PUBLICADO(A) NO JORNAL
BOLETIM DO MUNICÍPIO
Nº 2708 de 21/05/2021

DECRETO N. 18.799, DE 28 DE ABRIL DE 2021.

Dispõe sobre as especificações técnicas para as contratações de projetos e serviços de pavimentação no município de São José dos Campos.

O PREFEITO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, no uso das atribuições legais que lhe são conferidas pelo inciso IX do artigo 93 da Lei Orgânica do Município, de 5 de abril de 1990;

Considerando que o Decreto n. 9.200, de 20 de fevereiro de 1997, necessita de revisão e atualização das especificações de serviços de pavimentação

Considerando o que consta no Processo Administrativo n. 72.169/20;

D E C R E T A:

Art. 1º As contratações de projetos e serviços de pavimentação no município de São José dos Campos deverão observar necessariamente as especificações técnicas contidas na Relação das Especificações de Serviços de Pavimentação, inclusa, que é parte integrante deste Decreto.

Art. 2º Os documentos técnicos que acompanham a mencionada Relação das Especificações de Serviços de Pavimentação farão parte integrante dos editais de licitação para contratação de projetos e serviços de pavimentação.

Art. 3º Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

São José dos Campos, 28 de abril de 2021.

Felicio Ramuth
Prefeito

Gláucio Lamarca Rocha
Secretário de Gestão Habitacional e Obras

GAB006 VERSÃO 01/18

Marcelo Pereira Manara
Secretário de Urbanismo e Sustentabilidade

Paulo Roberto Guimarães Júnior
Secretário de Mobilidade Urbana

Ricardo Minoru Iida
Secretário de Manutenção da Cidade

Guilherme L. M. Belini
Secretário de Apoio Jurídico

Registrado no Departamento de Apoio Legislativo da Secretaria de Apoio Jurídico, aos vinte e oito dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e um.

Everton Almeida Figueira
Departamento de Apoio Legislativo

RELAÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES DE SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO

PMSJC ES-P 01/2019	LIMPEZA DO TERRENO
PMSJC ES-P 02/2019	CAMADA DE RACHÃO
PMSJC ES-P 03/2019	FORNECIMENTO, ESCAVAÇÃO, TRANSPORTE E COMPACTAÇÃO DE SOLO
PMSJC ES-P 04/2019	PREPARO E MELHORIA DO SUBLEITO DO PAVIMENTO
PMSJC ES-P 05/2019	REFORÇO DO SUBLEITO COM SOLO SELECIONADO
PMSJC ES-P 06/2019	AGULHAMENTO DO SUBLEITO DO PAVIMENTO
PMSJC ES-P 07/2019	BASE DE SOLO ARENOSO FINO LATERÍTICO
PMSJC ES-P 08/2019	BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE DE SOLO LATERÍTICO-BRITA
PMSJC ES-P 09/2019	BASE DE SOLO LATERÍTICO-BRITA DE GRANULOMETRIA DESCONTÍNUA
PMSJC ES-P 10/2019	BASE DE SOLO-CIMENTO
PMSJC ES-P 11/2019	BASE DE BRITA GRADUADA
PMSJC ES-P 12/2019	CAMADAS DE MACADAME BETUMINOSO COM CAPA SELANTE
PMSJC ES-P 13/2019	BASE DE MACADAME HIDRÁULICO
PMSJC ES-P 14/2019	IMPRIMAÇÕES BETUMINOSAS
PMSJC ES-P 15/2019	TRATAMENTOS SUPERFICIAIS BETUMINOSOS
PMSJC ES-P 16/2019	CAMADAS DE PRÉ-MISTURADO A QUENTE
PMSJC ES-P 17/2019	CAMADAS DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO À QUENTE
PMSJC ES-P 18/2019	REPARO DE PAVIMENTO DANIFICADO POR ABERTURA DE VALA
PMSJC ES-P 19/2019	SUB-BASE OU BASE SOLO MELHORADO COM CIMENTO
PMSJC ES-P 20/2019	SUB-BASE OU BASE DE BRITA GRADUADA TRATADA C/CIMENTO
PMSJC ES-P 21/2019	SUB-BASE DE MACADEME SECO
PMSJC ES-P 22/2019	MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO
PMSJC ES-P 23/2019	MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A QUENTE

PMSJC ES-P 24/2019	CONCRETO ASFÁLTICO POROSO C/ LIGANTE MODIFICADO POR POLÍMERO – CAMADA POROSA DE ATRITO
PMSJC ES-P 25/2019	CONCRETO ASFÁLTICO C/ ASFALTO BORRACHA
PMSJC ES-P 26/2019	REVESTIMENTO ASFÁLTICO TIPO SMA
PMSJC ES-P 27/2019	FRESAGEM DE PAVIMENTO ASFÁLTICO
PMSJC ES-P 28/2019	REFORÇO DO SUBLEITO OU SUB-BASE DE PAVIMENTO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – RCC
PMSJC PR-P01/2019	PROCEDIMENTO DE DIMENSIONAMENTO

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento do serviço de limpeza do terreno, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Os serviços aos quais se refere a presente especificação consistem na remoção de todo material impróprio superficial para a construção de terraplenos ou de pavimentos, inclusive carga, transporte, descarga e esparrame deste material e compreendem também a mão-de-obra e os equipamentos indispensáveis à execução em conformidade com a especificação apresentada a seguir.

Os materiais impróprios que serão removidos consistem em arbustos, vegetação rasteira, capim, incluindo as raízes e os solos vegetais que as envolvem, além de entulhos que a fiscalização determinar. No caso em que o terreno seja constituído de grama ou capim, deverá ser realizada uma limpeza através da remoção do solo superficial numa espessura mínima de 20 cm.

3. CONDIÇÕES GERAIS

Os serviços de desmatamento, destocamento e limpeza devem preservar os elementos de composição paisagística, assinalados no projeto.

Nenhum movimento de terra deve ter início enquanto as operações de desmatamento, destocamento, e limpeza não tenham sido totalmente concluídas e liberadas pela Fiscalização.

É de responsabilidade da empresa contratada a manutenção e preservação dos marcos poligonais, de RRNN e de amarrações implantados até o recebimento provisório do objeto do contrato.

Durante todo o tempo que durar os serviços, até o recebimento do aterro ou camadas do pavimento, eles serão protegidos contra ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danifica-los. É obrigação da empreiteira a responsabilidade desta conservação.

Toda a sinalização de trânsito para eventuais desvios de tráfego ou interrupção de vias, exigidas pela fiscalização visando a segurança, serão de responsabilidade da empreiteira.

4. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução das operações de desmatamento, destocamento e limpeza compreende as seguintes unidades:

a) Serras mecânicas portáteis;
b) Tratores de esteira com lâmina frontal e/ou Motoniveladora;
c) Tratores de pneus com lâmina frontal;
d) Guinchos;
e) Escarificadores;
f) Pequenas ferramentas, enxadas, pás picaretas etc.;
g) Caminhões basculantes;
h) Pá carregadeira.

Os equipamentos devem ser selecionados de acordo com o tipo e densidade da vegetação a ser removida e complementada com emprego de serviços manuais.

5. EXECUÇÃO

As áreas de abrangência dos serviços de desmatamento, destocamento e limpeza são as seguintes:

a) Áreas compreendidas pelos off-set's de corte e aterro, acrescida de 3,0 m de cada lado;
b) Áreas de empréstimo indicadas no projeto, acrescidas das áreas necessárias às suas devidas explorações, tais como acessos e eventuais áreas de estocagem;
c) Outros locais definidos pelo projeto ou pela fiscalização.

Antes do início das operações de desmatamento é necessário observar os fatores condicionantes de manejo ambiental de modo que as operações de desmatamento não atinjam os elementos de proteção ambiental.

A fiscalização deve assinalar, mediante caiação, as árvores que devem ser preservadas, e as toras que pretende reservar para posterior aproveitamento. As toras, destinadas para posterior aproveitamento, devem ser transportadas para locais indicados.

A limpeza deve ser sempre iniciada pelo corte de árvores e arbustos de maior porte, tomando-se os cuidados necessários para evitar danos às cercas, árvores ou construções nas vizinhanças.

Para derrubada e destocamento em áreas que houver risco de dano a outras árvores, linhas físicas aéreas, cercas, ou construções existentes nas imediações, as árvores devem ser amarradas e, se necessário, cortadas em pedaços a partir do topo.

Nas áreas de corte, as operações de desmatamento, destocamento e limpeza somente são consideradas concluídas, quando as raízes remanescentes ficarem situadas na profundidade de 1,0 m abaixo do greide de terraplenagem.

Nas áreas de implantação de aterros, a camada superficial contendo matéria orgânica, deve ser removida na espessura total, a menos que haja indicação em contrário do projeto ou da fiscalização. Para qualquer altura de aterro, as raízes remanescentes devem ficar pelo menos à 2,0 m abaixo do greide da plataforma de terraplenagem. Os buracos ou depressões ocasionados por destocamento, devem ser preenchidos com material de áreas de empréstimo, devidamente compactados.

Nas áreas de empréstimo as operações de limpeza devem ser executadas até a profundidade que assegure a não contaminação do material a ser utilizado por materiais indesejáveis.

Os solos da camada superficial fértil, que forem removidos nas operações de limpeza, devem ser estocados e utilizados posteriormente na recomposição das áreas de exploração de materiais.

Os serviços devem estar defasados em relação à terraplenagem, de modo a reduzir o desenvolvimento de vegetação e de processos erosivos.

Os materiais de desmatamento, que não serão utilizados posteriormente devem ser depositados em locais indicados pelo projeto ou pela fiscalização.

Os serviços de limpeza podem ser dispensados em terrenos de solos moles, se indicado em projeto.

6. CONTROLE DE QUALIDADE

As operações de desmatamento, destocamento e limpeza devem ser verificadas visualmente, e são aceitas se atenderem às exigências preconizadas nesta especificação e forem consideradas satisfatórias pela fiscalização.

O controle geométrico é feito com trena para verificação das larguras além do off-set.

7. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

Os serviços de limpeza do terreno serão medidos em metros quadrados sobre o plano horizontal de superfície na qual tenham sido efetivamente executados.

No preço unitário do item, deverão estar incluídas todas as despesas de escavação, carga, transporte, descarga e esparramação, bem como as de administração, despesas indiretas, encargos diversos, etc.

8. REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

a) ABNT. (s.d.). *Associação Brasileira de Normas Técnicas.*

b) ARTERIS. (2015). *Limpeza do Terreno e Destocamento.*

c) DER/SP. (2006). *Limpeza do Terreno e Destocamento.* São Paulo.

d) DNIT. (2009). *Terraplenagem - Serviços Preliminares .*

e) DURSARP. (1994). *Limpeza do Terreno.* Ribeirão Preto.

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento da utilização do rachão para estabilização se subleitos, constituídos por solos moles, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Os serviços consistem no fornecimento, carga, transporte e descarga dos materiais, mão-de-obra e equipamentos adequados, necessários à execução e ao controle de qualidade da camada de rachão em conformidade com a norma apresentada a seguir e detalhes executivos contidos no projeto.

O Rachão é uma camada granular composta por agregados graúdos, naturais ou britados, preenchidos a seco por agregados miúdos. É constituído por uma camada de apoio e outra complementar. Na camada de apoio os agregados penetram no solo mole até se obter uma certa estabilidade e não haver mais penetração. Sobre essa camada de apoio é executada uma camada complementar em que os agregados graúdos, que não penetram mais no solo mole, são preenchidos a seco por agregado miúdo. A estabilização é obtida a partir de ação mecânica enérgica de compactação.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR NM 51 – Ensaio de abrasão “Los Angeles”;
b) ABNT NBR NM 248 – Determinação da Composição Granulométrica;
c) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
d) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, Falling Weight Deflectometer.

4. CONDIÇÕES GERAIS

As seguintes considerações de ordem geral são aplicáveis a execução da camada de rachão:

A camada de rachão não pode ficar confinada em hipótese alguma. Esta camada deve estar interligada a dispositivos de drenagem subterrânea, que permitam o livre escoamento da água que porventura penetre na camada de rachão;

A camada complementar de Rachão sobre a camada de apoio deverá ter uma espessura compreendida entre 15 cm e 30 cm;

Não é admitida a complementação da espessura desejada da camada pela adição excessiva do material de enchimento, sem o respectivo agregado graúdo.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

5.1.1. Agregado Graúdo

Os agregados graúdos deverão ser constituídos por produtos da britagem primária de rocha sã. Opcionalmente, poderão ser utilizados materiais pétreos naturais desmontados pela ação de lâmina e escarificador de trator de esteira. Em qualquer caso, deverão ser atendidas as seguintes condições gerais para o agregado graúdo empregado:

e) Deverão ser constituídos de fragmentos duros, limpos e duráveis, livres de excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, e de outras substâncias ou contaminações prejudiciais;
f) Quando submetidos à avaliação da durabilidade com solução de sulfato de sódio, em cinco ciclos conforme DNER-ME 89-64, os agregados deverão apresentar perdas não superiores a 15%;
g) Para o agregado retido na peneira de 2,00 mm (nº 10), a porcentagem de desgaste no ensaio de Abrasão "Los Angeles" conforme ABNT NBR NM 51 não deverá ser superior a 50%;
h) O diâmetro máximo recomendado deverá estar compreendido entre 1/3 e 2/3 da espessura final de camada individual executada, não devendo superar a 200 mm (8");
i) Deverá ser evitada a utilização de agregado graúdo com quantidade apreciável de fração fina. Para tal, se necessário, a fração fina deverá ser separada através do emprego de peneira classificadora vibratória de 50 mm;
j) É preferível a utilização de agregados de um só tamanho.

5.1.2. Agregado para Material de Enchimento

O material de enchimento deverá ser constituído por finos resultantes de britagem, com as mesmas características físicas especificadas para o agregado graúdo (forma, resistência ao desgaste e isenção de pureza), e que satisfaçam às seguintes faixas granulométricas:

TABELA 1 – FAIXAS GRANULOMÉTRICAS			
PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO	
ASTM	mm	I	II
1”	25,4	100	100
3/4”	19,1	90-100	100
3/8”	9,5	50-85	65-100
Nº 10	2,0	25-50	35-70
Nº 200	0,074	2-15	2-20

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da camada de rachão compreende as seguintes unidades:

a) Pá carregadeira;
b) Caminhões basculantes;
c) Trator de esteira e/ou motoniveladora pesada;
d) Rolos compressores de rodas lisas, vibratórios ou estáticos;
e) Equipamentos e ferramentas complementares: pás, carrinhos de mão, marretas, vassourões ou vassouras mecânicas, etc.

7. EXECUÇÃO

7.1. Camada de Apoio

a) A execução da camada de apoio com agregado graúdo inicia-se pelo carregamento do material nos depósitos ou pátios de estocagem da instalação de britagem. A operação de carga do material deverá ser procedida de forma criteriosa;
b) Após a operação de carregamento e o transporte por meio de caminhões basculantes, faz-se o lançamento de camadas sucessivas de agregado graúdo sobre o solo mole através de pá carregadeiras ou tratores de esteira até que não haja afundamento ou acomodação desse agregado no solo mole;
c) A camada de apoio poderá ter uma melhor acomodação do agregado através de passadas do rolo liso de 3 rodas de 10 a 12 t. A camada de

apoio será considerada apta a receber a camada complementar quando o rolo compactador não causar mais deformação longitudinal ou recalques excessivos;

d) Após essa situação os vazios do agregado graúdo não preenchidos com solo mole deverão ser preenchidos com material de enchimento.

7.2. Camada Complementar

a) A execução da camada complementar com agregado graúdo inicia-se pelo carregamento do material nos depósitos ou pátios de estocagem da instalação de britagem, de forma similar a execução da camada de apoio;

b) Após a operação de carregamento e o transporte por meio de caminhões basculantes, faz-se o espalhamento em uma camada de espessura homogênea, uniformemente solta sobre a camada de apoio recém executada. O espalhamento será feito pelo uso de motoniveladora pesada, devendo evitar-se processos que levem à segregação do material, excesso, etc.;

c) Após o espalhamento do agregado graúdo, poderão ser necessárias as seguintes correções:

- Remoção de fragmentos alongados, lamelares ou de tamanho excessivo, visíveis na superfície, e substituição por agregado graúdo representativo e de boa qualidade;
- Correção de pontos com excesso ou deficiência de material, após verificação do greide e seção transversal com cordéis, gabaritos, etc. No caso de existir deficiência de material, utilizar sempre agregado graúdo representativo e de boa qualidade, sendo vedado o uso de agregado miúdo.

d) Efetuadas as correções necessárias, e previamente ao lançamento do material de enchimento, poderá ser obtida uma melhor acomodação do agregado graúdo através de compressão com rolo liso sem vibração.

7.3. Operações de Enchimento e Acabamento

a) O material de enchimento, obedecendo a uma das faixas granulométricas especificadas, o mais seco possível, será espalhado através de motoniveladoras, em quantidade suficiente para preencher os vazios do agregado graúdo;

b) A aplicação do material de enchimento deverá ser feita em uma ou mais vezes, até se obter um bom preenchimento, evitando-se o excesso superficial;

c) A compactação enérgica da camada será realizada com rolo tandem de 10 a 12 toneladas ou, de preferência, rolo liso vibratório;

d) Nos trechos em tangente, a compactação deverá sempre partir dos bordos para o eixo, e, nas curvas, do bordo interno para o bordo externo;
e) Em cada passada, o equipamento utilizado deverá recobrir, ao menos, a metade da faixa anteriormente comprimida;
f) Logo após se obter a cobertura completa da área a ser comprimida, deverá ser feita uma nova verificação do greide e seção transversal, efetivando-se as correções necessárias, normalmente de dois tipos:
    - Deficiência de finos: processa-se o espalhamento da 2ª camada de material de enchimento, devendo ser empregado apenas agregado miúdo para possibilitar melhor e mais compatível travamento;
    - Excesso de finos: processa-se a sua necessária remoção através de meios manuais ou mecânicos, utilizando-se ferramentas auxiliares (enxada, pá, rastelo, carrinho de mão e vassoura mecânica).
g) A compressão será dada como concluída quando desaparecerem as ondulações à frente do rolo e a camada se apresentar estável e compacta.

7.4. Abertura ao Tráfego

Concluída a compactação, a camada deve ser aberta ao tráfego da obra e usuários, de forma controlada e direcionada, mantendo-se a superfície umedecida. Esta etapa deve estender-se por período suficiente, que permita a verificação de eventuais problemas localizados de travamento deficiente. Caso ocorram deficiências de travamento, devem ser executadas as correções pertinentes.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1.

8.1. Controle dos Materiais

Este controle abrange os ensaios e determinações para verificar se as condições dos materiais estão sendo atendidas.

Serão procedidos os seguintes ensaios:

a) Um ensaio de granulometria conforme ABNT NBR 248 do material de enchimento;

b) Um ensaio de abrasão "Los Angeles" conforme ABNT NBR NM 51 do agregado graúdo, sempre que, visualmente, se observar alterações que possam influir na qualidade do agregado.

8.2. Controle de Execução

a) A principal atividade de controle, para o serviço de rachão, será a inspeção visual, a qual deverá ser aplicada em todas as etapas, ou seja:
   - Nos estoques de agregados;
   - Na operação de carregamento;
   - Nas operações de pista como espalhamento, compactação e acabamento.

b) A verificação da eficiência da compactação da camada complementar deverá ser feita com a colocação, à frente do rolo liso compactador, de um agregado graúdo de tamanho razoável, avaliando-se o efeito da passagem do rolo sobre o mesmo e sobre a camada executada. Normalmente ocorre ruptura do agregado graúdo.

c) As condições de enchimento dos vazios do agregado graúdo e travamento da camada complementar serão verificadas pela abertura de poços de inspeção, à razão de um poço a cada 70 m de pista. Os poços abertos serão preenchidos com material representativo e compactado mecanicamente.

8.3. Controle Geométrico e de Acabamento

8.3.1. Controle de Espessuras e Cotas

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m e, devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal a cada 20 m, conforme nota de serviço.

8.3.2. Controle da Largura e Alinhamentos

A verificação do eixo e 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.

8.3.3. Controle de Acabamento da Superfície

As condições de acabamento da superfície devem ser verificadas visualmente.

8.4. 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, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A camada complementar de rachão executada e recebida na forma descrita, será medida por metro cúbico executado e segundo a seção transversal de projeto.

A camada de apoio será medida por metro cúbico de agregado graúdo lançado medido no caminhão.

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, transportes, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e outros gastos eventuais necessários à completa execução dos serviços.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	$\leq$ 50%
Análise Granulométrica ABNT NBR NM 248	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro da faixa de trabalho

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Verificação das condições de compactação Visual	Em cada faixa compactada	Resultados Individuais	Quando não existirem sulcos ou ondulações a frente do rolo compactador, a compactação será considerada finalizada
Correção de defeitos Visual	Pontos localizados, detectados após abertura do tráfego	Resultados Individuais	A correção dos defeitos seja considerada satisfatória
Controle do Adensamento Método Topográfico, utilizando marcos superficiais ou placas de recalque	As leituras de recalques devem ser feitas periodicamente, de acordo com o estipulado no projeto, durante e após o período construtivo, até que ocorra o adensamento previsto em projeto.	Resultados Individuais	Ocorra estabilização do adensamento previsto em projeto
Determinação das Deflexões Viga Benkelman DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de valores individuais superiores a 105% da deflexão de controle do projeto, o segmento deve ser refeito

CONTROLE GEOMÉTRICO E DE ACABAMENTO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Espessuras e Cotas Locação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo e bordos e dois pontos intermediários	Resultados Individuais	Fundação do aterro Para eixo e bordas ± 0,20m Plataforma acabada Para eixo e bordas ± 0,05m.
Largura e Alinhamento da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Cava de remoção +1m não se admite variação para menos +0,30 m, não se admitindo valores inferiores aos previstos em projeto para semi-largura da plataforma.
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm
Inspeção na superfície Visual	Em toda superfície	Resultados Individuais	Não ocorram finos na superfície, e acabamento seja julgado satisfatório.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam o fornecimento, escavação, carga, transporte e compactação de solo selecionado para terraplenagem ou para troca de solo em pavimentos de obras em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

2.1. Escavação e carga de material

Escavação e carga de material consistem nas operações de remoção do material constituinte do terreno nos locais onde a implantação da geometria projetada requer a sua remoção, ou escavação de áreas de empréstimo de material, incluindo a carga e o transporte dos materiais para seu destino final: aterro ou depósito de materiais de excedentes.

As operações de escavação e carga compreendem:

a. Escavação e carga do material em áreas de corte até o greide de terraplenagem;
b. Escavação e carga de material em áreas de corte situadas abaixo do greide de terraplenagem no caso em que o subleito é constituído por materiais impróprios, na espessura fixada em projeto ou pela fiscalização;
c. Escavação e carga de material de degraus ou arrasamentos nos alargamentos de aterros existentes;
d. Escavação e carga de material de degrau em terrenos de fundação fortemente inclinados;
e. Escavação e carga de material, quando houver necessidade de remoção da camada vegetal, em profundidades superiores a 20 cm;
f. Escavação e carga de materiais de área de empréstimos;
g. Escavação com equipamento convencional de terraplenagem, destinada à alteração de cursos d'água objetivando eliminar travessias ou posicioná-las de forma mais conveniente em relação ao traçado, os assim chamados corta rios.

2.2. Aterro

Aterros são segmentos da via cuja implantação requer deposição de materiais provenientes de cortes ou de empréstimos, no interior dos limites das seções de projeto que definem o corpo estradal ou, a substituição de materiais inadequados, previamente removidos do subleito dos cortes ou materiais existentes na fundação dos próprios aterros.

A deposição dos materiais envolve as operações de espalhamento, aeração ou umedecimento, homogeneização e compactação do material.

Os aterros podem ser:

- Corpo de aterro: parte do aterro constituída de material lançado e compactado em camadas de espessuras uniformes, situadas no horizonte entre o terreno natural e a linha delimitadora do início da camada final do aterro.
- Camada final: parte do aterro constituído de material selecionado lançado e compactado em camadas de espessuras uniformes, situadas no horizonte entre o greide de terraplenagem e o corpo de aterro, com 0,6m de espessura.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes:

a. ABNT NBR 7181 Solos – Análise Granulométrica;
b. ABNT NBR 7182 Solos – Ensaio de Compactação;
c. ABNT NBR 7185 Solos – Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia;
d. ABNT NBR 9895 Solos – Índice de Suporte Califórnia (ISC);
e. ABNT NBR 16097 Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaios;
f. DER/SP M 145 – Teor de Umidade com Umidímetro Speedy;
g. DER/SP M 191 – Ensaio de compactação de solos com equipamento miniatura;
h. DER/SP M 196 – Classificação de solos tropicais segundo a metodologia MCT;
i. DER/SP M 197 – Determinação da massa por imersão de solos com equipamento miniatura;
j. DER/SP – ET-DE-Q00/004 – Aterro sobre solos compressíveis.

4. CONDIÇÕES GERAIS

O início das operações deve ser precedido da execução dos serviços de desmatamento, destocamento e limpeza.

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

4.1. Escavação

Nas operações de escavação é exigida a adoção dos seguintes procedimentos.

4.1.1. Nas áreas de cortes:

a) Evitar o quanto possível o trânsito dos equipamentos e veículos de serviço fora das áreas de trabalho; evitar o excesso de carregamentos dos veículos e controlar a velocidade usada;
b) Aspergir água permanentemente nos trechos poeirentos, principalmente nas passagens por áreas habitadas;
c) O revestimento vegetal dos taludes, quando previsto, deve ser executado imediatamente após a execução dos corte;
d) Implantar, caso necessário, sistema de drenagem provisório e de controle de processos erosivos, como carreamento.

4.1.2. Nas áreas de empréstimo:

a) A empresa executante deve licenciar a área de empréstimo, localizada fora da faixa de domínio, junto ao órgão ambiental responsável, antes do início de qualquer atividade na área;
b) O desmatamento, destocamento e limpeza, dentro do limite da área licenciada, e o material retirado deve ser estocado de forma que, após a exploração do empréstimo, o solo orgânico possa ser reutilizado na recuperação da área;
c) Não é permitida a queima da vegetação removida;
d) Deve ser evitada a localização de empréstimo em áreas com restrições ambientais e de boa aptidão agrícola;
e) Não devem ser explorados empréstimos em áreas legalmente protegidas tais como: reservas ecológicas ou florestais, de preservação cultural, ou mesmos em suas proximidades;
f) O tráfego de equipamentos e veículos de serviço deve ser controlado para evitar a implantação de vias ou trilhas desnecessárias;
g) As áreas de empréstimo devem ser mantidas, durante sua exploração, convenientemente drenadas de modo a evitar o acúmulo das águas, bem como os efeitos da erosão;
h) A exploração deve se dar de acordo com o projeto aprovado pela fiscalização e licenciado ambientalmente e qualquer alteração deve ser objeto de complementação do licenciamento ambiental;

i) Imediatamente após o término da sua exploração, a área deve ser recuperada, considerando no mínimo:

- A reconformação da topografia de modo a não provocar pontos de alagamentos, e a não permitir a formação de sulcos erosivos, além de buscar restabelecer a conformação conforme o entorno da área;
- A implantação de sistema de drenagem que complemente a atividade acima, auxiliando no escoamento das águas de modo a complementar a função de reconformação topográfica da área. Deve-se buscar ao máximo a utilização de canaleta coberta com grama em placa.

j) Fazer a cobertura com grama em placas ou hidrosseameadura nos taludes e platôs formados. Antes de iniciar a regeneração, a camada superior do solo, estocada na fase de limpeza, deve ser espalhada no platô.

4.2. Aterros

Durante todo o tempo de execução do aterro, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

Devem ser tomadas medidas de controle ambiental durante a execução de aterros com à execução dos dispositivos de drenagem e proteção vegetal dos taludes previstos no projeto para evitar erosões e consequente carreamento de material.

Os aterros implantados em áreas de preservação permanente, próximos a rios, várzeas etc, devem contar com cuidados especiais.

Caso o aterro seja executado sobre a várzea, esta deve ser adequadamente drenada, evitando o lançamento do material de aterro diretamente sobre água.

Se o aterro for implantado próximo a corpos d'água, em sua APP – Área de Proteção Ambiental, os cuidados com drenagem e estabilidade do talude devem ser redobrados.

Os serviços devem ser conduzidos de forma a causar o mínimo de danos às áreas de entorno.

5. CONDIÇÕES ESPECIAIS

5.1. MATERIAIS OCORRENTES NOS CORTES

Os materiais ocorrentes nos cortes devem ser classificados em conformidade com as seguintes definições:

5.1.1. Materiais de 1ª Categoria:

Compreendem os solos em geral, de natureza residual ou sedimentar e seixos rolados ou não com diâmetro máximo de 0,15 cm.

Em geral todos os materiais são escavados por tratores escavo-transportadores de pneus, empurrados por tratores esteiras de peso compatível ou por escavadeiras hidráulicas.

Sua escavação não exige o emprego de explosivo.

5.1.2. Materiais de 2ª Categoria:

Compreendem os materiais com resistência ao desmonte mecânico inferior ao da rocha sã, piçarras, isto é, materiais granulares formados geralmente por fragmentos de rocha alterada ou fraturada: saibros, ou seja, materiais compostos geralmente por areia e silte proveniente da alteração da rocha, argilas e rochas alteradas, cuja extração se processa por combinação de métodos que obriguem a utilização contínua e indispensável de equipamento de escarificação, constituído por trator de esteira escarificador de somente um dente - ripper, de dimensões adequadas.

Pode, eventualmente, ser necessário o uso de explosivos.

Estão incluídos nesta classificação os blocos de rocha com volume inferior a 2,0 m³ e os matacões ou pedras de diâmetro médio compreendido ente 0,15 m e 1,0 m.

Os materiais de 2ª categoria são classificados em:

a) 2ª categoria com ripper: aplica-se quando houver predominância acentuada do emprego de ripper;
b) 2ª categoria com explosivos: aplica-se quando houver predominância acentuada do emprego de explosivos.

5.1.3. Materiais de 3ª Categoria:

Compreendem a rocha sã, matacões maciços, blocos e rochas fraturadas de volume superior a 2,0 m³ que só possam ser extraídos após a redução em blocos menores, exigindo o uso contínuo de explosivos, ou outros materiais e dispositivos para desagregação da rocha.

5.1.4. Solo Mole ou Material Brejoso

Compreendem os solos que não apresentam em seu estado natural, capacidade de suporte para apoio direto dos equipamentos de escavação. Sua escavação somente é possível com escavadeiras apoiadas fora da área de remoção, isto é, em aterros ou estivas colocadas para propiciar suporte adequado ao equipamento.

Esta classificação abrange solos localizados acima e abaixo do nível d'água, com teor de umidade elevado.

5.2. Material para Aterro

Os aterros são constituídos por materiais, devidamente selecionados, provenientes da escavação de cortes ou de áreas de empréstimo. Devem atender à qualidade e à destinação prévia indicada no projeto.

Os solos utilizados devem:

a) Ser isentos de matéria orgânica;

b) Para corpo de aterro possuir CBR ≥ 2% e expansão < 4%, ou o especificado em projeto;

c) A camada final dos aterros deve ser constituída de solo selecionado, dentre os melhores disponíveis, os quais devem ser objeto de especificações complementares indicadas no projeto. Não é permitido o uso de solos com expansão maior que 2%;

d) Em regiões em que ocorra a presença de materiais rochosos e ocorra falta de material de 1ª e 2ª categoria, admite-se a construção de aterros com material rochoso, desde que haja especificação complementar de projeto.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início da execução dos serviços todos os equipamentos devem ser examinados e aprovados pela fiscalização da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

6.1. Escavação

A seleção de equipamentos deve obedecer às seguintes indicações:

a) Escavação em materiais de 1ª categoria: tratores de esteiras equipados com lâmina, escavo-transportador ou escavadores conjugados, caminhões basculantes, pás carregadeiras, motoniveladoras e escavadeiras hidráulicas, tratores para operação de push;
b) Escavação em materiais de 2ª categoria: tratores de esteiras equipados com ripper, escarificador pesado, motoniveladora, escavadores conjugados, caminhões basculantes, pás carregadeiras, motoniveladoras e escavadeiras hidráulica; compressores e perfuratrizes;
c) Escavação em materiais de 3ª categoria: compressores de ar, perfuratrizes pneumáticas ou elétricas, tratores equipados com lâmina, escavadores conjugados com transportadores; caminhões basculantes e pás carregadeiras;
d) Escavação de solos brejosos, inclusive execução de corta-rios; escavadeiras de arraste, draglines, complementados por outros equipamentos citados nas alíneas anteriores.

Para execução dos serviços de escavação deve-se utilizar para complementar os equipamentos destinados à manutenção de caminhos de serviços, áreas de trabalho e esgotamento das águas das cavas de remoção. Tais atividades devem ser previstas pela executante para otimização e garantia da qualidade dos trabalhos.

6.2. Aterro

Os equipamentos básicos para execução dos aterros são compostos das seguintes unidades:

a) Motoniveladoras pesadas equipadas com escarificador;

b) Grade de discos;

c) Pá carregadeira;

d) Rolos compactadores, lisos, pé de carneiro, estáticos ou vibratórios;

e) Caminhão tanque irrigador;

f) Trator de esteira com lâmina e ripper;

g) Trator agrícola;

7. EXECUÇÃO

7.1. Escavação

Todas as escavações devem ser executadas nas larguras e com a inclinação dos taludes indicados no projeto.

A escavação dos cortes deve obedecer aos elementos técnicos fornecidos pelo projeto de terraplenagem e notas de serviço. O desenvolvimento dos trabalhos deve otimizar a utilização adequada, ou rejeição dos materiais extraídos. Apenas são transportados para constituição dos aterros, os materiais que pela classificação e caracterização efetuados nos cortes, sejam compatíveis com as especificações de execução dos aterros, em conformidade com o projeto.

Constatada a conveniência técnica e econômica de reserva de materiais escavados em cortes, para execução de camadas superficiais da plataforma, é recomendável o depósito dos referidos materiais em locais indicados pela fiscalização para sua oportuna utilização.

Em situações em que o nível de água se encontre acima da cota do greide de terraplenagem, os taludes apresentem teor de umidade elevado, é necessário que se execute a drenagem adequada, com a instalação de um sistema de drenos profundos ou drenos sub-horizontais. A quantidade, posicionamento, diâmetro e comprimentos destes drenos devem ser executados de acordo com o projeto, ou aprovados por esta, em caso de fornecimento.

Imediatamente após a conclusão da execução dos drenos, deve ser iniciada a execução do aterro de proteção de taludes de corte, utilizando-se solo superficial, argilo-arenoso, areno-argiloso laterizado ou aqueles indicados no projeto. Sempre que possível os materiais para proteção devem ser provenientes de cortes vizinhos ou de áreas de empréstimos indicados em projeto ou pela fiscalização, ou aprovados por esta em caso de fornecimento.

Quando a escavação atingir o greide de terraplenagem, e os solos do subleito forem inadequados, isto é, constituídos por solos de expansão maior que 2%, possuírem baixa capacidade de suporte ou orgânicos, é necessário o rebaixamento do greide de terraplenagem na espessura estabelecida em projeto, ou de 60 cm no mínimo, ou a definida pela fiscalização, nos casos não previstos em projeto.

Os taludes ao final das escavações devem possuir a geometria indicada em projeto e superfície desempenada. Somente devem ser efetuadas alterações de inclinação caso novos dados geotécnicos justifiquem a alteração da inclinação, ou quando ocorrerem escorregamentos durante a execução. O

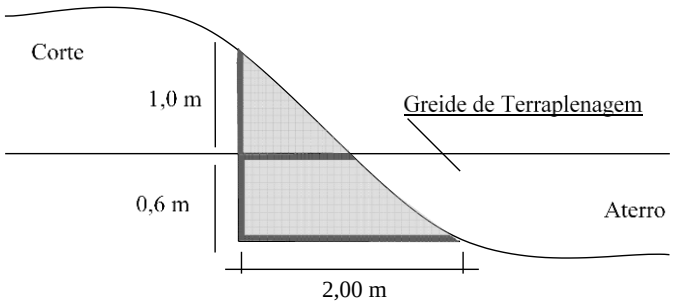
talude deve apresentar a superfície desempenada, obtida pelos equipamentos de escavação.

As cristas de corte e entradas dos taludes devem ser arredondadas e as banquetas, sempre que possível, devem possuir concordância com terreno natural, o que pode envolver escavações não previstas em projeto, cabendo a fiscalização autorizar estas escavações adicionais.

