadas as seguintes análises granulométricas dos agregados, durante a produção da mistura:

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

a) granulometria do agregado de cada silo quente ou dos silos frios, quando tratar-se de usina tipo tambor-secador-misturador: duas determinações de cada agregado por jornada de 8 horas de trabalho conforme NBR 17054[25];

b) granulometria do material de enchimento: um ensaio por jornada de 8 horas de trabalho conforme NBR 17054[25].

c) se indicada a adição de fíler no projeto da mistura, deve-se realizar inspeção rigorosa da quantidade do fíler adicionado

6.2.3 Teor de Ligante Asfáltico e Granulometria da Mistura,

Devem ser executados os seguintes ensaios para controle do teor de ligante asfáltico, granulometria da mistura, verificação das propriedades volumétricas e da resistência à tração:

a) extração de ligante asfáltico, conforme o método de ensaio ME-DE-P00/011[28], quantas vezes forem necessárias no início de cada jornada de trabalho e sempre que houver indícios da falta ou excesso de ligante no teor de asfalto da mistura, no mínimo dois ensaios por jornada de 8 h de trabalho;

b) granulometria da mistura asfáltica com material resultante das extrações da alínea a; quantas vezes forem necessárias para a calibração da usina, no mínimo dois ensaios por jornada de 8 horas de trabalho, conforme NBR 17054 [25];

6.3 Controle da Aplicação e Destinação da Mistura Asfáltica

O controle da aplicação da mistura asfáltica deve ser efetuado através dos controles de pista descritos em seguida.

6.3.1 Temperaturas

Devem ser executadas as seguintes leituras de temperaturas na massa asfáltica na pista:

a) temperatura da massa asfáltica em cada caminhão que chegar à pista, com leituras efetuadas na frente, no meio e na traseira da caçamba;

b) temperatura da massa asfáltica distribuída no momento do espalhamento e no início da compactação, a cada descarga efetuada.

6.3.2 Teor de Ligante Asfáltico e Granulometria da Mistura e Densidade Máxima Medida (Rice)

Deverão ser coletadas amostras na saída da acabadora, com o auxílio de uma chapa, para que a amostra não seja contaminada pela emulsão asfáltica da pintura de ligação.

Devem ser executadas as seguintes determinações:

a) extração de ligante asfáltico, conforme o método de ensaio DER/SP ME-DE-P00/011[28]: duas extrações por jornada de 8 h de trabalho;

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

b) análise granulométrica da mistura de agregados, com material resultante das extrações da alínea a, de no mínimo 1.000 g, conforme NBR17054 [25]: dois ensaios por jornada de 8 horas de trabalho.

c) densidade máxima medida (Rice), conforme método de ensaio DNIT 427/2020 – ME[14], 2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho.

6.3.3 Controle da Compactação

A cada 100 m de faixa de rolamento de massa compactada, deve ser obtida uma amostra indeformada extraída com sonda rotativa, em local aproximadamente correspondente à trilha de roda externa, na faixa externa. De cada amostra extraída com sonda rotativa deve ser determinada a respectiva densidade aparente, conforme DNIT 428/2022–ME[13].

6.3.4 Destinação

Os locais de aplicação da mistura devem estar sempre associados às datas de produção e com os respectivos ensaios de controle tecnológico.

6.4 Controle Geométrico e de Acabamento

O controle geométrico deve ser feito por acompanhamento topográfico, obedecendo à metodologia indicada pelo DER/SP e deve satisfazer aos parâmetros recomendados.

6.4.1 Controle de Espessura e Cotas

A espessura da camada e a diferença de cotas da camada de SMA devem ser avaliadas nos corpos-de-prova extraídos com sonda rotativa ou pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m.

Devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e em dois pontos intermediários.

6.4.2 Controle da Largura e Alinhamento

A verificação do eixo e das bordas deve ser feita durante os trabalhos de locação e nivelamento nas diversas seções correspondentes às estacas da locação. A largura da plataforma acabada deve ser determinada por medidas à trena executadas pelo menos a cada 20 m.

6.4.3 Controle de Acabamento da Superfície

Devem ser executados os seguintes procedimentos para controle de acabamento da superfície da camada de rolamento:

a) durante a execução deve ser feito em cada estaca da locação o controle de acabamento da superfície do revestimento, com o auxílio de duas réguas, uma de 3,00 m e outra de 1,20 m, colocadas respectivamente em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada;

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

b) o acabamento longitudinal, para pavimentos novos, será avaliado pela irregularidade longitudinal da superfície, em cada faixa de tráfego.A irregularidade da superfície deve ser verificada por aparelhos adequados conforme indicado na IP-DE-P00/001[29] e o IRI (*InternationalRoughess Index*) será determinado para cada trecho de 200 metros ou nos locais indicados pela fiscalização.

