



# IE – 03/2008

## CAMADAS DE CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE

### 1. OBJETIVO

O objetivo deste documento é a definição dos critérios que orientam a dosagem, usinagem e execução de camadas constituídas de misturas asfálticas do tipo concreto asfáltico usinado a quente, em obras de pavimentação sob a jurisdição da Prefeitura do Município de São Paulo.

### 2. DESCRIÇÃO

Os serviços consistem no fornecimento, carga, transporte e descarga, e a usinagem de materiais, mão-de-obra e equipamentos necessários à execução e ao controle de qualidade de camadas de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ).

O concreto asfáltico usinado a quente é uma mistura asfáltica executada em usina apropriada, composta de agregados minerais, filer e cimento asfáltico de petróleo, espalhada e comprimida a quente.

De acordo com a posição relativa e a função na estrutura, a mistura de concreto asfáltico deverá atender as características especiais em sua formulação, recebendo geralmente as seguintes designações:

- Camada de rolamento: camada destinada a receber diretamente a ação do tráfego. A mistura empregada deverá apresentar estabilidade e flexibilidade compatíveis com o funcionamento elástico da estrutura e condições de rugosidade superficiais que proporcionem segurança ao tráfego, mesmo sob condições climáticas e geométricas adversas.
- Camada intermediária de ligação ou "binder": camada posicionada logo abaixo da camada de rolamento. Geralmente apresenta uma maior percentagem de vazios e menor consumo de ligante, em relação à camada de rolamento.
- Camada de nivelamento ou "reperfilagem": camada executada com massa asfáltica de graduação fina, com função de corrigir irregularidades que ocorram na superfície de um antigo revestimento e, simultaneamente, promover a selagem de fissuras existentes.

### 3. MATERIAIS

#### 3.1 MATERIAIS ASFÁLTICOS

Os ligantes asfálticos deverão ser cimento asfáltico de petróleo do tipo CAP-50/70 ou CAP-30/45, atendendo às exigências contidas na norma da Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis em vigor ( ANEXO A); a seleção do tipo de ligante dependerá do projeto estrutural, das deflexões admissíveis e do volume de tráfego.

## **3.2 AGREGADOS**

### **3.2.1 Agregado Graúdo**

O agregado graúdo, assim considerado o material retido na peneira de 4,8 mm (n<sup>o</sup> 4), será constituído por produtos de britagem provenientes de rochas sãs (granitos, gnaisses, basalto, etc), apresentando partículas limpas e duráveis, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas, atendendo aos seguintes requisitos:

- a) Quando submetidos à avaliação da durabilidade com solução de sulfato de sódio, em cinco ciclos (método DNER-ME 89/94), os agregados deverão apresentar perdas inferiores a 12%;
- b) Para o agregado retido na peneira de 2,0 mm (n<sup>o</sup> 10), a percentagem de desgaste no ensaio de abrasão "Los Angeles" (PMSP/SIURB ME-23/92) não deverá ser superior a 40%;
- c) Deve apresentar boa adesividade com material asfáltico (PMSP/SIURB ME-24/92). Caso isto não ocorra, deve ser empregado um melhorador de adesividade;
- d) Deve apresentar índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086/94) e percentagem de partículas lamelares não superior a 10% (ABNT NBR 6954).

### **3.2.2 Agregado Miúdo**

O agregado miúdo, assim considerado o material que passa na peneira de 4,8 mm (n<sup>o</sup> 4), será constituído por areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos, apresentando partículas individuais resistentes, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. Deverão ser atendidos, ainda, os seguintes requisitos:

- a) O equivalente de areia (PMSP/SIURB ME-12/92) de cada fração componente do agregado miúdo (pó-de-pedra e/ou areia) deverá ser igual ou superior a 55%;
- b) É vetado o emprego de areia proveniente de cavas e/ou barrancas de rio, sem o devido beneficiamento. Sua utilização só será possível após análises e liberações pela Fiscalização no caso de pavimentação de vias de tráfego leve e médio. No caso de vias de tráfego meio pesado, pesado e muito pesado somente serão aceitas frações de agregado miúdo decorrentes de britagem de rocha.

### **3.2.3 Material de Enchimento (Fíler)**

O material de enchimento deverá ser constituído pela parte fina do pó-de-pedra, cimento Portland, cal extinta ou pó-calcário. Quando da aplicação, o fíler deverá estar seco e isento de grumos. A granulometria a ser atendida deverá obedecer os limites indicados no Quadro 3.1.

### Quadro 3.1

#### Limites para granulometria do filer

PENEIRA	%EM PESO QUE PASSA
0,420mm (N <sup>o</sup> 40)	100
0,175 mm(N <sup>o</sup> 80)	95-100
0,075 mm(N <sup>o</sup> 200)	65-100

#### 3.2.4 Aditivos

Melhorador de Adesividade: a necessidade do emprego de melhorador de adesividade deverá ser avaliada através de ensaio de adesividade (PMSP/SIURB ME-24/92; ABNT NBR 15618; ABNT NBR 15617). Os aditivos poderão ser os produtos químicos líquidos melhoradores de adesividade ou cal extinta tipo CH-1.

### 3.3 COMPOSIÇÃO DA MISTURA

A faixa granulométrica a ser utilizada deverá ser selecionada em função da utilização prevista para o concreto asfáltico. A composição da mistura deverá satisfazer os requisitos do Quadro 3.2. Deverão ser obedecidos, ainda, os seguintes requisitos:

- a) A faixa granulométrica a ser usada deve ser aquela que corresponde ao projeto estrutural e cujo diâmetro máximo seja igual ou inferior a 2/3 da espessura acabada (compactada) da camada de revestimento;
- b) A fração retida entre duas peneiras consecutivas, com exceção das duas de maior malha de cada faixa, não deverá ser inferior a 4% do total;
- c) As granulometrias das frações passantes na peneira 2,0mm deverão ser obtidas por "via lavada";
- d) As condições obtidas no ensaio Marshall (PMSP/SIURB ME-42/92), para a estabilidade, fluência, porcentagem de vazios e relação betume-vazios deverão atender aos limites apresentados no Quadro 3.3.

Nos casos da utilização de misturas asfálticas para camada de rolamento e de reperfilagem (Faixas II, III, e IV), os vazios do agregado mineral (% VAM) deverão atender aos valores do quadro 3.4, definidos em função do diâmetro máximo do agregado empregado.

**Quadro 3.2**  
**Requisitos para composição da mistura**

PENEIRAS		% EM PESO QUE PASSA				
		I	II	III	IV	V
50	2''	100	-	-		-
38	1 1/2''	95-100	100	-		-
25	1''	75-100	95-100	-		-
19	3/4''	60-90	80-100	100	100	-
12,5	1/2''	-	-	80-100	88-100	-
9,52	3/8''	35-65	45-80	70-90	78-94	100
4,8	4	25-50	28-60	44-72	60-80	75-100
2,38	8	-	-	-	44-60	-
2,0	10	20-40	20-45	22-50	-	50-90
0,42	40	10-30	10-32	8-26	20-35	20-50
0,175	80	5-20	8-20	4-16	12-24	7-28
0,075	200	1-8	3-8	2-10	6-12	3-10
UTILIZAÇÃO		LIGAÇÃO	ROLAMENTO U LIGAÇÃO	ROLAMENTO		REPERFIL.
TIPO DE TRÁFEGO (IP-02)		QUALQUER		MÉDIO PESADO MTO. PESADO	MÉDIO LEVE	QUALQUER
ESPESSURA MAXIMA COMPACTADA (cm)		6,0	6,0	6,0	5,0	2,5

**Quadro 3.3 Ensaio Marshall (Valores Recomendados)**

ITEM	TRÁFEGO – IP-02	
	LEVE	MEDIO A MUITO PESADO
ENSAIO PMSP/SP ME-42/92		
N <sup>o</sup> GOLPES/FACE	50	75
ESTABILIDADE MÍNIMA kN	5	8
FLUÊNCIA (mm) (0,01")	2,0 a 4,0 8-18	2,0 a 4,0 8-16
<b>% DE VAZIOS TOTAIS</b>		
REPERFILAGEM	3 A 5	
LIGAÇÃO	4 A 7	
ROLAMENTO	3 A 5	
<b>RELAÇÃO BETUME/VAZIOS(%)</b>		
REPERFILAGEM	70 A 80	
LIGAÇÃO	65 A 75	
ROLAMENTO	70 A 80	
<b>RT(MPa) – Resistência à tração por compressão diametral (NBR 15087)</b>		
LIGAÇÃO/REPERFILAGEM	0,65	
ROLAMENTO	0,80	

**Quadro 3.4**  
**Limites**  
**Recomendados**  
**para % de**

#### **Vazios do Agregado Mineral (VAM)**

DIÂMETRO MÁXIMO	% VAM MÍNIMO(4% VAZIOS)
38 mm	11
25 mm	12
19 mm	13
16 mm	14
12,5	14

#### **4. EQUIPAMENTOS**

Todo equipamento deverá ser inspecionado pela Fiscalização, devendo dela receber aprovação, sem o que não será dada a autorização para o início dos serviços. Caso necessário, a Fiscalização poderá exigir a vistoria do equipamento por engenheiro mecânico ou técnico qualificado.