Nos taludes em que houver diferentes inclinações, a concordância deve ser contínua, e executada de modo a evitar a formação de elevações e depressões.

Nas áreas de transição de aterros para corte, deve ser executada a escavação e remoção de 0,60 m abaixo da cota de terraplenagem, na área de corte, na extensão mínima de 2,0 m. O material escavado deve ser substituído por materiais com as mesmas características dos 0,60 m da camada final de aterro.

Figura 1: Seção longitudinal



Quando as escavações necessitarem da utilização de explosivos, para desmonte de material de 3ª categoria, a utilização de explosivos deve ser executada de acordo com projeto especifico para cada caso.

As escavações em locais que apresentarem material rochoso devem atender as seguintes exigências:

a) Quando a escavação atingir o greide de terraplenagem, mas apresentar saliências provenientes da retirada de blocos rochosos, as depressões devem ser preenchidas com material britado, tomando-se o cuidado de drenar essas depressões;
b) Não devem ser admitidas saliências superiores a 0,10 m, nem depressões superiores a 0,30 m em relação ao plano definido pela superfície de corte;

c) Não é permitida a existência de blocos de rocha em taludes que coloquem a segurança dos usuários em risco.

Durante a execução dos cortes devem ser implantados, simultaneamente, os dispositivos de drenagem superficial, drenos sub-horizontais e elementos de proteção de talude, indicadas no projeto.

Não devem ser permitidos materiais soltos provenientes de limpeza ou escavação nas proximidades das linhas de *off-set's* dos cortes.

Os corta-rios, caso ocorram, devem ser tratados em conformidade com o projeto.

Desde o início das obras até seu recebimento definitivo, as escavações já executadas ou em execução devem ser protegidas contra a ação erosiva das águas e mantidas em condição que assegurem drenagem eficiente.

Durante a execução, o executante é responsável pela manutenção dos caminhos de serviço sem ônus ao contratante.

Todos os danos ou prejuízos que porventura ocorram em propriedades lindeiras, durante a execução dos serviços são de responsabilidade exclusiva do executante.

7.1.1. Escavação de Material de Solo Mole ou Material Brejoso

Em locais de terreno alagado, toda área de escavação, sempre que possível, deve ser previamente drenada antes das operações de escavação e carga do material.

A água da área deve ser removida por meio de valetas de drenagem, drenos de talvegue, bombeamento ou qualquer outro processo com eficácia comprovada e que seja economicamente viável. Estes processos devem estar especificados no projeto ou serem indicados pela fiscalização.

Quando for executada abertura de valas, para drenagem da água, a escavação deve ser executada, preferencialmente, de jusante para montante.

Quando as paredes das valas apresentarem instabilidade, a fiscalização deve determinar o seu preenchimento com material inerte, envolvido ou não por manta filtrante, ou a construção de dreno de talvegue.

Em locais cuja inclinação do terreno não permita a drenagem da área por gravidade, deve ser executado poço de captação, para o qual devem ser

conduzidas as águas por meio de valetas ou drenos de talvegue, para posterior esgotamento da água do poço por meio de bombeamento.

A presença de água durante a escavação, exceto quando autorizada pela fiscalização, só é permitida no caso de dragagem.

O material escavado deve ser transportado para fora da faixa de construção e depositado em local indicado pelo projeto ou pela fiscalização, de modo que não interfira com a construção do viário.

7.2. Aterro

7.2.1. Considerações Iniciais

No caso de execução de aterros a meia encosta, onde o terreno natural possui inclinação superior a 25%, o talude deve ser previamente cortado em degraus com altura aproximada de 1,0 m antes do lançamento do material para execução da respectiva camada de aterro.

A execução das camadas deve ser iniciada pelo lado mais baixo. Os degraus executados no talude devem ter largura suficiente para deslocamento dos equipamentos ao realizar as operações de descarga e compactação das camadas lançadas.

Os cortes horizontais para formação dos degraus devem ser iniciados na interseção do terreno natural com a superfície da última camada lançada e compactada. O material resultante da escavação deve ser espalhado e compactado no aterro em execução. Se a quantidade de material for insuficiente, resultando uma camada muito delgada, isto é, inferior as espessuras definidas nesta especificação, deve ser adicionado mais material de aterro para completar a espessura. Os materiais devem ser misturados, homogeneizados e compactados em única camada.

Nos alargamentos de aterros ou no caso de correções de erosões, o talude existente deve ser cortado em degraus, com largura suficiente para permitir as operações de deposição, espalhamento e compactação do material. O alargamento ou correção das erosões são executadas conforme descrito nesta especificação até atingir o nível do aterro existente. Todo leito antigo deve ser escarificado, conformado e compactado com a camada adjacente do alargamento ou correção, e a espessura total da camada escarificada e do material adicional, se houver, não deverá ultrapassar a espessura máxima determinada nesta especificação.

Os cortes horizontais no aterro antigo devem ser executados conforme o especificado para aterros na meia encosta. A superfície das camadas compactadas deve possuir inclinação para fora do aterro de alargamento ou correção, a fim de não acumular água de chuva nos pontos de junção do aterro antigo com o aterro novo.

Desde o início das obras até seu recebimento, os aterros construídos ou em construção devem ser protegidos contra ação erosiva das águas e mantidos em condições que assegurem a drenagem eficiente.

Os aterros de acesso de encontros das pontes, o enchimento das cavas das fundações e as trincheiras de bueiros, bem como todas as áreas de difícil acesso ao equipamento usual de compactação, devem ser compactados com o uso de equipamento adequado, como soquetes manuais e sapos mecânicos.

Em regiões onde houver predominância de areia, admite-se a execução de aterros com seu emprego, desde que previsto em projeto. Exige-se a proteção das camadas de areia, através da execução de camadas subsequentes, na espessura definida em projeto, com material terroso devidamente compactado.

Durante todo o tempo que durar a construção, até o recebimento do aterro, os materiais e os serviços devem estar protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. A responsabilidade desta conservação é da executante e não é objeto de medição.

7.2.2. Aterro em Solo

Os aterros devem ser executados em camadas sucessivas, com espessura solta, definida pela fiscalização, em função das características geotécnicas do material e do equipamento de compactação utilizado que resultem na espessura compactada de, no mínimo, 15 cm. O lançamento do material deve ser feito em camadas sucessivas em toda largura da seção transversal e em extensões tais que permitam seu umedecimento e compactação.

São aceitas camadas compactadas com espessuras superiores a 15 cm, desde que autorizadas pela fiscalização, isto é, desde que o equipamento utilizado confira o grau de compactação mínimo exigido de 100% em relação ao Proctor Normal, conforme NBR 7182. Admitem-se espessuras de até 30 cm de espessura para as camadas do corpo do aterro e de até 20 cm para as camadas finais de aterro, isto é, os últimos 60 cm.

As camadas individuais do aterro devem ser constituídas preferencialmente por material homogêneo. Quando os materiais provenientes da escavação forem

heterogêneos, os materiais devem ser misturados com emprego de grades de disco, motoniveladoras, a fim de se obter, ao final destas operações, a homogeneidade do material.

Quando existirem materiais em excesso provenientes da escavação, e optar-se pela utilização de execução de aterros com alargamento da plataforma, abrandamentos dos taludes ou for necessária à execução de bermas de equilíbrio, estas operações devem ser efetuadas desde a etapa inicial do aterro.

Durante a compactação das camadas de aterro, o equipamento deve deslocar-se sobre a camada de maneira a proporcionar a cobertura uniforme de toda área. A compactação deve ser realizada com equipamentos adequados ao tipo de solo.

As condições de compactação exigidas para aterro e as variações de umidade admitidas são:

- A variação do teor de umidade admitido para o material do corpo de aterro é de ± 3 % em relação à umidade ótima de compactação e o grau de compactação mínimo exigido é de 95% em relação à massa específica aparente seca máxima, conforme NBR 7182, na energia normal;

- Para as camadas situadas nos últimos 60 cm, camada final de aterro, a variação de umidade do material admitida é de ± 2%, em relação à umidade ótima de compactação determinada conforme NBR 7182, na energia adotada para compactação do material;

- O grau de compactação mínimo exigido para as camadas finais situadas nos últimos 60 cm é de 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, determinada conforme NBR 7182, na energia adotada para compactação do material.

A energia de compactação a ser adotada deve ser a maior energia que o material empregado suporte, perante as condições dos equipamentos utilizados. Deve-se assegurar que os valores obtidos para o CBR sejam superiores ou iguais ao previsto no projeto, bem como as expansões sejam inferiores às especificadas também em projeto.

7.2.3. Camada Final

Os materiais empregados na execução da camada final, quando não estiver definido no projeto, devem possuir as seguintes características:

- Pertencer aos grupos de classificação MCT, determinados conforme DER M196, especificados em projeto;

- Nos 0,40 m intermediários os solos devem possuir CBR > 5% e expansão ≤ 2%;

- Nos 0,20 m finais, superficiais, os solos devem possuir CBR > 10% e expansão ≤ 2%;

- Nos cortes onde o material do subleito não apresentar CBR mínimo de 10%, deve ser feita a substituição do material, numa espessura mínima de 0,40 m, com materiais que atendam os parâmetros CBR ≥ 10% e expansão ≤ 2%.

Nas áreas de transição de aterros para corte deve ser executada a escavação e remoção de 0,60 m abaixo da cota de terraplenagem, na área de corte com extensão mínima de 2,0 m. O material escavado deve ser substituído por materiais com as mesmas características dos 0,60 m finais da camada final de aterro.

7.2.4. Aterro com Material Rochoso

Em regiões com predominância de material rochoso, proveniente das escavações, admite-se a construção de aterro com estes materiais, desde que prevista em projeto. Os fragmentos de rocha não devem possuir dimensões superiores a 75 cm. Os fragmentos de rocha que ultrapassem esta dimensão devem ser reduzidos de tal forma que seus fragmentos maiores não ultrapassem a 75 cm.

Não devem ser admitidos fragmentos de rochas de estratificação lamelar, facilmente fragmentáveis.

Os aterros constituídos de fragmentos de rochas devem ter em sua constituição rochas em toda a largura do aterro, por camadas sucessivas de no máximo 1,0 m de espessura. Os últimos 2,0 m de aterro devem ser executados em camadas de no máximo 0,30 m de espessura.

Os aterros devem ser executados descarregando-se o material rochoso sobre o terreno e posteriormente sobre a camada já construída, espalhado com trator de lâmina na espessura indicada, de maneira que os blocos maiores de rocha fiquem colocados na parte inferior e os vazios entre as pedras de maior dimensão sejam preenchidos por pedras menores. Devem ser compactados por meio de rolos vibratórios.

A maior dimensão de qualquer bloco de pedra, em qualquer caso deve ser inferior a 75 % da espessura da camada. Todos os blocos que não preencham esta condição devem ser fragmentados ou, a critério da fiscalização, removidos para fora da área de aterro e depositados em local aprovado.

Em situação que envolva alargamento de aterro em rocha, deve ser adotado procedimento idêntico ao de aterro em solo.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais para os aterros devem ser testados em laboratório, obedecendo à metodologia indicada no item 3.

8.1. Controle dos Materiais para Aterros

Os solos utilizados na execução dos aterros devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados nas tabelas do Anexo 1:

a) Análise granulométrica, conforme ABNT NBR 7181;
b) Ensaio de CBR, conforme ABNT NBR 9895, com determinação da expansão, na energia de compactação especificada em projeto;
c) Classificação MCT, conforme DER M196, através dos ensaios de mini-MCV, conforme DER M191, e perda de massa por imersão, conforme DER M197.

8.2. Controle da Execução dos Aterros

O controle da execução da camada deve ser realizado através de ensaios e verificações *in situ*, conforme os seguintes procedimentos e executados na frequência e critérios de aceitação indicados nas tabelas do Anexo 1:

a) Determinação do teor de umidade com umidímetro s*peedy* conforme DER M145 ou através de um dos métodos citados no método ABNT NBR16097, imediatamente antes da compactação do material. A umidade deve estar compreendida no intervalo da umidade ótima indicado no item 7.2.2.

b) Determinação da densidade aparente seca máxima e umidade ótima, conforme NBR 7182;

c) Determinação da massa específica aparente *in situ* conforme NBR 7185 ou ABNT NBR 9813 e da umidade *in situ* conforme DER M145 ou similar, e determinação do grau de compactação em relação aos

valores obtidos no item b;

d) Verificação da espessura do material solto lançado no aterro, e acompanhamento do número de passadas do equipamento, ida e volta. A espessura solta e compactada deve ser igual à estabelecida pela fiscalização. O número de passadas do equipamento é definido em função do tipo de equipamento utilizado, das características geotécnicas do material e do grau de compactação exigido para a respectiva camada. O número de passadas deve ser constante para camadas similares.

8.3. Controle Geométrico e de Acabamento para o Aterro

8.3.1. Controle de Espessura e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m, conforme nota de serviço.

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

A declividade transversal e a inclinação dos taludes devem ser as indicadas em projeto. As verificações devem ser realizadas pela executante e conferidas pela fiscalização desde o início e até o término das operações, de modo a permitir as correções eventualmente necessárias.

8.3.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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 a trena, executadas pelo menos a cada 20 m.

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento para os cortes

Os levantamentos topográficos devem apontar se a altura e a largura da plataforma nos cortes atendem à seção transversal especificada no projeto.

Os taludes em corte devem apresentar, após operações de terraplenagem, a inclinação indicada no projeto. As verificações devem ser realizadas, pela executante e pela fiscalização, desde o início e até o término das escavações, de modo a permitir que sejam executadas correções, sempre que houver necessidade.

O acabamento da plataforma resultante deve atender à conformação da seção transversal indicada no projeto.

As tolerâncias admitidas para acabamento dos taludes e plataforma de terraplenagem são as seguintes:

a) Variação de altura máxima, para eixos e bordas, escavação em solo: ± 0,05 m;
b) Variação de altura máxima, para eixos e bordas, escavação em rocha: ± 0,10 m;
c) Variação máxima de largura de + 0,20 m para cada semi plataforma não se admitindo variação negativa.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO

9.1. Escavação e Carga de Material

A escavação e carga de material são medidas e pagas por metro cúbico (m^3) do volume escavado, medido no corte.

A medição dos serviços executados é realizada da seguinte forma:

a) A área da seção transversal a ser considerada, para cálculo e medição do volume escavado, é a da seção transversal medida após a escavação;

b) O volume das escavações não previstas em projeto, mas autorizadas pela fiscalização, é obtido através da seção medida após a escavação;

c) Os materiais escavados são classificados em conformidade com o descrito no item 3 desta especificação;

d) Quando ocorrerem, em uma região, materiais de categorias diferentes, os volumes devem ser medidos para cada categoria, e se não for possível definir, na cava, horizontes ou linhas de separação entre os materiais, é feita a classificação em porcentagens dos volumes:

- Os volumes de blocos, matacões ou fragmentos de rocha maiores 0,5 m, isolados uns dos outros, são calculados considerando sua forma geométrica;
- Blocos de dimensões menores que 0,50 m são amontoados e o volume do monte é obtido considerando sua forma geométrica e dimensões aproximadas, o total de espaços vazios no monte admitido é de 40%;
- No caso dos blocos de dimensões menores que 0,50 m misturados com material de outra categoria, o volume de cada material é obtido com base na avaliação da composição

percentual da mistura;

e) É objeto de medição a escavação e carga de material estocado, para posterior utilização, cujo volume é determinado através da seção transversal medida no corte, após a escavação.

9.2. Transporte de Material Escavado

A unidade de transporte de material escavado é o metro cúbico pela distância de transporte. A distância de transporte é a menor distância real entre os centros de gravidade de corte e aterro ou depósito de materiais excedentes, considerando o percurso de ida e volta.

A menor fração a ser considerada para efeito de medição é de 10 dam (100 m).

Não é objeto de medição o transporte de terra vegetal brejosa, quando a distância de transporte for inferior a 5 decâmetros; e de qualquer categoria quando a distância de transporte for inferior ou igual a 1 decâmetro.

9.3. Aterro

O serviço deve ser medido por metro cúbico (m^3) de aterro compactado, apurado a partir do terreno natural, isento de camada vegetal e de elementos geométricos contidos nas seções transversais de projeto.

10. CRITÉRIOS DE PAGAMENTO

10.1. Escavação

Os serviços executados e medidos da forma descrita são pagos de acordo com os seus respectivos preços contratuais, que variam de acordo com a natureza do material escavado.

No preço unitário deverão estar incluídas todas as despesas com mão de obra necessária dos serviços, todos os equipamentos e recursos utilizados na execução dos serviços de escavação, carga e transporte do material, esparramação e compactação, bem como as de administração, despesas indiretas, encargos diversos, etc.

10.2. Aterro

O serviço deve ser pago por metro cúbico (m^3) de aterro compactado, apurado a partir do terreno natural, isento de camada vegetal e de elementos geométricos contidos nas seções transversais de projeto.

Os serviços recebidos e medidos da forma descrita são pagos conforme os respectivos preços unitários contratuais, nos quais estão inclusos: compactação e acabamento, abrangendo inclusive a mão-de-obra com encargos sociais e equipamentos necessários aos serviços, e outros recursos utilizados de forma a atender ao projeto e às especificações técnicas

.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Análise Granulométrica NBR 7181	Para grupo de 4 amostras submetidas ao ensaio de compactação do corpo de aterro	Valores Individuais	Parâmetro de controle
CBR e expansão, na energia normal - NBR 9895	1 ensaio para cada 4 amostras submetidas ao ensaio de compactação, do corpo de aterro.	Controle Estatístico do CBR $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	CBR ≥ CBR projeto no mínimo ≥ 2% Expansão ≤ 4% ou ≤ à especificada no projeto
CBR e expansão, na energia adotada para compactação do material, normal ou intermediária - NBR 9895	1 ensaio para cada 4 amostras submetidas ao ensaio de compactação, da camada final do aterro	Controle Estatístico do CBR $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras Expansão valores individuais	CBR ≥ CBR projeto Expansão ≤ expansão de projeto e 0,30 m iniciais CBR >3% e expansão ≤ 2% 0,40 m intermediários CBR >5 % e expansão ≤ 2% 0,30 m finais CBR >3 % e expansão ≤ 2%
Classificação MCT – DER M196 Mini – MCV – DER M191 Perda de massa por imersão – DER M197	Para grupo de 4 amostras submetidas ao ensaio de compactação da camada final do aterro.	Valores Individuais	Pertencerem aos grupos da classificação MCT, especificados em projeto

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Teor de Umidade DER M 145 ou similar	Imediatamente antes da compactação a cada 150 m²	Valores Individuais	Entre ± 3% da umidade ótima de compactação para corpo do aterro e Entre ± 2% da umidade ótima de compactação p/ camada final do aterro
Ensaio de compactação NBR 7182	1 ensaio a cada 1.500 m³ de um mesmo material do corpo de aterro	Valores Individuais	Parâmetro de controle
Ensaio de compactação NBR 7182	1 ensaio a cada 750 m³ de um mesmo material da camada final de aterro	Valores Individuais	Parâmetro de controle
Massa Específica Aparente Seca Máxima e do Teor de Umidade Ótima NBR 7185, DER M145 ou similar	Uma determinação a cada 350 m³ de camada compactada do corpo do aterro Na profundidade de no mínimo 75% da camada compactada	Valores Individuais ou Controle Estatístico Unilateral $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Valores individuais de GC ≥ 95% Umidade: intervalo de ± 3% da umidade ótima de compactação ou GC est ≥ 97%
Massa Específica Aparente Seca Máxima e do Teor de Umidade Ótima NBR 7185, DER M145 ou similar	Uma determinação a cada 250 m³ de camada compactada da camada final Na profundidade de no mínimo 75% da camada compactada	Valores Individuais ou Controle Estatístico Unilateral $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Valores individuais de GC ≥ 100% Umidade: intervalo de ± 2% da umidade ótima de compactação ou GC est ≥ 100%
Espessura do material solto (Medida de trena)	Em todas as camadas	Resultados Individuais	Igual a determinada pela fiscalização
Número de passadas do equipamento, para atingir o grau de compactação exigido para camada (Visual)	A cada 20 m.	Resultados Individuais	Igual ao determinado experimentalmente

CONTROLE GEOMÉTRICO, DE ACABAMENTO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Cotas Nivelamento do eixo e bordas	A cada 20 m	Resultados Individuais	± 0,05 m do projeto, para eixo e bordas
Largura da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	+0,30 m, não se admitindo valores inferiores aos previstos em projeto para semi-largura da plataforma
A verificação da declividade e inclinação dos taludes deve ser executada periodicamente pela fiscalização em conjunto com executante, através de régua e esquadro, desde o início até o término das operações, de modo a permitir correções se necessário			

.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\bar{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\bar{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \bar{X} - KS \geq LIE$	$X = \bar{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento da melhoria e preparo do subleito, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Melhoria e preparo do subleito é o conjunto de operações que visa conformar a camada final de terraplenagem, mediante cortes e aterros de até 20 cm de espessura, conferindo-lhe condições adequadas de geometria e compactação, para recebimento de uma estrutura de pavimento.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR 7181 Solos – Análise Granulométrica;
b) ABNT NBR 7182 Solos – Ensaio de Compactação;
c) ABNT NBR 7180 Solos – Limite de Plasticidade;
d) ABNT NBR 7185 Solos – Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia;
e) ABNT NBR 6459 Solos – Limite de Liquidez;
f) ABNT NBR 9895 Solos – Índice de Suporte Califórnia (ISC);
g) ABNT NBR 9813 Solos Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do cilindro de cravação;
h) ABNT NBR 16097 Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaios;
i) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
j) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

A superfície do subleito deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade para execução da camada da melhoria do subleito

Durante todo o tempo de execução da melhoria do subleito, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Material

O material a ser empregado na regularização do subleito deve apresentar características iguais ou superiores às especificadas em projeto para o subleito, devendo satisfazer as seguintes condições, descritas a seguir:

a) A granulometria determinada conforme NBR 7181, deve ser compatível com a especificada no projeto de dimensionamento do pavimento e o diâmetro máximo das partículas deve ser de 76 mm;
b) A massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima devem ser determinadas conforme o método ABNT NBR 7182, na energia normal ou intermediária dependendo do tipo de material e do especificado em projeto;
c) O CBR determinado conforme ABNT NBR 9895, deve ser igual ou superior ao considerado para o subleito no dimensionamento da estrutura de pavimento, e quando não especificado, no mínimo igual ou superior a 5%. A energia de compactação a ser adotada pode ser a normal ou intermediária, dependendo do tipo de material e do especificado em projeto;
d) A expansão determinada no ensaio de CBR, de acordo com a ABNT NBR 9895, utilizando a energia especificada no projeto, deve ser igual ou inferior a 2%;
e) Não é admitida a utilização de solos turfosos, micáceos ou que contenham substâncias orgânicas.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da regularização do subleito compreende as seguintes unidades:

a) Caminhões basculantes;
b) Escavadeira hidráulica ou pá carregadeira;
c) Motoniveladora equipada com escarificador, com dispositivos para controle de profundidade;
d) Caminhão tanque irrigador de água e distribuidor com no mínimo 6.000 litros de capacidade;
e) Trator agrícola com grade de discos ou pulvi-misturador ou enxada rotativa ou recicladora;
f) Rolo compressor pneumático, pé de carneiro ou liso, dependendo do tipo de solos a ser compactado.

7. EXECUÇÃO

7.1. Conformação e Escarificação

Inicialmente deve-se proceder a verificação geral, mediante nivelamento geométrico, comparando as cotas da superfície existente, com as cotas previstas no projeto para a camada final de terraplenagem.

Segue-se, posteriormente, a escarificação geral da superfície do subleito obtido até a profundidade de 0,20 m abaixo da plataforma de projeto, nos segmentos em que a terraplenagem estiver concluída.

Caso seja necessária a complementação de materiais, deve-se lançá-los preferencialmente antes da escarificação, para, em seguida, efetuar as operações de pulverização e homogeneização do material.

Eventuais fragmentos de pedra com diâmetro superior a 76 mm, raízes ou outros materiais estranhos devem ser removidos.

Com atuação da motoniveladora, através de operações de corte e aterro, deve-se conformar a superfície existente, adequando-a ao projeto, de acordo com os perfis transversais e longitudinais.

Os materiais excedentes resultantes das operações de corte que possuam as características que permitam a sua utilização em: aterros, camada final de terraplenagem ou em outras camadas do pavimento devem ser transportados para locais designados pela fiscalização para utilização posterior, de acordo com o estabelecido em projeto ou indicado pela fiscalização.

Operações de corte ou aterro que excedam a espessura de 20 cm devem ser executadas conforme discriminado nas especificações de terraplenagem.

7.2. Homogeneização do Material

O material espalhado e escarificado, após ter atingido a cota desejada, deve ser umedecido, se necessário, e homogeneizado mediante ação combinada de um dos equipamentos de mistura citados no item 6.e e operações com a motoniveladora.

Essas operações devem prosseguir até que o material se apresente visualmente homogêneo, isento de grumos ou torrões.

Admitem-se variações, em pontos percentuais, do teor de umidade entre -2,0 % a +1,0 % da umidade ótima de compactação para solos argilosos.

Para solos arenosos, o limite de variação, em pontos percentuais, do teor de umidade é -1,0 % a +1,0 % da umidade ótima de compactação.

Caso o teor de umidade se apresente abaixo do limite mínimo especificado, deve-se proceder o umedecimento da camada através de caminhão tanque irrigador. Se o teor de umidade de campo exceder ao limite superior especificado, deve-se aerar o material mediante ação conjunta de um dos equipamentos de mistura citados no item 6.e e da motoniveladora, para que o material atinja o intervalo da umidade especificada.

7.3. Compactação

Após terminada a operação de espalhamento, a camada de regularização deve ser compactada. O teor de umidade no momento da compactação deve ser de no máximo +1% ou no mínimo –2% para solos argilosos e de ±1,0% para solos arenosos, pontos percentuais em relação à umidade ótima definida no ensaio de compactação ABNT NBR 7182 na energia definida no projeto.

A compactação será iniciada nas bordas do pavimento. As passagens seguintes do compactador recobrirão, no mínimo, 30 cm da largura da faixa anteriormente compactada.

A densidade aparente da mistura compactada (grau de compactação) deve ser maior ou igual a 100% da densidade aparente máxima definida no ensaio de compactação ABNT NBR 7182 na energia definida no projeto.

O valor do CBR e da expansão devem atender ao estabelecido no projeto.

A deflexão medida não pode, em nenhum ponto, ser superior à definida no projeto.

A determinação do grau de compactação deve ser realizada de acordo com os métodos ABNT NBR 7185 ou ABNT NBR 9813 e ABNT NBR 16097.

7.4. Acabamento

O acabamento deve ser executado pela ação conjunta da motoniveladora e do rolo de pneus ou liso.

A motoniveladora deve atuar, quando necessário, exclusivamente em operação de corte, sendo vetada a correção de depressões por adição de material.

As pequenas depressões e saliências, resultantes da atuação de rolo pé de carneiro de pata curta, podem ser toleradas, desde que o material não se apresente solto, sob a forma de lamelas.

Em complementação às operações de acabamento, deve-se proceder a remoção das leiras, que se formam lateralmente à pista acabada, como resultado da conformação da regularização do subleito.

7.5. Abertura ao Tráfego

Não deve ser permitida a liberação de tráfego ao usuário face à possibilidade de danos ao serviço executado, em especial sob condições climáticas adversas.

7.6. Subleito em Rocha

São aplicáveis, para os cortes em rocha sã ou alterada, as operações de regularização do subleito aqui descritas, prevendo-se o rebaixamento da plataforma e a reposição com material granular, conforme especificação de terraplenagem ou o determinado em projeto, especialmente de drenagem.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo à metodologia indicada no item 3.

8.1. Controle dos Materiais

Os solos utilizados na melhoria e preparo do subleito devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1:

a) Análise granulométrica, conforme ABNT NBR 7181;
b) Ensaio de compactação, conforme ABNT NBR 7182 na energia de compactação especificada em projeto;
c) Ensaio de CBR, conforme ABNT NBR 9895, com determinação da expansão, na energia de compactação especificada em projeto;
d) Determinação dos Limites de Atterberg, conforme NBR 7180 e NBR 6459.

8.2. Controle da Execução

O controle da execução da camada deve ser realizado pelos seguintes procedimentos:

a) Determinação da massa específica aparente “in situ”, conforme ABNT NBR 7185 ou ABNT NBR 9813;
b) Determinação do teor de umidade através de um dos métodos citados no método ABNT NBR16097. Se a umidade estiver compreendida no intervalo da umidade ótima indicado no item 7.2, o material pode ser liberado para compactação.

8.3. Controle Geométrico e de Acabamento

O controle da execução da camada deve ser realizado pelos seguintes procedimentos:

8.3.1. Controle de Cotas

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

8.3.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.3.3. Controle de Acabamento da Superfície

O acabamento da superfície dos diversos segmentos concluídos é verificado com duas réguas, uma de 1,20 m e outra 3,00 m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, nas diversas seções correspondentes às estacas da locação.

8.4. 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, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

Quando os cortes e aterros tiverem espessuras iguais ou inferiores a 40 cm, a totalidade dos serviços "de preparo e melhoria do subleito" será paga por metro quadrado executado. Os preços unitários a serem utilizados serão dois, um para espessura de até 25 cm e outro para espessuras entre 25 cm e 40 cm.

Quando os aterros ou cortes tiverem espessuras superiores a 40 cm, os serviços de "preparo do subleito" serão pagos por metro quadrado executado, acrescido do volume das camadas de aterro ou dos cortes que excederem os 40 cm, que serão pagos separadamente como serviços de terraplanagem.

No preço unitário deverão estar incluídas todas as despesas de aquisição, escavação, carga, transporte, descarga, esparrame e compactação, bem como as de administração, despesas indiretas, encargos diversos, etc.

10. REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

a) ABNT. (s.d.). *Associação Brasileira de Normas Técnicas.*

b) ARTERIS. (2017). *Regularização do Subleito - SL.*

c) DER/SP. (2005). *Melhoria e Preparo do Subleito.* São Paulo.

d) DNIT. (2010). *Pavimentação - Regularização do subleito.*

e) DURSARP. (1994). *Preparo e Melhoria do Subleito do Pavimento.* Ribeirão Preto.

f) Institute, A. (2010). *The Asphalt Handbook.* Asphalt Institute.

g) Jones, D., Rahim, A., Saadeh, & Harvey, J. (2012). *Guidelines for the Stabilization of Subgrade Soils In California.* UC Berkeley: University of Carlifornia Pavement Research Center.

h) Pinto, S., & Preussler, E. S. (2010). *Pavimentação Rodoviária - Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexível.* Rio de Janeiro: Synergia.

i) PMSJC. (1995). *Preparo e Melhoria do Subleito do Pavimento.* São José dos Campos.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Análise Granulométrica ABNT NBR 7181	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	Diâmetro máximo das partículas menor que 76 mm
Determinação da massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima – ABNT NBR 7182	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista, intercalado com o ensaio de CBR e Expansão. No mínimo 3 ensaios por obra.	Determinação de Valores de Referência	Determinação de Valores de Referência
CBR na energia de compactação definida em projeto – ABNT NBR 9895	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	Igual ou superior ao CBR definido para cada Segmento Homogêneo do Projeto
Expansão na energia de compactação definida em projeto – ABNT NBR 9895	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	Expansão $\leq$ 2,0%

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Teor de Umidade – ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 500 m² contínuos de pista, imediatamente antes da compactação. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	<u>Solos Argilosos e Siltosos</u> -2 pontos percentuais a +1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima <u>Solos Arenosos</u> ± 1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima
Massa Específica Aparente Seca, *in situ*, e Grau de Compactação – ABNT NBR 7185 e 9813	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	<u>Controle Estatístico</u> $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Os segmentos devem ser analisados segundo Controle Estatístico e todas as amostras devem atender ao Controle Individual. <u>Controle Estatístico</u> GC <u>≥</u> 100% <u>Controle Individual</u> GC <u>≥</u> 98%
Determinação das Deflexões Viga Benkelman – DNER ME 24 ou FWD – DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de Valores Individuais superiores a 105% da deflexão de controle fornecida em projeto, o segmento deve ser refeito

CONTROLE GEOMÉTRICO E DE ACABAMENTO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Espessuras e Cotas Locação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo e bordos e dois pontos intermediários	Resultados Individuais	Variação máxima admitida -2 a +1 cm da cota de projeto
Largura e Alinhamento da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Não se admite valores para semi-largura inferiores aos previstos em projeto
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\bar{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum (\bar{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \bar{X} - KS \geq LIE$	$X = \bar{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento do reforço do subleito com solo selecionado, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Reforço do subleito de solo selecionado é a camada do pavimento constituída de solo escolhido proveniente de áreas de jazidas ou empréstimos, executada sobre o subleito, com intuito de melhorar a capacidade estrutural do pavimento. Apresenta estabilidade e durabilidade quando adequadamente compactada.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR 7181 Solos – Análise Granulométrica;
b) ABNT NBR 7182 Solos – Ensaio de Compactação;
c) ABNT NBR 7180 Solos – Limite de Plasticidade;
d) ABNT NBR 7185 Solos – Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia;
e) ABNT NBR 6459 Solos – Limite de Liquidez;
f) ABNT NBR 9895 Solos – Índice de Suporte Califórnia (ISC);
g) ABNT NBR 9813 Solos Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do cilindro de cravação;
h) ABNT NBR 16097 Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaios;
i) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
j) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

O reforço do subleito com solo selecionado só pode ser executado quando a camada subjacente estiver liberada quanto aos requisitos de aceitação de materiais e execução.

A superfície deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade para execução da camada do reforço do subleito.

Durante todo o tempo de execução do reforço do subleito, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Material

Os solos empregados no reforço do subleito devem ser isentos de matéria orgânica e impurezas e devem possuir características superiores às do material do subleito, sendo imprescindível que:

a) A granulometria determinada conforme NBR 7181, deve ser compatível com a especificada no projeto de dimensionamento do pavimento e o diâmetro máximo das partículas deve ser de 76 mm;
b) A massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima devem ser determinadas conforme o método ABNT NBR 7182, na energia normal ou intermediária dependendo do tipo de material e do especificado em projeto;
c) O CBR determinado conforme ABNT NBR 9895, deve ser igual ou superior ao considerado para o subleito no dimensionamento da estrutura de pavimento, e quando não especificado, no mínimo igual ou superior a 5%. A energia de compactação a ser adotada pode ser a normal ou intermediária, dependendo do tipo de material e do especificado em projeto;
d) A expansão determinada no ensaio de CBR, de acordo com a ABNT NBR 9895, utilizando a energia especificada no projeto, deve ser igual ou inferior a 1%;
e) Não é admitida a utilização de solos turfosos, micáceos ou que contenham substâncias orgânicas.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução do reforço do subleito com solo selecionado compreende as seguintes unidades:

a) Caminhões basculantes;
b) Escavadeira hidráulica ou pá carregadeira;
c) Motoniveladora equipada com escarificador, com dispositivos para controle de profundidade;
d) Caminhão tanque irrigador de água e distribuidor com no mínimo 6.000 litros de capacidade;

e) Trator agrícola com arados e grade de discos;
f) Trator agrícola com grade de discos ou pulvi-misturador ou enxada rotativa ou recicladora.
g) Rolo compressor pneumático, pé de carneiro ou liso, dependendo do tipo de solos a ser compactado.
h) Duas réguas de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,0 m de comprimento;
i) Pequenas ferramentas, tais como: pás, enxadas, garfos, rastelos etc.

7. EXECUÇÃO

7.1. Espalhamento, Mistura e Homogeneização

Os materiais escavados a serem utilizados na camada de reforço do subleito devem ser transportados para local de aplicação, descarregados e distribuídos em montes e leiras sobre o subleito, para posterior espalhamento com motoniveladora, de forma a obter a espessura da camada definida em projeto.

Admitem-se variações, em pontos percentuais, do teor de umidade entre -2,0 % a +1,0 % da umidade ótima de compactação para solos argilosos.

Para solos arenosos, o limite de variação, em pontos percentuais, do teor de umidade é -1,0 % a +1,0 % da umidade ótima de compactação.

Caso o teor de umidade se apresente abaixo do limite mínimo especificado, deve-se proceder ao umedecimento da camada, através de caminhão tanque irrigador. Se o teor de umidade de campo exceder ao limite superior especificado, o material deve ser aerado mediante ação combinada de um dos equipamentos de mistura citados no item 7.f para que o material atinja o intervalo da umidade especificado.