6.5 Condições de Segurança

As condições de segurança devem ser determinadas pela macrotextura do revestimento asfáltico, conforme NBR 16504[26], através de ensaios de mancha de areia, espaçados a cada 100 m.

Tais condições serão avaliadas apenas nas camadas de rolamento e devem seguir os parâmetros definidos no projeto executivo de pavimentação.

6.6 Deflexões

Deve-se verificar as deflexões recuperáveis máximas (D_0) da camada a cada 20 m por faixa alternada e 40 m na mesma faixa, através da viga *Benkelman*, conforme DNER ME 024[30], ou FWD – *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273[31].

7 ACEITAÇÃO

Os serviços serão aceitos e passíveis de medição desde que atendam simultaneamente às exigências de materiais, da mistura asfáltica, de produção e de execução estabelecidas nesta especificação e discriminadas a seguir.

7.1 Materiais

7.1.1 Cimento Asfáltico Modificado por Polímero

O cimento asfáltico modificado por polímero é aceito se os resultados individuais estabelecidos no item 6.1.1 atenderem à legislação em vigor para cimentos asfálticos modificados por polímero. Na ausência de legislação específica, deve atender ao estabelecido no anexo C.

7.1.2 Agregados

Os agregados devem ser aceitos desde que:

a) os resultados individuais de abrasão *Los Angeles*, índice de forma, e durabilidade do agregado graúdo atendam o estabelecidos no item 3.2.1;

b) os resultados individuais e equivalente areia sejam superiores a 55%.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

7.1.3 Melhorador de adesividade

Os aditivos melhoradores de adesividade, quando utilizados, devem ser aceitos desde que os resultados individuais da razão da resistência à tração retida (RTT), compreendida pela razão da resistência à tração por compressão diametral após e antes o condicionamento severo recomendado na especificação da NBR 15617 [(8)], seja superior a 0,70. O ensaio de resistência à tração por compressão diametral deve seguir a especificação NBR 15087[(17)].

7.2 Produção

7.2.1 Temperaturas

As temperaturas medidas durante a produção da mistura asfáltica devem ser aceitas se:

a) as temperaturas individuais, medidas na linha de alimentação do cimento asfáltico com polímero, efetuadas ao longo do dia de produção, encontrarem-se situadas na faixa desejável, definida em função da curva "viscosidade *Brookfield* x temperatura" do ligante empregado, conforme fixada pelo fabricante;

b) o aquecimento do cimento asfáltico não estiver acima de 177° C. A temperatura de aquecimento dos agregados, medida nos silos quentes deve ser de 5 °C a 10 °C superior à temperatura definida para o aquecimento do ligante, desde que não supere a 177 °C;

c) as temperaturas medidas na saída dos caminhões da usina situarem-se em uma faixa suficientemente elevada para suportar eventuais perdas de calor e chegarem à obra com temperatura compatível à faixa especificada em projeto para sua aplicação.

A massa asfáltica chegada à pista deve ser aceita, sob o ponto de vista de temperatura, se:

a) as temperaturas medidas no mínimo em três pontos do caminhão imediatamente antes da aplicação variarem somente entre ± 5 °C da indicada para início da rolagem;

b) a temperatura da massa, no decorrer da rolagem, propiciar adequadas condições de compactação, tendo em vista o equipamento utilizado e o grau de compactação buscado, isto é, dentro da faixa de tolerância para compactação da massa asfáltica.

7.2.2 Mistura Asfáltica

7.2.2.1 Granulometria dos agregados da mistura

Os resultados da granulometria dos agregados e da mistura devem ser analisados estatisticamente para conjuntos de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras, através do controle bilateral, de acordo com o anexo B. As tolerâncias admitidas para variação das granulometrias são as definidas pelas respectivas faixas de trabalho.

7.2.2.2 Teor de ligante asfáltico

Os teores de ligante devem ser analisados estatisticamente para conjuntos de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras, através do controle bilateral, de acordo com o anexo B. As tolerâncias admitidas para variação do teor são de ± 0,2 pontos percentuais do teor ótimo de ligante do projeto da mistura.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

7.3 Execução

7.3.1 Compactação

O grau de compactação de cada segmento avaliado é obtido através do cálculo do valor estatístico de no mínimo 4 amostras. O grau de compactação individual é determinado através da seguinte expressão:

$$GC = \frac{100 x d_{pista}}{G_{mm}}$$

Sendo:

d_{pista} = densidade aparente do corpo-de-prova extraído da pista;

Gmm = densidade máxima medida (Rice) da amostra coletada da vibro-acabadora;

O grau de compactação é aceito se o valor estatístico calculado for: GC $\geq$ 92% e $\leq$ 97%.