#### **4.1 DEPÓSITOS PARA CIMENTO ASFÁLTICO**

- a) Os depósitos para o cimento asfáltico deverão ser capazes de aquecer o material, conforme as exigências técnicas estabelecidas por esta Instrução, através de serpentinas a vapor, óleo, eletricidade ou outros meios, de modo a não haver contato direto de chamas com o depósito;
- b) O sistema de circulação do cimento asfáltico deverá garantir a circulação livre e contínua, do depósito ao misturador, durante todo o período de operação;
- c) Todas as tubulações e acessórios deverão ser dotados de isolamento térmico, a fim de evitar perdas de calor;
- d) A capacidade dos depósitos de cimento asfáltico deverá ser suficiente para o atendimento de, no mínimo, três dias de serviço.

#### **4.2 DEPÓSITOS PARA AGREGADOS (SILOS DOSADORES)**

- a) Os silos deverão ser divididos em compartimentos, dispostos de modo a separar e estocar, adequadamente, as frações dos agregados;
- b) Cada compartimento deverá possuir dispositivos adequados de descarga, passíveis de regulação;
- c) O sistema de alimentação deverá ser sincronizado, de forma a assegurar a adequada proporção dos agregados frios e a constância de alimentação;
- d) O material de enchimento (fíler) será armazenado em silo apropriado, conjugado com dispositivos que permitam a sua dosagem;
- e) Em conjunto, a capacidade de armazenamento dos silos deverá ser, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador.

#### **4.3 USINAS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS**

- a) A usina utilizada deverá apresentar condições de produzir misturas asfálticas uniformes, devendo ser totalmente revisada e aferida em todos os seus aspectos antes do início da produção;
- b) A usina empregada deverá ser equipada com unidade classificadora de agregados após o secador, a qual distribuirá o material para os silos quentes;
- c) As balanças utilizadas nas usinas gravimétricas devem apresentar precisão de 0,5%, quando aferidas através do emprego de massa-padrão. São necessários, no mínimo, 10 (dez) massas padrão, cada qual com  $25 \text{ kg} \pm 15\text{g}$ ;
- d) O sistema de coleta do pó deverá ser comprovadamente eficiente, a fim de minimizar os impactos ambientais. O material fino coletado deverá ser devolvido, no todo, em parte, ou não retornado ao misturador;

- e) O misturador deverá ser do tipo "pug-mill", com duplo eixo conjugado, provido de palhetas reversíveis e removíveis, devendo possuir dispositivo de descarga de fundo ajustáveis e controlador do ciclo completo da mistura;
- f) A usina deverá ser equipada com os seguintes sistemas de controle de temperatura:
  - I. Um termômetro de mercúrio, com escala em "dial", pirômetro elétrico ou outros instrumentos termométricos adequados, colocados na descarga do secador e em cada silo quente, para registrar a temperatura dos agregados;
  - II. Um termômetro com proteção metálica e graduação de 90° a 120°C, instalado na linha de alimentação do asfalto, em local adequado, próximo à descarga no misturador;
  - III. No caso de sistema de filtragem por filtros de manga, deverá ser instalado um termômetro para proteção das mangas com desligamento automático do maçarico, no caso de excesso de temperatura.
- g) Especial atenção deverá ser conferida à segurança dos operadores da usina, particularmente no que tange à eficácia dos corrimãos das plataformas e escadas, à proteção de peças móveis e à de circulação dos equipamentos de alimentação de silos e transporte da mistura, devendo ser seguida a legislação de segurança do trabalho pertinente.

#### **4.4 CAMINHÕES PARA TRANSPORTE DA MISTURA**

O transporte da mistura betuminosa deverá ser efetuado através de caminhões basculantes com caçambas metálicas limpas e lubrificadas com óleo mineral ou similar caso seja necessário, providas de lona para proteção da mistura.

#### **4.5 EQUIPAMENTOS PARA DISTRIBUIÇÃO**

- a) A distribuição da mistura asfáltica será normalmente efetuada através de acabadora automotriz, capaz de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento requeridos;
- b) A acabadora deverá ser preferencialmente equipada com esteiras metálicas para sua locomoção;
- c) A acabadora deverá possuir, ainda:
  - I. sistema composto por parafuso de rosca-sem-fim, capaz de distribuir adequadamente a mistura, em toda a largura da faixa de trabalho;
  - II. sistema rápido e eficiente de direção, além de marchas para a frente e para trás;
  - III. alisadores, vibradores e dispositivos para seu aquecimento à temperatura especificada, de modo que não ocorra irregularidade na distribuição da massa;

IV. dispositivo eletrônico de nivelamento;

V. sistema de vibração que permita pré-compactação na mistura espalhada.

#### **4.6 EQUIPAMENTO PARA COMPRESSÃO**

- a) A compressão da mistura betuminosa será efetuada pela ação combinada de rolo de pneumáticos e rolo liso tandem, ambos autopropelidos;
- b) O rolo pneumático deverá ser dotado de dispositivos que permitam a mudança automática da pressão interna dos pneus, na faixa de 35 a 120 lb/pol<sup>2</sup> (250 kPa à 850 kPa). É obrigatória a utilização de pneus uniformes, de modo a se evitar marcas indesejáveis na mistura comprimida;
- c) O rolo compressor de rodas metálicas lisas, tipo tandem, deverá ter peso compatível com a espessura da camada;
- d) O emprego de rolos lisos vibratórios poderá ser admitido, desde que a frequência e a amplitude vibratória possam ser ajustadas às necessidades do serviço, e que sua utilização tenha sido comprovada em serviços similares, e não incorra em fissuração da camada;
- e) Em qualquer caso, os equipamentos utilizados deverão ser eficientes no que se refere à obtenção do grau de compactação de projeto preconizado para a camada no período em que a mistura se apresentar em condições de temperatura que lhe assegurem adequada trabalhabilidade.

#### **4.7 FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS ACESSÓRIOS**

Serão utilizados, complementarmente, os seguintes equipamentos e ferramentas:

- a) Soquetes mecânicos ou placas vibratórias, para a compressão de áreas inacessíveis aos equipamentos convencionais;
- b) Pás, enxadas, garfos, rodos, vassourões, carrinhos de mão e ancinhos, para operações complementares

### **5. EXECUÇÃO**

#### **5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

As seguintes recomendações de ordem geral são aplicáveis à execução da camada de CAUQ:

- a) No caso do uso de camada de rolamento esbelta (inferior a 5 cm) em pavimento cuja base é granular (Brita Graduada, Macadame Hidráulico, etc.), deverá ser executado um tratamento superficial simples de acordo com a ESP-08/92 sobre a base previamente impermeabilizada. Este tratamento visa melhorar as condições da interface da base com a camada de rolamento;

- b) Não será permitida a execução dos serviços durante dias de chuva;
- c) A camada de rolamento deve ser confinada lateralmente pela borda superior biselada (chanfrada) da sarjeta, com a finalidade de evitar trincamento próximo à borda.

## **5.2 PREPARO DA SUPERFÍCIE**

- a) A superfície que irá receber a camada de concreto asfáltico deverá se apresentar limpa, isenta de pó ou outras substâncias prejudiciais;
- b) Eventuais defeitos existentes deverão ser adequadamente reparados, previamente à aplicação da mistura;
- c) A pintura de ligação deverá apresentar película homogênea e promover adequadas condições de aderência, quando da execução do concreto asfáltico. Se necessário, nova pintura de ligação deverá ser aplicada, previamente à distribuição da mistura.

## **5.3 PRODUÇÃO DO CONCRETO ASFÁLTICO**

- a) O concreto asfáltico deverá ser produzido em usina apropriada, que atenda aos requisitos apresentados no item 4.3 desta especificação. A usina deverá ser calibrada racionalmente, de forma a assegurar a obtenção das características desejadas para a mistura;
- b) A temperatura de aquecimento do cimento asfáltico empregado deverá ser, necessariamente, determinada em função da relação temperatura x viscosidade do ligante. A temperatura mais conveniente é aquela na qual o cimento asfáltico apresenta viscosidade Saybolt-Furol na faixa de 75 a 95 segundos;
- c) Não é permitido o aquecimento do cimento asfáltico acima de 177°C;
- d) A temperatura de aquecimento dos agregados deverá ser de 5 a 10°C superior à temperatura definida para o aquecimento do ligante, sem ultrapassar 177°C;
- e) A produção de concreto asfáltico e a frota de veículos de transporte deverão assegurar a operação contínua da vibro-acabadora.