O material umedecido e homogeneizado deve ser espalhado de forma regular e uniforme em toda a largura do leito, de forma tal que, após a compactação, sua espessura não exceda 15 cm.

A execução de camadas com espessura superior a 15 cm e limitadas a 20 cm somente serão permitidas pela fiscalização se ficar comprovado que o equipamento empregado é capaz de compactar espessuras maiores, de modo a garantir a uniformidade do grau de compactação em toda a profundidade da camada.

7.2. Compactação

Concluídas as correções necessárias para obtenção do teor ótimo da umidade especificada, deve-se conformar a camada pela ação da motoniveladora, iniciando em seguida a compactação.

O equipamento de compactação utilizado deve ser compatível com o tipo de material e com as condições de densificação pretendidas no reforço do subleito.

Nos trechos em tangente, a compactação deve ser executada das bordas para o centro, em percurso equidistante da linha de base, eixo. O percurso ou passadas do equipamento utilizado devem distar entre si de forma tal que, em cada percurso, seja coberta metade de faixa do percurso anterior.

Nos trechos em curva, havendo sobrelevação, a compactação deve progredir da borda mais baixa para a mais alta, com percursos análogos aos descritos para trechos em tangente.

Nas partes adjacentes ao início e ao fim da camada em construção, a compactação deve ser executada transversalmente à linha do eixo. Nos locais inacessíveis aos rolos compactadores, como cabeceiras de obra de arte etc., a compactação deve ser executada com compactadores portáteis, manuais ou mecânicos.

As operações de compactação devem prosseguir até que se atinja o grau de compactação de 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, obtida na energia especificada em projeto, conforme NBR 7182.

O número de passadas necessárias do equipamento de compactação, para atingir grau de compactação exigido, deve ser determinada experimentalmente na pista.

Deve ser realizada nova determinação sempre que houver variação no material ou do equipamento empregado.

7.3. Acabamento

O acabamento deve ser executado pela ação conjunta da motoniveladora e do rolo de pneus ou liso.

A motoniveladora deve atuar, quando necessário, exclusivamente em operação de corte, sendo vetada a correção de depressões por adição de material.

As pequenas depressões e saliências, resultantes da atuação de rolo pé de carneiro de pata curta, podem ser toleradas, desde que o material não se apresente solto, sob a forma de lamelas.

Em complementação às operações de acabamento, deve-se proceder a remoção das leiras, que se formam lateralmente à pista acabada, como resultado da conformação da superfície da camada de reforço do subleito.

Se houver a necessidade de aterro para conformação final da camada de reforço, a camada deve ser escarificada e refeita sem ônus para a contratante.

7.4. Abertura ao Tráfego

Não será permitida a liberação de tráfego ao usuário face à possibilidade de danos ao serviço executado, em especial sob condições climáticas adversas.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo à metodologia indicada no item 3.

8.1. Controle dos Materiais

Os solos utilizados no reforço do subleito devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1:

a) Análise granulométrica, conforme ABNT NBR 7181;
b) Ensaio de compactação, conforme ABNT NBR 7182 na energia de compactação especificada em projeto;
c) Ensaio de CBR, conforme ABNT NBR 9895, com determinação da expansão, na energia de compactação especificada em projeto;
d) Determinação dos Limites de Atterberg, conforme NBR 7180 e NBR 6459.

8.2. Controle da Execução

O controle da execução da camada deve ser realizado pelos seguintes procedimentos:

a) Determinação da massa específica aparente “in situ”, conforme ABNT NBR 7185 ou ABNT NBR 9813; com a energia especificada em projeto, e o respectivo grau de compactação, em amostras retiradas na profundidade de no mínimo 75% da espessura da camada, comparadas com os resultados dos ensaios descritos em 9.1.
b) com amostras coletadas na pista;
c) Determinação do teor de umidade através de um dos métodos citados no método ABNT NBR16097, imediatamente antes do início da compactação. Se a umidade estiver compreendida no intervalo da umidade ótima indicado no item 7.1, o material pode ser liberado para compactação;

8.3. Controle Geométrico e de Acabamento

8.3.1. Controle de Espessuras e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m, conforme nota de serviço.

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

8.3.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.3.3. Controle de Acabamento da Superfície

O acabamento da superfície dos diversos segmentos concluídos é verificado com duas réguas, uma de 1,20 m e outra 3,00 m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, nas diversas seções correspondentes às estacas da locação.

8.4. 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, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

O reforço de solo selecionado devidamente acabado e na espessura determinada pelo projeto, será medida e paga por preço unitário de metro cúbico executado.

No preço unitário deverão estar incluídas todas as despesas de aquisição, escavação, carga, transporte, descarga, esparrame e compactação, bem como as de administração, despesas indiretas, encargos diversos, etc.

10. REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

a) ABNT. (s.d.). *Associação Brasileira de Normas Técnicas.*

b) ARTERIS. (2015). *Reforço do Subleito - REF.*

c) DER/SP. (2005). *Reforço do Subleito.* São Paulo.

d) DNIT. (2010). *Pavimentação - Reforço do Subleito.*

e) DURSARP. (1994). *Reforço do Subleito com Solo Selecionado.* Ribeirão Preto.

f) Institute, A. (2010). *The Asphalt Handbook.* Asphalt Institute.

g) PMSJC. (1995). *Reforço do Subleito do Pavimento.* São José dos Campos.

h) PMSP. (2004). *Reforço do Subleito com Solo Selecionado.* São Paulo.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Análise Granulométrica ABNT NBR 7181	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	Diâmetro máximo das partículas menor que 76 mm
Determinação da massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima – ABNT NBR 7182	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista, intercalado com o ensaio de CBR e Expansão. No mínimo 3 ensaios por obra.	Determinação de Valores de Referência	Determinação de Valores de Referência
CBR na energia de compactação definida em projeto - ABNT NBR 9895	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	Igual ou superior ao CBR definido para cada Segmento Homogêneo do Projeto
Expansão na energia de compactação definida em projeto – ABNT NBR 9895	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	Expansão $\leq$ 1,0%

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Teor de Umidade ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 500 m² contínuos de pista, imediatamente antes da compactação. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	Solos Argilosos e Siltosos -2 pontos percentuais a +1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima Solos Arenosos ± 1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima
Massa Específica Aparente Seca, *in situ*, e Grau de Compactação – ABNT NBR 7185 e 9813	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Os segmentos devem ser analisados segundo Controle Estatístico e todas as amostras devem atender ao Controle Individual. Controle Estatístico GC $\geq$ 100% Controle Individual GC $\geq$ 98%
Determinação das Deflexões Viga Benkelman – DNER ME 24 ou FWD – DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de Valores Individuais superiores a 105% da deflexão de controle fornecida em projeto, o segmento deve ser refeito

CONTROLE GEOMÉTRICO E DE ACABAMENTO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Espessuras e Cotas Locação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo e bordos e dois pontos intermediários	Resultados Individuais	Variação máxima admitida -2 a +1 cm da cota de projeto
Largura e Alinhamento da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Não se admite valores para semi-largura inferiores aos previstos em projeto
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento da execução do agulhamento do subleito em pavimentos, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Os serviços consistem no fornecimento, carga, transporte e descarga dos materiais, inclusive água, mão-de-obra e equipamentos adequados, necessários à execução e ao controle de qualidade do Agulhamento do Subleito, em conformidade com a norma apresentada a seguir e detalhes executivos contidos no projeto.

Agulhamento é uma camada intermediária entre o subleito e a base de macadame betuminoso, obtida por compressão e cravamento no subleito de uma camada uniforme de agregados graúdos.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR NM 51 – Ensaio de abrasão “Los Angeles”;
b) ABNT NBR NM 248 – Determinação da Composição Granulométrica.

4. CONDIÇÕES GERAIS

O confinamento lateral do Agulhamento do Subleito é dado pela sarjeta.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

O agregado deverá ser constituído por produtos de britagem de rocha sã, sendo imprescindível que:

a) A granulometria se enquadre na faixa apresentada no quadro abaixo:

TABELA 1 – FAIXA GRANULOMÉTRICA		
PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO
ASTM	mm	
3 ½”	88,9	100
3	76,2	90-100
2 ½”	63,5	60-100
2	50,8	20-90
1 ½”	38,1	0-35
1	25,4	0-5
¾”	19,1	0-2

b) O agregado deverá ser constituído de fragmentos duros, limpos e duráveis, livres de excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, e de outras substâncias ou contaminações prejudiciais;
c) A percentagem de desgaste no ensaio de abrasão "Los Angeles”, conforme NBR NM 51, não deverá ser superior a 50%.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução do agulhamento do subleito compreende as seguintes unidades:

a) Caminhões basculantes;
b) Motoniveladora pesada;
c) Rolos compressores de rodas lisas, vibratórios ou estáticos;
d) Caminhão tanque irrigador;
e) Equipamentos e ferramentas complementares: pás, carrinhos de mão, marretas, vassourões ou vassouras mecânicas, etc.

7. EXECUÇÃO

7.1. Condição Física da Camada de Apoio do Agulhamento do Subleito

a) O subleito sobre o qual será executado o agulhamento deverá ter sido executado de acordo com as condições fixadas pela especificação PMSJC ES-P 04/19;
b) Caso a execução da camada de Agulhamento não se efetue logo após a construção da camada de apoio subjacente e de modo especial,

quando esta esteve exposta às chuvas devem ser efetuadas nesta camada as seguintes determinações:

- Teor de umidade, que deverá ser menor do que o teor de umidade ótimo de compactação da camada, mais 3%. Se o teor de umidade for superior, a camada deverá secar até que as condições de umidade satisfaçam o limite indicado;
- Grau de compactação, que deverá atender as exigências indicadas no controle de recebimento da camada executada.
- As regiões nas quais o grau de compactação for inferior ao limite necessário, deverão ser reconstruídas antes da execução da camada do Agulhamento.

7.2. Preparo da Superfície

Eventuais defeitos da superfície da camada subjacente deverão ser necessariamente reparados antes da execução do agulhamento. Essa superfície deverá estar perfeitamente limpa e desempenada.

7.3. Aplicação do Agregado

a) A execução da camada de agregado graúdo inicia-se pelo carregamento do material nos depósitos ou pátios de estocagem da instalação de britagem. A operação de carga do material deverá ser procedida de forma criteriosa, evitando-se a utilização de agregados graúdos lamelares ou com excesso de finos;

b) Após a operação de carregamento e o transporte por meio de caminhões basculantes, faz-se o espalhamento de 20 litros de agregado graúdo por metro quadrado, em uma camada de espessura uniforme e homogênea. O espalhamento será feito pelo uso de motoniveladora pesada, devendo evitar-se processos que levem à segregação do material;

c) Após o espalhamento do agregado graúdo, poderão ser necessárias as seguintes correções:

- Remoção de fragmentos alongados, lamelares ou de tamanho excessivo, visíveis na superfície, e substituição por agregado graúdo representativo e de boa qualidade;
- Correção de pontos com excesso ou deficiência de material. No caso de existir deficiência de material, utilizar sempre agregado graúdo representativo e de boa qualidade, sendo vedado o uso de agregado miúdo.

7.4. Compressão do Agregado

a) A compressão inicial deverá ser feita mediante emprego de rolo liso de três rodas de 10 a 12 toneladas (velocidade de 30 a 40 m por minuto)

ou rolo liso vibratório, aprovado pela fiscalização. Se necessário, o subleito poderá ser irrigado para facilitar o cravamento do agregado;

b) Nos trechos em tangente, a compressão deverá partir, sempre, dos bordos para o eixo, e nas curvas, do bordo interno para o bordo externo. Em cada passada, o equipamento utilizado deverá recobrir, ao menos, a metade da faixa anteriormente comprimida;
c) Eventuais manobras do equipamento de compactação, que impliquem em variações direcionais prejudiciais, deverão se processar fora da área de compressão;
d) A operação de compressão deverá prosseguir até que se consiga uma cravação do agregado graúdo de no mínimo 2 centímetros conseguindo-se assim uma superfície compactada, cheia de saliências e reentrâncias. Essa superfície permitirá um contato perfeito com a sub-base.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1.

8.1. Controle dos Materiais

Este controle abrange os ensaios e determinações para verificar se as condições dos materiais estão sendo atendidos. Serão procedidos os seguintes ensaios:

a) Um ensaio de granulometria, conforme ABNT NM 248, do agregado graúdo;
b) Um ensaio de Abrasão "Los Angeles", conforme NBR NM 51, do agregado graúdo sempre que, visualmente, se observar alterações mineralógicas no agregado, e no mínimo, um ensaio por mês.

8.2. Controle da Execução

a) A principal atividade de controle de execução, para o serviço de Agulhamento do Subleito, será a inspeção visual, a qual deverá ser aplicada em todas as etapas, ou seja, nos estoques de agregados, na operação de carregamento, nas operações de pista como espalhamento, irrigação, compactação e acabamento;
b) A verificação da eficiência da compactação deverá ser feita avaliando-se o nível de cravamento dos agregados;
c) As condições de acabamento da superfície serão apreciadas visualmente pela Fiscalização.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A camada de Agulhamento do Subleito, executada e recebida na forma descrita, será medida por área de material compactado na pista, expresso em metros quadrados, e segundo a seção transversal de projeto.

O pagamento será feito após a aceitação dos serviços executados, com base no preço unitário contratual, incluindo todas as operações de carga, transporte, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e outros gastos eventuais necessários à sua completa execução.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	$\leq$ 50%
Análise Granulométrica ABNT NBR NM 248	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro da faixa de trabalho

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Verificação das condições de compactação Visual	Em cada faixa compactada	Resultados Individuais	Quando não existirem sulcos ou ondulações a frente do rolo compactador, a compactação será considerada finalizada
Correção de defeitos Visual	Pontos localizados, detectados após abertura do tráfego	Resultados Individuais	A correção dos defeitos seja considerada satisfatória

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum (\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de sub-base e base de solo arenoso fino laterítico, SAFL, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Bases e sub-bases de solos arenosos finos de comportamento laterítico, SAFL, são camadas constituídas de solos de graduação fina, de comportamento laterítico e pertencentes aos grupos LA e LA' da classificação MCT. Possuem uma fração de mais de 50% retida na peneira de abertura 0,075 mm, constituída de areia de grãos de quartzo, e quando compactados adequadamente, apresentam grande estabilidade.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes:

a) ABNT NBR 7181 Solos – Análise Granulométrica;
b) ABNT NBR 7185 Solos – Determinação da Massa Específica Aparente, "in situ", com emprego do frasco de areia;
c) ABNT NBR 9813 Solos Determinação da Massa Específica Aparente, "in situ", com emprego do cilindro de cravação;
d) ABNT NBR 16097 Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaios
e) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
f) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*;
g) DER/SP M 191 – Ensaio de Compactação de Solos em equipamento miniatura;
h) DER/SP M 192 – Determinação do índice do suporte de mini-CBR e de expansão de solos compactados com equipamento miniatura;
i) DER/SP M 193 – Determinação da contração de solos compactados em equipamento miniatura;
j) DER/SP M 194 – Determinação das características de infiltração de água em solos compactados em equipamento miniatura;
k) DER/SP M 196 – Classificação de solos tropicais segundo a metodologia MCT;
l) DER/SP M 197 – Determinação da massa por imersão de solos compactados com equipamento miniatura;
m) Nogami Classificação MCT – Método da pastilha.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dia de chuva.

A camada de sub-base e base de solo arenoso fino laterítico só pode ser executada quando a camada subjacente estiver liberada, quanto aos requisitos de aceitação de materiais e execução.

A superfície deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade para a execução da sub-base ou base de solo arenoso fino laterítico.

Durante todo o tempo de execução da sub-base ou base de solo arenoso fino laterítico, SAFL, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Material

O solo arenoso fino laterítico, SAFL, deve satisfazer as seguintes exigências:

a) Possuir as seguintes propriedades mecânicas e hidráulicas quando compactado na energia intermediária:
   - Mini-CBR sem imersão ≥ 40%, conforme DER/SP M 192;
   - Perda de suporte por imersão inferior a 50%, isto é, RIS ≥ 50%, ou seja:

$$RIS = \left[\frac{MiniCBR_{2\ dias\ imersão}}{MiniCBR_{sem\ imersão}} \right] x100 \geq 50\%$$

   - Expansão com sobrecarga padrão $\leq$ 0,3%, determinado conforme DER/SP M 192;
   - Contração, Kc, entre 0,1% a 0,5%, determinada conforme DER/SP M 193, na umidade e densidade ótimas de compactação;
   - Coeficiente de infiltração 10^{-2} cm/min$^{1/2}$ a 10^{-4} cm/min$^{1/2}$, determinado conforme DER/SP M 194.

b) Deve passar integralmente pela peneira de 2,00 mm de abertura ou conter porção pequena de material retido, cuja retirada não altere substancialmente as propriedades do solo, granulometria determinada conforme NBR 7181;

c) Deve pertencer aos grupos LA e LA' da classificação MCT, determinada conforme DER/SP M 196, através da compactação do Mini-MCV, conforme DER/SP M 191, e da perda de massa por imersão, de acordo

com DER/SP M 197. Opcionalmente, se prescrito no projeto, a classificação MCT pode ser realizada pelo método da pastilha.

Sempre que possível, recomenda-se que seja obedecida a seguinte sequência de preferência de escolha dos tipos – ver Figura 1:

a) Tipo I, com prioridade da subárea próxima à interface com tipo II, c' compreendido entre 1,3 a 1,8;
b) Tipo II, com prioridade da subárea próxima à interface com tipo I, c' compreendido entre 1,0 a 1,3;
c) Tipo III, com prioridade da subárea próxima à interface com tipo II, c' compreendido entre 0,7 a 1,0;
d) Tipo IV, c' compreendido entre 0,3 a 0,7 e e' maior 1,0.

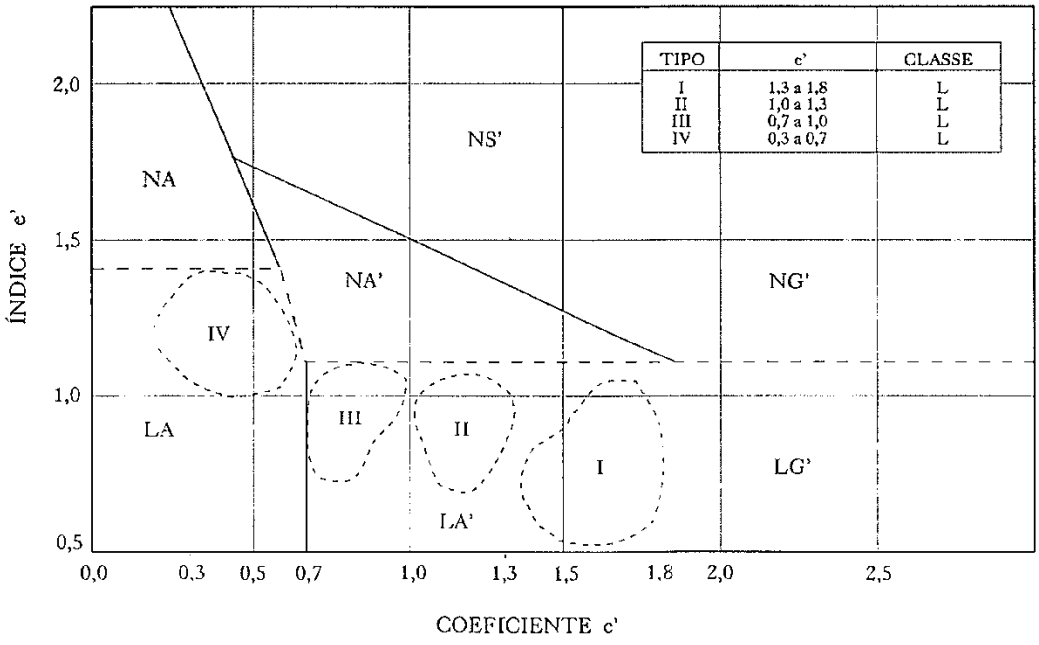


Figura 1 – Hierarquização dos SAFL de Acordo com a Classificação MCT

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da sub-base ou base de solo arenoso fino laterítico compreende as seguintes unidades:

a) Caminhões para transporte dos materiais, com caçamba basculante;
b) Pá-carregadeira;
c) Motoniveladora com escarificador, equipada com dispositivos para controle da profundidade de trabalho;

d) Caminhão tanque irrigador de água, com no mínimo 6.000 litros de capacidade, equipado com moto bomba, capaz de distribuir água uniformemente e sob pressão regulável;
e) Trator agrícola, com grade de disco, ou pulvi-misturador ou enxada rotativa ou recicladora.
f) Rolo tipo pé de carneiro, de peso variável, estático ou vibratório;
g) Rolo de rodas lisas, estáticos ou vibratórios;
h) Rolo de pneus de pressão variável, de no mínimo 2,5 kgf/cm² a 8,5 kgf/cm²;
i) Compactador vibratório portátil ou sapos mecânicos, uso eventual;
j) Duas réguas de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,00 m de comprimento;
k) Pequenas ferramentas, tais como pás, enxadas, garfos, rastelos etc.

7. EXECUÇÃO

7.1. Transporte, Mistura, Distribuição e Umedecimento

O solo deve ser transportado em caminhões basculantes, depositado sobre a pista em leiras ou montes de dimensões constantes, tanto quanto possível, de modo a facilitar sua distribuição na pista. O espalhamento do material sobre a pista deve ser executado com motoniveladora.

Concluída a distribuição, devem ser iniciadas as operações de destorramento, umedecimento ou secagem do solo para se obter a uniformização do teor de umidade. Este teor deve estar compreendido entre -2 a +1 ponto percentual da umidade ótima de compactação, determinado pelo ensaio de compactação, conforme DER/SP M 191, com energia intermediária.

O ajuste e a uniformização da umidade são obtidos pela ação combinada de um dos equipamentos de mistura citados no item 6.e, caminhão tanque irrigador e motoniveladora.

Caso o teor de umidade do material seja superior a 1% do teor ótimo determinado pelo ensaio de compactação, conforme NBR 7182, deve-se proceder à aeração do material, com equipamento adequado, até reduzi-lo ao intervalo de teor de umidade de compactação compreendido entre ± 1,0% da umidade ótima, em pontos percentuais.

A eventual perda de umidade da camada superior do solo, cerca de 5 cm, em consequência da insolação e ação de ventos, pode ser corrigida pelas seguintes operações:

a) Umedecimento e homogeneização, realizados durante os trabalhos ou em fim de tarde;

b) Quando necessário novo umedecimento e homogeneização, realizada no início da manhã seguinte;
c) Ajuste no teor de umidade e início imediato da compactação.

O material umedecido e homogeneizado deve ser espalhado com motoniveladora, de forma regular e uniforme em toda a largura da plataforma, de forma tal que, após a compactação, sua espessura não exceda 20 cm nem seja inferior a 10 cm.

7.2. Compactação

Na fase inicial da obra devem ser executados segmentos experimentais, com formas diferentes de execução, na sequência operacional de utilização dos equipamentos de modo a definir os procedimentos a serem obedecidos nos serviços de compactação. Deve-se estabelecer o número de passadas necessárias dos equipamentos de compactação para atingir o grau de compactação especificado.

Deve ser realizada nova determinação sempre que houver variação no material ou do equipamento empregado.

Nos trechos em tangente, a compactação deve ser executada das bordas para o centro, em percurso equidistante da linha de base, eixo. O percurso ou passadas do equipamento utilizado deve distar entre si de forma tal que, em cada percurso, seja coberta metade de faixa do percurso anterior.

Nos trechos em curva, havendo sobrelevação, a compactação deve progredir da borda mais baixa para a mais alta, com percursos análogos aos descritos para trechos em tangente.

Nas partes adjacentes ao início e ao fim da camada em construção, a compactação deve ser executada transversalmente à linha do eixo. Nos locais inacessíveis aos rolos compactadores, como cabeceiras de obra de arte etc., a compactação deve ser executada com compactadores portáteis, manuais ou mecânicos.

As operações de compactação devem prosseguir até que se atinja o grau de compactação de 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, obtida na energia intermediária de acordo com DER/SP M 191.

No processo de compactação deverá utilizar-se, de preferência, rolo pé de carneiro de patas longas estáticas, que deve dar um número de passadas suficiente até que não haja mais penetração na base, das patas do equipamento. Após esta fase, a compactação da camada, se necessário, deve

prosseguir preferencialmente com uso de rolos de pneumáticos de pressão variável até o final da compactação.

7.3. Acabamento

Após o término da compactação, deve-se iniciar o acabamento da superfície. O acabamento deve ser feito exclusivamente por corte, com motoniveladora, logo após ligeiro umedecimento da camada compactada. O acabamento deve ser realizado com o uso de rolo pneumático de pressão variável.

Após o término das operações de acabamento, se possível, a camada de sub-base ou base deve permanecer em processo de perda de umidade pelo período de 60 horas. A perda de umidade propicia o aumento da coesão, aumento de suporte, melhoria das condições de recebimento da imprimação betuminosa e pleno desenvolvimento de trincas de contração.

7.4. Proteção e Impermeabilização

As operações de imprimação só podem ser executadas após o período mínimo de secagem prévia da camada. Previamente, deve-se varrer a camada, para eliminar toda poeira e o material solto, e umedecimento 15 minutos antes da aplicação da imprimadura. A camada deve ser irrigada, com cuidado para não encharcá-la, a uma taxa de água entre 0,5 l/m² e 1,0 l/m², a fim de propiciar uma melhor penetração da imprimação.

A imprimação deve ser feita com material e taxa definidos em projeto ou conforme as especificações de serviço, de modo que, na pista, haja uma penetração entre 6 mm e 10 mm.

Não é permitido o tráfego sobre a sub-base ou base imprimada antes que ela esteja seca. Isto ocorre, normalmente, após um período de 72 horas.

Às bases que não necessitam de camada de proteção anticravamento é aconselhável a abertura do tráfego após a cura da imprimação, pelo período de até 20 dias, com tráfego não muito intenso para que eventuais defeitos e pontos frágeis da camada sejam revelados e, possam ser corrigidos.

7.5. Proteção Anticravamento

Os solos pertencentes aos tipos I e II da Figura 1 geralmente produzem bases coesivas. Entretanto, os solos do tipo III e IV possuem baixa coesão e podem produzir uma base fraca, mesmo depois de imprimada.

A baixa coesão é extremamente prejudicial quanto ao comportamento da camada, principalmente, na qualidade da interface base-camada de rolamento. O agregado da camada betuminosa sobrejacente rompe a superfície da base,

durante a compactação, penetrando na camada inferior, deixando o ligante asfáltico livre e provocando exsudações.

Quando a interface é frágil, consequência da baixa coesão, a camada de rolamento pode, sob a ação do tráfego, soltar-se ou escorregar, devido ao rompimento da superfície da base, ocasionado pelo agregado da primeira camada da capa de rolamento, durante a compactação.

Nos casos de bases de baixa coesão, deve-se executar uma camada de proteção sobre a camada imprimada. A camada de proteção consiste em um revestimento betuminoso, normalmente o tratamento superficial simples invertido.

A camada de proteção anticravamento, independentemente do tipo de solo utilizado, deve ser executada para tráfegos mais intensos, com número N maior que 5×10^6 solicitações do eixo padrão, uma vez que, nesta condição, é comum a penetração do agregado da camada de rolamento na base.

7.6. Abertura ao Tráfego

A liberação parcial somente está autorizada conforme item 7.4; do contrário, não é permitida a liberação do tráfego ao usuário face à possibilidade de danos ao serviço executado, especialmente sob condições climáticas adversas.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo à metodologia indicada no item 3.

8.1. Controle dos Materiais

Os solos utilizados na sub-base e base devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1:

a) Ensaio de índice de suporte Mini-CBR com e sem imersão, com determinação da expansão sem sobrecarga padrão, compactados na energia intermediária, conforme DER/SP M 192;
b) Determinação da RIS;
c) Determinação da contração dos solos compactados, conforme DER/SP M 193;
d) Determinação do coeficiente de infiltração 10^{-2} cm/min$^{1/2}$ a 10^{-4} cm/min$^{1/2}$, conforme DER/SP M 194;
e) Análise granulométrica, conforme NBR 7181;
f) Classificação do solo de acordo com a metodologia MCT, conforme DER/SP M 196, através dos ensaios de Mini-MCV, conforme DER/SP M 191, e perda de massa por imersão, conforme DER/SP M 197.

Opcionalmente, se prescrito no projeto, a classificação MCT pode ser realizada pelo método da pastilha.

8.2. Controle da Execução

O controle da execução da camada deve ser realizado pelos seguintes procedimentos:

a) Determinação da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima de compactação, conforme DER/SP M 191, na energia intermediária, com amostras coletadas na pista;
b) Determinação do teor de umidade, conforme ABNT NBR 16097;
c) Determinação umidade e da massa específica aparente seca in situ, de acordo com ABNT NBR 7185 ou ABNT NBR 9813, e o respectivo grau de compactação a partir dos parâmetros obtidos na alínea a, em amostras retiradas na profundidade de no mínimo 75% da espessura da camada.

8.3. Controle Geométrico e de Acabamento

8.3.1. Controle de Espessuras e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m, conforme nota de serviço.

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m. Devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

8.3.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.3.3. Controle de Acabamento da Superfície

O acabamento da superfície dos diversos segmentos concluídos deve ser verificado com duas réguas, uma de 1,20 m e outra 3,00 m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, nas diversas seções correspondentes às estacas da locação.

8.4. 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, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

Os serviços recebidos de conformidade com esta norma serão medidos em metro cúbico de camada acabada, incluindo a aquisição, escavação do solo, e o transporte.

Os serviços recebidos e medidos da forma descrita serão pagos aos preços unitários contratuais respectivos, e esse pagamento constituirá única remuneração para todos os materiais, mão de obra, leis sociais, equipamentos e outros recursos utilizados pelo empreiteiro, abrangendo, inclusive benefício e despesas indiretas.

10. REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

a) ABNT. (s.d.). *Associação Brasileira de Normas Técnicas.*

b) DER/SP. (2005). *Sub-Base ou Base de Solo Arenoso Fino de Comportamento Laterítico - SALF.* São Paulo.

c) DURSARP. (1994). *Base de Solo Arenoso Fino Laterítico.* Ribeirão Preto.

d) Villibor, D. F., & Nogami, J. S. (2009). *Pavimentos Econômicos – Tecnologia do Uso dos Solos Finos Lateríticos.* Arte & Ciência.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima - DER/SP M 191	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista, intercalado com o ensaio de CBR e Expansão	Determinação de Valores de Referência	Determinação de Valores de Referência
Índice de suporte Mini-CBR, sem e com imersão, compactado na energia intermediária DER/SP M 192	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Mini CBR sem imersão ≥ 40%
Determinação da RIS $RIS = \left[\frac{MiniCBR_{2\ dias\ imerso}}{MiniCBR_{sem\ imersão}}\right] x100$	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	RIS ≥ 50%
Expansão, com sobrecarga padrão DER/SP M 192	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados individuais	Expansão ≤ 0,3%
Contração DER/SP M 193	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Controle Bilateral $X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \overline{X} + K_1 S \geq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Variação admitida 0,1% a 0,5%
Coeficiente de infiltração DER/SP M 194	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista		Variação admitida 10^{-2} a 10^{-4} cm/min $^{1/2}$
Análise Granulométrica NBR 7181	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Passar integralmente pela peneira de 2,0 mm, ou possuir pequena porção de material retido nesta peneira, e possuir, no mínimo, 50% retido na peneira 0,075 mm
Classificação MCT Ensaio de Compactação de solos com equipamento miniatura, na E.I. Determinação da perda de massa por imersão de solos compactados com equipamento miniatura DER/SP M 196 DER/SP M 191 DER/SP M 197	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Pertencer a um dos seguintes grupos da classificação MCT: LA ou LA'

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Teor de Umidade – ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 500 m² contínuos de pista, imediatamente antes da compactação	Resultados Individuais	-1 ponto percentual a +1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima
Massa Específica Aparente Seca, *in situ*, e Grau de Compactação – ABNT NBR 7185 e 9813	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Os segmentos devem ser analisados segundo Controle Estatístico e todas as amostras devem atender ao Controle Individual. Controle Estatístico GC ≥ 100% Controle Individual GC ≥ 98%
Determinação das Deflexões Viga Benkelman – DNER ME 24 ou FWD – DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de Valores Individuais superiores a 105% da deflexão de controle fornecida em projeto, o segmento deve ser refeito

CONTROLE GEOMÉTRICO E DE ACABAMENTO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Espessuras e Cotas Locação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo e bordos e dois pontos intermediários	Resultados Individuais	Variação máxima admitida -2 a +1 cm da cota de projeto
Largura e Alinhamento da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Não se admite valores para semi-largura inferiores aos previstos em projeto
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de sub-base e base de solo-brita, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

A sub-base e base de solo brita são camadas constituídas de mistura artificial em usina de solo com agregado pétreo britado que apresentam grande estabilidade e durabilidade, para resistir às cargas do tráfego e ação dos agentes climáticos, quando adequadamente compactadas.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR NM 51 – Agregado Graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”;
b) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica;
c) ABNT NBR 6459 Solos – Limite de Liquidez;
d) ABNT NBR 7180 Solos – Limite de Plasticidade;
e) ABNT NBR 7181 Solos – Análise Granulométrica;
f) ABNT NBR 7182 Solos – Ensaio de Compactação;
g) ABNT NBR 7185 Solos – Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia;
h) ABNT NBR 9895 Solos – Índice de Suporte Califórnia (ISC);
i) ABNT NBR 16097 Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaios;
j) DNER-ME 089 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
k) ABNT NBR 5564 – Anexo A – Determinação da forma dos fragmentos da pedra britada;
l) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
m) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dia de chuva.

A camada de sub-base e base solo-brita só pode ser executada quando a camada subjacente estiver liberada, quanto aos requisitos de aceitação de materiais e execução.

A superfície deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade antes da execução da sub-base ou base de solo-brita.

Durante todo o tempo de execução da sub-base ou base de solo-brita, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

5.1.1. Solos

Os solos empregados devem ser os provenientes de ocorrências de materiais das áreas de empréstimo e jazidas, devendo apresentar as seguintes características:

a) Os materiais finos dos solos, isto é, com diâmetro inferior a 0,42 mm devem satisfazer as seguintes condições:

- Ter limite de liquidez determinado conforme NBR 6459; inferior a 25%;
- Ter índice de plasticidade inferior a 6%.

b) São tolerados LL e IP maiores do que os acima especificados, desde que sejam satisfeitas uma das seguintes condições abaixo:

Condição A:

Sejam satisfeitas as seguintes inequações:

$$\frac{X}{100} \cdot IP \leq \frac{100}{\gamma s} - (X \cdot \frac{LP}{100} + \frac{100}{\gamma g});$$

$$\frac{X}{100} \cdot LL \leq \frac{100}{\gamma s} - \frac{100}{\gamma g});$$

Onde:
X – Porcentagem em peso de material que passa na peneira de abertura 0,42 mm (n.º 40);
LL – Limite de liquidez;
LP – Limite de plasticidade;
IP – Índice de plasticidade;
γs – Massa específica aparente máxima seca após a compactação na intermediária;

γg – Massa específica real das partículas sólidas.

Condição B:

O equivalente de areia determinado conforme NBR 12052 deve ser superior a 30%.

5.1.2. Agregados

A brita deve ser obtida de agregado pétreo britado, classificada de acordo com NBR 7225, pode ser constituída de pedra 1, pedra 2, pedrisco e pó de pedra ou composição destas. Deve possuir as seguintes características:

a) Os agregados utilizados obtidos a partir da britagem e classificação de rocha sã devem ser constituídos por fragmentos duros, limpos e duráveis, livres de excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, assim como de outras substâncias ou contaminações prejudiciais;
b) A granulometria da brita deve ser tal que passe 100% na peneira de 19,0 mm;
c) O desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles, conforme NBR NM 51, deve ser inferior a 50%;
d) A perda no ensaio de durabilidade, conforme DNER ME 089, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 20% e com sulfato de magnésio inferior a 30%;
e) Partículas não cúbicas inferior a 15%, conforme ABNT NBR 5564 Anexo 1.