7.3.2 Geometria

Os serviços executados são aceitos quanto à geometria desde que:

a) a largura da plataforma não apresente valores inferiores aos previstos para a camada e os desvios verificados no alinhamento não excedam a + 5 cm;

b) a espessura determinada estatisticamente, conforme equações 3 e 4 do anexo B, situe-se no intervalo de ± 5% em relação à espessura prevista em projeto;

c) os valores individuais de espessura não apresentem variações fora do intervalo de ± 10% em relação à espessura prevista em projeto;

d) não apresentem valores individuais de cota fora do intervalo de +2 a -0,5cm em relação à cota prevista em projeto;

e) as regiões que, eventualmente, apresentem deficiência de espessura sejam objeto de amostragem complementares através de novas extrações de corpos-de-prova com sonda rotativa; as áreas deficientes, devidamente delimitadas, devem ser removidas e refeitas às expensas da executante e de acordo com orientação da fiscalização.

7.3.3 Acabamento

O serviço é aceito, quanto ao acabamento, desde que sejam atendidas as seguintes condições:

a) o controle de acabamento da superfície de revestimento, com o auxílio de duas réguas, colocadas respectivamente em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, não deve apresentar variações da superfície entre dois pontos quaisquer de contatos superiores a 0,5 cm, quando verificadas com quaisquer uma das réguas;

b) as juntas executadas devem apresentar-se homogêneas em relação ao conjunto da mistura, isentas de desníveis e de saliências;

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

c) a superfície deve apresentar-se desempenada; não apresentando marcas indesejáveis do equipamento de compactação e ondulações decorrentes de variações na carga da vibro-acabadora;

d) para pavimentos novos a irregularidade longitudinal da superfície em cada faixa de tráfego deve apresentar IRI conforme indicado na IP-DE-P00/001(29);

e) se os valores de IRI forem superiores aos especificados no projeto executivo de pavimentação, os trabalhos devem ser suspensos e, não sendo permitido o reinício até que as ações corretivas sejam realizadas pela executante, os trechos devem ser corrigidos e novamente avaliados; onde forem feitas correções, a executante deve restabelecer as condições de rolamento e garantir a uniformidade em relação ao trecho contíguo não corrigido; os trabalhos corretivos devem estar completos antes da determinação da espessura da camada acabada; todos os trabalhos corretivos devem ser feitos às expensas da executante.

7.3.4 Condições de Segurança e Deflexões

A altura da areia determinada no ensaio de mancha de areia deve ser superior a 0,6 mm ou o que estiver indicado no projeto executivo de pavimentação.

A deflexão característica de cada subtrecho determinada de acordo equação 4 do anexo B, para no mínimo 15 determinações, deve menor ou igual à estabelecida em projeto. Não são admitidos valores individuais de D_0 superior ao valor admitido em projeto.

8 CONTROLE AMBIENTAL

Os procedimentos de controle ambiental referem-se à proteção de corpos d'água, da vegetação lindeira e da segurança viária. A seguir, são apresentados os cuidados para proteção do meio ambiente a serem observados no decorrer da execução das camadas de SMA.

8.1 Exploração de Ocorrência de Materiais - Agregados

Devem ser observados os seguintes procedimentos na exploração das ocorrências de materiais:

a) para as áreas de apoio necessárias à execução dos serviços, devem ser observadas as normas ambientais vigentes no DER/SP;

b) o material somente será aceito após a executante apresentar a licença ambiental de operação da pedreira e areal;

c) não é permitida a localização da pedreira e das instalações de britagem em área de preservação permanente ou de proteção ambiental;

d) não é permitida a exploração de areal em área de preservação permanente ou de proteção ambiental;

e) deve-se planejar adequadamente a exploração dos materiais, de modo a minimizar os impactos decorrentes da exploração e facilitar a recuperação ambiental após o término das atividades exploratórias;

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

f) caso seja necessário promover o corte de árvores, para instalação das atividades, deve ser obtida autorização dos órgãos ambientais competentes; os serviços devem ser executados em concordância com os critérios estipulados pelos órgãos ambientais constante nos documentos de autorização. Em hipótese alguma, será admitida a queima de vegetação ou mesmo dos resíduos do corte: troncos e árvores;

g) deve-se construir, junto às instalações de britagem, bacias de sedimentação para retenção do pó de pedra eventualmente produzido em excesso ou por lavagem da brita, evitando seu carreamento para cursos d'água;

h) caso os agregados britados sejam fornecidos por terceiros, deve-se exigir documentação que ateste a regularidade das instalações, assim como sua operação, junto ao órgão ambiental competente;

i) instalar sistemas de controle de poluição do ar, dotar os depósitos de estocagem de agregados de proteção lateral e cobertura para evitar dispersão de partículas, dotar o misturador de sistema de proteção para evitar emissões de partículas para a atmosfera.