## **5.4 TRANSPORTE DO CONCRETO ASFÁLTICO**

- a) O concreto asfáltico será transportado da usina ao local de aplicação, em caminhões basculantes com caçambas metálicas previamente limpas;
- b) A aderência da mistura às chapas da caçamba será evitada mediante a aspersão prévia de solução de cal (uma parte de cal para três de água), água e sabão ou lubrificantes minerais. Em qualquer caso, o excesso de solução deverá ser retirado, antes do carregamento da mistura, basculando-se a caçamba;

- c) As caçambas dos veículos serão cobertas com lonas impermeáveis durante o transporte, de forma a proteger a massa asfáltica quanto à ação de chuvas, eventual contaminação por poeira, perda de temperatura e queda de partículas durante o transporte.

### **5.5 DISTRIBUIÇÃO DA MISTURA**

- a) A distribuição do concreto asfáltico somente será permitida quando a temperatura ambiente se encontrar acima de 10°C, e com tempo não chuvoso;
- b) A temperatura da mistura, no momento da distribuição não deverá ser inferior a 120°C em qualquer hipótese;
- c) Para o caso de emprego de concreto asfáltico como camada de rolamento ou de ligação, a mistura deverá ser distribuída por uma ou mais acabadoras, atendendo aos requisitos anteriormente especificados;
- d) Deverá ser assegurado, previamente ao início dos trabalhos, o conveniente aquecimento da mesa alisadora da acabadora à temperatura compatível com a da massa a ser distribuída. Observar que o sistema de aquecimento destina-se exclusivamente ao aquecimento da mesa alisadora, e nunca de massa asfáltica que eventualmente tenha esfriado em demasia;
- e) Caso ocorram irregularidades na superfície da camada acabada, estas deverão ser corrigidas de imediato, pela adição manual de massa asfáltica, sendo o espalhamento desta efetuado por meio de ancinhos e/ou rodos metálicos. Esta alternativa deverá ser minimizada, uma vez que o excesso de reparo manual é prejudicial à qualidade do serviço;
- f) Para o caso de distribuição de massa asfáltica de graduação "fina" em serviços de reperfilagem, poderá, opcionalmente, ser empregada motoniveladora, observando a temperatura mínima para distribuição de 120°C.

### **5.6 COMPRESSÃO**

- a) A compressão da mistura asfáltica terá início imediatamente após a distribuição da mesma;
- b) A fixação da temperatura de rolagem está condicionada à natureza da massa e às características do equipamento utilizado. Como norma geral, deve-se iniciar a compressão à temperatura mais elevada que a mistura asfáltica possa suportar (dentro da faixa), temperatura essa fixada experimentalmente, em cada caso;
- c) A prática mais freqüente de compactação de misturas asfálticas densas usinadas a quente contempla o emprego combinado de rolo de pneumáticos de pressão regulável e rolo metálico tandem de rodas lisas, de acordo com as seguintes premissas:
- Inicia-se a rolagem com o rolo pneumático atuando com baixa pressão;

- À medida que a mistura for sendo compactada, e com o conseqüente crescimento de sua resistência, seguem-se coberturas (passadas), com incremento gradual da pressão do pneu;
- A compactação final será efetuada com o rolo metálico tandem de rodas lisas, quando então a superfície da mistura deverá estar bem desempenada;
- O número de coberturas (passadas) de cada equipamento será definido experimentalmente, de forma a se atingir as condições de densidade prevista, enquanto a mistura se apresentar com trabalhabilidade adequada.

d) As coberturas dos equipamentos de compressão utilizados deverão seguir as seguintes orientações gerais:

- A compressão será executada em faixas longitudinais, sendo sempre iniciada pelo ponto mais baixo da seção transversal, e progredindo no sentido do ponto mais alto;
- Em cada passada, o equipamento deverá recobrir, ao menos, a metade da largura rolada na passada anterior;

e) A compressão através do emprego de rolo vibratório de rodas lisas, quando admitida pela Fiscalização, deverá ser verificada experimentalmente, na obra, de forma a permitir a definição dos parâmetros mais apropriados à sua aplicação (número de coberturas, freqüência e amplitude da vibração). As regras clássicas de compressão de misturas asfálticas, anteriormente estabelecidas, permanecem inalteradas;

f) As espessuras máximas de cada camada individual, após compressão, deverão ser definidas na obra pela Fiscalização, em função das características de trabalhabilidade da mistura e da eficiência do processo de compressão, porém deverão atender aos limites do item 3.3 e Quadro 3.2.

## **5.7 JUNTAS**

O processo de execução das juntas transversais e longitudinais deverá assegurar adequadas condições de acabamento.

## **5.8 ABERTURA AO TRÁFEGO**

A camada de concreto asfáltico recém-acabada somente será liberada ao tráfego após o seu completo resfriamento.

## **6. MANEJO AMBIENTAL**

Os cuidados a serem observados para fins de preservação do meio ambiente envolvem a produção e aplicação de agregados, o estoque e operação da usina.

Devem ser observadas as determinações estabelecidas no Decreto nº 48.184/2007 para procedimentos de controle ambiental quanto a aquisição de agregados.

As usinas para produção da mistura asfáltica deverão estar devidamente licenciadas pelo órgão ambiental competente.

## **7. CONTROLE**

### **7.1 CONTROLE TECNOLÓGICO DE MATERIAIS**

Este controle abrange os ensaios e determinações para verificar se as condições dos materiais exigidos no projeto estão sendo atendidas.

#### **7.1.1 Cimento Asfáltico**

a) Para todo carregamento que chegar à usina, serão realizados os seguintes ensaios:

- Um ensaio de viscosidade Saybolt-Furol (PMSP/ME-31/92)
- Um ensaio de ponto de fulgor (PMSP/ME-27/92)
- Aquecimento do ligante a 175°C, para observar se há formação de espuma.

b) Para os três primeiros carregamentos, e posteriormente a cada dez carregamentos, serão executados ensaios de viscosidade Saybolt-Furol, a várias temperaturas (no mínimo três valores), que permitam o traçado da curva "viscosidade-temperatura" (sugerem-se três valores: 120°C, 145°C e 177°C);

c) Para cada conjunto de cinco carregamentos ou ainda a cada lote de serviço quando o volume necessário não atingir este valor, será coletada uma amostra do cimento asfáltico utilizado, para execução de ensaios previstos no quadro do ANEXO A. Todo o carregamento entregue deverá ser acompanhado de Certificados do Fabricante indicando:

- viscosidade a 60°C, Poise;
- viscosidade a 135°C e a 177°C, SSF;
- penetração (100g, 5g, 25°C), 1/10mm;
- ponto de fulgor, °C;
- solubilidade em tricloroetileno, %;
- índice de suscetibilidade térmica;
- efeito do calor e do ar (variação em massa e durabilidade).

#### **7.1.2 Agregados e Fíler**

a) Periodicamente, a critério da fiscalização, será feita inspeção na usina e aos estoques de agregados e filer, visando garantir que os agregados estejam limpos, isentos de pó e outras contaminações prejudiciais, bem como as condições de armazenamento e estocagem, devendo estar protegidos da chuva, do vento e garantindo a separação por granulometria ;

b) Quando se constatar alteração mineralógica (visual) no agregado estocado, e no mínimo uma vez por mês, deverão ser executados:

- Três ensaios de abrasão "Los Angeles" (PMSP/ME-23/92);
- Três ensaios de durabilidade (DNER-ME 89-64);
- Três ensaios de adesividade (PMSP/ME-24/92);
- Três ensaios de índice de forma.

c) Diariamente, na usina, deverão ser realizados dois ensaios de granulometria (PMSP/ME-20/92) de cada agregado empregado, e dois ensaios de equivalente de areia (DNER-ME 54-63), para o agregado miúdo;

d) O controle do filer envolverá a realização de ensaio de granulometria, a cada três dias de trabalho;

f) Serão realizados, ainda, para amostras de agregados coletadas nos silos quentes, dois ensaios de granulometria por "via lavada" (PMSP/ME-20/92) por dia de trabalho.

### **7.1.3 Melhorador de Adesividade**

A eficácia do melhorador de adesividade, quando utilizado, deverá ser verificada pela execução de três ensaios de adesividade (PMSP/ME-24/92), no início da obra e sempre que forem constatadas mudanças no agregado.

## **7.2 CONTROLE DA EXECUÇÃO**

### **7.2.1 Controle de Temperatura**

a) O controle de temperatura, durante a produção de massa, compreenderá as leituras de temperaturas, envolvendo:

- Agregado nos silos quentes;
- Cimento asfáltico, antes da entrada do misturador;
- Massa asfáltica, nos caminhões carregados na usina.

b) O controle de temperatura, na pista, envolverá a leitura de temperatura:

- Em cada caminhão que chega à pista;
- Na massa asfáltica distribuída, no momento do espalhamento e no início da compressão.