5.1.3. Mistura Solo-Brita

A mistura solo-brita deve satisfazer as seguintes exigências:

a) A porcentagem de brita, em peso da mistura, não pode ser inferior a 60%;
b) CBR ≥ 80% e expansão ≤ 0,5% na energia modificada, conforme com ABNT NBR 9895, para base do pavimento;
c) CBR ≥ 30% e expansão ≤ 1,0% na energia intermediária, conforme com ABNT NBR 9895, para sub-base do pavimento;
d) A curva de projeto da mistura solo-brita deve apresentar granulometria contínua e se enquadrar em uma das faixas granulométricas especificadas na Tabela 1;
e) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na Tabela 1, porém, sempre respeitando os limites da faixa granulométrica adotada;
f) A porcentagem do material que passa na peneira no 200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira no 40;

g) O material da mistura que passar na peneira nº 40 (0,42 mm) deve atender a uma das condições especificadas no item 5.1.1;
h) Para tráfego com N, número de solicitações do eixo padrão simples, de 8,2 toneladas igual ou superior a 10^7, não devem ser utilizadas misturas com granulometrias correspondentes às faixas IV e V.

TABELA 1 – FAIXAS GRANULOMÉTRICAS

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO					TOLERÂNCIA
ASTM	mm	I	II	III	IV	V	
1”	25,4	100	100	100	100	100	-
3/4”	19,0	100	100	100	100	100	-
3/8”	9,5	30-65	50-85	60-100	100	100	± 7%
Nº 4	4,8	25-55	35-65	50-85	55-100	70-100	± 5%
Nº 10	2,0	15-40	25-50	40-70	40-100	55-100	± 5%
Nº 40	0,42	8-20	15-30	20-50	20-55	30-70	± 5%
Nº 200	0,075	2-8	5-20	7-20	8-25	10-25	± 2%

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da sub-base ou base de solo-brita compreende as seguintes unidades:

a) Caminhões basculantes;
b) Pá-carregadeira;
c) Motoniveladora;
d) Distribuidor de agregados autopropelido;
e) Caminhão tanque irrigador de água de no mínimo 6.000 litros, equipada com motobomba, capaz de distribuir água sob pressão regulável e uniformemente;
f) Capaz de distribuir água sob pressão regulável e uniformemente;
g) Compactador vibratório portátil ou sapo mecânico, uso eventual;
h) Duas réguas de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,00 m de comprimento;
i) Rolo de pneus de pressão variável;
j) Rolo vibratório liso ou corrugado (pata curta);
k) Rolo estático tipo pé de carneiro (pata longa);

l) Pequenas ferramentas, tais como pás, enxadas, garfos, rastelos etc.;
m) Usina de mistura de solos.

Nas centrais de mistura a usina deve ser constituída de:

- Silos: para agregados e solo, providos de comportas e equipados com dispositivo que permita a produção contínua da mistura;
- Correia transportadora: que transportem os solos e o agregado, na proporção conveniente, até o equipamento misturador;
- Misturador: constituído, normalmente, de uma caixa metálica tendo no seu interior, como elementos misturadores, dois eixos dotados de pás tipo pug-mill que rodam em sentido contrário, providos de chapa metálica em espiral ou de pequenas chapas fixadas em hastes e que, devido ao seu movimento, jogam os materiais contra as paredes, ao mesmo tempo em que os faz avançar até a saída do equipamento;
- Reservatórios de água e canalizações que permitam depositar e espargir a água sobre o solo, após a homogeneização da mistura seca, deixando-a no teor ótimo previsto.
- Equipamento de carga de caminhões constituído de um silo, abastecido por transportadores de correia ou elevadores de canecas e colocado de modo que o caminhão transportador possa receber, por gravidade, a mistura. Este dispositivo é utilizado quando não é possível deixar o misturador na altura adequada, para que o carregamento se faça por gravidade.

7. EXECUÇÃO

7.1. Produção da Mistura

A usina deve ser calibrada adequadamente, de forma assegurar a obtenção das características desejadas para as misturas dos materiais.

O nível de carregamento dos silos dos materiais a serem misturados deve ser mantido constante, de modo a evitar a descontinuidade na produção da mistura.

A mistura deve sair da usina perfeitamente homogeneizada, com teor de umidade ligeiramente acima da umidade ótima, para fazer frente às perdas no decorrer das operações construtivas subsequentes.

Não é permitida a estocagem do material usinado para utilização posterior.

7.2. Transporte e Distribuição

A mistura deve ser transportada em caminhões basculantes, protegidos com lonas para que o material não perca umidade e nem receba água de chuva.

A mistura deve ser distribuída por equipamento capaz de manter a espessura regular e uniforme, sem ocorrência de segregação, em toda a largura da plataforma, de forma tal que, após a compactação, sua espessura não exceda 20 cm nem seja inferior a 10 cm.

A variação do teor de umidade admitido para o material ao final da distribuição e para início da compactação é de ±1,0% da umidade ótima de compactação, conforme ABNT NBR 7182.

7.3. Compactação

Na fase inicial da obra, devem ser executados segmentos experimentais, com formas diferenciadas de execução, na sequência operacional de utilização dos equipamentos de modo a definir os procedimentos a serem obedecidos nos serviços de compactação. Deve-se estabelecer o número de passadas necessárias dos equipamentos de compactação para atingir o grau de compactação especificado.

Deve ser realizada nova determinação sempre que houver variação no material ou do equipamento empregado.

Nos trechos em tangente, a compactação deve ser executada das bordas para o centro, em percursos equidistantes da linha base, eixo. Os percursos ou passadas do equipamento utilizado devem distar entre si de forma tal que, em cada percurso, seja coberta metade da faixa coberta no percurso anterior.

Nos trechos em curva, havendo sobrelevação, a compactação deve progredir da borda mais baixa para a mais alta, com percursos análogos aos descritos para os trechos em tangente.

Nas partes adjacentes ao início e ao fim da sub-base ou base em construção, a compactação deve ser executada transversalmente à linha base, eixo. Nas partes inacessíveis aos rolos compactadores, assim como nas partes em que seu uso não for desejável, tais como cabeceira de obras de arte, a compactação deve ser executada com rolos vibratórios mecânicos.

Durante a compactação, se necessário, pode ser promovido o umedecimento da superfície da camada mediante emprego de carro tanque irrigador de água. Esta operação é recomendada sempre que o teor de umidade estiver abaixo do limite inferior do intervalo de umidade admitido para a compactação.

As operações de compactação devem prosseguir em toda a espessura da sub-base ou base, até que se atinja grau de compactação mínimo de 100% em relação à massa especifica máxima, obtida no ensaio ABNT NBR 7182, na

energia modificada, para as bases ou na energia intermediária, para as sub-bases.

7.4. Acabamento

O acabamento deve ser executado pela ação conjunta de motoniveladora e de rolos pneumático.

A motoniveladora deve atuar, quando necessário, exclusivamente em operação de corte, sendo vetada a correção de depressões por adição de material.

7.5. Abertura ao Tráfego

A sub-base ou base de solo-brita não deve ser submetida à ação direta das cargas e da abrasão do tráfego. Não deve ser executado pano muito extenso, para que a camada não fique exposta à ação de intempéries que possam prejudicar sua qualidade.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Solo

Devem ser executados os ensaios abaixo discriminados, com materiais coletados na usina:

a) Limite de liquidez do material com diâmetro inferior a 0,42 mm, conforme ABNT NBR 6459;
b) Limite plasticidade do material com diâmetro inferior a 0,42 mm, conforme ABNT NBR 7180;
c) Análise granulométrica, conforme ABNT NBR 7181.

8.1.2. Agregado

Devem ser executados os seguintes ensaios:

a) Granulometria ABNT NBR NM 248;
b) ABNT Abrasão Los Angeles, conforme NBR NM 51;
c) ABNT Durabilidade frente ao sulfato de sódio e sulfato de magnésio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089;
d) Índice de forma e percentagem de partículas lamelares, conforme ABNT NBR 5564 Anexo A.

8.2. Controle da Produção do Solo-Brita

Devem ser executadas as seguintes determinações na mistura solo brita:

a) CBR e expansão, conforme ABNT NBR 9895, na energia modificada para as bases, ou na energia intermediária para sub-bases;
b) Granulometria da mistura, conforme ABNT NBR NM 248;
c) No material que passa na peneira de abertura 0,42mm determinar o limite de liquidez e plasticidade, conforme ABNT NBR 6459 e ABNT NBR 7180, respectivamente.

8.3. Controle da Execução

O controle da execução da camada será realizado através dos seguintes procedimentos:

a) Determinação da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima de compactação, conforme ABNT NBR 7182, na energia intermediária para as sub-bases e na energia modificada para as bases;
b) Determinação do teor de umidade, conforme ABNT NBR 16097, imediatamente antes do início da compactação; se o teor de umidade estiver compreendido no intervalo de ±1,0% do teor ótimo, o material pode ser liberado para compactação;
c) Determinação da massa específica aparente seca in situ, de acordo com ABNT NBR 7185, e respectivo grau de compactação em relação aos valores obtidos na alínea a, em amostras retiradas na profundidade de no mínimo 75% da espessura da camada.

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

8.4.1. Controle de Espessuras e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m, conforme nota de serviço.

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

8.4.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.4.3. Controle de Acabamento da Superfície

O acabamento da superfície dos diversos segmentos concluídos é verificado com duas réguas, uma de 1,20 m e outra 3,00 m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, nas diversas seções correspondentes às estacas da locação.

8.5. 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, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A sub-base ou base de solo-brita acabada e na espessura determinada pelo projeto, será medida e paga por preço unitário de metro cúbico executado.

No preço unitário deverão estar incluídas todas as despesas de execução, bem como as de material, transportes, esparrame e compactação, administração, despesas indiretas, encargos diversos, etc.

10. REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

a) ABNT. (s.d.). *Associação Brasileira de Normas Técnicas.*

b) DER/SP. (2006). *Sub-base ou Base de Solo Brita.* São Paulo.

c) Pinto, S., & Preussler, E. S. (2010). *Pavimentação Rodoviária - Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexível.* Rio de Janeiro: Synergia.

d) PMSJC. (1995). *Sub-base ou base de solo-brita .* São José dos Campos.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
SOLO			
Análise Granulométrica ABNT NBR 7181	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Valores constantes e compatíveis com a composição da mistura original
Limite de Liquidez ABNT NBR 6459	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	LL < 25% Valores superiores serão aceitos desde satisfeita condição do item 3.1 b)
Limite de Plasticidade ABNT NBR 7180	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	IP < 6% Valores superiores serão aceitos desde satisfeita condição do item 3.1 b)
AGREGADO			
Granulometria ABNT NBR NM 248	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Granulometria seja mantida constante e compatível com a composição da mistura
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	≤ 50%
Durabilidade frente ao Sulfato de Sódio e Sulfato de Magnésio, em 5 ciclos DNER ME 089	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	Sulfato de Sódio < 20% Sulfato de Magnésio < 30%
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	Partículas não cúbicas inferior a 15%.

CONTROLE DE PRODUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
CBR – ABNT NBR 9895 Sub-Base Energia Intermediária Base Energia Modificada	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Igual ou superior aos valores definidos em projeto Em casos omissos: ≥30% para sub-bases ≥ 80% para bases
Expansão ABNT NBR 9895	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Sub-bases < 1,0 % Bases < 0,5 %
Granulometria da Mistura ABNT NBR NM 248	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro da faixa de trabalho
Limite de Liquidez ABNT NBR 6459	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	LL < 25% Valores superiores serão aceitos desde satisfeita condição do item 3.1 b)
Limite de Plasticidade ABNT NBR 7180	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	IP < 6% Valores superiores serão aceitos desde satisfeita condição do item 3.1 b)

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima – ABNT NBR 7182	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista, intercalado com o ensaio de CBR e Expansão	Determinação de Valores de Referência	Determinação de Valores de Referência
Massa Específica Aparente Seca, *in situ*, e Grau de Compactação ABNT NBR 7185	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Os segmentos devem ser analisados segundo Controle Estatístico e todas as amostras devem atender ao Controle Individual. Controle Estatístico GC ≥ 100% Controle Individual GC ≥ 98%
Teor de Umidade - ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 500 m² contínuos de pista, imediatamente antes da compactação	Resultados Individuais	-1 ponto percentual a +1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima
Determinação das Deflexões Viga Benkelman – DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de Valores Individuais superiores a 105% da deflexão de controle fornecida em projeto, o segmento deve ser refeito

CONTROLE GEOMÉTRICO E DE ACABAMENTO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Espessuras e Cotas Locação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo e bordos e dois pontos intermediários	Resultados Individuais	Variação máxima admitida -2 a +1 cm da cota de projeto
Largura e Alinhamento da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Não se admite valores para semi-largura inferiores aos previstos em projeto
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de sub-base e base de solo de comportamento laterítico e brita com granulometria descontínua, SLBD, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Os solos de comportamento laterítico a serem utilizados nas sub-bases e bases de solo de comportamento laterítico-brita descontínua devem possuir propriedades mecânicas e hidráulicas específicas, que são determinadas em corpos de prova de dimensões reduzidas, através de ensaios de laboratório pela metodologia MCT, devem possuir granulação fina, isto é, diâmetro inferior a 2,00 mm, e pertencer a um dos seguintes grupos da classificação MCT: LA', LA ou LG'.

Nesta especificação são igualmente válidas as denominações: solo de comportamento laterítico ou simplesmente solo laterítico.

Os solos de comportamento laterítico não incluem as lateritas ou solos com elevada porcentagem de pedregulhos lateríticos, que na terminologia regional recebem denominações de: canga, tapiocanga e piaçarra.

As sub-bases e bases de solo laterítico-brita descontínua são camadas constituídas de mistura artificial, processada em usina, com solo de granulometria fina e de comportamento laterítico que ao serem misturadas com agregado pétreo britado, brita 2, brita 1, pedrisco, apresentam, granulometria descontínua e grande estabilidade e durabilidade quando adequadamente compactadas.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes:

a) ABNT NBR NM 51 – Agregado Graúdo – Ensaio de abrasão "Los Angeles";
b) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica;
c) ABNT NBR 7181 Solos – Análise Granulométrica;
d) ABNT NBR 7182 Solos – Ensaio de Compactação;
e) ABNT NBR 7185 Solos – Determinação da Massa Específica Aparente, "in situ", com emprego do frasco de areia;
f) ABNT NBR 9895 Solos – Índice de Suporte Califórnia (ISC);

g) ABNT NBR 16097 Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaios;
h) DNER-ME 089 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
i) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
j) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*;
k) DER/SP M 191 – Ensaio de Compactação de Solos em equipamento miniatura;
l) DER/SP M 192 – Determinação do índice do suporte de mini-CBR e de expansão de solos compactados com equipamento miniatura;
m) DER/SP M 193 – Determinação da contração de solos compactados em equipamento miniatura;
n) DER/SP M 194 – Determinação das características de infiltração de água em solos compactados em equipamento miniatura;
o) DER/SP M 196 – Classificação de solos tropicais segundo a metodologia MCT;
p) DER/SP M 197 – Determinação da massa por imersão de solos compactados com equipamento miniatura;
q) Nogami Classificação MCT – Método da pastilha.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

A camada de sub-base e base de solo laterítico-brita descontínua só pode ser executada quando a camada subjacente estiver liberada, quanto aos requisitos de aceitação de materiais e execução.

A superfície deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade antes da execução da sub-base ou base de solo laterítico-brita descontínua.

Durante todo o tempo de execução da camada, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Material

5.1.1. Solo

Os solos lateríticos empregados nas sub-bases e bases de solo laterítico-brita devem satisfazer as seguintes exigências:

a) Possuir as seguintes propriedades mecânicas e hidráulicas quando compactado na energia intermediária:
   - Mini-CBR sem imersão ≥ 40%, conforme DER/SP M 192;
   - Perda de suporte por imersão inferior a 50%, isto é, RIS ≥ 50%, ou seja:

$$RIS = \left[\frac{MiniCBR_{2\ dias\ imersão}}{MiniCBR_{sem\ imersão}} \right] x100 \geq 50\%$$

   - Expansão com sobrecarga padrão $\leq$ 0,3%, determinado conforme DER/SP M 192;
   - Contração, Kc, entre 0,1% a 0,5%, determinada conforme DER/SP M 193, na umidade e densidade ótima de compactação;
   - Coeficiente de infiltração, isto é quantidade de água infiltrada no solo em função do tempo, deve situar-se entre 10^{-2} cm/min$^{1/2}$ a 10^{-4} cm/min$^{1/2}$, determinado conforme DER/SP M 194.

b) O solo deve passar integralmente pela peneira de 2,00 mm de abertura ou possuir uma porção pequena de material retida nesta na peneira, cuja retirada não altere substancialmente as propriedades do solo, a granulometria é determinada conforme ABNT NBR 7181;

c) Pertencer aos grupos LA, LA' ou LG' da classificação MCT, determinada conforme DER/SP M 196, através da compactação do mini-MCV, conforme DER/SP M 191, e da perda de massa por imersão de acordo com DER/SP M 197. Opcionalmente, se prescrito no projeto, a classificação MCT pode ser realizada pelo método da pastilha.

Sempre que possível, recomenda-se que seja obedecida a seguinte sequência de preferência de escolha dos tipos – ver Figura 1:

a) Tipo I, com prioridade da subárea próxima à interface com tipo II, c' compreendido entre 1,3 a 1,8;
b) Tipo II, com prioridade da subárea próxima à interface com tipo I, c' compreendido entre 1,0 a 1,3;
c) Tipo III, com prioridade da subárea próxima à interface com tipo II, c' compreendido entre 0,7 a 1,0;
d) Tipo IV, c' compreendido entre 0,3 a 0,7 e e' maior 1,0.

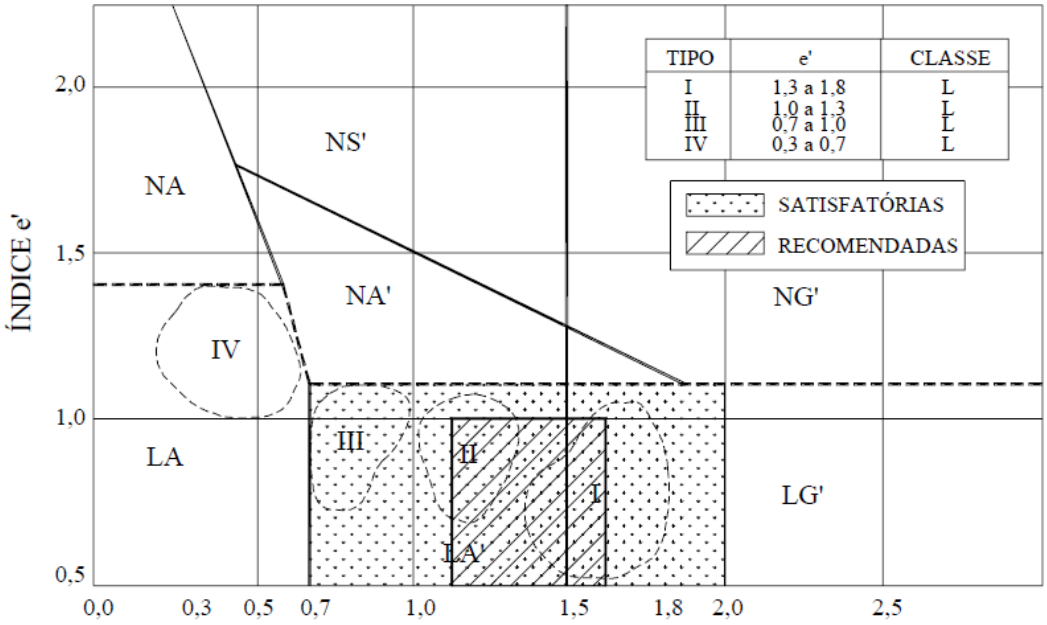


Figura 1 – Hierarquização dos Lateríticos de Acordo com a Classificação MCT

5.1.2. Agregado

A brita deve ser obtida de agregado pétreo britado, classificada de acordo com ABNT NBR 7225, pode ser constituída de pedra 1, pedra 2, pedrisco ou composição destas. Deve possuir as seguintes características:

a) Os agregados utilizados obtidos a partir da britagem e classificação de rocha sã devem constituir-se por fragmentos duros, limpos e duráveis, livres de excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, assim como de outras substâncias ou contaminações prejudiciais;
b) A granulometria da brita deve ser tal que 100% passe na peneira de 25,0 mm;
c) O desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51, deve ser inferior a 50%;
d) A perda no ensaio de durabilidade, conforme DNER ME 089, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 20% e com sulfato de magnésio inferior a 30%;
e) Partículas não cúbicas inferior a 15%, conforme ABNT NBR 5564 Anexo A.

5.1.3. Mistura Solo Laterítico-Brita Descontínua

A mistura do solo laterítico-brita descontínua deve satisfazer as seguintes exigências:

a) A porcentagem de brita em massa deve ser de mínimo de 50% em relação a massa de solo seco;
b) CBR ≥ 80%, para N > $5x10^6$, e expansão ≤ 0,3%, na energia modificada, conforme com ABNT NBR 9895, para bases;
c) CBR ≥ 70%, para N < $5x10^6$, e expansão ≤ 0,3%, na energia modificada, conforme com ABNT NBR 9895, para bases;
d) CBR ≥ 30% e expansão ≤ 0,3%, na energia intermediária, conforme com NBR 9895, para sub-bases;
e) A curva granulométrica da mistura solo laterítico-brita descontínua deve atender à faixa definida na Tabela 1;
f) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na Tabela 1, porém sempre respeitando os limites da faixa granulométrica.

TABELA 1 – FAIXA GRANULOMÉTRICA

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO	TOLERÂNCIA
ASTM	mm	A	
1”	25,4	100	-
3/8”	9,5	50-75	± 7%
Nº 4	4,8	40-70	± 7%
Nº 10	2,0	35-65	± 5%
Nº 40	0,42	20-60	± 5%
Nº 200	0,075	5-35	± 2%

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da sub-base ou base de solo laterítico-brita descontínua compreende as seguintes unidades:

a) Caminhões para transporte dos materiais, com caçamba basculante;
b) Pá-carregadeira;
c) Motoniveladora com escarificador;
d) Caminhão tanque irrigador de no mínimo 6.000 litros, equipado com motobomba, capaz de distribuir água sob pressão regulável e uniformemente;
e) Compactador vibratório portátil ou sapo mecânico, uso eventual;
f) Duas réguas de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,0 m de comprimento;

g) Distribuidor de agregados capaz de produzir camada com espessura uniforme, sem apresentar segregação;
h) Pequenas ferramentas, tais como pás, enxadas, garfos, rastelos etc.;
i) Rolo tipo pé de carneiro, de peso variável, estático ou vibratórios;
j) Rolo liso, estáticos ou vibratórios;
k) Rolo de pneus de pressão variável, de no mínimo 2,5 kgf/cm² a 8,5 kgf/cm²;
l) Usina de misturas de solos.

As centrais de usina devem ser constituídas de:

- Silos: solo, agregados, providos de comportas e equipados com dispositivo que permita a produção contínua da mistura;
- Correia transportadora: que transportem os solos, agregados, na proporção conveniente, até o equipamento misturador;
- Misturador: constituído, normalmente, de uma caixa metálica tendo no seu interior, como elementos misturadores, dois eixos dotados de pás tipo pug-mill que rodam em sentido contrário, providos de chapa metálica em espiral ou de pequenas chapas fixadas em hastes e que, devido ao seu movimento, jogam os materiais contra as paredes, ao mesmo tempo em que os faz avançar até a saída do equipamento;
- Reservatórios de água e canalizações que permitam aspergir a água, após a homogeneização da mistura seca, deixando-a no teor de umidade ótimo previsto;
- Equipamento de carga de caminhões constituído de um silo, abastecido por transportadores de correia ou elevadores de canecas e colocado de modo que o caminhão transportador possa receber, por gravidade, a mistura. Este dispositivo é utilizado quando não é possível deixar o misturador na altura adequada, para que o carregamento se faça por gravidade.

7. EXECUÇÃO

7.1. Produção da Mistura

A usina deve ser calibrada adequadamente, de forma assegurar a obtenção das características desejadas para as misturas dos materiais.

O nível de carregamento dos silos dos materiais a serem misturados deve ser mantido constante, de modo a evitar a descontinuidade na produção da mistura.

A mistura deve sair da usina perfeitamente homogeneizada, com teor de umidade ligeiramente acima da umidade ótima, para fazer frente às perdas no decorrer das operações construtivas subsequentes.

Não é permitida a estocagem do material usinado para utilização posterior.

7.2. Transporte, Distribuição e Umedecimento

A mistura deve ser transportada em caminhões basculantes, protegidos com lonas para que o material não perca umidade e nem receba água de chuva.

A mistura deve ser distribuída por equipamento capaz de manter a espessura regular e uniforme, sem ocorrência de segregação, em toda a largura da plataforma, de forma tal que, após a compactação, sua espessura não exceda 20 cm nem seja inferior a 10 cm.

A variação do teor de umidade admitido para o material ao final da distribuição e início da compactação é de ±1,0% da umidade ótima de compactação, conforme ABNT NBR 7182.

É comum a perda de umidade na porção superior da mistura, mais ou menos 5,0 cm, em consequência da insolação e ação de ventos. A perda de umidade pode ser corrigida pela operação de umedecimento com auxílio do caminhão tanque irrigador.

7.3. Compactação

Na fase inicial da obra, devem ser executados segmentos experimentais, com formas diferenciadas de execução, na sequência operacional de utilização dos equipamentos de modo a definir os procedimentos a serem obedecidos nos serviços de compactação. Deve-se estabelecer o número de passadas necessárias dos equipamentos de compactação para atingir o grau de compactação especificado.

Deve ser realizada nova determinação sempre que houver variação no material ou do equipamento empregado.

Nos trechos em tangente, a compactação deve ser executada das bordas para o centro, em percursos equidistantes da linha base, eixo. Os percursos ou passadas do equipamento utilizado devem distar entre si de forma tal que, em cada percurso, seja coberta metade da faixa coberta no percurso anterior.

Nos trechos em curva, havendo sobrelevação, a compactação deve progredir da borda mais baixa para a mais alta, com percursos análogos aos descritos para os trechos em tangente.

Nas partes adjacentes ao início e ao fim da camada em construção, a compactação deve ser executada transversalmente à linha base, eixo. Nas partes inacessíveis aos rolos compactadores, assim como nas partes em que

seu uso não for recomendável, tais como cabeceira de obras de arte, a compactação deve ser executada com rolos vibratórios mecânicos.

Durante a compactação, se necessário, pode ser promovido o umedecimento da superfície da camada mediante emprego de caminhão tanque irrigador de água. Esta operação é recomendada sempre que o teor de umidade estiver abaixo do limite inferior do intervalo de umidade admitido para a compactação.

As operações de compactação devem prosseguir em toda a espessura da sub-base ou base, até que se atinja grau de compactação mínimo de 100% em relação à massa especifica aparente seca máxima, obtida no ensaio NBR 7182, na energia modificada, para as bases ou na energia intermediária, para as sub-bases.

Caso haja necessidade de correção de pequenas depressões na base, deve-se proceder ao seu ajuste com complementação do material, imediatamente após a distribuição e antes do início da compactação.

7.4. Acabamento

Após o término da compactação, deve-se iniciar o acabamento da superfície, que constará, quando necessário, do umedecimento da camada compactada; da conformação através de corte de motoniveladora; do acabamento com rolo de pneus de pressão variável; de duas passadas com rolo liso, sem vibrar.

Após o término das operações de acabamento, a sub-base ou base deve permanecer em processo de perda de umidade pelo período de 60 horas. A perda de umidade propicia o aumento da coesão, aumento de suporte, melhoria das condições de recebimento da imprimação betuminosa e o pleno desenvolvimento de trincas de contração.

7.5. Impermeabilização

As operações de imprimação só podem ser executadas após o período mínimo de secagem prévio da camada. Previamente, deve-se executar varredura, de modo a eliminar toda poeira e o material solto.

O umedecimento deve ser executado 15 minutos antes da aplicação da imprimação. A imprimação deve ser feita com material e taxa definidos em projeto e confirmadas em trecho experimental.

O tráfego não pode ser permitido sem que a base imprimada esteja curada, o que normalmente ocorre após um período de 72 horas.

7.6. Abertura ao Tráfego

A sub-base ou base de solo laterítico-brita descontínua não deve ser submetida à ação do tráfego. Não deve ser executado pano muito extenso, para que a camada não fique exposta à ação de intempéries que possam prejudicar sua qualidade.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo à metodologia indicada no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Solo

a) Mini-CBR sem e com imersão, com a determinação da expansão com sobrecarga padrão, compactados na energia intermediária, conforme DER/SP M 192;
b) Determinação da RIS;
c) Determinação da contração dos solos compactados, conforme DER/SP M 193;
d) Determinação do coeficiente de infiltração, conforme DER/SP M 194;
e) Análise granulométrica, conforme ABNT NBR 7181;
f) Classificação do solo de acordo com a metodologia MCT, conforme DER/SP M 196, através dos ensaios de Mini-MCV, conforme DER/SP M 191, e perda de massa por imersão, conforme DER/SP M 197.
Opcionalmente, se prescrito no projeto, a classificação MCT pode ser realizada pelo método da pastilha.

8.1.2. Agregado

a) Granulometria ABNT NBR NM 248;
b) Abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51;
c) Durabilidade com ao sulfato de sódio e sulfato de magnésio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089;
d) Índice de forma e percentagem de partículas lamelares, conforme Anexo 1.

8.1.3. Mistura Solo Laterítico-Brita Descontínua

Devem ser executadas as seguintes determinações na mistura solo laterítico-brita descontínua:

a) CBR e expansão, conforme ABNT NBR 9895, na energia intermediária para sub-bases e modificada para as bases;

b) Granulometria da mistura, conforme ABNT NBR NM 248.

8.2. Controle da Execução

O controle da execução da camada deve ser realizado através dos seguintes procedimentos:

a) Determinação da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima de compactação, conforme ABNT NBR 7182, na energia intermediária para sub-bases e, na energia modificada para as bases;
b) Determinação do teor de umidade, conforme ABNT NBR 16097, imediatamente antes do início da compactação. Se a umidade estiver compreendida no intervalo ±1,0% da umidade ótima, o material pode ser liberado para compactação;
c) Determinação da massa específica aparente seca in situ, de acordo com ABNT NBR 7185, e o respectivo grau de compactação em relação aos valores obtidos na alínea a, em amostras retiradas na profundidade de no mínimo 75% da espessura da camada.

8.3. Controle Geométrico e de Acabamento

8.3.1. Controle de Espessura e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m, conforme nota de serviço.

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m. Devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

8.3.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.3.3. Controle de Acabamento da Superfície

O acabamento da superfície dos diversos segmentos concluídos deve ser verificado com duas réguas, uma de 1,20 m e outra 3,0 m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, nas diversas seções correspondentes às estacas da locação.

8.4. 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, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A sub-base ou base de solo laterítico-brita com granulometria descontínua acabada e na espessura determinada pelo projeto, será medida e paga por preço unitário de metro cúbico executado.

No preço unitário do item, deverão estar incluídas todas as despesas de execução, bem como as de material, transportes, esparrame e compactação, administração, despesas indiretas, encargos diversos, etc.

10. REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

a) ABNT. (s.d.). *Associação Brasileira de Normas Técnicas.*

b) DER/SP. (2005). *Sub-Base ou Base de Solo de Comportamento Laterítico-Brita Descontínua - SLBD.* São Paulo.

c) PMSP. (1992). *Sub-Bases de Solo Lateritico-Brita de Granulometria Descontinua .* São Paulo.

d) Villibor, D. F., & Nogami, J. S. (2009). *Tecnologia do uso dos solos finos Lateríticos .* Arte & Ciência.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
SOLO			
Índice de suporte Mini-CBR, sem e com imersão, compactado na E.I. DER/SP M 192	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ No mín. 4 e no máx. 10 amostras	Mini CBR sem imersão ≥ 40%
Determinação da RIS $RIS = \left[\frac{MiniCBR_{2\ dias\ imerso}}{MiniCBR_{sem\ imersão}}\right] x100$	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	RIS ≥ 50%
Expansão, com sobrecarga padrão DER/SP M 192	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados individuais	Expansão ≤ 0,3%
Contração DER/SP M 193	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Controle Bilateral $X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \overline{X} + K_1 S \geq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Variação admitida 0,1% a 0,5%
Coeficiente de infiltração DER/SP M 194	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista		Variação admitida 10^{-2} a 10^{-4} cm/min $^{1/2}$
Análise Granulométrica ABNT NBR 7181	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Passar integralmente pela peneira de 2,0 mm, ou possuir pequena porção de material retido nesta peneira, e possuir, no mínimo, 50% retido na peneira 0,075 mm
Classificação MCT Ensaio de Compactação de solos com equipamento miniatura, na E.I. Determinação da perda de massa por imersão de solos compactados com equipamento miniatura DER/SP M 196 DER/SP M 191 DER/SP M 197	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Pertencer a um dos seguintes grupos da classificação MCT: LA, LA' ou LG'

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
AGREGADO			
Granulometria ABNT NBR NM 248	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Granulometria seja mantida constante e compatível com a composição da mistura
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	≤ 50%
Durabilidade frente ao Sulfato de Sódio e Sulfato de Magnésio, em 5 ciclos DNER ME 089	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	Sulfato de Sódio < 20% Sulfato de Magnésio < 30%
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	Partículas não cúbicas inferior a 15%.

CONTROLE DE PRODUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
CBR – ABNT NBR 9895 Sub-Base Energia Intermediária Base Energia Modificada	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Igual ou superior aos valores definidos em projeto Em casos omissos: Bases ($N > 5 \times 10^6$) CBR ≥ 80% Bases ($N < 5 \times 10^6$) CBR ≥ 70% Sub-bases CBR ≥ 30%
Expansão ABNT NBR 9895	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Sub-bases < 1,0 % Bases < 0,5 %
Granulometria da Mistura ABNT NBR NM 248	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro da faixa de trabalho

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima – ABNT NBR 7182	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista, intercalado com o ensaio de CBR e Expansão	Determinação de Valores de Referência	Determinação de Valores de Referência
Massa Específica Aparente Seca, *in situ*, e Grau de Compactação ABNT NBR 7185	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Os segmentos devem ser analisados segundo Controle Estatístico e todas as amostras devem atender ao Controle Individual. Controle Estatístico GC $\geq$ 100% Controle Individual GC $\geq$ 98%
Teor de Umidade ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 500 m² contínuos de pista, imediatamente antes da compactação	Resultados Individuais	-1 ponto percentual a +1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima
Determinação das Deflexões Viga Benkelman – DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de Valores Individuais superiores a 105% da deflexão de controle fornecida em projeto, o segmento deve ser refeito

CONTROLE GEOMÉTRICO E DE ACABAMENTO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Espessuras e Cotas Locação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo e bordos e dois pontos intermediários	Resultados Individuais	Variação máxima admitida -2 a +1 cm da cota de projeto
Largura e Alinhamento da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Não se admite valores para semi-largura inferiores aos previstos em projeto
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento dos serviços de sub-base e base de solo-cimento, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

A sub-base e base de solo-cimento é o produto endurecido resultante da cura úmida da mistura homogênea compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas em projeto e determinadas por ensaios prévios de laboratório por dosagem experimental.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR 5732 - Cimento Portland comum;
b) ABNT NBR 5735 - Cimento Portland de alto-forno;
c) ABNT NBR 5736 - Cimento Portland pozolânico;
d) ABNT NBR 6459 Solos – Limite de Liquidez;
e) ABNT NBR 7180 Solos – Limite de Plasticidade;
f) ABNT NBR 7181 Solos – Análise Granulométrica;
g) ABNT NBR 7185 Solos – Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia;
h) ABNT NBR 9813 Solos Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do cilindro de cravação;
i) ABNT NBR 16097 Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaios;
j) ABNT NBR 11579 - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200);
k) ABNT NBR 12023 - Solo-Cimento – Ensaio de compactação;
l) ABNT NBR 12024 - Solo-Cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos;
m) ABNT NBR 12025 - Solo-Cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos;
n) ABNT NBR NM 137 - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland;
o) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
p) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dia de chuva.

A camada de sub-base ou base de solo-cimento só deve ser executada quando a camada subjacente estiver liberada quanto aos requisitos de aceitação de materiais e execução.

A superfície deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade antes da execução da base de solo-cimento.

Durante todo o tempo que durar a execução da sub-base ou base de solo-cimento, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

5.1.1. Cimento

O cimento empregado deve atender:

a) Cimento Portland comum - ABNT NBR 5732;
b) Cimento Portland de alto-forno - ABNT NBR 5735;
c) Cimento Portland pozolânico - ABNT NBR 5736.