8.2 Cimento Asfáltico

Instalar os depósitos em locais afastados de cursos d'água e sem restrições ambientais. Vedar o descarte do refugo de materiais usados na faixa de domínio e em áreas onde possam causar prejuízos ambientais.

Impedir a instalação de usinas de asfalto a quente a uma distância inferior a 200 m, medidos a partir da base da chaminé, em relação a residências, hospitais, clínicas, centros de reabilitação, escolas, asilos, orfanatos, creches, clubes esportivos, parques de diversões e outras construções comunitárias.

Definir áreas para as instalações industriais de maneira tal que se consiga o mínimo de agressão ao meio ambiente, priorizando áreas sem restrições ambientais.

A empresa executante é responsável pela obtenção da licença ambiental de instalação e operação, assim como por manter a usina em condições de funcionamento dentro do prescrito nestas normas.

8.3 Operação das Usinas e Agentes e Fontes Poluidoras

As operações em usinas asfálticas a quente englobam:

a) estocagem, dosagem, peneiramento e transporte de agregados frios;

b) transporte, peneiramento, estocagem e pesagem de agregados quentes;

c) transporte e estocagem de fíler;

d) transporte, estocagem e aquecimento de óleo combustível e cimento asfáltico.

Os agentes e fontes poluidoras da operação das usinas de asfalto estão apresentados na Tabela 5 a seguir:

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

Tabela 5 – Agentes e Fontes Poluidoras

Agente Poluidor	Fontes Poluidoras
I - Emissão de Partículas	A principal fonte é o secador rotativo. Outras fontes são: peneiramento, transferência e manuseio de agregados, balança, pilhas de estocagem e tráfego de veículos e vias de acesso.
II - Emissão de gases	Combustão do óleo: óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos. Misturador de asfalto: hidrocarbonetos. Aquecimento de cimento asfáltico: hidrocarbonetos. Tanques de estocagem de óleo combustível e de cimento asfáltico: hidrocarbonetos.
III - Emissões Fugitivas[1]	As principais fontes são pilhas de estocagem ao ar livre, carregamento dos silos frios, vias de tráfego, áreas de peneiramento, pesagem e mistura.

[1] Emissões Fugitivas são quaisquer lançamentos ao ambiente, sem passar primeiro por alguma chaminé ou duto projetados para corrigir ou controlar seu fluxo.

Para a instalação das usinas asfálticas deve-se licenciá-las junto aos órgãos ambientais competentes.

Para a preservação do meio ambiente na operação das usinas, devem ser adotados os seguintes procedimentos:

a) instalar sistemas de controle de poluição do ar constituídos por ciclone e filtro de mangas ou por equipamentos que atendam aos padrões estabelecidos nas legislações vigentes;

b) apresentar, com o projeto para obtenção de licença, os resultados de medições em chaminés que comprovem a capacidade do equipamento de controle proposto para atender aos padrões estabelecidos pelo órgão ambiental;

c) dotar os silos de estocagem de agregados frios de proteções laterais e cobertura para evitar a dispersão das emissões durante a operação de carregamento;

d) enclausurar a correia transportadora de agregados frios;

e) adotar procedimentos de forma que a alimentação do secador seja feita sem emissão visível para a atmosfera;

f) manter pressão negativa no secador rotativo enquanto a usina estiver em operação para evitar emissões de partículas na entrada e saída do secador;

g) submeter o misturador, os silos de agregados quentes e as peneiras classificatórias do sistema de exaustão ao sistema de controle de poluição do ar, para evitar emissões de vapores e partículas para a atmosfera;

h) fechar os silos de estocagem de massa asfáltica;

i) manter limpas as vias de acesso internos, de tal modo que as emissões provenientes do tráfego de veículos não ultrapassem 20% da capacidade;

j) dotar os silos de estocagem de fíler de sistema próprio de filtragem a seco;

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

k) adotar procedimentos operacionais que evitem a emissão de partículas provenientes dos sistemas de limpeza dos filtros de mangas e de reciclagem do pó retido nas margens;

l) acionar os sistemas de controle de poluição do ar antes dos equipamentos de processo;

m) manter as chaminés de instalações adequadas para realização de medições;

n) substituir o óleo combustível por outra fonte de energia menos poluidora, como gás ou eletricidade, e estabelecer barreiras vegetais no local sempre que possível.