### **7.2.2 Controle da Quantidade de Ligante e da Graduação da Mistura de Agregados**

Para cada 200 t de massa, e ao menos uma vez por dia de trabalho, será coletada, imediatamente após a passagem da acabadora, uma amostra da mistura distribuída. Cada amostra será submetida aos seguintes ensaios:

- a) Extração de betume (DNER-ME 53-63) ou, preferencialmente, ensaio de extração por refluxo - "Soxhlet" de 1000 ml;
- b) Análise granulométrica da mistura de agregados resultante das extrações (PMSP/ME-20/92), e com amostras representativas de no mínimo 1000 g.

### **7.2.3 Controle das Características de Estabilidade e Fluência da Mistura**

- a) Para cada 400 t de massa, e ao menos uma vez por dia de trabalho, será coletada, imediatamente após a passagem da acabadora, uma amostra da mistura distribuída, com a qual serão moldados três corpos de prova Marshall, com a energia de compactação especificada;
- b) Cada corpo de prova será submetido a rompimento na prensa Marshall, determinando a estabilidade e a fluência.
- c) Ensaio de tração por compressão diametral a 25<sup>o</sup>C (NBR 15087).

### **7.2.4 Controle da Compressão da Mistura**

- a) A cada 100 t de massa compactada, será obtida uma amostra indeformada extraída com sonda rotativa ( $\varnothing=101,6$  mm), em local correspondente, aproximadamente, à trilha de roda externa. Um destes pontos deverá, necessariamente, coincidir com o ponto de coleta de amostras para extração de betume e moldagem de corpos de prova Marshall, descrito em 6.2.2 e 6.2.3;
- b) De cada amostra extraída com sonda rotativa, será determinada a respectiva massa específica aparente (PMSP/ME-45/92) e a estabilidade e fluência Marshall (PMSP/ME-42/92);
- c) Comparando os valores obtidos para as massas específicas aparentes dos corpos de prova extraídos com rotativa e a massa específica aparente da dosagem, serão determinados os correspondentes graus de compactação;
- d) Deverá ser assegurada a imediata recomposição dos furos abertos pela extração de corpos de prova, com a mesma energia de compactação.

### **7.2.5 Controle Geométrico e de Acabamento**

#### **7.2.5.1 Controle de Espessura**

A espessura da camada de concreto asfáltico será avaliada por meio dos corpos de prova extraídos com sonda rotativa, ou pelo nivelamento da seção transversal, antes e depois do espalhamento da mistura. Neste caso serão nivelados cinco pontos para as camadas de rolamento ou "binder" (eixo, bordos e dois pontos intermediários) e sete pontos para as camadas de reperfilagem (eixo, bordos e trilhas de roda).

#### **7.2.5.2 Controle de Acabamento da Superfície**

As condições de acabamento da superfície serão apreciadas pela Fiscalização, em bases visuais. Em particular, serão avariadas as condições de desempenho da camada, a quantidade das juntas executadas e a inexistência de marcas decorrentes de má qualidade da distribuição e/ou de compressão inadequada.

Durante a execução deverá ser feito diariamente um controle de acabamento da superfície do revestimento, com o auxílio de duas réguas, uma de 3,0 m e outra de 0,90 m, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da pista, respectivamente. A variação da superfície entre dois pontos quaisquer de contato, não deve exceder a 0,5 cm, quando verificada com qualquer das réguas.

## **7.3 CONTROLE DE RECEBIMENTO**

### **7.3.1 Recebimento com Base no Controle Tecnológico dos Materiais**

#### **7.3.1.1 Cimento Asfáltico**

O cimento asfáltico recebido no canteiro será aceito, desde que atendidos os seguintes requisitos:

- a) Os valores de viscosidade e ponto de fulgor estejam de acordo com os valores especificados pela PMSP;
- b) O material não produza espuma, quando aquecido a 175°C;
- c) Para cada conjunto de vinte carregamentos, os resultados dos ensaios de controle de qualidade do CAP, previsto na especificação da PMSP, sejam julgados satisfatórios.

#### **7.3.1.2 Agregados e Filer**

O agregado graúdo, o agregado miúdo e o "filler utilizados serão aceitos, desde que atendidas as seguintes condições:

- a) O agregado graúdo atenda aos requisitos do item 3.2.1. desta diretriz no que se refere à abrasão "Los Angeles, durabilidade e lamelaridade;
- b) O agregado miúdo atenda aos requisitos do item 3.2.2. desta diretriz no que se refere aos ensaios de equivalente de areia e durabilidade;
- c) O "filer" apresentar-se seco, sem grumos, e enquadrado na granulometria especificada;
- d) As variações ocorridas nas granulometrias, com amostras coletadas nos silos quentes, estejam contidas dentro dos limites estabelecidos.

#### **7.3.1.3 Aditivos**

- a) A quantidade, a forma de incorporação dos aditivos ao cimento asfáltico e o tempo de circulação do asfalto deverão estar de acordo com os critérios estabelecidos pela Fiscalização;
- b) O melhorador de adesividade, quando utilizado, deverá produzir "adesividade satisfatória" no ensaio (PMSP/ME-24/92).

### **7.3.2 Recebimento com Base no Controle de Execução**

#### **7.3.2.1 Temperaturas**

- a) A produção da mistura betuminosa será aceita, com vistas ao controle de temperaturas, se:
- As temperaturas medidas na usina de alimentação do cimento asfáltico, efetuadas ao longo do dia de produção, encontrarem-se situadas na faixa desejável, definida em função da curva "viscosidade x temperatura" do ligante empregado. Constantes variações ou desvios significativos em relação à faixa de temperatura desejável indicam a necessidade de suspensão temporária do processo de produção, providenciando os necessários ajustes;
  - Temperaturas do cimento asfáltico ou de agregados superiores a 177°C implicam na rejeição da massa produzida;
  - Temperaturas de cimento asfáltico inferiores a 120°C, ou dos agregados inferiores a 125°C, igualmente implicam na condenação da massa produzida;
- b) A massa asfáltica chegada à pista será aceita, sob o ponto de vista de temperatura, se:
- A temperatura medida no caminhão não for menor do que o limite inferior da faixa de temperatura prevista para a mistura na usina, menos 15°C, e nunca inferior a 120°C;
  - A temperatura da massa, no decorrer da rolagem, propicie adequadas condições de compressão tendo em vista o equipamento utilizado e o grau de compactação objetivado.

#### **7.3.2.2 Quantidade de Ligante e Graduação da Mistura de Agregados**

- a) A quantidade de cimento asfáltico obtida pelo ensaio de extração por refluxo "soxhlet", em amostras individuais, não deverá variar, em relação ao teor de projeto, de mais do que 0,3%, para mais ou para menos. A média aritmética obtida, para conjuntos de 9 (nove) valores individuais, não deverá, no entanto, ser inferior ao teor de projeto;
- b) Durante a produção, a granulometria da mistura poderá sofrer variações em relação à curva de projeto, respeitadas as tolerâncias indicadas no quadro 7.1 e os limites da faixa granulométrica adotada.

#### **Quadro 7.1**

##### **Granulometria da Mistura – tolerâncias admitidas**

<b>Peneira de Malhas Quadradas</b>	<b>% Passando em Peso</b>
9,5 a 38mm (3/8" a 1 1/2")	+/- 7
0,42 a 4,8 mm n0 40 a n0 4	+/-5
0,175 mm n0 80	+/-3

0,075mm n0200	+/-2
---------------	------

**7.3.2.3 Características de Estabilidade e Fluência da Mistura**

- a) Os valores de estabilidade e fluência Marshall, deverão atender ao prescrito no item 3.3, alínea f);
- b) A eventual ocorrência de valores que não atendam ao especificado, poderá resultar na não aceitação do serviço. As falhas ocorrentes deverão ser corrigidas mediante ajustes racionais na formulação do traço e/ou no processo executivo.