5.1.2. Água

A água deve ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis, de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais. Deve atender aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR NM 137.

5.1.3. Solo

Os solos empregados devem ser os provenientes de ocorrências de materiais das áreas de empréstimo e jazidas, devendo apresentar as seguintes características:

a) Limite de liquidez menor que 40%, determinado conforme ABNT NBR 6459;
b) Índice de plasticidade menor que 18 %, conforme ABNT NBR 7180;
c) A curva granulométrica do material deve enquadrar-se nas faixas da Tabela 1;
d) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na Tabela 1, porém, sempre respeitando os limites da faixa granulométrica;

e) Não deve conter matéria orgânica e outras impurezas nocivas.

TABELA 1 – FAIXA GRANULOMÉTRICA DO SOLO

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO	TOLERÂNCIA
ASTM	mm		
3”	76	100	-
Nº 4	4,8	50 – 100	± 5%
Nº 40	0,42	15 – 100	± 2%
Nº 200	0,075	5 – 35	± 2%

5.2. Mistura Solo-Cimento

A mistura de solo-cimento deve ser dosada conforme os critérios estabelecidos em projeto, onde a porcentagem de cimento a ser incorporada ao solo deve sempre ser determinada em relação a massa de solo seco.

5.2.1. Teor de Cimento

Define-se teor de cimento em massa, a relação entre a massa de cimento a ser aplicada e a massa de solo seco, multiplicado por 100.

A porcentagem em massa de cimento a ser incorporada ao solo para constituição da mistura deve ser fixada de modo a atender a resistência à compressão simples, aos vinte oito dias de cura, fixadas no projeto da estrutura do pavimento.

5.3. Aditivos

A executante pode, a seu ônus e se autorizado pela fiscalização, utilizar aditivos plastificantes ou retardadores de pega. A utilização de aditivos não deve acarretar diminuição da resistência do solo-cimento.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da sub-base ou base de solo-cimento compreende as seguintes unidades:

6.1. Mistura Processada na Pista

a) Pá-carregadeira;
b) Caminhões basculantes;
c) Motoniveladora pesada com escarificador;
d) Recicladora;

e) Rolos compactadores do tipo pé-de-carneiro "pata longa";
f) Rolos compactadores vibratórios corrugados;
g) Rolos compactadores pneumáticos, de pressão regulável;
h) Compactadores portáteis, manuais ou mecânicos;
i) Ferramentas manuais diversas (pás, garfos, enxadas, rastelos e outros).

6.2. Mistura Processada na Usina

a) Caminhões basculantes;
b) Motoniveladora equipada com escarificador;
c) Caminhão tanque irrigador de água com, no mínimo, 6.000 litros de capacidade, equipado com motobomba capaz de distribuir água sob pressão regulável e de forma uniforme;
d) Pá carregadeira;
e) Rompedores, eventuais;
f) Rolos compactadores tipos: pé de carneiro, liso, vibratório, estático e pneumático de pressão variável;
g) Duas réguas de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,00 m de comprimento;
h) Compactadores portáteis, manuais ou mecânicos;
i) Pequenas ferramentas, tais como: pás, enxadas, garfos, rastelos etc.;
j) Distribuidores de solo, capazes de produzir camadas uniformes nas espessuras definidas no projeto e com adensamento;
k) Usina de misturas de solos, para volume de solo-cimento superior a 25.000 m³.

As centrais de usina devem ser constituídas de:

- Silos: para cimento e solo, providos de comportas e equipados com dispositivo que permita a produção contínua da mistura;
- Correia transportadora: que transportem os solos e o cimento, na proporção conveniente, até o equipamento misturador;
- Misturador: constituído, normalmente, de uma caixa metálica tendo no seu interior, como elementos misturadores, dois eixos dotados de pás tipo pug-mill que rodam em sentido contrário, providos de chapa metálica em espiral ou de pequenas chapas fixadas em hastes e que, devido ao seu movimento, jogam os materiais contra as paredes, ao mesmo tempo em que os faz avançar até a saída do equipamento;
- Reservatórios de água e canalizações que permitam aspergir a água, após a homogeneização da mistura seca, deixando-a no teor de umidade ótimo previsto;
- Equipamento de carga de caminhões constituído de um silo, abastecido por transportadores de correia ou elevadores de canecas e colocado de

modo que o caminhão transportador possa receber, por gravidade, a mistura. Este dispositivo é utilizado quando não é possível deixar o misturador na altura adequada, para que o carregamento se faça por gravidade.

7. EXECUÇÃO

7.1. Produção da Mistura

7.1.1. Mistura Processada na Usina

A usina deve ser calibrada racionalmente, de forma assegurar a obtenção das características desejadas para as misturas dos materiais.

Os solos empregados na mistura devem sofrer processo de pulverização até que se obtenha grau de pulverização de no mínimo 80% (% de material passando na peneira de abertura 4,8mm).

Os materiais que integram a mistura devem ser acumulados nos silos da usina, devendo ser previsto o eficiente abastecimento, de modo a evitar a interrupção da produção.

A mistura deve sair da usina perfeitamente homogeneizada, com teor de umidade ligeiramente acima da umidade ótima, de forma a fazer frente às perdas no decorrer das operações construtivas subsequentes.

O material deve ser transportado em caminhões basculantes, protegidos com lonas para que o material não perca umidade e nem receba água de chuva.

O tempo decorrido entre a adição de cimento e água no misturador e o início do espalhamento não deve ser superior a 1 hora, a menos que, a critério da fiscalização, e devidamente comprovado por ensaios, constate a possibilidade de aumentar este tempo.

Em qualquer hipótese o limite de tempo entre a produção e o final da compactação está fixado em 3 horas.

Não é permitida a estocagem do material usinado.

7.1.2. Mistura Processada na Pista

- Preparo da Superfície

a) A superfície que vai receber a camada de base ou sub-base de solo-cimento deve apresentar-se limpa, isenta de pó ou outras substâncias prejudiciais;
b) Eventuais defeitos existentes devem ser adequadamente reparados, previamente à aplicação da mistura.

- ***Extração dos Materiais na Jazida***

a) A(s) jazidas(s) indicada(s) no projeto deve(m) ser objeto de criterioso zoneamento, com vistas à seleção de materiais que atendam às características especificadas;
b) Durante a operação de carga, devem ser tomadas as precauções necessárias para evitar a contaminação por materiais estranhos.

- ***Transporte e Distribuição do Solo***

a) Não é permitido o transporte do material para a pista, quando o subleito ou a camada subjacente estiverem molhados, não sendo capaz de suportar, sem se deformar, a movimentação do equipamento;
b) Os caminhões basculantes descarregam as respectivas cargas em pilhas sobre a pista, com adequado espaçamento;
c) O espalhamento é efetuado mediante atuação da motoniveladora;
d) A definição da espessura do colchão de material solto que, após compressão, permita a obtenção da espessura de projeto e sua conformação adequada, deve ser obtida a partir de segmento experimental.

- ***Distribuição do Cimento***

a) Concluído o espalhamento e a conformação do colchão de solo, o cimento deve ser distribuído uniformemente na superfície, em toda a largura de faixa, segundo o teor especificado pela dosagem, por processo manual ou mecânico;
b) Quando se empregar a distribuição em sacos, estes devem ser dispostos de modo a assegurar uniformidade na distribuição. Os sacos são contados, anotados, e em seguida distribuídos com rodos de madeira. Quando se utilizar a distribuição a granel, por processo mecânico, o equipamento deve ser aferido e aprovado pela Fiscalização. É sempre preferível a distribuição mecânica do cimento;
c) Imediatamente após a distribuição do cimento, é procedida a mistura deste com o solo, pela ação da recicladora, que simultaneamente promove a devida pulverização, umidificação e homogeneização;
d) O grau de pulverização especificado é de, no mínimo, 80% para solo-cimento;
e) Concluída a mistura, o teor de umidade deve estar compreendido na faixa de -2,0 a +1,0%, para solos argilosos e siltosos e ± 1,0% para solos arenosos, em relação à umidade ótima indicada pelo ensaio de compactação, com a energia adotada em projeto.

7.2. Espalhamento

A mistura de solo-cimento deve ser adequadamente espalhada e conformada, de forma que a espessura solta seja suficiente para que se obtenha a espessura da camada acabada definida em projeto, nunca inferior a 10 cm e no máximo 20 cm. As bases de espessuras superiores a 20 cm devem ser executadas em mais de uma camada.

A mistura processada em usina deve ser espalhada com o distribuidor de solos, capaz de distribuir a mistura de solo-cimento em espessura uniforme, sem produzir segregação e de forma a evitar conformação adicional da camada, e que ao final das operações de compactação resulte na espessura definida em projeto.

A mistura processada na pista deve ser espalhada e conformada com a motoniveladora.

7.3. Compactação

Na fase inicial da obra, devem ser executados segmentos experimentais, com formas diferenciadas de execução, na sequência operacional de utilização dos equipamentos de modo a definir os procedimentos a serem obedecidos nos serviços de compactação. Deve-se estabelecer o número de passadas necessárias dos equipamentos de compactação para atingir o grau de compactação especificado, além do respectivo tempo gasto para finalização das operações.

Deve ser realizada nova determinação sempre que houver variação do material ou do equipamento empregado.

O teor de umidade do solo-cimento imediatamente antes do início das operações de compactação, deve estar compreendido no intervalo –2,0 % à +1,0 % da umidade ótima de compactação.

A compactação de solos arenosos ou pouco argilosos deve ser feita, de preferência, com o emprego de rolos vibratórios corrugados e rolos pneumáticos de pressão variável, que assegurem a obtenção do grau de compactação exigido nesta especificação.

A compactação de solos argilosos deve ser iniciada com o emprego de rolos pé de carneiro e terminada com rolos vibratórios corrugados e lisos ou, de preferência, com rolos pneumáticos de pressão regulável.

Nos trechos em tangente, a compactação deve ser executada das bordas para o centro, em percursos equidistantes da linha base, eixo. Os percursos ou

passadas do equipamento utilizado devem distar entre si de forma tal que, em cada percurso, seja coberta metade da faixa coberta no percurso anterior.

Nos trechos em curva, havendo sobrelevação, a compactação deve progredir da borda mais baixa para a mais alta, com percursos análogos aos descritos para trechos em tangente.

Nas partes adjacentes ao início e ao fim da camada em construção, a compactação deve ser executada transversalmente à linha do eixo. Nos locais inacessíveis aos rolos compactadores, como cabeceiras de obra de arte etc., a compactação deve ser executada com compactadores portáteis, manuais ou mecânicos.

As operações de compactação devem prosseguir até que se atinja o grau de compactação de 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, obtida na energia intermediária ou a especificada em projeto, obtida conforme ABNT NBR 12023.

Ao final das operações de compactação, se necessário a camada pode ser levemente umedecida de forma que a umidade seja mantida na umidade ótima ou ligeiramente próximo a desta.

O intervalo tempo máximo permitido entre o início e o término das operações de compactação é de 2 horas.

7.4. Acabamento

Após a conclusão da compactação, deve ser feito o acerto final da superfície com motoniveladora, somente em operações de corte, complementado em seguida por algumas passadas com rolos pneumáticos de pressão variável.

O material proveniente do corte deve ser descartado.

7.5. Juntas de Construção

Ao fim de cada jornada de trabalho, ou em caso de interrupção dos serviços, deve ser executada uma junta transversal de construção, mediante corte vertical da camada, podendo ser utilizado rompedores, ferramentas manuais ou lâmina da motoniveladora.

As juntas transversais de construção não devem coincidir entre dois panos de serviços adjacentes.

A face da junta deve ser umedecida antes da colocação da camada subsequente.

As juntas transversais não devem coincidir com os locais de juntas da camada subjacente anteriormente executada.

Nas juntas geradas nos pontos de início e fim da execução da camada, a compactação deve ser executada transversalmente ao eixo da pista.

7.6. Cura

Todo o trecho, logo após a sua execução de acordo com esta especificação, deve ser submetido a um processo de cura, devendo ser protegido contra a perda rápida de umidade, por pelo menos sete dias. A pintura de cura deve ser constituída por imprimação com emulsão asfáltica tipo RR-2C.

A emulsão asfáltica tipo RR-2C deve ser aplicada com caminhão à razão de 0,6 l/m². Sua aplicação deve ser executada sobre a superfície limpa com jato de ar comprimido, e suficientemente umedecida. O material deve ser aspergido, em uma única aplicação e na temperatura adequada.

7.7. Abertura ao Tráfego

A sub-base ou base de solo-cimento não deve ser submetida à ação direta das cargas e da abrasão do tráfego. Não deve ser executado pano muito extenso, para que a camada não fique exposta à ação de intempéries que possam prejudicar sua qualidade.

O tráfego deve ser interditado e deve-se também impedir o deslocamento de qualquer equipamento até que a camada tenha resistência compatível com sua solicitação de carga, no mínimo de sete dias, a imprimação esteja completamente rompida e curada.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo à metodologia indicada no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Cimento

Todo carregamento de cimento que chegar à obra deve vir acompanhado de certificado de qualidade que ateste que:

a) Atenda ABNT NBR 5732 quando for utilizado cimento Portland comum;
b) Atenda ABNT NBR 5735 quando for utilizado cimento Portland de alto-forno;

c) Atenda ABNT NBR 5736 quando for utilizado cimento Portland pozolânico.

8.1.2. Água

Deve ser examinada sempre que houver dúvida sobre a sua sanidade, conforme ABNT NBR NM 137.

8.1.3. Solo

Devem ser executados os ensaios abaixo discriminados, com materiais coletados na pista ou na jazida.

a) Análise granulometria do solo, de acordo com ABNT NBR 7181;
b) Limite de liquidez, conforme ABNT NBR 6459;
c) Limite de plasticidade, conforme ABNT NBR 7180.

8.2. Controle da Produção do Solo-Cimento

8.2.1. Mistura Processada na Pista

a) Antes da aplicação do cimento

- Determinar o grau de pulverização do solo por meio de peneiramento do material com peneira de abertura 4,8 mm, cujo resultado deve ser superior a 80%.

b) Determinar o teor de cimento

- Se a distribuição do cimento for realizada por processo mecânico, uma determinação a cada 8 horas por jornada de trabalho, por intermédio de pesagens;
- Se a distribuição do cimento for manual efetuar contagem do número de sacos de cimento consumidos, e comparar com o estabelecido no projeto de dosagem da mistura, para sub trecho em execução.

c) Em cada sub-trecho, determinar o intervalo de tempo decorrido entre o início do esparrame do cimento, umedecimento e seu término. O intervalo máximo admitido entre a incorporação do cimento e da água à mistura solo-cimento, e o início da compactação é de 1 hora.

8.2.2. Mistura Processada na Usina

Determinar o teor de cimento através da razão entre a diferença de massas da mistura com cimento e sem adição de cimento, pela massa da mistura com adição de cimento, multiplicado por 100. Realizar uma determinação por jornada de 8 h de trabalho e sempre que houver indícios de falta de cimento. As coletas de material, com e sem adição de cimento são realizadas numa

mesma extensão de correia transportadora em intervalos de tempo iguais de descarga do material sobre a correia.

Para cada carregamento e espalhamento, determinar o intervalo de tempo decorrido entre a saída da mistura da usina e o início da compactação. O intervalo máximo admitido entre a incorporação do cimento e da água no misturador e o início do espalhamento para a compactação é de 1 hora.

8.3. Controle da Execução

O controle da execução da camada deve ser realizado pelos seguintes procedimentos:

a) Determinação do teor de umidade, conforme, ABNT NBR 16097, imediatamente antes da compactação; se o teor de umidade deve estar compreendido no intervalo de para solos argilosos e siltoso e ±1,0% para solos arenosos, da umidade ótima, o material pode ser liberado para compactação;
b) Determinação da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima, conforme ABNT NBR 12023, na energia intermediária, em amostras coletadas na pista;
c) Moldagem de corpos cilíndricos com material retirado na pista imediatamente antes da compactação, conforme ABNT NBR 12024 e ABNT NBR 12025 para determinação da resistência a compressão simples, aos 7 dias e aos 28 dias de cura, para avaliação dos resultados iniciais em relação à resistência final a ser atingida;
d) Determinação, após o término da compactação, do teor de umidade e massa específica aparente seca in situ, de acordo com os métodos ABNT NBR 16097 e ABNT NBR 7185 ou ABNT NBR 9813, e o respectivo grau de compactação, em relação os valores obtidos na alínea b, em amostras retiradas na profundidade de no mínimo 75% da espessura da camada;
e) Anotação do intervalo de tempo entre o início e final da compactação, que não deve ser superior a 2 horas, para cada sub-trecho executado;
f) Devem ser registrados os locais de aplicação da mistura, sempre associados às datas de produção e com os respectivos ensaios de controle tecnológico.

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

8.4.1. Controle de Espessuras e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m, conforme nota de serviço.

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

8.4.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.4.3. Controle de Acabamento da Superfície

O acabamento da superfície dos diversos segmentos concluídos é verificado com duas réguas, uma de 1,20 m e outra 3,00 m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, nas diversas seções correspondentes às estacas da locação.

8.5. Deflexões

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

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

Os serviços recebidos da forma descrita serão medidos em:

a) Metros cúbicos de sub-base ou base acabada de solo-cimento misturado na pista;
b) Metros cúbicos de sub-base ou base acabada de solo-cimento misturado em usina;
c) Metros cúbicos de sub-base ou base acabada de solo-cimento, vezes quilômetros de distância de transporte:

- Do solo ou solos utilizados, no caso de solo-cimento obtido por mistura na pista, ou;
- Do solo ou solos utilizados, da jazida para a usina, e de solo-cimento, da usina para a pista, no caso do solo-cimento obtido por mistura em usina.

Os volumes de sub-base ou base serão calculados multiplicando a área da seção transversal de projeto pelas extensões determinadas pelo estaqueamento.

A área da seção transversal de projeto da sub-base ou base será calculada multiplicando a largura pela espessura de projeto. Quando houver mistura de

solos, os volumes a considerar, para fins de pagamento, serão calculados multiplicando o volume da sub-base ou base acabada, pelas porcentagens em volume dos diversos solos na mistura.

As distâncias de transportes serão determinadas:

- Quando o transporte for realizado dentro da faixa de domínio, pelo estaqueamento, e:
- Quando o transporte for realizado fora da faixa de domínio, pelas leituras do odômetro do veículo transportador.

Para fins de pagamento do transporte da mistura, seja qual for o teor de cimento utilizado, não será considerada a contribuição do cimento na formação do volume da sub-base ou base acabada.

Não será cobrado do Empreiteiro o fornecimento de solo extraído de jazidas localizadas dentro da faixa de domínio e indicadas no projeto, ou em instruções da Fiscalização.

Os serviços recebidos e medidos na forma descrita serão pagos aos preços unitários contratuais respectivos e esse pagamento constituirá remuneração única para todos os materiais, mão-de-obra, leis sociais, equipamento e outros recursos utilizados em sua execução pelo Empreiteiro, abrangendo inclusive, benefício e despesas indiretas.

O transporte de solo e de solo-cimento será pago ao preço unitário contratual correspondente a transporte de solo para Reforço do Subleito. Qualquer dos materiais de proteção para a cura da camada não terá pagamento à parte, sua remuneração já se acha incluída no preço unitário da sub-base ou base de solo-cimento.

TABELA 2 – UNIDADE DE MEDIÇÃO

SUB-BASE OU BASE DE SOLO-CIMENTO, COM MISTURA REALIZADA:	UNIDADE DE MEDIDA
NA PISTA	m^3
EM USINA	m^3
TRANSPORTE DE SOLO	m^3 x km

10. REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

a) AASHTO. (1989). *Construction Manual for Highway Construction.* AASHTO.

b) ABNT. (2017). *12254 Solo-Cimento - Execução de base de solo-cimento.*

c) ABNT. (s.d.). *Associação Brasileira de Normas Técnicas.*

d) ANCADE; ANTER; IECA. (2008). *Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal.* Instituto Espanõl del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

e) ARTERIS. (2018). *Solo Cimento e Solo Tratado com Cimento .*

f) DER/SP. (2006). *Sub-base ou Base Solo Cimento.* São Paulo.

g) DNIT. (2004). *Pavimento Rígido - Execução de sub-base de solo-cimento.*

h) Scullion, T., Sebesta, S., Harris, J. p., & Syed, a. I. (2005). *Evaluating the Performance of Soil-Cement and Cement-Modified Soil for Pavements: A Laboratory Investigation .* Portland Cement Association.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
CIMENTO			
Cimento Portland Comum Módulo de Finura ABNT NBR 11579	1 ensaio a cada 3.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados individuais	Atender DNER-EM 036 NBR 5732 Módulo de finura satisfatório
Cimento Portland de Alto-Forno Módulo de Finura ABNT NBR 11579	1 ensaio a cada 3.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados individuais	Atender DNER-EM 036 NBR 5735 Módulo de finura satisfatório
Cimento Portland Pozolânico Módulo de Finura ABNT NBR 11579	1 ensaio a cada 3.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados individuais	Atender DNER-EM 036 NBR 5736 Módulo de finura satisfatório
ÁGUA			
Qualidade da água ABNT NBR NM 137	Sempre que houver dúvida sobre a sua sanidade.	Resultados individuais	Ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis, matéria orgânica ou outras substâncias nocivas e atender NBR NM 137

SOLO			
Análise Granulométrica ABNT NBR 7181	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro dos limites da faixa de granulométrica definida nesta especificação
Limite de Liquidez ABNT NBR 6459	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	LL < 40%
Limite de Plasticidade ABNT NBR 7180	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	IP < 18%

CONTROLE DE PRODUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
MISTURA PROCESSADA EM PISTA			
Grau de Pulverização Peneiramento através da peneira de 4,8mm, excluindo o material retido na peneira 9,5mm	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	Grau de Pulverização igual ou superior a 80%
Teor de Cimento Distribuição Mecânica Efetuar Pesagem	1 determinação a cada 8 horas.	Resultados Individuais	± 0,5% do teor de projeto da mistura
Teor de Cimento Distribuição Manual Efetuar Contagem Sacos	1 determinação em cada sub-trecho executado.	Resultados Individuais	Número de sacos consumidos compatível com teor de projeto
MISTURA PROCESSADA EM USINA			
Teor de Cimento Razão entre a diferença de massas da mistura com e sem adição de cimento pela massa da mistura com adição de cimento. As coletas de material, com e sem adição de cimento realizadas em uma mesma extensão *L* da correia transportadora em intervalos de tempo iguais.	1 determinação por jornada de trabalho de 8 horas ou sempre que houver suspeita de falha na dosagem do cimento.	Resultados Individuais	± 0,5% do teor de projeto da mistura

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima – NBR 12023	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Determinação de Valores de Referência	Determinação de Valores de Referência
Massa Específica Aparente Seca, *in situ*, e Grau de Compactação – ABNT NBR 7185 e 9813	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Os segmentos devem ser analisados segundo Controle Estatístico e todas as amostras devem atender ao Controle Individual. Controle Estatístico GC ≥ 100% Controle Individual GC ≥ 98%
Teor de Umidade – ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 500 m² contínuos de pista, imediatamente antes da compactação. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	Solos Argilosos e Siltosos -2 pontos percentuais a +1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima Solos Arenosos -1 ponto percentual a +1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima
Determinação da resistência à compressão aos 7 e 28 dias de cura. Moldagem de corpos cilíndricos, imediatamente antes da compactação. ABNT NBR 12024 e ABNT NBR 12025	Ruptura aos 7 dias 1 determinação a cada 500 m² de pista. No mínimo 3 ensaios por obra. Ruptura aos 28 dias 1 determinação a cada 1000m², de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Controle Unilateral $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras e Resultados Individuais	Resistência a compressão aos 28 dias de cura igual ou superior à de projeto Não serão admitidos valores individuais inferiores a 90% da resistência de projeto
Verificação do intervalo de tempo decorrido entre o início da mistura e término da compactação	Para cada sub-trecho compactado.	Resultados Individuais	Intervalo máximo admitido de 2 horas

CONTROLE DE EXECUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinação das Deflexões Viga Benkelman – DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de Valores Individuais superiores a 105% da deflexão de controle fornecida em projeto, o segmento deve ser refeito. Para camadas cimentadas, o projeto deverá fornecer a deflexão de referência associada ao estágio de cura desejado para o controle.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de sub-base e base de brita graduada simples, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Brita graduada é a camada de base ou sub-base composta por mistura em usina de produtos de britagem de rocha sã e que, ao serem enquadradas em uma faixa granulométrica contínua, assegura a esta camada estabilidade.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR NM 51 – Agregado Graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”;
b) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica;
c) DNER-ME 089 – Agregado Graúdo – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
d) ABNT NBR 5564 Anexo A – Agregado Graúdo – Determinação da forma dos fragmentos da pedra britada;
e) ABNT NBR 7182 Solos – Ensaio de Compactação;
f) ABNT NBR 7185 Solos – Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia;
g) ABNT NBR 9895 Solos – Índice de Suporte Califórnia (ISC);
h) ABNT NBR 12052 – Agregado Miúdo – Determinação do equivalente de areia;
i) ABNT NBR 16097 Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaios;
j) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
k) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, Falling Weight Deflectometer.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dia de chuva.

A brita graduada simples pode ser empregada como camada estabilizada granulometricamente ou camada drenante.

A camada de sub-base e base de brita graduada simples só pode ser executada quando a camada subjacente estiver liberada, quanto aos requisitos de aceitação de materiais e execução.

A superfície deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade antes da execução da sub-base ou base de brita graduada simples.

Durante todo o tempo de execução da sub-base ou base de brita graduada simples, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

5.1.1. Agregados

A camada de base e sub-base de brita graduada simples deve ser executada com materiais que atendam aos seguintes requisitos:

a) Os agregados utilizados obtidos a partir da britagem e classificação de rocha sã devem ser constituídos por fragmentos duros, limpos e duráveis, livres de excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, assim como de outras substâncias ou contaminações prejudiciais;
b) O desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles, conforme NBR NM 51, deve ser inferior a 50%;
c) Equivalente de areia do agregado miúdo, conforme NBR 12052, superior a 55%;
d) Partículas não cúbicas inferior a 15%, conforme ABNT NBR 5564 Anexo A;
e) A perda no ensaio de durabilidade, conforme DNER ME 089, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 20% e com sulfato de magnésio inferior a 30%.

5.1.2. Mistura dos Agregados

O projeto da mistura dos agregados deve atender aos seguintes requisitos:

a) A curva de projeto da mistura de agregados deve apresentar granulometria contínua e se enquadrar em uma das faixas granulométricas especificadas na Tabela 1;
b) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na Tabela 1, porém, respeitando os limites da faixa granulométrica adotada;

c) Quando ensaiada de acordo com a NBR 9895, na energia modificada, a mistura deve ter CBR igual ou superior a 100% e expansão igual ou inferior a 0,3%;

d) No caso de utilização de brita graduada simples como base drenante em acostamentos, deve-se utilizar a faixa granulométrica indicada na Tabela 2;

e) A porcentagem do material que passa na peneira nº 200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira nº 40;

TABELA 1 – FAIXAS GRANULOMÉTRICAS

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO				TOLERÂNCIA
ASTM	mm	I	II	III	IV	
2”	50,0	100	100	100	100	± 7%
1 ½”	37,5	90-100	-	100	100	± 7%
1”	25,0	-	82-90	100	100	± 7%
¾”	19,0	50-68	-	-	100	± 7%
3/8”	9,5	30-46	60-75	50-85	60-100	± 7%
Nº 4	4,8	20-34	45-60	35-65	50-85	± 5%
Nº 10	2,0	-	32-45	25-50	40-70	± 5%
Nº 40	0,42	4-12	22-30	15-30	25-45	± 5%
Nº 200	0,075	1-4	10-15	5-15	5-20	± 2%

TABELA 2 – FAIXA GRANULOMÉTRICA RECOMENDADA P/ BASE DRENANTE

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO	TOLERÂNCIA
ASTM	mm		
1 ½"	37,5	100	± 7%
1"	25,0	90-100	± 7%
¾"	19,0	75-99	± 7%
3/8"	9,5	45-64	± 7%
Nº 4	4,8	30-45	± 5%
Nº 10	2,0	18-33	± 5%
Nº 40	0,42	7-17	± 5%
Nº 80	0,18	1-11	± 3%
Nº 200	0,075	0-8	± 2%

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da sub-base ou base de brita graduada simples compreende as seguintes unidades:

a) Usina misturadora dotada de unidade dosadora com, no mínimo, três silos, dispositivo de adição de água com controle de vazão e misturador do tipo "pugmill";
b) Pá-carregadeira;
c) Caminhões basculantes;
d) Caminhão tanque irrigador de água;
e) Motoniveladora com escarificador;
f) Vibro-acabadora;
g) Rolos compactadores do tipo liso vibratório;
h) Rolos compactadores pneumáticos de pressão regulável;
i) Compactadores portáteis manuais ou mecânicos, eventuais;
j) Duas réguas de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,0 m de comprimento;
k) Ferramentas manuais diversas.

7. EXECUÇÃO

7.1. Preparo da Superfície

A superfície a receber a camada de sub-base ou base de brita graduada simples deve estar totalmente concluída, perfeitamente limpa, isenta de pó,

lama e demais agentes prejudiciais, desempenada e com as declividades estabelecidas no projeto, além de ter recebido prévia aprovação por parte da fiscalização.

Eventuais defeitos existentes devem ser adequadamente reparados antes da distribuição da brita graduada simples.

7.2. Produção

A rocha sã da pedreira aprovada deve ser previamente britada e classificada em frações a serem definidas em função da granulometria prevista para a mistura.

Nas usinas utilizadas para produção brita graduada simples, os silos devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador, e devem possuir, no mínimo, três silos agregados. Os silos devem conter dispositivos que os abriguem da chuva.

A usina deve ser calibrada racionalmente, de forma a assegurar a obtenção das características desejadas para a mistura.

As frações obtidas, acumuladas nos silos da usina são combinadas no misturador, acrescentando-se ainda a água necessária à condução da mistura de agregados à respectiva umidade ótima, mais o acréscimo destinado a fazer frente às perdas verificadas nas operações construtivas subsequentes. Deve ser previsto o eficiente abastecimento, de modo a evitar a interrupção da produção.

Não é permitida a mistura prévia dos materiais no abastecimento dos silos.

7.3. Transporte

A brita graduada simples produzida na central deve ser descarregada diretamente sobre caminhões basculantes e em seguida transportada para a pista. Os materiais devem ser protegidos por lonas para evitar perda de umidade durante seu transporte.

Não é permitida a estocagem do material usinado. A produção da brita graduada simples na usina deve ser adequada às extensões de aplicação na pista.

Não é permitido o transporte de brita graduada simples para a pista quando o subleito ou a camada subjacente estiver molhada, incapaz de suportar, sem se deformar, a movimentação do equipamento.

7.4. Espalhamento

A definição da espessura do material solto deve ser obtida a partir da observação criteriosa de panos experimentais, previamente executados. Após a compactação, essa espessura deve permitir a obtenção da espessura definida em projeto.

A distribuição da brita graduada simples deve ser feita com vibro-acabadora, capaz de distribuir a brita graduada em espessura uniforme, sem produzir segregação, e de forma a evitar conformação adicional da camada. Caso, no entanto, isto seja necessário, admite-se conformação pela atuação da motoniveladora, exclusivamente por ação de corte, previamente ao início da compactação.

A espessura da camada individual acabada deve situar-se no intervalo de 10 cm, no mínimo, a 20 cm, no máximo. Quando se desejar executar camada de base ou sub-base de maior espessura, os serviços devem ser executados em mais de uma camada, respeitando os limites mínimos e máximos.

Não é permitida a execução de camadas de sub-base ou base de brita graduada simples em dias chuvosos.

7.5. Compactação e Acabamento

O tipo de equipamento a ser utilizado e o número de passadas do rolo compactador devem ser definidos logo no início da obra, em função dos resultados obtidos na execução de trechos experimentais, de forma que a camada atinja o grau de compactação especificado. Este procedimento deve ser repetido no caso de mudança no projeto da faixa granulométrica adotada.

A energia de compactação a ser adotada como referência para a execução da brita graduada simples deve ser a modificada e deve ser adotada na determinação da densidade seca máxima e umidade ótima de compactação, conforme a ABNT NBR 7182. O teor de umidade da brita graduada, imediatamente antes da compactação, deve estar compreendido no intervalo de ±1,0% em relação à umidade ótima obtida de compactação.

A compactação da brita graduada simples deve ser executada mediante o emprego de rolos vibratórios lisos e de rolos pneumáticos de pressão regulável.

Nos trechos em tangente, a compactação deve evoluir partindo das bordas para eixo, e nas curvas, partindo da borda interna para borda externa. Em cada passada, o equipamento utilizado deve recobrir, ao menos, a metade da faixa anteriormente compactada.

Durante a compactação, se necessário, pode ser promovido o umedecimento da superfície da camada mediante emprego de caminhão tanque irrigador de água.

As manobras do equipamento de compactação que impliquem variações direcionais prejudiciais devem se processar fora da área de compactação.

A compactação deve evoluir até que se obtenha o grau de compactação mínimo igual ou superior a 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, obtido no ensaio de compactação, conforme ABNT NBR 7182 na energia modificada. Deve-se realizar uma vistoria cautelar de vizinhança para liberação dos serviços de compactação, quando executados em energia intermediária e modificada.

Em lugares inacessíveis ao equipamento de compactação ou onde seu emprego não for recomendável, a compactação deve ser realizada à custa de compactadores portáteis, sejam manuais ou mecânicos.

A imprimação da camada de brita graduada deve ser realizada após a conclusão da compactação com emulsão asfáltica.

7.6. Abertura ao Tráfego

A sub-base ou base de brita graduada simples não deve ser submetida à ação do tráfego. Não deve ser executado pano muito extenso para que a camada não fique exposta à ação de intempéries que possam prejudicar sua qualidade.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1.

8.1. Controle dos Materiais

Devem ser executados os seguintes ensaios nos agregados graúdos.

a) Abrasão Los Angeles, conforme NBR NM 51;
b) Índice de forma e percentagem de partículas lamelares, conforme NBR 6954 Anexo A;
c) Durabilidade com sulfato de sódio e sulfato de magnésio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089. Para agregado miúdo, determinar o equivalente de areia, conforme NBR 12052.

8.2. Controle da Produção da Brita Graduada Simples

O controle das características da mistura na usina, com amostras coletadas na saída do misturador deve abranger:

a) Determinação do teor de umidade, conforme ABNT NBR 16097, pelo método expedito da frigideira, com amostras coletadas na saída do misturador, sendo 4 determinações por jornada de 8 h de trabalho; o desvio da umidade em relação à umidade ótima deve ser estabelecido experimentalmente, no início dos serviços, em função da perda de umidade por evaporação, ocorrida entre a saída do misturador e o início das operações de compactação;
b) Determinar a densidade seca máxima, conforme ABNT NBR 7182 e o CBR e a expansão, conforme ABNT NBR 9895; os resultados da densidade seca máxima e umidade ótima obtidos no ensaio devem ser adotados como parâmetros de controle da compactação da camada.

8.3. Controle de Execução

O controle das características da brita graduada simples na pista, com amostras coletadas in situ, deve ser feito pelas seguintes determinações:

a) Determinação do teor de umidade pelo método expedito da frigideira;
b) Granulometria de amostras obtidas na pista durante o espalhamento, conforme NBR NM 248;
c) Ensaio de compactação na energia modificada, conforme NBR 7182, de amostras coletadas na pista;
d) Determinação da umidade e da massa específica aparente seca in situ, conforme ABNT NBR 16097 e ABNT NBR 7185, respectivamente, e o respectivo grau de compactação, imediatamente após a conclusão da camada;
e) Devem ser registrados os locais de aplicação da mistura, sempre associados às datas de produção, mediante controle de carga e descarga realizada pelos caminhões acompanhados dos respectivos ensaios de controle tecnológico.

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

8.4.1. Controle de Espessuras e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas, entre a camada subjacente e a de brita graduada simples, devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m, conforme nota de serviço.

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e em dois pontos intermediários.

8.4.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.4.3. Controle de Acabamento da Superfície

Durante a execução deve ser feito, em cada estaca da locação, o controle de acabamento da superfície, 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 pista.

8.5. 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, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A medição dos serviços, executados e recebidos na norma descrita, serão medidos em metros cúbicos de base de Brita Graduada simples compactada na pista, segundo a seção transversal de projeto.