8.4 Execução

Durante a execução, devem ser observados os seguintes procedimentos:

a) deve ser implantada a sinalização de alerta e de segurança de acordo com as normas pertinentes aos serviços;

b) deve ser proibido o tráfego dos equipamentos fora do corpo da estrada para evitar danos desnecessários à vegetação e interferências na drenagem natural;

c) caso haja necessidade de estradas de serviço fora da faixa de domínio, deve-se proceder o cadastro de acordo com a legislação vigente;

d) as áreas destinadas ao estacionamento e manutenção dos veículos devem ser devidamente sinalizadas, localizadas e operadas de forma que os resíduos de lubrificantes ou combustíveis não sejam carreados para os cursos d'água. As áreas devem ser recuperadas ao final das atividades;

e) todos os resíduos de lubrificantes ou combustíveis utilizados pelos equipamentos, seja na manutenção ou operação dos equipamentos, devem ser recolhidos em recipientes adequados e dada a destinação apropriada;

f) é proibida a deposição irregular de sobras de materiais utilizados na camada de SMA junto ao sistema de drenagem lateral, evitando seu assoreamento, bem como o soterramento da vegetação;

g) é obrigatório o uso de EPI, equipamentos de proteção individual, pelos funcionários.

9 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

Os serviços são medidos em metros cúbicos de camada acabada, cujo volume é calculado multiplicando-se as extensões obtidas a partir do estaqueamento pela área da seção transversal de projeto.

Os serviços recebidos e medidos da forma descrita são pagos conforme respectivos preços unitários contratuais, nos quais estão inclusos: o fornecimento de materiais, homogeneização da mistura em usina devidamente calibrada, perdas, carga e transporte até os locais de aplicação, descarga, espalhamento, compactação e acabamento, abrangendo inclusive a mão-de-obra com encargos sociais, BDI e equipamentos necessários aos serviços, executados de forma a atender ao projeto e às especificações técnicas.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

DESIGNAÇÃO	UNIDADE
23.08.05.02 – Revestimento asfáltico tipo SMA, graduação I	m³
23.08.05.03 – Revestimento asfáltico tipo SMA, graduação II	m³
23.08.05.04 – Revestimento asfáltico tipo SMA, graduação III	m³
23.08.05.05 – Revestimento asfáltico tipo SMA, graduação IV	m³

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16974**. Agregado graúdo – Ensaio de Abrasão Los Angeles. Rio de Janeiro, 2022.

2 DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 425/2020 - ME**. Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com paquímetro - Método de ensaio. Brasília, 2020.

3 ____. **DNIT 446/2024 - ME**. Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou magnésio – Método de ensaio . Brasília, 2024.

4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12052**. Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

5 DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 418/2019 - EM.** Pavimentação – Solo-Cal – Cal Virgem e Cal Hidratada – Especificação de material. Brasília, 2019.

6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12583**. Agregado graúdo – Determinação da adesividade a ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 2017.

7 ____. **NBR 12584**. Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 2017.

8 ____. **NBR 15617**. Misturas asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida. São Paulo, 2015.

9 ROAD AND TRANSPORTATION RESEARCH ASSOCIATION. **ZTV Asphalt – StB 01**. Additional technical conditions and guidelines for the construction of pavements surfacing made of asphalt. Technical Committee Asphalt Roads. Alemanha, 2001.

10 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2196**. Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational Viscometer. Philadelphia, 2020.

11 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 153**. Agregados em estado compactado seco – determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1997.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

12 ____. **DNER ME 081**. Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1998.

13 DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 428/2022 - ME**. Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova -– Método de ensaio. Brasília, 2022.

14 ____. **DNIT 427/2020 - ME**. Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa máxima medida e da massa específica máxima medida em amostras não compactadas – Método de ensaio. Brasília, 2020.

15 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6296.** Produtos betuminosos semissólidos — Determinação da massa específica e densidade relativa. Rio de Janeiro, 2012.

16 DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 447/2024 - ME**. Misturas asfálticas – Ensaio de estabilidade e fluência Marshall – Método de ensaio. Brasília, 2024.

17 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15087**. Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 2012.

18 ____. **NBR 6560**. Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do anel e bola. Rio de Janeiro, 2016.

19 ____. **NBR 15184**. Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro, 2004.

20 ____. **NBR 11341**. Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland. Rio de Janeiro, 2015.

21 ____. **NBR 15086**. Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetro. Rio de Janeiro, 2006.

22 ____. **NBR 15166**. Asfalto modificado – Ensaio de separação de fase. Rio de Janeiro, 2004.

23 ____. **NBR 6576**. Materiais asfálticos – Determinação da penetração. Rio de Janeiro, 2007.