**7.3.2.4 Compressão**

- a) No que se refere ao Grau de Compactação haverá aceitação se:
  - Não for obtido nenhum valor inferior a 97%;
  - For satisfeita a relação seguinte:

$$\bar{X} - K.S \geq 95\%$$

Onde:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N Xi}{N}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Xi - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

**X** – Grau de Compactação

**N** – nº de determinações efetuadas

**K** - coeficiente indicado na tabela valor coeficiente “K” para controle estatístico grau de compactação

**Xi** - valores individuais da amostra.

**Valor do coeficiente “K” para controle estatístico do grau de compactação**

N	K	N	K	N	K
3	1,05	10	0,77	30	0,66
4	0,95	12	0,75	40	0,64
5	0,89	14	0,73	50	0,63
6	0,85	16	0,71	100	0,60
7	0,82	18	0,70	---	---
8	0,80	20	0,69	---	---
9	0,78	25	0,67	---	---

### 7.3.3 Recebimento com Base no Controle Geométrico

Os serviços executados serão aceitos, à luz do controle geométrico, desde que atendidas as seguintes condições:

a) Quanto à espessura da camada acabada:

- A espessura média determinada estatisticamente deverá se situar no intervalo de  $\pm 5\%$ , em relação à espessura prevista em projeto;
- A determinação estatística da espessura média da camada é efetuada pela expressão seguinte:

$$e = \bar{X} - \frac{k - S}{N}$$

Onde:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

**e** – Espessura média

**N** – nº de determinações efetuadas;

**K** - coeficiente indicado na tabela valor do coeficiente “K” para controle estatístico da espessura da camada;

**S** - desvio padrão;

**X<sub>i</sub>** – valores individuais das amostras

Não serão tolerados valores individuais de espessura fora do intervalo de  $\pm 10\%$ , em relação à espessura prevista em projeto;

b) Eventuais regiões em que se constate deficiência de espessura serão objeto de amostragem complementar, através de novas extrações de corpos de prova com sonda rotativa. As áreas deficientes, devidamente delimitadas, deverão ser reforçadas, às expensas da executante.

#### Valor do coeficiente “k” para controle estatístico da espessura da camada

N	K	N	K	N	K
3	1,88	10	1,38	30	1,31
4	1,63	12	1,36	40	1,30
5	1,53	14	1,35	50	1,29
6	1,47	16	1,34	100	1,28
7	1,44	18	1,33	---	---
8	1,41	20	1,33	---	---
9	1,40	25	1,32	---	---

#### **7.3.4 Aceitação do Acabamento**

O serviço será aceito, sob o ponto de vista de acabamento, desde que atendidas as seguintes condições:

- a) As juntas executadas apresentem-se homogêneas, em relação ao conjunto da mistura, isentas de desníveis e saliências;
- b) A superfície apresente-se desempenada, não ocorrendo:
  - marcas indesejáveis do equipamento de compressão
  - ondulações decorrentes de variações na carga da vibroacabadora.

### **8. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTOS**

#### **8.1. MEDIÇÃO**

A medição do serviço de execução de camada de Concreto Asfáltico Usinado a Quente, executado e recebido na forma descrita, será medido e pago por volume de mistura aplicada e compactada, expressa em metro cúbico (m<sup>3</sup>), para cada uma das camadas, ou seja, camada de rolamento, camada de ligação ou de nivelamento.

#### **8.2. PAGAMENTO**

O pagamento será feito, após a aceitação e a medição dos serviços executados, com base no preço unitário contratual, o qual representará a compensação integral para todas as operações, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e eventuais necessários à completa execução dos serviços.

## ANEXO A

Características	Unidade	Limites		Métodos	
		CAP 30-45	CAP 50-70	ABNT	ASTM
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 a 45	50 a 70	NBR 6576	D 5
Ponto de Amolecimento, mín.	°C	52	46	NBR 6560	D 36
<b>Viscosidade Saybolt – Furol</b>					
a 135°C, mín.	s	192	141	NBR 14950	E 102
a 150°C, mín.		90	50		
a 177°C		40 a 150	30 a 150		
<b>Viscosidade Brookfield</b>					
a 135°C, mín. SP 21, 20rpm, mín.	cP	374	274	NBR 15184	D 4402
a 150°C, mín.		203	112		
a 177°C, SP 21		76 a 285	57 a 285		
Índice de Suscetibilidade Térmica		(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	-	-
Ponto de fulgor, mín.	°C	235	235	NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloetileno, mín.	% massa	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042
Dutilidade a 25°C, mín.	cm	60	60	NBR 6293	D 113
<b>Efeito do calor e do ar a 163°C por minutos</b>					
Varição em massa, máx.	% massa	0,5	0,5		D 2872
Dutilidade a 25°C, mín.	cm	10	20	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx.	°C	8	8	NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín. (*)	%	60	55	NBR 6576	D 5



**PMSP ETS-02/2009**  
**BASE DE MATERIAL FRESADO COM ESPUMA DE ASFALTO**

## **1. OBJETIVO**

O objetivo deste documento é a definição dos critérios que orientam a dosagem, usinagem e execução de base proveniente da reciclagem a frio em usina com espuma de asfalto do material fresado de camadas asfálticas do pavimento, em obras sob a jurisdição da Prefeitura do Município de São Paulo.

## **2. DESCRIÇÃO**

Os serviços consistem no fornecimento, carga, transporte, descarga, usinagem, mão-de-obra, materiais e equipamentos necessários à execução e controle de qualidade da camada de Base de Material Fresado com Espuma de Asfalto.

A Base de Material Fresado com Espuma de Asfalto é uma mistura reciclada a frio obtida em usina que utiliza como agregado material proveniente da fresagem de pavimentos asfálticos (RAP – Reclaimed Asphalt Pavement) - em uma porcentagem mínima de 75% em relação à massa total de agregados e filer - agregados adicionais provenientes de britagem, pó calcário, cal hidratada, cimento Portland, ou outro filer, cimento asfáltico de petróleo (CAP) sob forma de espuma (Espuma de Asfalto) e água em proporções previamente determinadas em laboratório pelo ensaio Proctor, misturada, espalhada e compactada, de forma a compor uma nova camada de base do pavimento e executada em conformidade com a presente instrução. A camada de base constituída por material fresado com espuma de asfalto deverá ser empregada em vias que apresentam  $N_{\text{CARACTERÍSTICO}} = 10^5$  repetições de carga do eixo padrão de 80 kN no período de projeto.

### **2.1 Definições**

As seguintes definições foram adotadas na presente norma, com base na norma do DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes DNER ES-405/2000 e na ET-DE-P00/033 do Departamento de Estradas de Rodagem/SP:

*Espuma de Asfalto* é o estado temporário obtido a partir da injeção de ar sob pressão e pequena quantidade de água no cimento asfáltico de petróleo (CAP) aquecido à temperatura definida pelo fabricante do equipamento de reciclagem como a mais adequada para o tipo de CAP selecionado para a execução da obra, o que ocasiona forte expansão do ligante. Nesta condição, o produto é trabalhável à temperatura ambiente.

*Taxa de Expansão* é a relação entre o volume máximo do cimento asfáltico de petróleo no estado de “espuma” e o volume do cimento asfáltico de petróleo remanescente, após a espuma estar completamente assente.

*Meia-vida* é o tempo em segundos necessário para a espuma assentar à metade do volume máximo alcançado.

*Relação de Resistências*: Relação entre a resistência à tração indireta úmida (após condicionamento obtido por imersão do corpo de prova por 24 horas), sobre a resistência à tração indireta seca (sem condicionamento prévio). Estas resistências devem ser obtidas à temperatura de 25<sup>o</sup>C, através do ensaio de compressão diametral dos corpos-de-prova Marshall (DNER ME 138/94) moldados com 50 golpes em cada uma das faces, e mantidos após desmoldagem pelo período de 72 horas em estufa a 60<sup>o</sup>C.

### **3. MATERIAIS PARA A MISTURA**

#### **3.1 Cimento Asfáltico de Petróleo**

Os ligantes asfálticos deverão ser cimento asfáltico de petróleo do tipo CAP-50/70 ou CAP-85/100 atendendo às exigências contidas na norma da Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis em vigor (ANEXO A). Todo carregamento de ligante asfáltico que chegar à obra deve apresentar certificado de análise, além de trazer indicação clara da procedência, tipo e quantidade do conteúdo e distância de transporte entre a refinaria/fornecedor e a usina.

A temperatura de aquecimento do ligante asfáltico para espumação deverá ser definida pelo fabricante da usina como a mais adequada para cada tipo de ligante, limitada ao máximo de 175<sup>o</sup>C.

#### **3.2 Espuma de asfalto**

A espuma de asfalto deve ser adequada em termos de expansão, meia vida e fluidez, para permitir uma mistura reciclada homogênea e possibilitando boa trabalhabilidade em temperatura ambiente.

Durante a execução da camada de Base de Material Fresado com Espuma de Asfalto, a meia-vida e a taxa de expansão devem respeitar os limites indicados na dosagem da mistura pelo fabricante.

#### **3.3 Material Fresado**

O material fresado será constituído em sua totalidade de material resultante do processo de fresagem de camadas de pavimentos asfálticos.

O material fresado para fins de execução de camada de mistura reciclada com espuma de asfalto deverá ser isento de materiais indesejáveis (plásticos,

papéis/papelões, borrachas, vidros, gesso etc.) ou nocivos ao meio ambiente ou à saúde do trabalhador (produtos químicos, amianto, etc...).

O material fresado deverá ser estocado em área coberta e drenada, de forma a evitar excesso de umidade.