No cálculo dos volumes, obedecidas as tolerâncias especificadas, será considerada a espessura média X, calculada como indicado anteriormente desde que X não seja inferior à espessura de projeto. No caso de X ser maior do que a espessura de projeto, será considerada a de projeto para o cálculo do volume.

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, transportes, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e outros gastos eventuais necessários à completa execução dos serviços.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
AGREGADO GRAÚDO			
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados Individuais	≤ 50%
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados Individuais	Partículas não cúbicas inferior a 15%.
Durabilidade frente ao Sulfato de Sódio e Sulfato de Magnésio, em 5 ciclos DNER ME 089	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados Individuais	Sulfato de Sódio < 20% Sulfato de Magnésio < 30%
AGREGADO MIÚDO			
Equivalente de Areia ABNT NBR 12052	1 ensaio por jornada de 8 h de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados Individuais	≥ 55%

CONTROLE DE PRODUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
CBR e Expansão Energia Modificada ABNT NBR 9895	1 ensaio a cada 10.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	CBR ≥ 100% Expansão ≤ 0,3%
Teor de Umidade - ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 500 m² contínuos de pista, imediatamente antes da compactação. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	-1 ponto percentual a +1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima
Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima – ABNT NBR 7182	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista, intercalado com o ensaio de CBR e Expansão. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	Determinação de Valores de Referência

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Ensaio de Compactação Energia Modificada ABNT NBR 7182	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista, intercalado com o ensaio de CBR e Expansão. No mínimo 3 ensaios por obra.	Determinação de Valores de Referência	Determinação de Valores de Referência
Massa Específica Aparente Seca, *in situ*, e Grau de Compactação ABNT NBR 7185 e 9813	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	Controle Estatístico $X = \bar{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Os segmentos devem ser analisados segundo Controle Estatístico e todas as amostras devem atender ao Controle Individual. Controle Estatístico GC ≥ 100% Controle Individual GC ≥ 98%
Teor de Umidade ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 500 m² contínuos de pista, imediatamente antes da compactação. No mínimo 3 ensaios por obra.	Resultados Individuais	-1 ponto percentual a +1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima
Granulometria da Mistura ABNT NBR NM 248	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista. No mínimo 3 ensaios por obra.	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro da faixa de trabalho
Determinação das Deflexões Viga Benkelman – DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \bar{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão carac. deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de valores individuais superiores a 105% da deflexão de controle do projeto, o segmento deve ser refeito

CONTROLE GEOMÉTRICO E DE ACABAMENTO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Espessuras e Cotas Locação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo e bordos e dois pontos intermediários	Resultados Individuais	Variação máxima admitida -2 a +1 cm da cota de projeto
Largura e Alinhamento da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Não se admite valores para semi-largura inferiores aos previstos em projeto
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de sub-base e base de macadame asfáltico, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Macadame asfáltico é a camada de pavimento realizada por intermédio de duas aplicações alternadas de ligante asfáltico sobre agregados de tamanho e quantidades especificadas, devidamente espalhadas, niveladas e compactadas.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) DNER-ME 089/94 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
b) ABNT NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão *Los Angeles*;
c) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
d) ABNT NBR 5564 – Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio;
e) ABNT NBR 6293 – Ligantes asfálticos – Determinação da ductilidade;
f) ABNT NBR 6560 – Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola;
g) ABNT NBR 6576 – Materiais asfálticos – Determinação da penetração;
h) ABNT NBR 11341 – Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland;
i) ABNT NBR 12583 – Agregado graúdo – Determinação da adesividade ao ligante betuminoso;
j) ABNT NBR 12584 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
k) ABNT NBR 14855 – Ligantes asfálticos – Determinação da solubilidade em tricloroetileno;
l) ASTM D 2872 – *Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)*;
m) ASTM D 4402 – *Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer*;
n) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;

o) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

O macadame asfáltico só pode ser executado quando a camada subjacente estiver liberada quanto aos requisitos de aceitação de materiais e execução.

A superfície deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade para execução da sub-base ou base de macadame asfáltico.

Durante todo o tempo de execução da sub-base ou base de macadame asfáltico, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação

O cimento asfáltico não deve ser aplicado em superfícies molhadas ou com os agregados molhados.

Nenhum material asfáltico deve ser aplicado com temperatura ambiente inferior a 10 ºC.

A temperatura de aplicação do material asfáltico deve ser fixada em função da relação temperatura-viscosidade; deve ser escolhida a temperatura que proporcione a melhor viscosidade para espalhamento. A viscosidade de Saybolt-Furol deve estar compreendida no intervalo de 20 a 60 segundos;

No caso de utilização do melhorador de adesividade, exige-se que o aditivo seja adicionado ao ligante no canteiro da obra, executando sempre a circulação da mistura ligante-aditivo; deve-se fazer essa mistura com a circulação do ligante asfáltico no próprio equipamento espargidor.

O início da execução do macadame asfáltico condiciona-se à aferição do equipamento espargidor; deve-se verificar o perfeito funcionamento dos bicos espargidores, de modo a distribuir o material uniformemente, determinando a vazão do ligante em função da velocidade do veículo para atender à taxa de aplicação indicada no projeto ou determinada pela fiscalização.

Na composição do macadame asfáltico devem ser utilizados agregados de mesma natureza.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

5.1.1. Ligante Asfáltico

Podem ser empregados os seguintes ligantes asfálticos:

a) CAP 30-45; CAP 50-60. CAP 85-100, CAP 150-200, classificação por penetração, atendendo ao especificado no regulamento técnico ANP no 3/2005 de 11/07/2005 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP; apresentada no Anexo 2, ou à especificação que estiver em vigor na época de sua utilização.

Todo o carregamento de ligante asfáltico 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.

Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

5.2. Agregados

Os agregados devem constituir-se de pedra, cascalho ou seixo rolado britado. Devem apresentar partículas sãs, limpas e duráveis, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. Devem atender aos seguintes requisitos:

a) Abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51, igual ou inferior a 50%, para agregado retido na peneira nº 10;
b) Durabilidade com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089, inferior a 12%,
c) O agregado obtido por britagem de seixos rolados, pelo menos 95% dos fragmentos retidos na peneira nº 4, em peso, devem apresentar uma ou mais faces resultantes de fratura;
d) Índice de forma superior a 0,5 e porcentagem de partículas lamelares inferior a 10%, conforme ABNT NBR 6954, para agregados retidos na peneira nº 4;
e) Adesividade agregado-ligante asfáltico satisfatória, conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584, caso contrário, deve-se empregar melhorador de adesividade.

5.3. Melhorador de Adesividade

A adesividade dos agregados ao ligante betuminoso é determinada conforme os métodos ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584.

Não havendo adesividade satisfatória entre o ligante asfáltico e os agregados graúdos e miúdos, deve-se empregar melhorador de adesividade na quantidade fixada experimentalmente.

5.4. Granulometria dos Agregados e Taxa de Aplicação do Ligante Asfáltico

Na Tabela 1 encontram-se indicadas as faixas granulométricas do agregado graúdo e miúdo recomendado e as quantidades de agregados e material asfáltico correspondentes.

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO								Tolerâncias
		A		B		C		D		
		Camadas		Camadas		Camadas		Camadas		
ASTM	mm	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	
3”	76,0	100	-	100	-	-	-	-	-	-
2 ½”	63,0	90-100	-	90-100	-	100	-	-	-	± 7%
2”	50,8	35-70	-	35-70	-	95-100	-	100	-	± 7%
1 ½”	38,1	0-15	-	0-15	-	35-70	-	95-100	-	± 7%
1”	25,4	-	100	-	100	0-15	100	20-55	-	± 7%
¾”	19,1	0-5	90-100	-	90-100	-	90-100	0-15	100	± 7%
½”	12,5	-	-	-	-	0-5	-	-	90-100	± 7%
3/8”	9,5	-	20-55	-	20-55	-	20-55	0-5	40-75	± 7%
Nº 4	4,8	-	0-10	-	0-10	-	0-10	-	5-25	± 5%
Nº 10	2,0	-	0-5	-	0-5	-	0-5	-	0-10	± 5%
Nº 40	0,42	-	-	-	-	-	-	-	0-5	± 5%
Espessura da Camada Compactada (cm)		9,0-10,0		6,5-7,5		5,0-6,5		4,0-5,0		-
Ligante Asfáltico Total (kg/m²)		7,9-10,0		5,6-7,9		4,5-6,8		3,4-5,4		± 5%
Agregado Graúdo (kg/m²)		190-217		136-163		109-136		81-109		-
Agregado Miúdo (kg/m²)		19-27		14-22		11-19		8-14		-

As quantidades constantes na Tabela 1 são indicativas; os valores exatos devem ser fixados no projeto e ajustados em campo no início dos serviços em trechos experimentais.

A escolha da faixa do agregado graúdo deve ser feita em função da espessura da camada a ser executada. A composição granulométrica deve atender aos seguintes requisitos:

a) O tamanho máximo do agregado deve ser igual ou inferior a 2/3 da espessura da camada. Define-se com tamanho máximo do agregado a abertura da peneira da faixa especificada para o material, através da qual passam 100% das partículas da amostra;
b) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na Tabela 1, porém sempre respeitando os limites da faixa granulométrica adotada.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela PMSJC/SP.

O equipamento básico para a execução da sub-base ou base de brita graduada compreende as seguintes unidades:

a) Depósitos de material asfáltico que permitam o aquecimento de maneira uniforme e sem riscos de oxidação; estes devem ter capacidade compatível com o consumo da obra;
b) Caminhão distribuidor de cimento asfáltico, com sistema de aquecimento, bomba de pressão regulável, barra de distribuição de circulação plena e dispositivos de regulagem horizontal e vertical, bicos de distribuição calibrados para aspersão em leque, tacômetros, manômetros e termômetros de fácil leitura, e mangueira de operação manual para aspersão em lugares inacessíveis à barra; o equipamento espargidor deve possuir certificado de aferição atualizado e aprovado pelo DER/SP; a aferição deve ser renovada a cada quatro meses, como regra geral, ou a qualquer momento, caso a fiscalização julgue necessário; durante o decorrer da obra deve-se manter controle constante de todos os dispositivos do equipamento espargidor;
c) Distribuidor de agregados autopropelido capaz de distribuir o agregado sem provocar segregação,
d) Motoniveladora;
e) Rolo de pneus autopropelido, de pressão regulável entre 0,25 MPa a 0,84 MPa, ou 2,5 kg/cm² a 8,8 kg/cm²;

f) Rolo compactador liso tipo tandem, pesando de 10 toneladas a 14 toneladas;
g) Compactadores manuais, uso eventual;
h) Vassouras mecânicas ou manuais;
i) Caminhões basculantes;
j) Pá-carregadeira ou retroescavadeira;
k) Duas réguas de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,0 m de comprimento;
l) Outras ferramentas, tais como: pás, enxadas, ancinhos, garfos, rastelos etc.

7. EXECUÇÃO

7.1. Distribuição do Agregado Graúdo

Sobre a pista convenientemente demarcada é iniciado o serviço, com a distribuição da camada de agregado graúdo, deve-se fazer o espalhamento em uma camada de espessura uniforme e homogênea, com o uso do distribuidor de agregados ou motoniveladora.

Após a aplicação do agregado, deve-se verificar cuidadosamente a homogeneidade de espalhamento, promovendo a correção de eventuais falhas, tanto de falta quanto de excesso de material. As falhas de distribuição devem ser corrigidas com processos e ferramentas manuais. Após a correção, a superfície deve ser regularizada com motoniveladora.

Durante a operação de espalhamento do agregado graúdo, deve-se evitar sua aplicação em excesso. Caso isto venha ocorrer, deve-se remover o material antes da compactação.

7.2. Compactação do Agregado Graúdo

A compactação deve sempre ser iniciada pelas bordas, tomando-se o cuidado de, nas primeiras passadas, fazer com que o rolo se apoie na base em construção e no acostamento. Nos trechos em tangente, a compactação deve prosseguir das bordas para o centro, em percurso equidistante da linha de base, eixo. O percurso ou passadas do equipamento utilizado deve distar entre si de forma tal que, em cada percurso, seja coberta metade de faixa do percurso anterior.

Nos trechos em curva, havendo sobrelevação, a compactação deve progredir da borda mais baixa para a mais alta, com percursos análogos aos descritos para trechos em tangente.

A compactação deve prosseguir até que o agregado adquira estabilidade suficiente, não seja empurrado, e nem ocorra sulcamento excessivo sob a ação

das rodas do rolo compactador em movimento. O número de passadas do equipamento, necessárias para compactação do agregado, deve ser determinado em trechos experimentais, no início dos trabalhos. A compactação de ser interrompida toda vez que se observar sinais de esmagamento do agregado.

Após o término da compactação da área deve-se verificar o greide longitudinal e das seções transversais, efetuando-se, com agregado graúdo, as correções, se necessário.

Em lugares inacessíveis ao equipamento de compactação ou onde seu emprego não for recomendável, a compactação requerida deve ser realizada à custa de compactadores portáteis, sejam vibratórios ou tipo sapos mecânicos.

7.3. Primeira Aplicação do Ligante Asfáltico

O ligante asfáltico deve ser aplicado pelo veículo distribuidor de uma só vez, em toda a largura da faixa a ser tratada, de modo uniforme, na taxa especificada em projeto e em temperatura determinada pela curva temperatura-viscosidade, que proporcione a melhor viscosidade de aplicação.

Durante a aplicação, devem ser evitados e corrigidos imediatamente o excedente ou a falta de ligante asfáltico, situação comum na execução das juntas transversais e longitudinais.

Para evitar excesso de ligante asfáltico na junta transversal ou longitudinal, deve-se colocar sobre a superfície da camada anterior uma faixa de papel adequado, com largura mínima de 0,80 m.

Quando o cimento asfáltico for aplicado em temperaturas superiores a 150 ºC, é importante executar a aplicação com a maior rapidez possível para aproveitar a viscosidade do ligante aquecido, o que garante melhor qualidade de aderência do ligante ao agregado. Também por esta razão, a extensão do cimento asfáltico aplicado deve ficar condicionada à capacidade de cobertura imediata pelo agregado miúdo.

7.4. Distribuição de Agregado Miúdo

Imediatamente após a aplicação do ligante asfáltico, deve-se executar a distribuição de agregado miúdo.

O equipamento de distribuição do agregado miúdo deve ser operado em marcha ré, de modo a evitar que suas rodas entrem em contato com o ligante asfáltico.

À medida que se executa a distribuição, as falhas eventualmente existentes devem ser corrigidas manualmente.

Após a distribuição, a camada de agregado miúdo deve ser regularizada por varredura, com equipamento adequado.

7.5. Compactação da Primeira Camada de Agregado Miúdo

A compactação deve iniciar-se imediatamente após a regularização da camada de agregado miúdo, de modo a aproveitar a viscosidade do material asfáltico ainda quente.

A compactação deve ser executada de forma análoga descrita para o agregado graúdo e prosseguir até que os fragmentos fiquem bem aglutinados pelo ligante asfáltico.

No final da compactação, a sub-base ou base em construção deve apresentar superfície lisa e não deve mover-se perceptivelmente sob a ação das rodas do compactador em movimento.

Nesta fase a compactação pode ser executada, a critério da fiscalização, com o rolo liso e o rolo de pneus, concomitantemente.

Após a rolagem final da superfície, deve ser feita verificação do greide longitudinal e transversal, com utilização das réguas, uma de 3,00 m e outra de 1,20 m, colocadas respectivamente em ângulo reto e paralelamente ao eixo da pista.

Após o término da compactação, a superfície da sub-base ou base em construção deve ser varrida, de modo a remover o material solto.

7.6. Segunda Aplicação do Ligante Asfáltico

Em seguida, deve-se executar a segunda distribuição do ligante asfáltico, de forma análoga e com os mesmos cuidados da primeira distribuição.

7.7. Abertura ao Tráfego

O tráfego não deve ser permitido durante a aplicação do ligante asfáltico ou dos agregados.

Decorridas 24 horas do término da compactação, o trânsito pode ser liberado de modo controlado, com velocidade máxima de 40 km/h. De cinco a dez dias após a abertura ao tráfego, deve ser feita varredura dos agregados não fixados pelo ligante e a camada deve estar pronta para receber o revestimento superior indicado.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

8.1. Materiais

8.1.1. Cimento Asfáltico

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

a) Um ensaio de penetração em 100 g, 5 s, a 25º C, conforme ABNT NBR 6576;
b) Um ensaio de viscosidade de Saybolt-Furol, conforme ABNT NBR 14950;
c) Um ensaio de ponto de fulgor, conforme ABNT NBR 11341;
d) Um ensaio determinação de formação de espuma, quando aquecido a 177º C.

Para cada 100 t:

a) Um índice de susceptibilidade térmica, determinado pelos ensaios ABNT NBR 6576 e ABNT NBR 6560;
b) Um ensaio de viscosidade Saybolt-Furol a diferentes temperaturas para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura, em no mínimo três pontos, conforme ABNT NBR 14950.

8.1.2. Agregados

Devem ser executados os seguintes ensaios nos agregados:

a) Abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51; um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
b) Durabilidade, conforme DNER ME 089; um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
c) Índice de forma e porcentagem de partículas lamelares, conforme ABNT NBR 6954, 1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
d) Granulometria para cada tipo de agregado graúdo ou miúdo, conforme ABNT NBR NM 248, dois ensaios por jornada de 8 horas trabalho em amostras coletadas na pista, coletadas com intervalo mínimo de 4 horas;
e) Adesividade dos agregados ao ligante asfáltico, conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584; para todo carregamento que cimento asfáltico que chegar na obra e sempre que houver variação da natureza dos materiais.

8.1.3. Melhorador de Adesividade

Quando a adesividade não for satisfatória e o melhorador de adesividade for incorporado na mistura, deve ser verificada novamente a adesividade conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584.

O controle da aplicação do melhorador de adesividade consiste na verificação sistemática da quantidade a ser incorporada ao ligante asfáltico, da forma de incorporação e do tempo de circulação.

8.2. Controle de Execução

8.2.1. Controle da Aplicação do Agregado Mineral

Devem ser feitos pelo menos dois controles da quantidade de agregado aplicado para cada dia de operação.

O controle de quantidade de agregados espalhados longitudinal e transversalmente deve ser feito mediante colocação de bandejas, de peso e área conhecidos, na pista onde houver o espalhamento; obtém-se a quantidade de agregados espalhada por intermédio de pesagens, após a passagem do dispositivo do distribuidor de agregados.

Este mesmo agregado deve servir para o ensaio de granulometria, que controlará a uniformidade do material utilizado.

8.2.2. Controle da Temperatura de Aplicação do Ligante Asfáltico

A temperatura do ligante asfáltico deve ser medida no caminhão distribuidor, imediatamente antes da aplicação, a fim de verificar se satisfaz o intervalo definido pela relação viscosidade x temperatura. A faixa de viscosidade Saybolt-Furol deve situar-se de 20 a 60 segundos.

8.2.3. Controle da Quantidade de Ligante Asfáltico

O controle da quantidade do material asfáltico aplicado deve ser feito da seguinte maneira: coloca-se na pista uma bandeja de peso e área conhecida mediante uma pesagem; após a passagem do carro distribuidor, obtém-se a quantidade de material asfáltico usada. Esta modalidade deve ser aplicada somente no caso de uso de barra espargidora.

8.3. Controle Geométrico e de Acabamento

8.3.1. Controle de Espessura e Cotas

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal a cada 20 m, conforme nota de serviço.

8.3.2. Controle da Largura e Alinhamento

A verificação do eixo e 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.

8.3.3. Controle do Acabamento da Superfície

As condições de acabamento geral da superfície devem ser apreciadas pela fiscalização em bases visuais, e durante a execução deve ser feito, em cada estaca da locação, o controle de acabamento da superfície, 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 pista.

8.4. 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, ou FWD, Falling Weight Deflectometer, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

O macadame betuminoso será medido através da área, em metros quadrados, efetivamente executado, atendendo à seção transversal e espessura preconizada no projeto.

Os serviços recebidos e medidos da forma descrita, serão pagos aos preços unitários contratuais respectivos, e esse pagamento constituirá remuneração única para todos os materiais, mão-de-obra, leis sociais equipamentos e outros recursos utilizados pelo empreiteiro, abrangendo inclusive benefício e despesas indiretas.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
CIMENTO ASFÁLTICO			
Penetração (100g, 5s, 25ºC) ABNT NBR 6576	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Ver especificação dos Cimentos Asfálticos no Anexo 2.
Viscosidade *Brookfield* ASTM D 4402			
Ponto de Fulgor ABNT NBR 11341			
Formação de Espuma Aquecido a 177 ºC			
Ponto de amolecimento ABNT NBR 6560			
Índice de Susceptibilidade Térmica ABNT NBR 6576 ABNT NBR 6560	1 ensaio para cada 100 t		
Viscosidade *Brookfield* a diferentes temperaturas para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura ASTM D 4402			

AGREGADO GRAÚDO E MIÚDO			
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≤ 50%
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	Não cúbicas inferior a 15%
Durabilidade com Sulfato de Sódio, em 5 Ciclos DNER ME 089	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≤ 12%
Granulometria do Agregado ABNT NBR NM 248	Dois ensaios por jornada de 8 h trabalho em amostras coletadas na pista coletadas com intervalo mínimo de 4 horas.	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	Apresentem variação dentro da definida pela faixa de trabalho do agregado.
MELHORADOR DE ADESIVIDADE			
Adesividade ligante-agregado ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	Três ensaios no início da utilização do ligante na obra, e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	Adesividade satisfatória, caso contrário aplicar melhorador.
Incorporação do Melhorador de Adesividade	todo carregamento de ligante asfáltico que chegar à obra.	Verificação Sistêmica	-

CONTROLE DA EXECUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
AGREGADOS			
Taxa de Aplicação Pesagens de bandejas	Dois ensaios para cada camada, por jornada de 8 horas trabalho em amostras coletada na pista para cada tipo de agregado.	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	± 15 % da taxa de projeto.
LIGANTE ASFÁLTICO			
Temperatura de Aplicação. Termômetro bimetálico com precisão de 5 ºC	Uma verificação antes de cada aplicação no caminhão espargidor.	Resultados individuais	A temperatura deve ser tal que a viscosidade Brookfield seja aprovada.
Taxa de Aplicação. Pesagens de bandejas	Dois ensaios para cada camada, por jornada de 8 horas 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	± 0,3 l/m² da taxa de projeto.

CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Espessura Relocação e nivelamento topográfico.	A cada 20 m, no eixo, bordas e dois pontos intermediários.	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 da espessura de projeto.
Cotas Relocação e nivelamento topográfico.	A cada 20 m	Resultados individuais	-2 cm a +1 cm da cota de projeto.
Largura da plataforma, desvios dos alinhamentos Medidas de trena		Resultados individuais	No máximo +10 cm.
Acabamento da superfície 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.		Resultados individuais	A variação da superfície em dois pontos quaisquer de contato deve ser < 0,5 cm e visualmente seja considerada satisfatória a distribuição dos agregados e ligante.

DEFLEXÕES			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinação deflectométrica, D_0 e D_{25} Viga Benkelman DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	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 sub-trecho deve ser a estabelecida em projeto.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

ANEXO 2 – CIMENTO ASFÁLTICO

ENSAIO	UNIDADE	LIMITES			
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200
Penetração (100g, 5s, 25 ºC) ABNT NBR 6576 ASTM D 5	0,1 mm	30-45	50-70	85-100	150-200
Ponto de Amolecimento, mín. ABNT NBR 6560 ASTM D 36	ºC	52	46	43	37
Viscosidade Brookfield - A 135 ºC, SP 21 mín. 20 rpm - A 150 ºC, SP 21 mín. - A 177 ºC, SP 21 mín. ASTM D 4402	cP	 374 203 76-285	 274 112 57-285	 214 97 28-114	 155 81 28-114
Índice de Susceptibilidade Térmica	-	(-1,5) a (+0,7)			(-1,5) a 100(+0,7)
Ponto de Fulgor, mín. ABNT NBR 11341 ASTM D 92	ºC	235	235	235	235
Solubilidade em Tricloroetileno, mín. ABNT NBR 14855 ASTM D 2042	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5
Ductilidade a 25 ºC, mín. ABNT NBR 6293 ASTM D 113	Cm	60	60	100	100
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 ºC, 85 min.					
Variação em massa, máx. ASTM D 2872	%	0,5	0,5	0,5	0,5
Ductilidade a 25 ºC, mín. ABNT NBR 6293 ASTM D 113	cm	10	20	50	50

Aumento do ponto de amolecimento, máx. ABNT NBR 6560 ASTM D 36	ºC	8	8	8	8
Penetração retida, min. ABNT NBR 6576 ASTM D 5	%	60	55	55	50

Observações:

$$\text{Índice de Susceptibilidade Térmica} = \frac{(500)\,(\log \text{PEN}) + (20)\,(\text{T}^{\circ}\text{C}) - 1951}{120 - (50)\,\log \text{PEN}) + (\text{T}^{\circ}\text{C})}$$

Onde: (T ºC) = ponto de amolecimento; PEN = penetração a 25 ºC, 100 g, 5 seg.

A variação em massa (%) é definida como: $AM = \frac{M_{inicial} - M_{final}}{M_{final}} x100$

Onde: $M_{inicial}$ = massa antes do ensaio RTFOT; M_{final} = massa após o ensaio RTFOT

A penetração retida é definida como: $\text{PEN retida} = \frac{PEN_{final}}{PEN_{inicial}} x100$

Onde: $PEN_{inicial}$ = penetração antes do ensaio RTFOT; PEN_{final} = penetração após o ensaio RTFOT

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de sub-base e base de macadame hidráulico, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Macadame hidráulico é a camada de base ou sub-base obtida por compactação de agregados graúdos, uniformemente distribuídos, cujos vazios são preenchidos com agregados miúdos, pó-de-pedra, uniformemente distribuídos, inicialmente a seco e depois adensados com ajuda de água. A estabilidade da camada é obtida a partir de compactação eficiente. Caso necessário, este processo pode ser repetido até se atingir a espessura final desejada.

Camada de bloqueio ou isolamento é a parte inferior da camada de macadame hidráulico, limitada à espessura de 0,04 m após a compactação, constituídos por finos resultantes da britagem, aplicada nos casos que o macadame hidráulico é assentado diretamente sobre os solos com mais de 35% passando na peneira de abertura de 0,075 mm.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR NM 51 – Agregado Graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”;
b) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica;
c) DNER-ME 089 – Agregado Graúdo – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
d) ABNT NBR 5564 Anexo A – Agregado Graúdo – Determinação da forma dos fragmentos da pedra britada;
e) ABNT NBR 6459 – Solo - Determinação do limite de liquidez;
f) ABNT NBR 7180 – Solo - Determinação do limite de plasticidade;
g) ABNT NBR 12052 – Agregado Miúdo – Determinação do equivalente de areia;
h) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
i) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, Falling Weight Deflectometer.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dia de chuva.

A camada de sub-base e base de macadame hidráulico só pode ser executada quando a camada subjacente estiver liberada, quanto aos requisitos de aceitação de materiais e execução.

A superfície deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade antes da execução da sub-base ou base de macadame hidráulico.

Durante todo o tempo de execução da sub-base ou base de macadame hidráulico, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

Não é admitida a complementação da espessura desejada pela adição excessiva de finos, os quais, acumulados sobre o agregado graúdo, possibilitam o aparecimento de trincas, escorregamentos e deformações no revestimento;

Quando se desejar camadas de bases ou sub-bases de espessura superior a 20 cm, os serviços devem ser executados em mais de uma camada de espessuras iguais.

No caso de construção em meia pista, é obrigatório o uso de formas ao longo do eixo da estrada; as formas devem ser metálicas ou de madeira, com espessura de no mínimo 5 cm.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

A camada de base ou sub-base de macadame hidráulico deve ser executada com agregados minerais que atendam aos requisitos seguintes.

5.1.1. Agregados Graúdos

O agregado graúdo deve ser constituído por pedra britada proveniente de rocha sã, livre de partículas macias ou de fácil desintegração, matéria orgânica ou outras substâncias e contaminações prejudiciais.

Devem ser executados os seguintes procedimentos:

a) Desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51, inferior a 50%;

b) Índice de forma superior a 0,5 e partículas lamelares inferiores a 10%, conforme ABNT NBR 6954;
c) A perda no ensaio de durabilidade conforme DNER ME 089, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 20%, e com sulfato de magnésio inferior a 30%.
d) O agregado graúdo deve ter diâmetro máximo compreendido entre 1/2 e 2/3 da espessura final da camada executada;
e) A curva granulométrica de projeto dos agregados graúdos deve satisfazer a uma das faixas especificadas na Tabela 1;
f) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na Tabela 1, porém, respeitando os limites da faixa granulométrica adotada.

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO			Tolerâncias
ASTM	mm	I	II	III	
4”	101,6	100	-	-	-
3 ½”	88,9	90-100	-	-	± 7%
3”	76,2	-	100	-	± 7%
2 ½”	63,5	25-60	90-100	100	± 7%
2”	50,8	-	35-70	90-100	± 7%
1 ½”	38,1	0-15	0-15	35-70	± 7%
1”	25,4	-	-	0-15	± 7%
¾”	19,1	0-15	0-5	-	± 7%
½”	12,7	-	0-2	0-5	± 7%
Espessura Máxima da Camada Acabada em cm		20,0	15,0	12,0	-

5.2. Agregado para Material de Enchimento

O material de enchimento deve ser constituído pelos finos resultantes de britagem, pó de pedra, isentos de impurezas tais como torrões de solo e materiais orgânicos. Deve satisfazer aos seguintes requisitos:

a) A curva granulométrica de projeto dos agregados miúdos deve satisfazer a uma das faixas especificadas na Tabela 2;

TABELA 2 – FAIXAS GRNULOMÉTRICAS DO MATERIAL DE ENCHIMENTO

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO		Tolerâncias
ASTM	mm	I	II	
¾”	19,1	100	-	-
½”	12,5	85-100	-	± 7%
3/8”	9,5	-	100	± 7%
Nº 4	4,8	-	85-100	± 5%
Nº 10	2,0	55-70	65-83	± 5%
Nº 40	0,42	30-50	35-50	± 7%

a) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na Tabela 2, porém respeitando os limites da faixa granulométrica;
b) O equivalente de areia, conforme a ABNT NBR 12052, deve ser igual ou superior a 55%;
c) A fração que passa na peneira de abertura 0,42 mm, nº 40, deve apresentar limite de liquidez determinado conforme ABNT NBR 6459, igual ou inferior a 25%, e índice de plasticidade inferior ou igual a 6%.

5.3. Agregado para Camada de Isolamento ou Bloqueio

O material da camada de isolamento ou bloqueio deve atender às seguintes condições:

a) A curva granulométrica de projeto dos agregados deve satisfazer a uma das faixas especificadas na Tabela 3;
b) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na Tabela 3, porém respeitando os limites da faixa granulométrica adotada;

TABELA 3 – FAIXAS GRNULOMÉTRICAS DA CAMADA DE BLOQUEIO

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO		Tolerâncias
ASTM	mm	I	II	
¾”	19,1	100	-	-
½”	12,5	80-100	-	± 7%
3/8”	9,5	70-100	-	± 7%
Nº 4	4,8	45-100	100	± 5%
Nº 10	2,0	25-65	55-100	± 5%
Nº 40	0,42	10-30	25-100	± 5%
Nº 200	0,074	0-8	0-12	± 2%
Utilizar para Enchimento do Agregado Graúdo da Faixa		I	II e III	-
Espessura da Camada em cm		4,0	4,0	-

c) O equivalente de areia, conforme ABNT NBR 12052, deve ser igual ou superior a 55%;
d) A fração que passa na peneira de abertura 0,42 mm, nº 40, deve apresentar limite de liquidez determinado conforme ABNT NBR 6459, igual ou inferior a 25%, e índice de plasticidade inferior ou igual a 6%.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela PMSJC/SP.

O equipamento básico para a execução da sub-base e base de macadame hidráulico compreende as seguintes unidades:

a) Caminhões basculantes;
b) Distribuidor de agregados ou motoniveladora pesada;
c) Rolo compressor de três rodas do tipo liso ou tandem, com peso de 10 t a 12 t, ou liso vibratório;
d) Rolo compactador pneumático de pressão variável;
e) Caminhão tanque irrigador de capacidade adequada ao serviço;
f) Compactadores portáteis vibratórios ou sapos mecânico;
g) Vassouras mecânicas ou vassourões;
h) Duas réguas de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,00 m de comprimento;

i) Equipamentos e ferramentas complementares: pás, carrinhos de mão, marretas, garfos, rastelos etc.

7. EXECUÇÃO

7.1. Preparo da Superfície

Os eventuais defeitos da superfície da camada subjacente devem ser necessariamente reparados antes da execução da sub-base.

7.2. Camada de Isolamento ou Bloqueio

A camada de isolamento aplica-se aos casos em que o macadame hidráulico é executado diretamente sobre o material que apresente mais do que 35%, em peso, passando na peneira de abertura de 0,074 mm, nº 200. Sua execução tem por objetivo evitar que o agregado graúdo penetre no material subjacente e que, como consequência, os finos existentes sejam bombeados e venham a contaminar a camada à executar.

Esta camada deve ser executada na largura da pista e deve possuir espessura de 4,0 cm após a compactação, com tolerância de mais um centímetro.

O espalhamento do material de bloqueio deve ser executado por motoniveladora. A acomodação da camada deve ser feita pela compactação, com emprego de rolo estático liso, preferencialmente, em uma ou, no máximo, duas coberturas.

7.3. Aplicação do Agregado Graúdo

Após a operação de carregamento e transporte por meio de caminhões basculantes, deve-se fazer o espalhamento em uma camada de espessura uniforme e homogênea, com o uso do distribuidor de agregados. Devem-se evitar processos que levem à segregação ou excesso de material.

Após o espalhamento do agregado graúdo, deve-se executar a verificação do greide longitudinal da seção transversal com cordéis ou gabaritos; caso ocorra deficiência ou excesso de material, deve-se efetuar a correção pela adição ou remoção do material. Onde ocorrer deficiência de material, utilizar sempre agregado graúdo representativo e de boa qualidade, sendo vetado o uso de agregado miúdo.

Os fragmentos alongados, lamelares ou de tamanho excessivo, existentes e visíveis na superfície do agregado espalhado devem ser removidos, e se necessário recomposto com agregado graúdo de boa qualidade.

7.4. Compactação do Agregado Graúdo

A compactação inicial deve ser feita mediante emprego de rolo de três rodas liso de 10 a 12 toneladas, em marcha ré, com velocidade reduzida de 30 a 40 m por minuto, ou rolo liso vibratório, aprovado pela fiscalização. Esta operação inicial a seco.

Nos trechos em tangente, a compactação deve partir sempre das bordas para o eixo, e, nas curvas, da borda interna para a borda externa. Em cada passada, o equipamento utilizado deve recobrir, ao menos, a metade da faixa anteriormente compactada.

Eventuais manobras do equipamento de compactação que impliquem variações direcionais prejudiciais devem se processar fora da área de compactação.

A operação de compactação deve prosseguir até que se consiga um bom entrosamento do agregado graúdo, que é normalmente obtida após duas ou três coberturas completas.

Após se obter a cobertura completa da área em compactação, deve-se realizar nova verificação do greide longitudinal e da seção transversal, efetuando-se, com o próprio agregado graúdo, as correções necessárias.

Em lugares inacessíveis ao equipamento de compactação ou onde seu emprego não for recomendável, a compactação requerida deve ser feita à custa de compactadores portáteis, manuais ou sapos mecânicos.

7.5. Operação de Enchimento e Travamento

O material de enchimento deve ser distribuído com motoniveladora ou distribuidor de agregados, o mais seco possível em camadas finas, em quantidade suficiente para preencher os vazios do agregado graúdo.

O espalhamento do material de enchimento é seguido da varrição manual ou mecânica, e da compactação, estas operações são realizadas uma ou mais vezes até que não haja mais penetração do material de enchimento a seco nos vazios do agregado graúdo.

Quando não for mais possível a penetração do material de enchimento a seco, deve-se iniciar a irrigação da camada. Simultaneamente com a irrigação deve-se espalhar mais material de enchimento e prosseguir com as operações de compactação.

A irrigação e a aplicação do material de enchimento devem prosseguir até que se forme, na frente do rolo, uma pasta de material de enchimento e água, fazendo com que a água ondule a frente do rolo.

A compactação é dada como concluída quando desaparecerem as ondulações da camada à frente do rolo e esta se apresente estável e compacta.