24 ____. **NBR 15235**. Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional. Rio de Janeiro, 2009.

25 ____. **NBR 17054**. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2022.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

26 ____. **NBR 16504**. Misturas asfálticas - Determinação da profundidade média da macrotextura superficial de pavimentos asfálticos por volumetria - Método da mancha de areia. Rio de Janeiro, 2016.

27 DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **DER/SP ME-DE-P00/010**. Método para projetos de misturas. São Paulo, 2024.

28 ____. **ME-DE-P00/011**. Determinação do teor de asfalto por meio do forno NCAT (Ignition Method). São Paulo, 2024.

29 ____. **IP-DE-P00/001**. Projeto de Pavimentação. São Paulo, 2024.

30 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 024**. Pavimento – determinação das deflexões pela Viga Benkelman. Rio de Janeiro, 1994.

31 ____. **DNER PRO 273**. Determinação das deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo “falling weigt deflectometer – FWD”. Rio de Janeiro, 1996.

32 NATIONAL LABORATORY OF TRANSPORTATION. **NLT 329**. Recuperación elástica por torsión de betunes asfálticos modificados. Madrid, 1991.

33 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 6390**. Standard Test Method for Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures. Philadelphia, 2023.

34 AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 305**. Standard Method of Test for Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures. Washington, 2022.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

ANEXO A – TABELAS DE CONTROLE

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
1. CONTROLE DOS MATERIAIS				
1.1 Cimento Asfáltico				
Ponto de amolecimento	NBR 6560[18]	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Ver especificação para Cimento Asfáltico Modificado por Polímero Elastomérico – anexo C, ou regulamentação em vigor
Viscosidade Brookfield	NBR 15184[19]			
Ponto de fulgor	NBR 11341[20]			
Formação de espuma	Aquecido a 175ºC			
Recuperação elástica	NBR 15086[21]			
Estabilidade à estocagem	NBR 15166[22]	1 ensaio para cada 100 t	Resultados individuais	
Penetração	NBR 6576[23]			
Ensaios do resíduo no RTFOT: - Variação em massa - Ponto de amolecimento - Penetração - Recuperação elástica	 NBR 15235[24] NBR 6560[18] NBR 6576[23] NBR 15086[21]			

/continua

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

/continuação

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
1.2 Agregados				
Abrasão Los Angeles	NBR 16974(1)	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados individuais	≤ 30%
Índice de forma	DNIT 425/2020 – ME(2)	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados individuais	≥ 0,5
Durabilidade com sulfato de sódio, em 5 ciclos	DNIT 446/2024 – ME(3)	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados individuais	≤ 12%
Equivalente de areia do agregado miúdo	NBR 12052(4)	1 ensaio por jornada de trabalho e sempre que houver variação da natureza do agregado	Resultados individuais	≥ 55%
Adesividade ao ligante betuminoso	NBR 12583(6) e NBR 12584(7)	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados individuais	Adesividade satisfatória Quando a adesividade for insatisfatória, empregar melhorador de adesividade
1.3 Melhorador de Adesividade				
Verificação da adesividade	NBR 15617(8)	1 ensaio após o emprego do melhorador de adesividade	Resultados individuais	$\frac{RT_{condicionado}}{RT_{seco}} > 0{,}70$

/continua

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

/continuação

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
2. CONTROLE DA PRODUÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA				
2.1 Temperaturas				
Temperatura nos silos quentes	Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações de cada silo por jornada de 8 horas de trabalho	Resultados individuais	Deve ser de 5° C a 10° C superior à temperatura definida para o aquecimento do ligante, desde que não supere a 177° C
Temperatura do cimento asfáltico, antes da entrada do misturador		2 determinações por jornada de 8 horas de trabalho	Resultados individuais	Devem estar e situadas na faixa desejável, definida em função da curva viscosidade Brookfield x temperatura do ligante empregado, conforme fixada pelo fabricante Inferior a 177° C
Temperatura da massa asfáltica, na saída da usina	Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	Determinação de todo caminhão carregado na saída da usina	Resultados individuais	Suficientemente elevada para suportar eventuais perdas de calor, e chegar à obra com temperatura compatível para sua aplicação, podendo variar entre ± 5° C da temperatura média especificada pelo projeto de mistura
Variações constantes ou desvios significativos em relação à faixa de temperatura desejável indicam a necessidade de suspensão temporária do processo de produção, para que sejam executados os necessários ajustes.				