### **3.4 Agregados**

#### **3.4.1 Agregado Graúdo**

O agregado graúdo, assim considerado o material retido na peneira de 4,8 mm (n<sup>o</sup> 4), será constituído por produtos de britagem provenientes de rochas sãs (granitos, gnaisses, basalto, etc), apresentando partículas limpas e duráveis, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas, atendendo aos seguintes requisitos:

- a) Quando submetidos à avaliação da durabilidade com solução de sulfato de sódio, em cinco ciclos (método DNER-ME 89/94), os agregados deverão apresentar perdas inferiores a 12%;
- b) Para o agregado retido na peneira de 2,0 mm (n<sup>o</sup> 10), a porcentagem de desgaste no ensaio de abrasão "Los Angeles" (PMSP/SIURB ME-23/92) não deverá ser superior a 40%;
- c) Deve apresentar boa adesividade com material asfáltico (PMSP/SIURB ME-24/92). Caso isto não ocorra, deve ser empregado um melhorador de adesividade;
- d) Deve apresentar índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086/94) e porcentagem de partículas lamelares não superior a 10% (ABNT NBR 6954).

#### **3.4.2 Agregado Miúdo**

O agregado miúdo, assim considerado o material que passa na peneira de 4,8 mm (n<sup>o</sup> 4), será constituído por areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos, apresentando partículas individuais resistentes, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. Deverão ser atendidos, ainda, os seguintes requisitos:

- a) O equivalente de areia (PMSP/SIURB ME-12/92) de cada fração componente do agregado miúdo (pó-de-pedra e/ou areia) deverá ser igual ou superior a 55%;
- b) É vetado o emprego de areia proveniente de cavas e/ou barrancas de rio, sem o devido beneficiamento. Sua utilização só será possível após análises e liberações pela Fiscalização.

### **3.5 Material de Enchimento (Filer)**

O material de enchimento deverá ser constituído pela parte fina do pó-de-pedra, cimento Portland, cal hidratada ou pó-calcário. Quando da aplicação, o filer deverá

estar seco e isento de grumos. A granulometria a ser atendida deverá obedecer os limites indicados no Quadro 3.1.

**Quadro 3.1**  
**Limites para granulometria do filer**

PENEIRA	%EM PESO QUE PASSA
0,420mm (N <sup>o</sup> 40)	100
0,175 mm(N <sup>o</sup> 80)	95-100
0,075 mm(N <sup>o</sup> 200)	65-100

#### 4. MISTURA RECICLADA

O material fresado deve ser corrigido com adição de agregados virgens para que sua curva granulométrica resulte contínua e bem graduada, obedecendo as faixas granulométricas indicadas na Tabela 1.

A mistura reciclada deve atender aos seguintes requisitos:

a) a curva granulométrica da mistura de materiais deve ser contínua e enquadrar-se em uma das faixas da Tabela 1;

**TABELA 1**  
**FAIXAS GRANULOMÉTRICAS DA MISTURA**

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa Passando		
ASTM	mm	A	B	TOLERÂNCIAS
2"	50,0	100	100	
1 ½"	37,5	86-100	83-100	+/- 8
1"	25,0	72-100	76-100	+/- 8
¾"	19,0	64-100	70-94	+/- 8
½"	12,7	53-84	62-86	+/- 8
3/8"	9,5	46-76	58-80	+/- 8
N <sup>o</sup> 4	4,8	34-62	42-68	+/- 8
N <sup>o</sup> 10	2,0	23-50	32-54	+/- 5
N <sup>o</sup> 40	0,42	11-32	16-35	+/- 5
N <sup>o</sup> 80	0,42	8-25	10-26	+/- 5
N <sup>o</sup> 200	0,075	8-20	8-20	+/- 3

b) a mistura deve possuir um mínimo de 5% de finos passantes na peneira n<sup>o</sup> 200, para que a espuma se disperse convenientemente na mistura;

c) no caso de uso de cimento como filer, a porcentagem deve ser preferencialmente 1%, e no máximo 2%;

d) o teor de asfalto a ser utilizado deve ser determinado no laboratório, tendo como referência a faixa de 2% a 4%;

e) a quantidade de água adicionada ao asfalto, usualmente está compreendida entre 1% e 2%, sobre o peso do asfalto, respeitando os valores mínimos para taxa de expansão e meia-vida indicados no projeto de mistura, que deverá ser fornecido pelo contratado;

f) a mistura deve apresentar resistência média à tração indireta seca mínima de 0,28 MPa (3 corpos-de-prova para o cálculo da média) e resistência média à tração indireta saturada mínima de 0,20 MPa (3 corpos-de-prova para o cálculo da média). Estas resistências devem ser obtidas a 25°C por meio do ensaio de compressão diametral (DNER ME 138/94) dos corpos-de-prova Marshall moldados com 50 golpes por face. Todos os corpos-de-prova após moldagem deverão ser colocados pelo período de 72 horas em estufa a 60°C. Após permanência em estufa, os corpos-de-prova devem ser retirados da mesma e resfriados até a temperatura de equilíbrio de 25°C para então serem submetidos ao ensaio de ruptura por tração por compressão diametral – o valor de resistência à tração obtido é chamado de resistência à tração indireta seca. A média de resistências de três corpos-de-prova é denominada resistência média à tração indireta seca.

Outro conjunto de corpos-de-prova moldados e mantidos em estufa nas mesmas condições que a anterior, serão levados ao condicionamento constituído por imersão dos corpos-de-prova por 24 horas em água a 60°C. Após retirada do banho e retirada da umidade em excesso da superfície dos corpos-de-prova, o conjunto formado por pelo menos 3 corpos-de-prova deverá ser levado ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral a 25°C. O valor de resistência à tração obtido é chamado de resistência à tração indireta saturada. A média de resistências de três corpos-de-prova é denominada resistência média à tração indireta saturada.

g) a mistura deve apresentar relação de resistências - definida como a relação entre a resistência média à tração indireta saturada e a resistência média à tração indireta seca – de no mínimo 70%;

Para definição do projeto de mistura e porcentagem dos agregados adicionais é necessário que seja feita uma dosagem criteriosa da granulometria dos materiais e do teor de betume. É fundamental que a coleta de amostras seja executada de forma a cobrir as possíveis variações dos materiais fresados disponíveis.

A dosagem da mistura reciclada - a ser fornecida pelo contratado - deve indicar as seguintes características:

- Composição granulométrica de projeto e faixa de trabalho;
- Cimento asfáltico de petróleo a ser utilizado;
- Teor do cimento asfáltico de petróleo a ser adicionado na mistura para formação da espuma, bem como a porcentagem de água necessária;
- Temperatura de aquecimento do cimento asfáltico de petróleo;

- Umidade ótima da mistura reciclada;
- Massa específica aparente seca máxima da mistura reciclada;
- Energia de compactação especificada (no mínimo Proctor Intermediário);
- Taxa de expansão e meia-vida;
- Resistência média à tração indireta, para as condições seca e saturada;
- Relação de resistências.

## **5. EQUIPAMENTOS**

Todo equipamento deverá ser inspecionado pela Fiscalização, devendo dela receber aprovação, sem o que não será dada a autorização para o início dos serviços. Caso necessário, a Fiscalização poderá exigir a vistoria do equipamento por engenheiro mecânico ou técnico qualificado.

### **5.1 Usina de Reciclagem**

A usina utilizada deverá apresentar condições de produzir o material descrito nesta norma com capacidade mínima de 200 ton/hora, sendo constituída por dois silos (um para RAP e outro para material de correção granulométrica), dosador para filer, com pesagem dinâmica via células de carga, barra espargidora para produção de asfalto espumado com aquecimento elétrico integrado na linha de CAP e barra para injeção de água, ambas com controle computadorizado, misturador tipo “*pug-mill*” e correia de carregamento do material reciclado.

Especial atenção deverá ser conferida à segurança dos operadores da usina, particularmente em relação à eficácia dos corrimãos das plataformas e escadas, à proteção de peças móveis e à de circulação dos equipamentos de alimentação de silos e transporte da mistura, devendo ser seguida a legislação de segurança do trabalho pertinente.

### **5.2 Caminhões para o transporte da mistura**

O transporte da mistura deverá ser efetuado através de caminhões basculantes com caçambas metálicas limpas e lubrificadas com óleo mineral ou similar caso seja necessário, providas de lona para proteção da mistura reciclada.

### **5.3 Equipamentos para distribuição**

- a) A distribuição da mistura reciclada será normalmente efetuada através de vibro-acabadora automotriz, capaz de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento requeridos;
- b) A acabadora deverá ser preferencialmente equipada com esteiras metálicas para sua locomoção;

- c) A acabadora deverá possuir, ainda:
- sistema composto por parafuso de rosca-sem-fim, capaz de distribuir adequadamente a mistura, em toda a largura da faixa de trabalho;
  - sistema rápido e eficiente de direção, além de marchas para a frente e para trás;
  - alisadores e vibradores, de modo que não ocorra irregularidade na distribuição da massa;
  - dispositivo eletrônico de nivelamento;
  - sistema de vibração que permita pré-compactação na mistura espalhada.
- d) Excepcionalmente, a critério da fiscalização, poderá ser autorizada distribuição através de motoniveladora.