Após a limpeza da pista, caso se trate de camada de base, deve ser feito o umedecimento e nova rolagem de acabamento com rolo liso vibratório, preparando-se a base para sua impermeabilização através dos serviços de imprimação.

7.6. Abertura ao Tráfego

Concluída a compactação, a camada deve ser aberta ao tráfego da obra e dos usuários, de forma controlada e direcionada, mantendo-se a superfície umedecida. Esta etapa deve estender-se por período suficiente que permita a verificação de eventuais problemas localizados de travamento deficiente. Caso ocorram deficiências de travamento, devem ser executadas as correções pertinentes.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

8.1. Materiais

8.1.1. Agregado Graúdo

Devem ser executados os seguintes ensaios:

a) Abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51; 1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
b) Índice de forma e partículas lamelares, conforme ABNT NBR 6954; 1 ensaio a cada 1.500 m² de pista e sempre que houver variação da natureza do material;
c) Durabilidade com sulfato de sódio e sulfato de magnésio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089; 1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
d) Granulometria, conforme ABNT NBR 248, das amostras coletadas na pista após espalhamento do material, 2 ensaios por jornada de trabalho; as amostras devem ser coletadas com intervalo mínimo de 4 horas.

8.1.2. Agregados para Enchimento e Isolamento ou Bloqueio

Devem ser executados os seguintes ensaios nos materiais utilizados para enchimento e isolamento ou bloqueio:

a) Granulometria, conforme ABNT NBR 248, das amostras coletadas na pista após espalhamento do material, 2 ensaios por jornada de trabalho; as amostras devem ser coletadas com intervalo mínimo de 4 horas;
b) Equivalente de areia, determinado conforme ABNT NBR 12052; 1 ensaio por jornada de 8 h de trabalho;
c) Na fração que passa na peneira de abertura 0,42 mm, nº 40, realizar: 1 ensaio de limite de liquidez, determinado conforme ABNT NBR 6459, e um ensaio de limite de plasticidade, conforme ABNT NBR 7180; 1 ensaio a cada 1.500 m² de pista.

8.2. Controle de Execução

O controle da execução da sub-base ou base de macadame hidráulico deve ser realizado através de inspeção visual nos estoques de agregados, na operação de carregamento e nas operações de pista, como espalhamento, irrigação e compactação a seco e com irrigação, através dos seguintes procedimentos:

a) Verificar a uniformidade e espessura da camada de bloqueio conforme projeto;
b) A operação de carregamento dos materiais estocados pela ação da pá carregadeira deve ser realizada de forma criteriosa, em particular para os agregados graúdos que contenham alguma presença de finos; devem ser evitadas as zonas do depósito de agregado graúdo que contenham:
    - Alta concentração de finos;
    - Fragmentos lamelares ou fragmentos equigranulares de diâmetros intermediários, ambos de difícil travamento.
c) A compactação a seco deve prosseguir até se verifique o perfeito entrosamento dos agregados;
d) Verificação da irrigação e a aplicação do material de enchimento. Estas operações devem prosseguir até que se forme, na frente do rolo, uma pasta de material de enchimento e água, fazendo com que a água ondule a frente do rolo
e) A compactação final da camada é dada como concluída quando:
    - A compactação é dada como concluída quando desaparecerem as ondulações da camada à frente do rolo e esta se apresente estável e compacta;
    - Ao se colocar uma pedra de cerca de 2”, constatar-se o seu esmagamento pela passagem do rolo compactador, sem que esta penetre na camada.
f) Verificação visual da superfície da camada, quanto à deficiência de travamento ou ao excesso de finos.

8.3. Controle Geométrico e de Acabamento

8.3.1. Controle de Espessura e Cotas

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal a cada 20 m, conforme nota de serviço.

8.3.2. Controle da Largura e Alinhamento

A verificação do eixo e 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.

8.3.3. Controle do Acabamento da Superfície

O acabamento da superfície dos diversos segmentos concluídos é verificado com duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, nas diversas seções correspondentes às estacas da locação.

8.4. 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, ou FWD, Falling Weight Deflectometer, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A camada de Macadame Hidráulico, executada e recebida na forma descrita, será medida por metro cúbico executado e segundo a seção transversal de projeto.

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, transportes, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e outros gastos eventuais necessários à completa execução dos serviços. O serviço de macadame hidráulico inclui a camada de bloqueio e todas as operações e encargos a ela relacionados.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
AGREGADO GRAÚDO			
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	≤ 50%
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A		Resultados Individuais	Partículas não cúbicas inferior a 15%.
Durabilidade frente ao Sulfato de Sódio e Sulfato de Magnésio, em 5 ciclos DNER ME 089		Resultados Individuais	Sulfato de Sódio ≤ 20% Sulfato de Magnésio ≤ 30%
Análise Granulométrica ABNT NBR NM 248	2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho, em amostras coletadas após o espalhamento do material, com intervalo mínimo de 4 horas.	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro dos limites da faixa de trabalho do agregado.
AGREGADO PARA ENCHIMENTO E ISOLAMENTO			
Análise Granulométrica ABNT NBR NM 248	2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho, em amostras coletadas após o espalhamento do material, com intervalo mínimo de 4 horas.	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro dos limites da faixa de trabalho do agregado.
Equivalente de areia ABNT NBR 12052	1 ensaio por jornada de 8 h de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≥ 55%
Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade ABNT NBR 6459 ABNT NBR 7180	1 determinação a cada 1500 m² de pista	Resultados individuais	LL ≤ 25% e IP ≤ 6%

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Verificação operação de carregamento, com pá carregadeira Visual	Todo carregamento	Resultados Individuais	Evitar zonas de alta concentração de finos, equigranulares de diâmetros intermediários.
Verificação da compactação a seco Visual	Em cada faixa compactada	Resultados Individuais	Verifique-se o perfeito entrosamento dos agregados.
Verificação da irrigação e a aplicação do material de enchimento. Visual		Resultados Individuais	Estas operações devem prosseguir até que se forme, na frente do rolo, uma pasta de material de enchimento e água, fazendo com que a água ondule a frente do rolo.
Verificação da compactação final da camada. Visual		Resultados Individuais	A compactação é dada como concluída quando: Quando desaparecerem as ondulações da camada à frente do rolo e esta se apresente estável e compacta. Ao se colocar uma pedra de cerca de 2”, constatar-se o seu esmagamento pela passagem do rolo compactador, sem que esta penetre na camada.
Verificação da superfície da camada, quanto à deficiência de travamento ou ao excesso de finos. Visual		Resultados Individuais	Não ocorra excessos de finos na superfície e não se verifique falta de entrosamento dos agregados.

CONTROLE GEOMÉTRICO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Cotas Relocação e Nivelamento Topográfico Medidas de Trena	A cada 20m, no eixo, bordas e dois pontos intermediários.	Resultados Individuais	Variação das cotas no eixo longitudinal e das bordas, nas seções transversais não devem ser superiores a - 2,0 à +1,0 cm das cotas de projeto. O abaulamento da seção transversal deve estar compreendido de ±0,5%, em relação ao valor de projeto, não se admitindo depressões que propiciem acúmulo de água.
Espessura Relocação e Nivelamento Topográfico Medidas de Trena		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	Variação máxima admitida na espessura é de 10% da espessura de projeto, em qualquer ponto da camada. A espessura determinada estatisticamente deve estar compreendida no intervalo de ± 5% em relação a espessura prevista em projeto.
Largura de Alinhamentos da Plataforma Medidas de Trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm.
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da via.	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5 cm.

CONTROLE GEOMÉTRICO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinação das Deflexões Viga Benkelman – DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 20 m por faixa alternada, a cada 40 m na mesma faixa, determinar D_0;	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica de cada sub-trecho deve a estabelecida em projeto.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**0**	0,69	1,03	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento da imprimação asfáltica ligante, auxiliar de ligação ou pintura de cura, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE

Imprimação asfáltica ligante consiste na aplicação de película de material asfáltico sobre uma camada do pavimento, base coesiva ou camada asfáltica, visando promover a aderência desta superfície com outra camada de revestimento asfáltico subsequente.

Imprimação asfáltica auxiliar de ligação consiste na aplicação de película de material asfáltico sobre revestimentos antigos que irão receber uma camada de lama asfáltica fina ou grossa ou microrrevestimento asfáltico a frio.

Pintura de cura é a imprimação aplicada sobre camadas tratadas com cimento Portland ou cal hidratada recém executadas, com função de evitar a perda acelerada de umidade e, consequentemente promover condições adequadas para o desenvolvimento do processo de cura.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR 6293 – Ligantes asfálticos – Determinação da ductilidade;
b) ABNT NBR 6297 – Emulsão asfáltica de ruptura – Determinação da ruptura – Método da mistura com cimento;
c) ABNT NBR 6299 – Emulsões asfálticas – Determinação do pH;
d) ABNT NBR 6300 – Emulsões asfálticas catiônicas – Determinação da resistência à água (adesividade) em agregados graúdos;
e) ABNT NBR 6560 – Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola;
f) ABNT NBR 6567 – Emulsões asfálticas – Determinação da carga da partícula;
g) ABNT NBR 6568 – Emulsões asfálticas – Determinação do resíduo de destilação;
h) ABNT NBR 6569 – Emulsões asfálticas catiônicas – Determinação da desemulsibilidade;
i) ABNT NBR 6570 – Ligantes asfálticos – Determinação da sedimentação e estabilidade à estocagem de emulsões asfálticas;
j) ABNT NBR 6576 – Materiais asfálticos – Determinação da penetração;

k) ABNT NBR 14376 – Ligantes asfálticos – Determinação do teor do resíduo seco de emulsões asfálticas convencionais ou modificadas – Métodos expeditos;
l) ABNT NBR 14393 – Emulsões asfálticas – Determinação da peneiração;
m) ABNT NBR 14491 – Emulsões asfálticas – Determinação da viscosidade Saybolt Furol;
n) ABNT NBR 14855 – Ligantes asfálticos – Determinação da solubilidade em tricloroetileno;
o) ABNT NBR 15086 – Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetrol;
p) ABNT NBR 15184 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional.

4. CONDIÇÕES GERAIS - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE

O ligante betuminoso não deve ser distribuído quando a temperatura ambiente for inferior a 10 ºC, ou em dias de chuva, ou quando a superfície a ser pintada apresentar qualquer sinal de excesso de umidade.

Todo carregamento de ligante betuminoso que chegar à obra deve apresentar, por parte do fabricante/distribuidor, certificado de resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos nesta 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. Deve trazer também indicação clara de sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

É permitida a adoção de materiais alternativos, com menor agressividade ao meio ambiente, desde que autorizados pela fiscalização da obra e comprovada a sua eficácia.

Também é de responsabilidade da executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE

5.1. Emulsão Asfáltica

Na imprimação asfáltica ligante podem ser aplicados os seguintes materiais asfálticos:

- Emulsão catiônica de ruptura rápida RR-1C e RR-2C;

As emulsões asfálticas convencionais de ruptura rápida devem atender o especificado no Anexo 2, ou a especificação que estiver em vigor na época de sua utilização.

Todo o carregamento de emulsão asfáltica 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.

Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre o fabricante e o canteiro de obra.

5.1.1. Taxa de Aplicação

A definição do teor asfáltico é obtida experimentalmente, no canteiro da obra, variando a taxa de aplicação em função da superfície que irá receber a imprimação. A emulsão deve ser diluída de forma que a taxa de ligante residual atenda o especificado na Tabela 1.

TABELA 1 – CONSUMO DE MATERIAL E RESÍDUO ASFÁLTICO

Tipo de Imprimação	Consumo de Material l/m²	Resíduo Asfáltico l/m²
Imprimação Ligante	0,4 a 0,7	0,3 a 0,5
Imprimação Auxiliar de Ligação	0,3 a 0,6	0,2 a 0,4
Pintura de Cura	0,3 a 0,6	0,2 a 0,4

A taxa de aplicação da emulsão, definida em projeto, deve ser ajustada experimentalmente em campo e aprovada pela fiscalização.

A água empregada na diluição deve ser isenta de teores nocivos de sais ácidos, álcalis ou matéria orgânica e outras substancias nocivas.

6. EQUIPAMENTOS - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da imprimação ligante, auxiliar de ligação ou de cura, compreende as seguintes unidades:

a) Depósitos de material asfáltico, com sistema completo, com bomba de circulação, e que permitam, quando necessário, aquecimento adequado

e uniforme; devem ter capacidade compatível com o consumo da obra no mínimo para um dia de trabalho;

b) Vassouras rotativas mecânica, trator de pneus e vassouras manuais;
c) Jato de ar comprimido ou sopradores de ar;
d) Caminhão distribuidor de emulsão asfáltica, com sistema de aquecimento, bomba de pressão regulável, barra de distribuição de circulação plena e dispositivos de regulagem horizontal e vertical, bicos de distribuição calibrados para aspersão em leque, tacômetros, manômetros e termômetros de fácil leitura, e mangueira de operação manual para aspersão em lugares inacessíveis à barra; o equipamento espargidor deve possuir certificado de aferição atualizado que deverá ser aprovado pela PMSJC/SP; a aferição deve ser renovada a cada quatro meses, como regra geral, ou a qualquer momento, caso a fiscalização julgue necessário; durante o decorrer da obra deve-se manter controle constante de todos os dispositivos do equipamento espargidor;
e) Caminhão tanque irrigador de água.

7. EXECUÇÃO - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE

Antes da aplicação da imprimação asfáltica deve-se proceder à limpeza da superfície, que deve ser executada com emprego de vassouras mecânicas rotativas ou manuais, jato de ar comprimido, sopradores de ar ou, se necessário, lavagem. Devem ser removidos todos os materiais soltos e nocivos encontrados sobre a superfície da camada.

O material asfáltico não deve ser distribuído com temperatura ambiente abaixo de 10° C, em dias de chuva ou sob o risco de chuva.

A temperatura de aplicação do material asfáltico deve ser fixada para cada tipo de ligante em função da relação temperatura-viscosidade; deve ser escolhida a temperatura que proporcione a melhor viscosidade para espalhamento.

As faixas de viscosidade recomendadas para espalhamento são de 20 a 100 segundos, *Saybolt-Furol*.

No caso de aplicação do ligante asfáltico em bases ou sub-bases cimentadas, solo cimento, concreto magro etc., a superfície da base deve ser ligeiramente umedecida.

A distribuição do material asfáltico não pode ser iniciada enquanto a temperatura necessária à obtenção da viscosidade adequada à distribuição não for atingida e estabilizada.

Aplica-se, em seguida, o material asfáltico, na temperatura compatível com o seu tipo, na quantidade especificada no projeto e ajustada experimentalmente no campo e de maneira uniforme. O ligante deve ser aplicado de uma vez, em toda a largura da faixa a ser tratada. Durante a aplicação, devem ser evitados e corrigidos imediatamente o excedente ou falta de ligante.

Deve-se imprimar a pista inteira em um mesmo turno de trabalho e deixá-la, sempre que possível, fechada ao tráfego. Quando isto não for possível, deve-se trabalhar em meia pista, executando a imprimação da adjacente assim que a primeira for liberada ao tráfego.

Após a aplicação, o ligante asfáltico deve permanecer em repouso até que se verifiquem as condições ideais de ruptura, de acordo com a natureza e tipo do material asfáltico empregado.

Cabe à contratada a responsabilidade de manter dispositivo eficiente de controle do tráfego, de forma a não permitir a circulação de veículos sobre a área imprimada antes de completada a cura ou ruptura.

7.1. Abertura ao Tráfego

A imprimação ligante não deve ser submetida à ação direta das cargas e da abrasão do trânsito. No entanto a fiscalização poderá, a seu critério e excepcionalmente, autorizar o trânsito sobre as imprimações ligante, após verificadas as condições de cura e ruptura.

8. CONTROLE DE QUALIDADE - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE

No Anexo 1, estão apresentados os critérios de controle tecnológico e de aceitação dos serviços.

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 2 e 3.

8.1. Controle dos Materiais

Deve estar isenta de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais à hidratação do cimento.

Sempre que houver indícios sobre a má qualidade da água, verificar a sua sanidade conforme a ABNT NBR NM 137.

8.1.1. Controle dos Materiais

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

a) Um ensaio de viscosidade *Saybolt-Furol*, conforme NBR 14491, na temperatura indicada para o tipo de emulsão utilizada;
b) Um ensaio de resíduo asfáltico da emulsão, conforme NBR 6568;
c) Um ensaio de peneiração, conforme NBR 14393;
d) Um ensaio de sedimentação, conforme NBR 6570;
e) Sobre o resíduo da emulsão: 1 ensaio penetração, conforme NBR 6576; e 1 ensaio de ponto de amolecimento, conforme NBR 6560.

Para todo carregamento de emulsão asfáltica, que chegar a obra deve-se retirar uma amostra que será identificada e armazenada para possíveis ensaios posteriores.

8.2. Controle da Execução

8.2.1. Controle de Temperatura

A temperatura da emulsão asfáltica deve ser medida diretamente no caminhão distribuidor, imediatamente antes da aplicação, a fim de verificar se satisfaz ao intervalo de temperatura definido pela relação viscosidade-temperatura.

8.2.2. Controle da Taxa de Aplicação

O controle da taxa de aplicação (t) da imprimação ligante aplicada deve ser feito aleatoriamente, na borda esquerda, eixo ou borda direita, mediante a colocação de bandejas de peso e área conhecida, na pista onde está sendo feita a aplicação. Deve-se determinar uma taxa de aplicação para cada 200 metros de faixa imprimada, da barra do caminhão espargidor após sua passagem por intermédio de pesagens das bandejas.

8.3. Controle Geométrico

A verificação do eixo e das bordas deve ser feita durante os trabalhos de locação nas diversas seções correspondentes às estacas da locação. A largura da plataforma recoberta com a pintura de ligação deve ser determinada por medidas à trena, executadas pelo menos a cada 20 m, não se admitindo largura inferior à indicada no projeto.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE

Os serviços recebidos serão medidos em metros quadrados de imprimação de cada um dos tipos utilizados.

O pagamento será feito, após a aceitação e medição dos serviços executados, com base nos preços unitários contratuais, os quais representarão a compensação integral para todas as operações, transportes, materiais, perdas,

mão-de-obra, equipamentos, encargos e eventuais necessários à completa execução dos serviços.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONT. TEC. E ACEIT. – IMPRIMADURA LIGANTE

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
EMULSÃO ASFÁLTICA			
Viscosidade de *Saybolt-Furol* ABNT NBR 14491	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Atender o especificado no Anexo 2.
Determinação do Resíduo ABNT NBR 6568			
Carga da Partícula ABNT NBR 6567			
Peneiração ABNT NBR 14393			
Viscosidade *Saybolt-Furol* a diferentes temperaturas para o estabelecer a curva viscosidade-temperatura ABNT NBR 14491			
Sedimentação ABNT NBR 6570	1 ensaio para cada 100 t		

CONTROLE DA EXECUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Temperatura de Aplicação Termômetro bimetálico	Uma verificação antes da aplicação no caminhão espargidor distribuidor	Resultados Individuais	Parâmetro determinado pelo gráfico temperatura-viscosidade
Taxa de Aplicação – t Pesagens de bandejas	Uma determinação para cada faixa de espargimento e no máximo para cada 200 m	<u>Controle Bilateral</u> $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	± 0,2 l/m² da taxa de projeto recomendada e adequada experimentalmente no campo. O resíduo da emulsão deve ser para: Imprimação ligante: 0,3 a 0,5 l/m² Imprimação aux.: Ligação 0,2 a 0,4 l/m² Imprimação de cura: 0,2 a 0,4 l/m²

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

ANEXO 2 – EMULSÕES ASF. CAT. CONVENCIONAIS – IMPRIMADURA LIGANTE

EMULSÕES ASFÁLTICAS CATIÔNICAS CONVENCIONAIS		
ENSAIO	**RUPTURA RÁPIDA**	
	RR1C	**RR2C**
ENSAIOS SOBRE A EMULSÃO		
Viscosidade de *Saybolt-Furol*, S, a 25 ºC ABNT NBR 14491	Máximo 90	-
Viscosidade de *Saybolt-Furol*, S, a 50 ºC ABNT NBR 14491	-	100-400
Sedimentação, % peso, máx. ABNT NBR 6570	5	5
Peneiração 0,84 mm, % peso, máx. ABNT NBR 14393	0,10	0,10
Resistência à água, % mínima de cobertura ABNT NBR 6300	80	80
Mistura com cimento, % máxima ou filler silícico ABNT NBR 6297 ABNT NBR 6302	-	-
Carga de partícula ABNT NBR 6567	Positiva	Positiva
pH máximo ABNT NBR 6299	-	-
Destilação: Solvente destilado, % volume sobre resíduo da emulsão Resíduo, % mínima em peso ABNT NBR 6568	 0-3 62	 0-3 62
Resíduo seco, % peso, mínimo ABNT NBR 14376	62	67
Desemulsibilidade, % peso, mínima ABNT NBR 6569	50	50
ENSAIOS SOBRE O RESÍDUO DA EMULSÃO		
Penetração a 25 ºC, 100g, 5s, 0,1mm ABNT NBR 6576	40 a 150	40 a 150
Teor de Betume, % mínima em peso ABNT NBR 14855	97	97
Ductibilidade a 25 ºC, 5 cm/min, cm mínimo % ABNT NBR 6293	40	40

1. OBJETIVO - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento da imprimação asfáltica impermeabilizante, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE

Imprimação asfáltica impermeabilizante consiste na aplicação de película de material asfáltico sobre a superfície concluída de uma camada de base ou sub-base. Visa aumentar a coesão da superfície imprimada por meio da penetração do material asfáltico empregado, impermeabilizar a camada subjacente e, quando necessário, promover condições de aderência com a camada sobrejacente.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

q) ABNT NBR 5765 – Asfaltos diluídos – Determinação do ponto de fulgor – Vaso aberto Tag;
r) ABNT NBR 6293 – Ligantes asfálticos – Determinação da ductilidade;
s) ABNT NBR 6576 – Materiais asfálticos – Determinação da penetração;
t) ABNT NBR 9619 – Produtos de petróleo – Destilação à pressão atmosférica;
u) ABNT NBR 14236 – Produtos de petróleo e materiais betuminosos – Determinação do teor de água por destilação;
v) ABNT NBR 14756 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade cinemática;
w) ABNT NBR 14855 – Ligantes asfálticos – Determinação da solubilidade em tricloroetileno;
x) ABNT NBR 14950 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade Saybolt Furol.

4. CONDIÇÕES GERAIS - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE

O ligante betuminoso não deve ser distribuído quando a temperatura ambiente for inferior a 10 ºC, ou em dias de chuva, ou quando a superfície a ser imprimada apresentar qualquer sinal de excesso de umidade.

Todo carregamento de ligante betuminoso que chegar à obra deve apresentar, por parte do fabricante/distribuidor, certificado de resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos nesta 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 de 10 dias. Deve trazer também indicação clara de sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

É responsabilidade da executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE

5.1. Ligante Asfáltico

Deve ser empregado CM -30, asfalto diluídos de cura média.

Todo o carregamento de asfalto diluído 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.

Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

5.1.1. Taxa de Aplicação

A taxa de aplicação do asfalto diluído é obtida experimentalmente, variando-se a taxa de aplicação entre 0,7 l/m² a 1,5 l/m², em função do tipo e textura da camada a ser imprimada. A taxa determinada deve ser aquela que após 24 horas, produza uma película asfáltica consistente na superfície imprimada, sem excessos ou deficiências. Na Tabela 1, estão indicadas as taxas usuais de asfalto diluído para imprimação, em caráter orientativo.

TABELA 1 – TAXAS USUAIS DE ASFALTO DILUÍDO PARA IMPRIMAÇÃO

Camada	Taxa de Aplicação l/m²
Brita Graduada	0,9 a 1,3
Bica Corrida	1,0 a 1,3
Camadas Estabilizadas Granulometricamente	1,0 a 1,2
Solo Arenoso Fino	1,0 a 1,3
Solo Brita Arenoso	1,0 a 1,2
Solo Brita Argiloso	0,9 a 1,1

6. EQUIPAMENTOS - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da imprimação impermeabilizante compreende as seguintes unidades:

f) Depósitos de material asfáltico, que permitam o aquecimento adequado, de maneira uniforme, e que tenham capacidade compatível com o consumo da obra no mínimo para um dia de trabalho;
g) Vassouras mecânicas rotativas, trator de pneus e vassouras manuais;
h) Jato de ar comprimido ou sopradores de ar;
i) Caminhão distribuidor de cimento asfáltico, com sistema de aquecimento, bomba de pressão regulável, barra de distribuição de circulação plena e dispositivos de regulagem horizontal e vertical, bicos de distribuição calibrados para aspersão em leque, tacômetros, manômetros e termômetros de fácil leitura, e mangueira de operação manual para aspersão em lugares inacessíveis à barra; o equipamento espargidor deve possuir certificado de aferição atualizado e aprovado pela PMSJC/SP; a aferição deve ser renovada a cada quatro meses, como regra geral, ou a qualquer momento, caso a fiscalização julgue necessário; durante o decorrer da obra deve-se manter controle constante de todos os dispositivos do equipamento espargidor.

7. EXECUÇÃO - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE

Antes da aplicação da imprimação asfáltica deve-se proceder à limpeza da superfície, que deve ser executada com emprego de vassouras mecânicas rotativas ou manuais, jato de ar comprimido, sopradores de ar ou, se necessária lavagem. Devem ser removidos todos os materiais soltos e nocivos encontrados sobre a superfície da camada.

O material asfáltico não deve ser distribuído com temperatura ambiente abaixo de 10° C, em dias de chuva ou sob o risco de chuva.

A temperatura de aplicação do material asfáltico deve ser fixada em função da viscosidade da relação x viscosidade, a faixas de viscosidade recomendada para espalhamento para asfaltos diluídos são de 20 a 60 segundos, Saybolt-Furol.

A distribuição do material asfáltico não pode ser iniciada enquanto a temperatura necessária à obtenção da viscosidade adequada à distribuição não for atingida e estabilizada.

Devem-se tomar precauções no aquecimento dos asfaltos diluídos durante o transporte e armazenamento: em função do baixo ponto de fulgor dos produtos, o risco de incêndio é maior.

Aplica-se, em seguida, o material asfáltico, na temperatura compatível e na quantidade especificada e ajustada experimentalmente no campo e de maneira uniforme. A imprimação deve ser aplicada em uma vez, em toda a largura da faixa a ser tratada. Durante a aplicação, devem ser evitados e corrigidos imediatamente o excedente ou a falta do material asfáltico.

Deve-se imprimar a pista inteira em um mesmo turno de trabalho e deixá-la, sempre que possível fechada ao tráfego. Quando isto não for possível, deve-se trabalhar em meia pista, executando a imprimação da adjacente assim que a primeira for liberada ao tráfego.

Após a aplicação, o material asfáltico deve permanecer em repouso até que se verifiquem as condições ideais de penetração e cura, de acordo com a natureza e tipo do material asfáltico empregado.

Deve-se evitar o emprego de pedrisco ou areia, com a finalidade de permitir o tráfego sobre a superfície imprimada, não curada.

Cabe à contratada a responsabilidade de manter dispositivo eficiente de controle do tráfego, de forma a não permitir a circulação de veículos sobre a área imprimada antes de completada a cura.

7.1. Abertura ao Tráfego

A imprimação impermeabilizante não deve ser submetida à ação direta das cargas e da abrasão do trânsito. No entanto a fiscalização poderá, a seu critério e excepcionalmente, autorizar o trânsito sobre a imprimação depois de verificadas as condições previstas de penetração e cura.

8. CONTROLE DE QUALIDADE - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE

No Anexo 1, estão apresentados os critérios de controle tecnológico e de aceitação dos serviços.

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1 e 2.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Asfaltos Diluídos de Cura Média

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

a) Um ensaio de viscosidade cinemática a 60° C, conforme ABNT NBR 14756;
b) Um ensaio de viscosidade Saybolt Furol, conforme ABNT NBR 14950;
c) Um ensaio de ponto de fulgor, conforme ABNT NBR 5765;
d) Um ensaio de viscosidade Saybolt-Furol a diferentes temperaturas, para estabelecimento da curva viscosidade-temperatura, conforme ABNT NBR 14950.

8.2. Controle da Execução

8.2.1. Controle de Temperatura

A temperatura do asfalto diluído deve ser medida diretamente no caminhão distribuidor, imediatamente antes da aplicação, a fim de verificar se satisfaz ao intervalo de temperatura definido pela relação viscosidade-temperatura.

8.2.2. Controle da Taxa de Aplicação

O controle da taxa de aplicação (t) do asfalto diluído deve ser feito aleatoriamente, na borda esquerda, eixo ou borda direita, mediante a colocação de bandejas de peso e área conhecida na pista onde está sendo feita a aplicação. Deve-se determinar uma taxa de aplicação para cada 200 metros de faixa imprimada, da barra do caminhão espargidor após sua passagem por intermédio de pesagens das bandejas.

8.3. Controle Geométrico

A verificação do eixo e das bordas deve ser feita durante os trabalhos de locação nas diversas seções correspondentes às estacas da locação. A largura da plataforma imprimada deve ser determinada por medidas à trena, executadas pelo menos a cada 20 m, não se admitindo largura inferior da indicada no projeto.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO - IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE

Os serviços recebidos serão medidos em metros quadrados de imprimação de cada um dos tipos utilizados.

O pagamento será feito, após a aceitação e medição dos serviços executados, com base nos preços unitários contratuais, os quais representarão a compensação integral para todas as operações, transportes, materiais, perdas,

mão-de-obra, equipamentos, encargos e eventuais necessários à completa execução dos serviços.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONT. TEC. E ACEIT. – IMPRIM. IMPERMEAB.

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
ASFALTO DILUÍDO			
Viscosidade de *Saybolt-Furol* ABNT NBR 14950	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Atender o especificado no Anexo 2.
Viscosidade Cinemática ABNT NBR 14756			
Ponto de Fulgor ABNT NBR 5765			

CONTROLE DA EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Temperatura de Aplicação Termômetro bimetálico	Uma verificação antes da aplicação no caminhão espargidor distribuidor	Resultados Individuais	Dentro intervalo de viscosidade x temperatura definido para aplicação do material
Taxa de Aplicação – t Pesagens de bandejas	Uma determinação para cada faixa de espargimento e no máximo para cada 200 m	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 l/m² da taxa de projeto recomendada e adequada experimentalmente no campo

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

ANEXO 2 – ASFALTO DILUÍDO DE CURA MÉDIA - IMPRIM. IMPERMEAB.

ASFALTOS DILUÍDOS DE CURA MÉDIA	
ENSAIO	**CM-30**
ENSAIOS SOBRE ASFALTO DILUÍDO	
Viscosidade de Cinemática, a 60 ºC, cSt ABNT NBR 14756	30-60
Viscosidade de Saybolt-Furol, a 25ºC, s ABNT NBR 14950	75-150
Ponto de Fulgor (V. A. Tag), mínimo, ºC ABNT NBR 5765	38
Destilação até 360 ºC, % Volume do Total Destilado, máximo ABNT NBR 9619	A 225ºC: 25% Máximo A 260ºC: 40 a 70% A 316ºC: 75 a 93%
Resíduo a 360 ºC, por diferença, % volume mínimo ABNT NBR 14236	50
Resíduo a 360 ºC, por diferença, Água % volume máximo ABNT NBR 14236	0,2
ENSAIOS SOBRE O RESÍDUO DE DESTILAÇÃO	
Viscosidade absoluta a 60ºC, P ABNT NBR 5847	300 a 1200
Teor de Betume, % mínima em peso ABNT NBR 14855	99
Ductibilidade a 25 ºC, cm mínimo ABNT NBR 6293	100 Nota: No caso da ductibilidade a 25ºC ser menor que 100 cm, o material será aceito se o seu valor a 15ºC for maior que 100cm

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de tratamento superficiais, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Tratamento superficial é a camada de revestimento do pavimento constituída por uma ou mais aplicações de ligante asfáltico e uma ou mais aplicações sucessivas e alternadas de agregado mineral. Consiste na aplicação do ligante asfáltico sobre a base, seguida de distribuição de agregado, e sua compactação.

Tratamento superficial simples ou simplesmente TSS, é o tratamento superficial constituído por apenas uma aplicação de ligante asfáltico e uma aplicação de agregado mineral.

Tratamento superficial duplo ou TSD é o tratamento superficial formado por duas aplicações de ligante asfáltico e duas aplicações de agregado mineral, sucessivas e alternadas.

Tratamento superficial triplo ou TST é o tratamento superficial onde há aplicação de três camadas de ligante asfáltico e três aplicações de agregado mineral, sucessivas e alternadas.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão *Los Angeles*;
b) DNER-ME 089/94 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
c) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
d) ABNT NBR 5564 Anexo A – Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio;
e) ABNT NBR 6293 – Ligantes asfálticos – Determinação da ductilidade;
f) ABNT NBR 6297 – Emulsão asfáltica de ruptura – Determinação da ruptura – Método da mistura com cimento;
g) ABNT NBR 6299 – Emulsões asfálticas – Determinação do pH;
h) ABNT NBR 6300 – Emulsões asfálticas catiônicas – Determinação da resistência à água (adesividade) em agregados graúdos;

i) ABNT NBR 6560 – Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola;
j) ABNT NBR 6567 – Emulsões asfálticas – Determinação da carga da partícula;
k) ABNT NBR 6568 – Emulsões asfálticas – Determinação do resíduo de destilação;
l) ABNT NBR 6569 – Emulsões asfálticas catiônicas – Determinação da desemulsibilidade;
m) ABNT NBR 6570 – Ligantes asfálticos – Determinação da sedimentação e estabilidade à estocagem de emulsões asfálticas;
n) ABNT NBR 6576 – Materiais asfálticos – Determinação da penetração;
o) ABNT NBR 12583 – Agregado graúdo – Determinação da adesividade ao ligante betuminoso;
p) ABNT NBR 12584 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
q) ABNT NBR 14376 – Ligantes asfálticos – Determinação do teor do resíduo seco de emulsões asfálticas convencionais ou modificadas – Métodos expeditos;
r) ABNT NBR 14393 – Emulsões asfálticas – Determinação da peneiração;
s) ABNT NBR 14491 – Emulsões asfálticas – Determinação da viscosidade Saybolt Furol;
t) ABNT NBR 14855 – Ligantes asfálticos – Determinação da solubilidade em tricloroetileno;
u) ABNT NBR 15086 – Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetrol;
v) ABNT NBR 15184 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional;
w) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
x) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços durante dias de chuva ou sob o risco de chuva.

Os agregados devem ser estocados em área apropriada, e devem ser protegidos da poeira e de u partículas lançadas pelo tráfego de estradas próximas.

Os depósitos de ligante asfáltico devem permitir o aquecimento de maneira uniforme, e devem ter capacidade compatível com o consumo da obra

Os eventuais defeitos existentes na camada subjacente, panelas, depressões, escorregamentos etc. devem ser necessariamente reparados antes da execução da camada de tratamento.

Antes do início dos serviços é obrigatória, às expensas do contratado, a execução de trecho experimental. Após as verificações realizadas no segmento experimental, comprovando-se sua aceitação por atender aos limites definidos nesta especificação e pela fiscalização, a aplicação do tratamento superficial pode ser iniciada.

Admite-se que o material seja aplicado em superfície úmida, sem excesso de água.

Nenhum material asfáltico deve ser aplicado com temperatura ambiente inferior a 10º C.

A temperatura de aplicação do ligante asfáltico deve ser fixada para cada tipo de ligante em função da relação temperatura-viscosidade; deve ser escolhida a temperatura que proporcione a melhor viscosidade para espalhamento.

As faixas de viscosidade recomendadas para espalhamento das emulsões asfálticas é de 20 a 100 SSF.

No caso de utilização do melhorador de adesividade, deve-se exigir que a mistura do ligante e o aditivo seja efetuada na obra. A homogeneização da mistura deve ser realizada preferencialmente no equipamento espargidor.

O início da execução do tratamento superficial está condicionado à aferição do equipamento espargidor, deve-se verificar o perfeito funcionamento dos seus bicos, de modo a distribuir o material uniformemente, evitando o aparecimento de estrias longitudinais. Deve-se determinar a vazão do ligante, em função da velocidade do veículo, para atender a taxa de aplicação indicada no projeto ou determinada pela fiscalização.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

Os materiais constituintes dos tratamentos superficiais são os agregados minerais, ligantes asfálticos.

5.1. Ligante Asfáltico

Pode ser empregado o seguinte ligante asfáltico:

a) Emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida, tipo convencional, RR-2C.