/continua

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

/continuação

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
2.2 Granulometria dos Agregados				
Granulometria do agregado, de cada silo quente, ou frio (usina tipo tambor-secador-misturador)	NBR 17054[25]	2 determinações de cada agregado por jornada de 8 horas de trabalho	Controle Bilateral $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa de trabalho, definida a partir da curva de projeto
Granulometria do material de enchimento - fíler	NBR 17054[25]	1 determinação por jornada de 8 horas de trabalho	Controle Bilateral $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa definida na Tabela 1
2.3 Teor de Ligante Asfáltico, Granulometria da Mistura, Volume de Vazios e Resistência à Tração por Compressão Diametral				
Extração de ligante	ME-DE-P00/011[28]	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina Quando houver indícios de falta e excesso no teor de betume No mínimo 2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho	Controle Bilateral $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	± 0,2% do teor ótimo de projeto

/continua

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

/continuação

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g)	NBR 17054[25]	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina No mínimo 2 ensaios por jornada de 8 horas de trabalho	Controle Bilateral $X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa definida na Tabela 1
Volume de vazios - Vv	ME-DE-P00/010 [27]	2 determinações por jornada de 8 horas de trabalho	Controle Bilateral $X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	(3,5 a 4,5) %
Resistência à tração por compressão diametral estática a 25° C, MPa	NBR 15087[17]	2 determinações por jornada de 8 horas de trabalho	Controle Unilateral $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	≥ 0,6

/continua

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

/continuação

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
3. CONTROLE DA APLICAÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA				
3.1 Temperaturas				
Temperatura da massa ao chegar na pista, medida imediatamente antes de aplicação	Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	De todo caminhão carregado que chegar à pista	Resultados individuais	Poderá variar ± 5° C da indicada para início da rolagem
Temperatura da massa asfáltica, no momento do espalhamento e no início da compactação		De cada descarga efetuada	Resultados individuais	Dentro da faixa de tolerância para compactação da massa asfáltica
3.2 Teor de Ligante Asfáltico e Granulometria da Mistura				
Extração de asfalto	ME-DE-P00/011[28]	2 extrações por jornada de 8 horas de trabalho	Controle Bilateral $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	± 0,2% do teor ótimo de projeto
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g)	NBR 17054[25]	2 ensaios por jornada de 8 horas de trabalho	Controle Bilateral $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa de trabalho, definida a partir da curva de projeto

/continua

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

/continuação

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
3.3 Compactação				
Extração de amostra indeformada	Extração com sonda rotativa	A cada 100 m de faixa de rolamento compactada	-	-
Determinar a densidade aparente de cada corpo-de-prova extraído e o correspondente grau de compactação	DNIT 428/2022-ME[13]	A cada 100 m de faixa de rolamento compactada	Cálculo estatístico: $GC = \frac{100 x d_{pista}}{G_{mm}}$	O grau de compactação é aceito se O valor estatístico for GC ≥ 92% e < 97%.
4. CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO				
4.1 Geométrico				
Determinação da espessura através de corpos-de-prova extraídos	Extração com sonda rotativa, e determinação da espessura com paquímetro	A cada 100 m de faixa de rolamento compactada.	Controle Bilateral $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	± 5% da espessura de projeto e não possuir valores individuais fora do intervalo de ± 10% em relação à espessura de projeto

/continua

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

/continuação

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
Espessura	Relocação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo, bordas e dois pontos intermediários, camada de rolamento A cada 20 m, no eixo, bordas e trilhas de roda, camada intermediária	Controle Bilateral $X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	± 5% da espessura de projeto e não possuir valores individuais fora do intervalo de ± 10% em relação à espessura de projeto
Cota			Resultados individuais	+ 2 cm a -0,5 cm da cota de projeto
Largura da plataforma, desvios dos alinhamentos	Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	No máximo + 5 cm
4.2 Acabamento				
Nivelamento com 2 réguas, uma de 3,0 m e outra de 1,20 m, colocadas respectivamente em ângulo reto e paralelamente ao eixo da pista	Réguas	A cada 20 m	Resultados individuais	A variação da superfície em dois pontos quaisquer de contato deve ser < 0,5 cm
Irregularidade longitudinal, para camada de rolamento dos pavimentos novos	IP-DE-P00/001(29)	Em cada faixa de rolamento, determinado a cada trecho de 200 m, ou nos locais indicados pela fiscalização		Conforme projeto
De modo geral as juntas executadas devem apresentar-se homogêneas ao conjunto da mistura, isentas de desníveis e de saliências. A superfície deve apresentar-se desempenada, não deve conter marcas indesejáveis do equipamento de compactação e ondulações de variações decorrentes da carga da vibro-acabadora.				