#### **5.4 Equipamentos para compressão**

- a) A compressão da mistura reciclada será efetuada pela ação combinada de rolo de pneumáticos e rolo liso, ambos autopropelidos;
- b) O rolo pneumático deverá ser dotado de dispositivos que permitam a mudança automática da pressão interna dos pneus, na faixa de 35 a 120 lb/pol<sup>2</sup> (250 kPa à 850 kPa). É obrigatória a utilização de pneus uniformes, de modo a se evitar marcas indesejáveis na mistura comprimida;
- c) A compressão através do emprego de rolo vibratório de rodas lisas, quando admitida pela fiscalização, deverá ser testada experimentalmente na obra, de forma a permitir a definição dos parâmetros mais apropriados à sua aplicação (número de coberturas, frequência e amplitude de vibrações), bem como estiver comprovado que sua utilização não incorra em prejuízo às edificações lindeiras.
- d) Em qualquer caso, os equipamentos utilizados deverão ser eficientes no que se refere à obtenção do grau de compactação preconizado para a camada..

#### **5.5 Ferramentas e equipamentos acessórios**

Serão utilizados, complementarmente, os seguintes equipamentos e ferramentas:

- a) Soquetes mecânicos ou placas vibratórias, para a compressão de áreas inacessíveis aos equipamentos convencionais;
- b) Pás, enxadas, garfos, rodos, vassourões, carrinhos de mão e ancinhos, para operações complementares;

- c) Pá carregadeira, grade de disco ou “Pug Mill”
- d) Caminhões-tanque para abastecimento de água.

## **6. EXECUÇÃO**

Não será permitida a execução dos serviços durante dias de chuva;

### **6.1 Preparo da superfície**

- a) A superfície que irá receber a camada de mistura reciclada deverá se apresentar limpa, isenta de pó ou outras substâncias prejudiciais, devendo ter recebido a prévia aprovação por parte da fiscalização;
- b) A camada sobre a qual a Base de Material Fresado com Espuma de Asfalto será executada deverá ter sido previamente recebida de acordo com a respectiva Instrução de Execução;
- c) Caso a camada de mistura reciclada não seja executada imediatamente após a execução da camada de apoio subjacente e de modo especial quando a mesma esteve exposta a chuvas, devem ser realizadas na camada de apoio, que pode ser constituída pelo subleito, Macadame Hidráulico, Brita Graduada, Agregado Reciclado ou solo estabilizado, as determinações pertinentes para liberação, a critério da fiscalização;
- d) Eventuais defeitos existentes na superfície deverão ser adequadamente reparados previamente à execução da Base de Material Fresado com Espuma de Asfalto.

### **6.2 Mistura do material em Usina**

A mistura e incorporação dos materiais devem ser feitas nas seguintes condições:

- a) abastecimento com auxílio de pá carregadeira de um dos dois silos com material resultante da fresagem de pavimentos (RAP);
- b) abastecimento com auxílio de pá carregadeira do segundo silo com material pétreo virgem com a finalidade de correção da granulometria final do material usinado;
- c) introdução de filer na mistura através de sistema de injeção da própria usina;
- d) introdução de água e Espuma de Asfalto.

### **6.3 Espuma de Asfalto**

Devem ser atendidas as recomendações do projeto de mistura no que se refere à qualidade da espuma, medidas pela taxa de expansão e meia-vida, em conformidade com o item 4.

### **6.4 Espalhamento do Material na Pista**

O material usinado deve ser transportado para o local de espalhamento através de caminhões basculantes e despejado na mesa do equipamento, no caso do

espalhamento com auxílio de vibroacabadora, atendendo às cotas e espessuras especificadas em projeto; no caso de opção de espalhamento com auxílio de motoniveladora, o material será despejado diretamente na pista.

Em função da espessura projetada de material usinado o espalhamento deve ser executado em uma ou mais camadas para que seja possível realizar e atingir a compactação requerida.

## **6.5 Compactação**

Considerando a importância das condições de compactação da camada de base de material fresado com espuma de asfalto, recomenda-se a execução de panos experimentais, com a finalidade de definir os tipos de equipamentos de compressão e a seqüência executiva mais apropriada objetivando alcançar, de forma mais eficaz, o grau de compactação especificado.

A energia de compactação a ser adotada como referência para execução da camada de Base de material fresado com espuma de asfalto será, no mínimo, a da energia correspondente ao Proctor Intermediário (PMSP/SIURB ME-08/92).

Deverão ser executados os seguintes procedimentos:

- a) Os equipamentos de compactação devem ter dimensões, forma e peso adequados, de modo a se obter a massa específica aparente máxima prevista para a mistura. O andamento das operações deve ser estabelecido, de modo que a faixa em execução seja uniformemente compactada em toda a largura;
- b) A compactação deve ser iniciada e concluída preferencialmente com um emprego de rolos lisos;
- c) As coberturas dos equipamentos de compressão utilizados deverão seguir as seguintes orientações gerais:
  - I. A compressão será executada em faixas longitudinais, sendo sempre iniciada pelo ponto mais baixo da seção transversal, e progredindo no sentido do ponto mais alto;
  - II. Em cada passada, o equipamento deverá recobrir, ao menos, a metade da largura rolada na passada anterior.
- d) A compactação deve ser feita, de preferência, com o emprego de rolos pneumáticos que assegurem a obtenção da massa específica aparente indicada no projeto da mistura reciclada, em toda a espessura da camada compactada;
- e) A operação de compactação deve ser conduzida de modo que a espessura a ser compactada na fase final, pelos rolos pneumáticos ou lisos não seja inferior a 10,0 cm, após compactação, sendo a espessura máxima admitida de 15,0 cm por camada compactada;

- f) Durante as operações finais de compactação, devem ser tomadas as medidas necessárias para que a camada superficial seja mantida na umidade ótima, recorrendo-se, caso necessário, a pequenas adições de água e procedendo-se à nova homogeneização com equipamento adequado;
- g) Antes da fase final de compactação, caracterizada pela existência de certa quantidade de material solto superficial, deve ser feita a conformação do trecho ao greide e ao abaulamento desejados, com o emprego de equipamento adequado;
- h) A compactação da camada deverá evoluir até que se obtenha o grau de compactação médio de no mínimo mínimo de 100% em relação à massa específica aparente seca máxima da energia especificada. Não será aceito nenhum ponto com grau de compactação inferior a 95%. O número de passadas do compactador será definido em função dos panos experimentais executados.
- i) Após a conclusão da compactação, é feito o acerto final da superfície, de modo a satisfazer o projeto, pela eliminação de saliências, com o emprego da motoniveladora. Não é permitida a correção de depressões pela adição de material. A superfície da base é comprimida até que se apresente lisa e isenta de partes soltas ou sulcadas;
- j) A camada de base de material fresado com espuma de asfalto, executada de acordo com esta especificação, deverá ser submetida a um período de perda do excesso de umidade por 72 horas, antes da execução do revestimento asfáltico;
- k) A camada de base de material fresado com espuma de asfalto não deverá ser submetida à ação do tráfego. Em caráter excepcional, a fiscalização poderá autorizar a liberação ao tráfego, por curto espaço de tempo, e desde que tal fato não prejudique a qualidade do serviço;
- l) Quando for prevista a imprimação da camada de Base de Material Fresado com Espuma de Asfalto, a mesma deverá ser realizada após a conclusão da compactação, tão logo se constate a evaporação do excesso de umidade. Antes da aplicação da pintura betuminosa, a superfície deverá ser perfeitamente limpa, mediante o emprego de processos e equipamentos adequados.

## **7. MANEJO AMBIENTAL**

Os cuidados a serem observados para fins de preservação do meio ambiente envolvem a produção e aplicação de agregados, o estoque e operação da usina e a execução da camada.

Devem ser observadas as determinações estabelecidas no Decreto nº 48.184/2007 para procedimentos de controle ambiental quanto à aquisição de agregados pétreos virgens.

As usinas utilizadas produção da mistura reciclada deverão estar devidamente licenciadas pelo órgão ambiental competente.

## **8. CONTROLES**

### **8.1 Controle Tecnológico dos Materiais**

#### 8.1.1 Cimento Asfáltico

Para todo carregamento que chegar à usina devem ser realizados:

- a) um ensaio de penetração a 25 °C, conforme PMSP/SIURB ME-25/92;
- b) um ensaio de viscosidade de Saybolt-Furol, conforme PMSP/SIURB ME-31/92.