/continua

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

/conclusão

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
5. CONDIÇÕES DE SEGURANÇA				
Determinação da macrotextura	NBR 16504[26]	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	Altura da areia ≥ 0,6 mm ou indicada em projeto
6. DEFLEXÕES				
Determinação deflectométrica, D_0 e D_{25}	Viga Benckelman DNER ME 024[30] Ou FWD DNER PRO 273[31]	A cada 20 m por faixa alternada, a cada 40 m na mesma faixa, determinar D_0; A cada 80 m determinar D_{25}	Controle Unilateral $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica de cada subtrecho deve ser menor ou igual ao valor admitido em projeto e não possuir valores individuais de D_0 superior ao valor admitido em projeto

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

ANEXO B – CONTROLE ESTATÍSTICO

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

Tabela B-1 – Controle Estatístico

Parâmetro		
1 - Média aritmética da amostra ($\bar{X}$)	$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	Onde: **X_i** = valor individual da amostra; **N** = nº de determinações efetuadas; **K =** coeficiente unilateral tabelado em função do número de amostras; **K_1 =** coeficiente bilateral tabelado em função do número de determinações; **LSE** = limite superior especificado; **LIE** = limite inferior especificado.
2 – Desvio-padrão da amostra (S)	$S = \sqrt{\frac{\sum(\bar{X} - X_i)^2}{N-1}}$	
Controle Unilateral		
3 – Controle pelo limite inferior 4- Controle pelo limite superior	$X = \bar{X} - KS \geq LIE$ Ou $X = \bar{X} + KS \leq LSE$	
Controle Bilateral		
5 – Controle pelo limite inferior e superior	$X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$	

Tabela B-2 – Valores K – Tolerância Unilateral e K1 Tolerância Bilateral

N	K	K_1	N	K	K_1	N	K	K_1
4	0,95	1,34	**10**	0,77	1,12	**25**	0,67	1,00
5	0,89	1,27	**12**	0,75	1,09	**30**	0,66	0,99
6	0,85	1,22	**14**	0,73	1,07	**40**	0,64	0,97
7	0,82	1,19	**16**	0,71	1,05	**50**	0,63	0,96
8	0,80	1,16	**18**	0,70	1,04	**100**	0,60	0,92
9	0,78	1,14	**20**	0,69	1,03	**∞**	0,52	0,84

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

ANEXO C – ESPECIFICAÇÃO PARA CIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO POR POLÍMERO DO TIPO ELASTOMÉRICO

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

Características	Unidades	Relação ponto de amolecimento/ Recuperação elástica (ºC/%)			Método
		55/75	60/85	65/90	ABNT
Ensaios na Amostra Virgem:					
Penetração (100 g, 5 s, 25 ºC)	0,1 mm	40-70	40-70	40-70	NBR 6576[23]
Ponto de amolecimento, mín.	ºC	55	60	65	NBR 6560[18]
Ponto de fulgor, mín.	ºC	235	235	235	NBR 11341[20]
Viscosidade Brookfield a 135 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx.	cP	3000	3000	3000	NBR 15184[19]
Viscosidade Brookfield a 150 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx.	cP	2000	2000	2000	NBR 15184[19]
Viscosidade Brookfield a 177 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx.	cP	1000	1000	1000	NBR 15184[19]
Estabilidade à estocagem, máx.	ºC	5	5	5	NBR 15166[22]
Recuperação elástica a 20 ºC, 20 cm, mín.	%	75	85	90	NBR 15086[21]
Ensaios no Resíduo do RTFOT:					
Variação de massa, máx.	%	1	1	1	NBR 15235[24]
Aumento do ponto de amolecimento, máx.	ºC	7	7	7	NBR 6560[18]
Redução do ponto de amolecimento, máx.	ºC	5	5	5	NBR 6560[18]
Porcentagem de penetração original, mín.	%	60	60	60	NBR 6576[23]
Porcentagem de recuperação elástica original a 25 ºC, mín.	%	80	80	80	NBR 15086[21]

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

ANEXO D – PROPRIEDADES DO LIGANTE ASFALTO BORRACHA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

Características	Exigência		Métodos de Ensaio
	Mínima	Máxima	
Viscosidade Brookfield a 175 ºC, cP	800	2000	ASTM D 2196(10)
Penetração, 100 g, 5 s, 25 ºC, 0,1 mm	25	75	NBR 6576(23)
Ponto de amolecimento, ºC	55	-	NBR 6560(18)
Recuperação elástica por torção, %	50	-	NLT 329(32)
Ponto de fulgor, ºC	235	-	NBR 11341(20)
Densidade relativa, 25 ºC	1,00	1,05	NBR 6296(15)
Ensaio no resíduo do RTFOT			
Variação em massa, %	-	1,0	NBR 15235(24)
Percentagem de penetração original	50	-	

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.