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

#### 8.1.2 Agregados Adicionais

- a) um ensaio de abrasão Los Angeles (PMSP/SIURB ME-23/1992) no início da utilização do agregado na usina e sempre que houver variação da natureza do material;
- b) Um ensaio de índice de forma e porcentagem das partículas lamelares, conforme DNER-ME 086/94 e NBR 6954, respectivamente, no início da utilização do agregado na usina e sempre que houver variação da natureza do material;
- c) um ensaio de durabilidade conforme DNER-ME 089/94 no início da utilização do agregado na usina e sempre que houver variação da natureza do material.

### **8.2 Controle Tecnológico da Mistura Reciclada**

O controle das características da mistura reciclada e de execução deve ser feito através das seguintes determinações:

- a) Moldagem de seis corpos de prova Marshall, com 50 golpes por face para determinação da resistência à tração indireta por compressão diametral para condições seca e saturada, a 25°C, determinada conforme DNER-ME 138/94, após período de 72 horas em estufa a 60 °C, uma determinação por jornada de 8 horas de trabalho;
- b) Determinação do teor de cimento asfáltico incorporado à mistura, obtido através da diferença entre o teor obtido no ensaio de extração da mistura reciclada e o teor existente no material fresado utilizado, sendo este teor obtido na fase de dosagem, conforme DNER-ME 053/94 ou extração por refluxo Soxhlet de 1.000 ml, uma determinação a cada 150m;

- c) Determinação do teor de umidade na pista pelo método expedito da frigideira ou outro método aceito pela fiscalização a cada 700m<sup>2</sup> de pista, alternando bordo direito, eixo, bordo esquerdo;
- d) Determinação da massa específica aparente seca "*in situ*" imediatamente após a compactação da camada conforme PMSP/SP ME-12/92 e o respectivo do grau de compactação, a cada 1000 m<sup>2</sup> de pista, a partir dos resultados da dosagem - item 4 - sendo no mínimo três determinações;
- e) Extração de corpos de prova com sonda rotativa de 6" de diâmetro, para análise visual da integridade e homogeneidade da camada, uma extração a cada 500 m de pista;

### **8.3 Controle Geométrico e de Acabamento**

- a) controle de espessura: logo após a execução da camada, serão feitas locação e nivelamento do eixo e dos bordos, a cada 20m, envolvendo, no mínimo, cinco pontos da seção transversal;
- b) controle de acabamento da superfície: as condições de acabamento da superfície serão apreciadas pela Fiscalização, em bases visuais. Especial atenção deverá ser conferida à verificação da presença de segregação superficial.

## **9. CONDIÇÕES DE RECEBIMENTO**

### **9.1 Recebimento com base no Controle Tecnológico dos Materiais e da Mistura**

- a) Os agregados pétreos adicionais serão aceitos, sob o ponto de vista tecnológico, desde que os valores individuais dos ensaios de abrasão Los Angeles, durabilidade, lamelaridade, índice de forma e equivalente de areia e atendam aos limites definidos nesta especificação, conforme item 3.4.
- b) A mistura reciclada será recebida com base na resistência à tração média por compressão diametral seca e saturada desde que os valores atendam no mínimo 95% do especificado no item 4.f; os corpos de prova deste controle serão aqueles obtidos conforme item 8.2 a).

### **9.2 Recebimento com base no Controle de Compactação**

- a) O teor de umidade da camada executada deverá estar compreendido entre 0,9 e 1,1 vezes a umidade ótima determinada do ensaio de compactação;
- b) No que diz respeito ao Grau de Compactação (calculado com base na massa específica aparente seca "*in situ*", e referida à massa específica aparente seca máxima obtida no processo de dosagem, conforme item 4.), a camada só será aceita:

- se não for obtido nenhum valor isolado menor que 95%; e
- se for satisfeita a seguinte condição:

$\bar{X} - K.S \geq 100\%$  , onde:

$\bar{X}$  - média aritmética dos Graus de Compactação obtidos

S - desvio padrão 
$$s = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

K - coeficiente indicado na Tabela “Valor do Coeficiente K para Controle Estatístico do Grau de Compactação”

VALOR DO COEFICIENTE “K” PARA CONTROLE ESTATÍSTICO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO					
N	K	N	K	N	K
3	1,05	10	0,77	30	0,66
4	0,95	12	0,75	40	0,64
5	0,89	14	0,73	50	0,63
6	0,85	16	0,71	100	0,60
7	0,82	18	0,70		
8	0,80	20	0,69		
9	0,78	25	0,67		

### 9.3 Recebimento com base no Controle Geométrico e de Acabamento

O serviço executado será aceito, com base no controle geométrico e de acabamento, quanto à espessura acabamento da camada acabada, desde que atendidas as seguintes condições:

a ) Quanto à espessura da camada

A espessura média da camada será determinada pela expressão:

$e = \bar{X} - (K.S)/N$ , onde:

$\bar{X}$  - média dos valores medidos 
$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

S - desvio padrão do mesmo conjunto de valores 
$$s = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

K - coeficiente indicado na Tabela “Valor do Coeficiente K para Controle Estatístico da Espessura da Camada”

N - número de valores medidos (N>3)

- a espessura média, calculada estatisticamente segundo a expressão acima referida, não deverá ser menor do que a espessura de projeto menos 1,0 cm;
- não serão tolerados valores individuais de espessura fora do intervalo (+)1,0cm e (-)1,0 cm em relação à espessura de projeto;
- em caso de aceitação, dentro das tolerâncias estabelecidas, de uma Camada de Base Reciclada com espessura média inferior à de projeto, a diferença será compensada estruturalmente na camada a ser superposta;
- em caso de aceitação, dentro das tolerâncias estabelecidas, da camada de Base Reciclada com espessura superior à de projeto, a diferença não será deduzida da espessura da camada superior;

b ) as condições de acabamento, apreciadas pela Fiscalização em Bases visuais, sejam julgadas satisfatórias.

VALOR DO COEFICIENTE "K" PARA CONTROLE ESTATÍSTICO DA ESPESSURA DA CAMADA					
N	K	N	K	N	K
3	1,88	10	1,38	30	1,31
4	1,63	12	1,36	40	1,30
5	1,53	14	1,35	50	1,29
6	1,47	16	1,34	100	1,28
7	1,44	18	1,33		
8	1,41	20	1,33		
9	1,40	25	1,32		

## 10. OBSERVAÇÕES DE ORDEM GERAL

a) A camada de base de material fresado com espuma de asfalto, executada e recebida na forma descrita não deverá ser submetida à ação direta do tráfego. Em caráter excepcional, a Fiscalização poderá autorizar a liberação ao tráfego, por curto espaço de tempo e desde que não prejudique a qualidade do serviço;

b) Quando for prevista a imprimação da camada de Base de material fresado com espuma de asfalto, a mesma deverá ser realizada após a conclusão da compactação, tão logo se constate a evaporação do excesso de umidade superficial. Antes da aplicação da imprimação, a superfície deverá ser perfeitamente limpa, mediante emprego de processos e equipamentos adequados.

## **11. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO**

### **11.1 Medição**

A camada de base e material fresado com espuma de asfalto, executada e recebida na forma descrita, será medida em metros cúbicos de base reciclada compactada na pista, segundo a seção transversal de projeto. No cálculo dos volumes, obedecida a tolerância especificada, será considerada a espessura média “e”, calculada como indicado anteriormente desde que “e” não seja superior à espessura média de projeto. Caso “e” seja maior que a espessura de projeto será considerada a de projeto para cálculo do volume.

### **11.2 Pagamento**

O pagamento será feito após a aceitação da medição dos serviços executados, com base no preço unitário contratual, o qual representará a compensação integral para todas as operações, materiais, transporte, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e outros gastos eventuais necessários à execução da camada de base de material fresado com espuma de asfalto.

Características	Unidade	Limites		Métodos	
		CAP 50-70	CAP 85-100	ABNT	ASTM
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1mm	50 a 70	85 a 100	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín.	°C	46	43	NBR 6560	D 36
<b>Viscosidade Saybolt – Furol</b>					
a 135°C, mín.	s	141	110	NBR 4950	E 102
a 150°C, mín.		50	43		
a 177°C		30 a 150	15 a 60		
<b>Viscosidade Brookfield</b>					
a 135°C, mín. SP21, 20rpm, mín.	cP	274	214	NBR 5184	D 4402
a 150°C, mín.		112	97		
a 177°C, SP 21		57 a 285	28 a 114		
Índice de Suscetibilidade Térmica		(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	-	-
Ponto de fulgor, mín.	°C	235	235	NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín.	% massa	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042
Dutilidade a 25°C, mín.	cm	60	100	NBR 6293	D 113
<b>Efeito do calor e do ar a 163°C por 85 minutos</b>					
Variação em massa, máx.	% massa	0,5	0,5		D 2872
Dutilidade a 25°C, mín.	cm	20	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx.	°C	8	8	NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín. (*)	%	55	55	NBR 6576	D 5

(\*)Relação entre a penetração após o efeito do calor e do ar em estufa RTFOT e a penetração original, antes do ensaio do efeito do calor e do ar.