A emulsão asfáltica convencional deve atender o especificado nos Anexo 2, respectivamente, ou a especificações que estiverem em vigor na época de sua utilização.

Todo o carregamento de material asfáltico 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.

Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

5.2. Agregado

Deve constituir-se por pedra britada ou seixo rolado britado, apresentando partículas sãs, limpas e duráveis, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. Deve atender aos seguintes requisitos:

a) Para agregado retido na peneira nº 10, a percentagem de desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles deve ser igual ou inferior a 50%, conforme ABNT NBR NM 51;
b) Perda no ensaio de durabilidade conforme DNER ME 089, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 12%;
c) Quando o agregado for obtido por britagem de seixos rolados, ao menos 95% dos fragmentos retidos na peneira nº 4, em peso, devem apresentar uma ou mais faces resultantes de fratura;
d) Índice de forma apresentando partículas não cúbicas inferiores a 15%, conforme ABNT NBR 5564 Anexo A;
e) A adesividade entre o agregado e o ligante asfáltico, conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584, deve ser satisfatória; caso contrário, deve-se empregar melhorador de adesividade;
f) Na composição dos tratamentos devem ser utilizados agregados da mesma natureza;
g) O agregado a ser utilizado na execução do tratamento deve ser lavado, isento de partículas pulverulentas,
h) Recomenda-se que os agregados utilizados nos tratamentos superficiais se enquadrem nas graduações apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 – FAIXAS GRANULOMÉTRICAS DE AGREGADOS

Peneira de Malha Quadrada		A	B	C	D	E	F
ASTM	**mm**	**% em Massa, Passando**					
1 ½"	37,5	100	100	100	100	100	100
1"	25,0	90-100	100	100	100	100	100
¾"	19,0	20-55	90-100	100	100	100	100
½"	12,5	0-10	20-55	90-100	100	100	100
3/8"	9,5	-	0-15	40-75	90-100	90-100	100
Nº 4	4,75	-	-	0-15	0-20	10-30	75-100
Nº 8	2,36	-	-	-	0-5	0-8	0-10
Nº 200	0,075	0-2	0-2	0-2	0-2	-02	0-2

i) As taxas de aplicação dos agregados e ligante asfáltico indicados nas Tabelas 2, são indicativas e devem ser ajustadas na pista;

j) Quando for empregado agregado poroso, deve-se considerar sua porosidade na fixação da taxa do ligante asfáltico.

TABELA 2 – SUGESTÃO DA COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS SUPERFICIAIS E QUANTIDADES DE MATERIAIS EM l/m², USANDO EMULSÃO ASFÁLTICA

SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES	TIPOS DE TRATAMENTO					
	SIMPLES	DUPLO			TRIPLO	
	1D	2DF	2CE	2BD	3BDF	3ACE
1º Camada CAP	1,3	1,0	1,2	1,4	1,4	1,4
Agregado Graduação G	-	-	-	-	-	-
Agregado Graduação F	-	-	-	-	-	-
Agregado Graduação D	8,5	9,0	-	-	-	-
Agregado Graduação C	-	-	12,0	-	-	-
Agregado Graduação B	-	-	-	15,0	14,0	-
Agregado Graduação A	-	-	-	-	-	18,0
2º Camada CAP	-	1,3	1,6	2,1	1,9	2,3
Agregado Graduação F	-	5,0	-	-	-	-
Agregado Graduação E	-	-	6,0	-	-	-
Agregado Graduação D	-	-	-	8,0	7,0	-
Agregado Graduação C	-	-	-	-	-	9,5
3º Camada CAP	-	-	-	-	0,8	1,0
Agregado Graduação E	-	-	-	-	-	5,0
Agregado Graduação F	-	-	-	-	5,0	-
Quantidades Totais						
Cimento Asfáltico (l/m²)	1,3	2,3	2,8	3,5	4,1	4,7
Agregado (l/m²)	8,5	14,0	18,0	23,0	26,0	32,5

As quantidades de emulsão foram calculadas a partir das taxas de aplicação recomendas para execução com cimento asfáltico, dos mesmos tipos de tratamento, utilizando-se a expressão:

$$Taxa\,de\,emulsão = \frac{taxa\,de\,CAP}{0{,}67 \times 1{,}15} \quad \text{ou} \quad Taxa\,de\,emulsão = \frac{taxa\,de\,CAP}{0{,}77}$$

Onde:

0,67 = resíduo de CAP na emulsão e

1,15 = correção decorrente do melhor envolvimento do agregado pela emulsão

Para diferentes resíduos de emulsão a taxa de emulsão deve ser reavaliada.

5.3. Melhorador de Adesividade

A adesividade do ligante asfáltico aos agregados é determinada conforme os métodos ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584. Quando não houver boa adesividade deve-se empregar aditivo melhorador de adesividade na quantidade fixada no projeto, repetindo-se os ensaios.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução dos serviços de tratamento superficiais compreende as seguintes unidades:

a) caminhão distribuidor de ligante asfáltico, com sistema de aquecimento, bomba de pressão regulável, barra de distribuição de circulação plena e dispositivos de regulagem horizontal e vertical, bicos de distribuição calibrados para aspersão em leque, tacômetros, manômetros e termômetros de fácil leitura, e mangueira de operação manual para aspersão em lugares inacessíveis à barra; o equipamento espargidor deve possuir certificado de aferição atualizado que deverá ser aprovado pela PMSJC/SP; a aferição deve ser renovada a cada quatro meses, como regra geral, ou a qualquer momento, caso a fiscalização julgue necessário; durante o decorrer da obra deve-se manter controle constante de todos os dispositivos do equipamento espargidor;
b) Distribuidor de agregados, rebocável ou automotriz, capaz de proporcionar distribuição homogênea dos agregados nas quantidades de projeto;
c) Plaina de arrasto;
d) Rolo de pneus autopropulsor, de pressão regulável entre 0,25 MPa a 0,84 MPa;
e) Compactador vibratório portátil ou sapos mecânicos, uso eventual;
f) Vassouras mecânicas rotativas ou manuais;
g) Compressor de ar, com potência suficiente para promover por jateamento, a limpeza da superfície a revestir;
h) Caminhões basculantes;
i) Pá-carregadeira ou retroescavadeira;
j) Vassouras de arrasto ou dispositivos similares, para corrigir possíveis falhas de distribuição dos agregados;

k) Duas réguas de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,0 m de comprimento;
l) Outras ferramentas, tais como: pás, enxadas, ancinhos, garfos, rastelos, etc.

7. EXECUÇÃO

7.1. Preparo da Superfície

Antes do início das operações da execução do tratamento superficial, deve-se limpar a pista para eliminar todas as partículas de pó, lamelas, material solto e tudo o mais que possa prejudicar a ligação da camada de base com o tratamento. Dependendo da natureza e do estado da superfície, podem ser usadas vassouras manuais ou mecânicas, jatos de ar comprimido, etc.

A adesividade do ligante asfáltico aos agregados pode ser prejudicada pela emissão de poeira, a fiscalização deve exigir a irrigação dos desvios de tráfego existentes junto às pistas.

7.2. Sequência de Operações

7.2.1. Tratamento Superficial Simples

A execução do tratamento superficial simples envolve basicamente as seguintes operações:

a) Limpeza da superfície subjacente;
b) Primeiro espargimento do ligante asfáltico:
   - O ligante deve ser aplicado de uma única vez, em toda a largura da faixa a ser tratada, de modo uniforme, na taxa especificada no projeto e em temperatura que proporcione viscosidade adequada à sua aplicação;
   - Durante a aplicação, devem ser evitados e corrigidos imediatamente o excedente ou a falta de ligante, situação comum na execução das juntas transversais e longitudinais;
   - Para evitar excesso de ligante na junta transversal ou longitudinal, deve-se colocar sobre a superfície da camada anterior uma faixa de papel betuminoso, com largura mínima de 0,80 m;
   - Na opção do uso do cimento asfáltico, é importante executar a etapa com a maior rapidez possível para aproveitar a viscosidade do ligante aquecido, o que garante melhor qualidade do tratamento. Também por esta razão, a extensão do material asfáltico aplicado deve ficar condicionada à capacidade de cobertura imediata com agregado.
c) Primeira distribuição dos agregados:

- Após a aplicação do agregado com equipamento distribuidor, deve-se verificar cuidadosamente a homogeneidade de espalhamento, promovendo-se a correção de eventuais falhas, tanto de falta quanto de excesso de material, quando necessário as correções podem ser realizadas com a utilização de vassouras de arrasto;
- A aplicação dos agregados sobre a ligante asfáltico deve ser feita imediatamente após o término do espargimento.

d) Compactação da primeira camada:
   - Na sequência, deve-se proceder à rolagem da camada com utilização exclusiva do rolo pneumático, variando-se a pressão e utilizando um número de coberturas tantas vezes quanto necessário para proporcionar perfeita acomodação do agregado, sem causar danos à superfície;
   - A compactação da camada deve ser executada no sentido longitudinal, iniciando no lado mais baixo da seção transversal e progredindo no sentido do lado mais alto;
   - Em cada passada o equipamento deve recobrir, no mínimo, a metade da largura da faixa anteriormente coberta ou rolada, com os cuidados necessários para evitar deslocamentos, esmagamento do agregado e contaminações prejudiciais;
   - Nos locais inacessíveis aos rolos compactadores, como cabeceiras de obra de arte etc., a compactação deve ser executada com compactadores portáteis, manuais ou mecânico.

7.2.2. Tratamento Superficial Duplo

a) Proceder de forma análoga a descrita no item 7.3.1, para execução da primeira camada;
b) Segundo espargimento do ligante asfáltico, ou segunda camada para o TSD:
   - Sequência executiva da segunda camada de modo idêntico à primeira.
c) Segunda distribuição do agregado, ou segunda camada para o TSD:
   - Sequência executiva da segunda camada de modo idêntico à primeira;
d) Eliminação dos rejeitos:
   - Após a compactação da camada final, obtida a fixação dos agregados, deve-se fazer varredura leve do material solo.

Não deve haver coincidência entre as juntas longitudinais e transversais das camadas sucessivas; para tanto, deve-se prever defasagem entre elas.

7.2.3. Tratamento Superficial Triplo

a) Proceder de forma análoga a descrita no item 5.3.1, para execução da primeira camada;
b) Segundo espargimento do ligante asfáltico, ou segunda camada para o TST:
   - Sequência executiva da segunda camada de modo idêntico à primeira.
c) Segunda distribuição do agregado, ou segunda camada para o TST:
   - Sequência executiva da segunda camada de modo idêntico à primeira.
d) Terceiro espargimento do ligante asfáltico, ou terceira para o TST:
   - Sequência executiva da terceira camada de modo idêntico à segunda.
e) Terceira distribuição do agregado, ou segunda camada para o TST:
   - Sequência executiva da terceira camada de modo idêntico à segunda.
f) Eliminação dos rejeitos:
   - Após a compactação da camada final, obtida a fixação dos agregados, deve-se fazer varredura leve do material solo.

Não deve haver coincidência entre as juntas longitudinais e transversais das camadas sucessivas; para tanto, deve-se prever defasagem entre elas.

7.2.4. Banho diluído

Caso no projeto com emulsão asfáltica convencional tenha sido contemplado a aplicação de um banho diluído sobre a superfície final do tratamento superficial simples, duplo ou triplo, a quantidade de ligante da última camada deve ser diminuído da quantidade de ligante a ser utilizado no banho diluído, mantendo a quantidade total de ligante definida no projeto.

Respeitar a quantidade de água de diluição indicada no projeto de dosagem do tratamento superficial.

7.3. Abertura ao Tráfego

O tráfego não deve ser permitido durante a aplicação do ligante asfáltico ou do espalhamento dos agregados.

Na alternativa do uso da emulsão asfáltica, o tráfego só pode ser liberado após certeza do desenvolvimento completo da adesividade passiva, ou seja, resistência ao arrancamento. Esta propriedade, nesta alternativa, requer tempos maiores, de 24 a 48 horas, dependendo das condições climáticas. Após este período, o revestimento deve ser rolado com o rolo de pneu, uma só passada, com sobreposição, para se obter a conformação final da superfície.

Se possível, o trânsito deve ser controlado, com velocidade máxima de 40 km/h.

Na utilização do cimento asfáltico, a liberação do tráfego pode processar-se após o resfriamento total do ligante, no período de 12 horas. Se possível, o trânsito deve ser controlado, com a velocidade máxima de 40 km/h pelo período mínimo de 48 horas.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1, 2, 3, 4 e 5.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Emulsão Asfáltica Convencional

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

a) Um ensaio de viscosidade *Saybolt-Furol*, conforme ABNT NBR 14491, a 50 °C para emulsões catiônicas RR;
b) Um ensaio de resíduo por destilação conforme ABNT NBR 6568;
c) Um ensaio de peneiração, conforme ABNT NBR 14393;
d) Um ensaio de viscosidade *Saybolt-Furol* a diferentes temperaturas, para estabelecimento da curva viscosidade-temperatura, conforme ABNT NBR 14491.

Para cada 100 t, deve ser efetuado um ensaio de sedimentação, conforme ABNT NBR 6570.

8.1.2. Agregados

Deve-se executar os seguintes ensaios:

a) Abrasão Los Angeles, para agregado retido na peneira nº 10, conforme ABNT NBR NM 51, no início dos trabalhos ou quando houver variação na natureza do material;
b) Durabilidade, conforme DNER ME 089, no início dos trabalhos ou quando houver variação na natureza do material;
c) Índice de forma superior e partículas lamelares, para agregados retidos na peneira nº 4, conforme ABNT NBR 6954, cada 900 m³ do agregado;
d) Adesividade, conforme ABNT NBR 6300, a cada carregamento de ligante asfáltico que chegar na obra e sempre que houver variação na natureza dos agregados;

e) Granulometria conforme ABNT NBR NM 248; um ensaio por jornada de 8 horas trabalho.

8.2. Melhorador de Adesividade

Quando a adesividade não for satisfatória e o melhorador de adesividade for incorporado, deve-se verificar novamente a adesividade conforme ABNT NBR 6300.

8.3. Execução

8.3.1. Controle da Aplicação do Agregado Mineral

Deve-se executar no mínimo uma determinação da taxa de agregado para cada faixa de espalhamento e no máximo para cada 700 m², em l/m².

- O controle de quantidade de agregados espalhados deve ser feito mediante colocação de bandejas de peso e área sejam conhecidos, na pista onde houver o espalhamento; obtém-se a quantidade de agregados espalhada por intermédio de pesagens, após a passagem do equipamento do espalhador. Determinar a taxa de aplicação em l/m².

8.3.2. Controle da Aplicação do Ligante Asfáltico

Constitui-se por:

a) Verificação da temperatura do ligante asfáltico, imediatamente antes da aplicação no caminhão espargidor, comparando-se com a obtida no gráfico temperatura-viscosidade;
b) Controle visual da uniformidade da aplicação do ligante asfáltico; está diretamente ligado às perfeitas condições da utilização do equipamento, bicos desentupidos, velocidade controlada e temperaturas fixadas;
c) Determinar a taxa de aplicação do ligante asfáltico, para cada faixa de espargimento a cada 700 m² de aplicação, mediante a colocação de bandejas de peso e área conhecidos na pista onde está sendo feita a aplicação; obtém-se a quantidade de material asfáltico ou material ligante asfáltico por intermédio de pesagens, após a passagem do carro distribuidor. Quando utilizada emulsão asfáltica determinar a taxa de aplicação no asfalto residual, isto é, após a evaporação, e obtenção de peso constante da bandeja. A taxa de aplicação é determinada em l/m².
d) O peso da emulsão também pode ser calculado em função do teor de água determinado no resíduo por evaporação.

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

8.4.1. Controle da Largura

A largura da plataforma tratada deve ser determinada através de medidas de trena a cada 20 m.

8.4.2. Controle de Acabamento da Superfície

As condições de acabamento geral da superfície serão apreciadas pela fiscalização em bases visuais. Em cada estaca da locação, o controle de acabamento da superfície deve ser feito com 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 pista.

8.5. 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, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

Todos os tipos de tratamento superficial serão medidos através da área executada, em metros quadrados.

O preço remunera os custos unitários de todas as operações e encargos para a execução do tratamento superficial betuminoso incluindo o armazenamento, perdas e transporte do material betuminoso, dos tanques de estocagem à pista, bem como a produção e o transporte dos agregados.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
EMULSÃO ASFÁLTICA CONVENCIONAL			
Viscosidade de *Saybolt-Furol* ABNT NBR 14491	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Ver especificação para Emulsão Asfáltica no Anexo 4.
Determinação do Resíduo ABNT NBR 6568			
Carga da Partícula ABNT NBR 6567			
Peneiração ABNT NBR 14393			
Viscosidade de *Saybolt-Furol* a diferentes temperaturas para o estabelecer a curva viscosidade x temperatura ABNT NBR 14491			
Sedimentação ABNT NBR 6570	1 ensaio para cada 100 t		
AGREGADO GRAÚDO E MIÚDO			
Abrasão Los Angeles, para agregado retido na peneira nº 10 ABNT NBR NM 51	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	< 50%
Durabilidade com sulfato de sódio, em 5 ciclos ABNT DNER ME 089			≤ 12%
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A			Não cúbicas inferior a 15%
Granulometria do agregado ABNT NBR NM 248	1 ensaio por jornada de 8 h trabalho.		Faixas granulométricas indicada na Tabela 1, obedecer às tolerâncias para cada peneira.
Adesividade ao ligante asfáltico ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	1 ensaio a cada carregamento de ligante asfáltico que chegar na obra e sempre que houver variação alteração na natureza dos agregados.		Adesividade satisfatória, Adesividade insatisfatória empregar melhorador

MELHORADOR DE ADESIVIDADE			
Adesividade agregado-ligante ABNT NBR 6300	1 ensaio no início da utilização do ligante na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	Adesividade satisfatória.
Incorporação do Melhorador de Adesividade	Todo carregamento que chegar à obra.	Verificação Sistêmica	-

CONTROLE DA EXECUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
LIGANTE ASFÁLTICO			
Temperatura de Aplicação. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	Uma verificação antes da aplicação no caminhão espargidor.	Resultados individuais	Dentro da faixa de temperatura adequada para aplicação, definida pela relação temperatura-viscosidade.
Taxa de Aplicação. Pesagens de bandejas	Uma determinação para cada faixa de espargimento e no máximo para cada 700 m²	Resultados individuais	± 15% da taxa da dosagem.
Quando utilizada emulsão asfáltica, determinar a taxa de aplicação, em l/m², no asfalto residual, isto é, após a evaporação, e obtenção de peso constante da bandeja. O peso da emulsão também pode ser calculado em função do teor de água determinado no resíduo por evaporação			
AGREGADOS			
Taxa de Aplicação Pesagens de bandejas	Uma determinação para cada faixa de espalhamento e no máximo para cada 700 m²	Resultados individuais	Taxa de agregados, por aplicação é ± 15% da taxa da dosagem. Taxa de agregados total é ± 8 % da taxa da dosagem.

CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
GEOMÉTRICO			
Largura e alinhamentos da plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados individuais	Não se admite valores para semi-largura inferiores as de projeto.
ACABAMENTO			
Acabamento da superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada.	A cada 20 m	Resultados individuais	O abaulamento transversal esteja compreendido na faixa de ± 0,5 % em relação ao valor de projeto, não se admitindo depressões que propiciem o acúmulo de água.
A verificação do acabamento da superfície da camada deve ser feita também em bases visuais e será aceita se: Verificar a homogeneidade da distribuição dos materiais – ligante e agregado.			

DEFLEXÕES			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinação das deflexões Viga Benkelman DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 20 m por faixa alternada, a cada 40 m na mesma faixa, determinar D_0;	Controle Unilateral $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica de cada sub-trecho deve ser a estabelecida em projeto.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

ANEXO 2 – EMULSÕES ASFÁLTICAS CATIÔNICAS CONVENCIONAIS

EMULSÕES ASFÁLTICAS CATIÔNICAS CONVENCIONAIS	
ENSAIO	**RUPTURA RÁPIDA**
	RR-2C
ENSAIOS SOBRE A EMULSÃO	
Viscosidade de *Saybolt-Furol*, S, a 25 ºC ABNT NBR 14491	100-400
Peneiração 0,84 mm, % peso, máx. ABNT NBR 6570 ABNT NBR 14393	5
Resistência à água, % mínima de cobertura ABNT NBR 6300	0,1
Mistura com cimento, % máxima ou filler silícico ABNT NBR 6297 ABNT NBR 6302	- -
Carga de partícula ABNT NBR 6567	Positiva
pH máximo ABNT NBR 6299	-
Destilação: Solvente destilado, % volume sobre resíduo da emulsão Resíduo, % mínima em peso ABNT NBR 6568	0-3
Resíduo seco, % peso, mínimo ABNT NBR 14376	67
Desemulsibilidade, % peso, mínima ABNT NBR 6569	50
ENSAIOS SOBRE O RESÍDUO DA EMULSÃO	
Penetração a 25 ºC, 100g, 5s, 0,1mm ABNT NBR 6576	50-250
Teor de Betume, % mínima em peso ABNT NBR 14855	97
Ductibilidade a 25 ºC, 5 cm/min, cm mínimo % ABNT NBR 6293	40

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de pré-misturado a quente, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Pré-misturado a quente, PMQ, é uma mistura executada a quente, em usina apropriada, composta de agregado graduado, cimento asfáltico e, se necessário, melhorador de adesividade, espalhada e compactada a quente, com volume de vazios maior do que 12%. O pré-misturado a quente pode ser empregado como camada de regularização, de ligação, binder ou base.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) DNER-ME 043/95 – Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall;
b) DNER-ME 053/94 – Misturas Betuminosas – Percentagem de Betume;
c) DNER-ME 089/94 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
d) DNER-ME 117/94 – Mistura betuminosa – Determinação da densidade aparente;
e) DNER-ME 401/99 – Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – IDML e sem ligante - IDM;
f) DNER-PRO 164/94 – Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e *Maysmeter*);
g) DNER-PRO 182/94 – Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e *Maysmeter*;
h) DNER-PRO 173/86 – Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta;
i) ABNT NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão *Los Angeles*;
j) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
k) ABNT NBR 5564 – Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio;
l) ABNT NBR 6293 – Ligantes asfálticos – Determinação da ductilidade;
m) ABNT NBR 6560 – Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola;
n) ABNT NBR 6576 – Materiais asfálticos – Determinação da penetração;

o) ABNT NBR 11341 – Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland;
p) ABNT NBR 12052 – Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia - Método de ensaio;
q) ABNT NBR 12583 – Agregado graúdo – Determinação da adesividade ao ligante betuminoso;
r) ABNT NBR 12584 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
s) ABNT NBR 12891 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
t) ABNT NBR 14855 – Ligantes asfálticos – Determinação da solubilidade em tricloroetileno;
u) ABNT NBR 15086 – Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetrol;
v) ABNT NBR 15087 – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral;
w) ABNT NBR 15184 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional;
x) ABNT NBR 15235 – Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional;
y) ASTM E 303 – *Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*;
z) ASTM E 1845 – *Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth*;
aa) ASTM D 2041 – *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures*;
bb) ASTM D 2872 – *Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)*;
cc) ASTM D 4402 – *Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer*;
dd) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
ee) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

O pré-misturado a quente somente deve ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10 ºC.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

Os materiais constituintes do concreto asfáltico são: agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento, filler, ligante asfáltico, e melhorador de adesividade, se necessário.

Os materiais utilizados devem satisfazer às normas pertinentes e às especificações aprovadas pela PMSJC/SP.

5.1. Cimento Asfáltico

Podem ser empregados os seguintes cimentos asfálticos:

- CAP 30-45 ou CAP 50-70, classificação por penetração, atendendo ao especificado na Resolução nº 19, de 11/07/2005 e no regulamento técnico ANP noº 3/2005 de 11/07/2005 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP; apresentada no Anexo 2;

Todo o carregamento de cimento asfáltico 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.

Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

5.2. Agregados

5.2.1. Agregado Graúdo

Deve constituir-se por pedra britada ou seixo rolado britado, 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 50%, conforme ABNT NBR NM 51;
b) Admite-se excepcionalmente agregados com valores com índice de desgaste Los Angeles superior a 50% se:
    - Apresentarem comprovadamente desempenho satisfatório em utilização anterior; a degradação do agregado após a compactação Marshall, com ligante IDml, e sem ligante IDm, determinada conforme método DNER ME 401, deve apresentar valores IDml ≤ 5% e IDm ≤ 8%.

c) Quando obtidos por britagem de pedregulhos, 90% em massa dos fragmentos retidos na peneira no 4, de 4,8 mm, devem apresentar no mínimo uma face fragmentada pela britagem;
d) Índice de forma apresentando partículas não cúbicas inferiores a 15%, conforme ABNT NBR 5564 Anexo A;
e) Os agregados utilizados devem apresentar perdas inferiores a 12% quando submetidos à avaliação da durabilidade com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089.

5.2.2. Agregado Miúdo

Pode constituir-se por areia, pó de pedra ou mistura de ambos. Deve apresentar partículas individuais resistentes, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. Deve ser atendido, ainda, o seguinte requisito:

a) O equivalente de areia conforme ABNT NBR 12052 da mistura dos agregados miúdos, deve ser igual ou superior a 55%.

5.2.3. Melhorador de Adesividade

A adesividade do ligante asfáltico aos agregados é determinada conforme os métodos ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584. Quando não houver boa adesividade deve-se empregar aditivo melhorador de adesividade na quantidade determinada na dosagem do produto.

5.3. Composição da Mistura

A faixa granulométrica a ser empregada deve ser selecionada em função da utilização prevista para o concreto asfáltico. Caso a mistura asfáltica seja utilizada como camada de rolamento, deve-se conferir especial atenção à seleção da granulometria de projeto, tendo em vista a obtenção de rugosidade que assegure adequadas condições de segurança ao tráfego.

A composição da mistura deve satisfazer aos requisitos apresentados na Tabela 2.

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Peneira de Malha Quadrada		25,0	19,0	12,5	9,5	Tolerância
ASTM	mm	% em Massa, Passando				
1 ½”	37,5	100	100	100	100	-
1”	25,0	90-100	100	100	100	± 7%
¾”	19,0	-	-	100	95-100	± 7%
½”	12,5	25-60	45-75	65-95	-	± 7%
3/8”	9,5	-	-	-	45-70	± 7%
Nº 4	4,75	0-10	5-30	5-35	20-40	± 5%
Nº 10	2,0	0-4	0-6	0-10	10-25	± 5%
Nº 200	0,075	0-2	0-2	0-2	0-8	± 2%

O projeto da dosagem da mistura deve atender aos seguintes requisitos:

a) O tamanho máximo do agregado da faixa adotada deve ser inferior a 2/3 da espessura da camada compactada;
b) A fração retida entre duas peneiras consecutivas não deve ser inferior a 4% do total;
c) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer a tolerância indicada para cada peneira na Tabela 1, porém, respeitando os limites da faixa granulométrica adotada;
d) Os corpos-de-prova Marshall devem ser moldados conforme NBR 12891, com 75 golpes por face;
e) A composição da mistura deve satisfazer os requisitos apresentados na Tabela 2, com as respectivas tolerâncias no que diz respeito à granulometria;
f) O teor ótimo de ligante do projeto de mistura asfáltica deve corresponder àquele que atende simultaneamente aos requisitos apresentados na Tabela 2;
g) O projeto de dosagem deve ser refeito periodicamente, no mínimo a cada 6 meses, e todas as vezes que ocorrer alteração de algum dos materiais constituintes da mistura.

TABELA 2 – REQUISITOS PARA O PROJETO MISTURA ASFÁLTICA

Características	Método de Ensaio	Camada de Ligação
Volume de Vazios, %	ASTM D 3203	> 12 para as faixas I, II e III 18 a 20 para faixa IV
Escorrimento de ligante asfáltico na temperatura de produção, máximo, %	ASTM D 6390 AASHTO T 305 "Ensaio de Schellenberg"	0,3

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução dos serviços de concreto asfáltico compreende as seguintes unidades:

6.1. Depósito para Cimento Asfáltico

Os depósitos para o cimento asfáltico devem ser capazes de aquecer o material conforme as exigências técnicas estabelecidas, atendendo aos seguintes requisitos:

a) O aquecimento deve ser efetuado por meio de serpentinas a vapor, a óleo térmico, a eletricidade ou outros meios, de modo a não haver contato direto de chamas com o depósito; esses dispositivos também devem evitar qualquer superaquecimento localizado, e ser capaz de aquecer o cimento asfáltico a temperaturas limitadas;
b) O sistema de recirculação para o cimento asfáltico deve garantir a circulação desembaraçada e contínua do depósito ao misturador, durante todo o período de operação;
c) Todas as tubulações e acessórios devem ser dotados de isolamento térmico, a fim de evitar perdas de calor;
d) A capacidade dos depósitos deve ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.
e) Os tanques de armazenamento do CAP devem ser do tipo vertical com fundo cônico, contendo um eixo vertical com no mínimo três níveis de agitação e sistema de retorno do CAP do fundo para o topo do tanque.

6.2. 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.

6.3. 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 filler, conjugado com dispositivos para sua dosagem.

A usina deve possuir, pelo menos quatro silos individuais para estocagem dos agregados.

6.4. Usina para Misturas Asfálticas

Recomenda-se a utilização de usinas gravimétricas para a produção das misturas asfálticas com controle automatizado de pesagem e do tempo de mistura e sistema de peneiramento que classifica os agregados nos silos quentes.

A usina utilizada deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme. 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 contínua do tipo contra fluxo com misturador externo tipo pugmill de eixo duplo na saída do secador ou tipo multi-paddle, equipadas com células de carga para controle de alimentação dos agregados e com sistema de alimentação do filler recuperado no filtro de mangas integrado o controle da usina.

A usina deve dispor de sistema de controle automático de injeção de CAP (flowmeter).

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

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.

6.5. Caminhão para Transporte da Mistura

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

6.6. Equipamento para Distribuição e Acabamento

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.

A velocidade de avanço da vibro-acabadora deve ser tal que seja evitado ao máximo a sua parada.

6.7. Equipamento para Compactação

O equipamento para a compactação deve constituir-se por rolos pneumáticos com regulagem de pressão e rolo metálico liso, tipo tandem.

Os rolos pneumáticos, autopropulsionados, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 0,25 MPa a

0,84 MPa. É obrigatória a utilização de pneus calibração uniformes, de modo a evitar marcas indesejáveis na mistura compactada.

O rolo metálico liso tipo tandem deve ter massa compatível com a espessura da camada.

O emprego dos rolos lisos vibratórios pode ser admitido desde que a frequência e a amplitude de vibração sejam ajustadas às necessidades do serviço.

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.

6.8. 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, rodos e ancinhos para operações eventuais.
c) Vassouras rotativas, compressores de ar para limpeza da pista.
d) Caminhão tanque irrigador para limpeza de pista.

7. EXECUÇÃO

7.1. 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.

A imprimação ligante ou pintura de ligação deve ser executada, obrigatoriamente, com a barra espargidora, respeitando os valores recomendados para taxa de ligante. Somente para correções localizadas ou locais de difícil acesso pode ser utilizada a caneta. A imprimação deve formar uma película homogênea e promover condições adequadas de aderência quando da execução do concreto asfáltico.

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

No caso de desdobramento da espessura total de concreto asfáltico 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 concreto asfáltico, sobre a pintura de ligação só é permitido após o rompimento definitivo e cura do ligante aplicado.

A imprimação ligante deverá ser executada de acordo com o preconizado na especificação de serviço PMSJC ES-P14/19 – Imprimação Betuminosa Ligante.

7.2. Produção do Pré-Misturado a Quente

O pré-misturado a quente 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.

A temperatura do cimento asfáltico empregado na mistura deve ser determinada para cada tipo de ligante em função da relação temperatura-viscosidade. A temperatura conveniente é aquela na qual o cimento asfáltico apresenta viscosidade *Brookfield*, determinada conforme ASTM D 4402.

Os agregados devem ser aquecidos a temperaturas de 10 °C a 15 °C acima da temperatura do cimento asfáltico, sem ultrapassar 177 °C.

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

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 em diminuição da temperatura da mistura com prejuízo da compactação.

7.3. Transporte do Pré-Misturado a Quente

A mistura produzida deve ser transportada da usina ao local de aplicação, em caminhões basculantes atendendo ao especificado no item 6.4.

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

7.4. Distribuição da Mistura

A distribuição do concreto asfáltico deve ser feita por equipamentos adequados, conforme especificado no item 6.6.

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 ancinhos ou rodos metálicos. Esta alternativa deve ser, no entanto, minimizada, já que o excesso de reparo manual é nocivo à qualidade do serviço. A mistura deve apresentar textura uniforme, sem pontos de segregação.

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

Na descarga, o caminhão deve ser empurrado pela acabadora, não se permitindo choques ou travamento dos pneus durante a operação.

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 esperar caminhões. Esta velocidade da acabadora deve estar sempre entre 2,5 e 10,0 m por minuto.

7.5. Compactação da Mistura

A rolagem tem início logo após a distribuição do concreto asfáltico. A fixação da temperatura de rolagem condiciona-se à natureza da massa e às características do equipamento utilizado. Como regra geral, a temperatura de rolagem é a mais elevada que a mistura asfáltica pode suportar, temperatura esta fixada experimentalmente para cada caso, considerando-se o intervalo de trabalhabilidade da mistura e tomando-se a devida precaução quanto à espessura da camada, distância de transporte, condições do meio ambiente e equipamento de compactação.

A prática mais frequente de compactação de misturas asfálticas densas usinadas a quente contempla o emprego combinado de rolos pneumáticos de pressão regulável e rolo metálico liso tipo tandem, de acordo com as seguintes premissas:

a) Inicia-se a rolagem com uma passada com rolo liso;

b) Logo após, a passada com rolo liso, inicia-se a rolagem com uma passada do rolo pneumático atuando com baixa pressão;
c) À medida que a mistura for sendo compactada e houver consequente crescimento de sua resistência, seguem-se coberturas com o rolo pneumático, com incremento gradual da pressão;
d) O acabamento da superfície e correção das marcas dos pneus deve ser feito com o rolo tandem, sem vibrar;
e) A compactação deve ser iniciada pelas bordas, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista;
f) Cada passada do rolo deve ser recoberto na seguinte, em 1/3 da largura do rolo;
g) Durante a rolagem não serão permitidas mudanças de direção ou inversões bruscas de marcha, nem estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém rolado, ainda quente;
h) As rodas dos rolos devem ser ligeiramente umedecidas para evitar a aderência da mistura; nos rolos pneumáticos, devem ser utilizados os mesmos produtos indicados para a caçamba dos caminhões transportadores; nos rolos metálicos lisos, se for utilizada água, esta deve ser pulverizada, não se permitido que escorra pelo tambor e acumule-se na superfície da camada.

A compactação através do emprego de rolo vibratório de rodas lisas, quando necessário, deve ser testada experimentalmente na obra, de forma a permitir a definição dos parâmetros mais apropriados à sua aplicação, como o número de coberturas, frequência e amplitude das vibrações. As condições de compactação da mistura exigidas anteriormente permanecem inalteradas.

Antes do início dos trabalhos deve ser executado um trecho experimental para definição da melhor metodologia de compactação, de modo a se obter o grau de compactação e o índice de vazios estabelecidos no projeto.

7.6. 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 vias de pista dupla é recomendado o uso de duas vibro-acabadoras de modo que os panos adjacentes sejam executados simultaneamente.

Em vias 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 sempre 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.

Não é permitido o lançamento dos agregados graúdos provenientes da rastelagem na frente ou dentro da mesa da vibro acabadora. Esse material deve ser descartado.

7.7. Abertura ao Tráfego

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

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1 e 2.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Cimento Asfáltico

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

a) Um ensaio de penetração a 25º C, conforme ABNT NBR 6576;
b) Um ensaio de viscosidade Brookfield, conforme ASTM D 4402;
c) Um ensaio de ponto de fulgor, conforme ABNT NBR 11341;
d) Um ensaio determinação de formação de espuma, quando aquecido a 177º C;
e) Um ensaio de ponto de amolecimento, conforme ABNT NBR 6560.

Para cada 100 t:

a) Um índice de susceptibilidade térmica, determinado pelos ensaios ABNT NBR 6576 e ABNT NBR 6560;
b) Um ensaio de viscosidade Brookfield a diferentes temperaturas para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura, em no mínimo três pontos, conforme ASTM D 4402.

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

8.1.2. 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:

a) Abrasão Los Angeles, quando houver variação da natureza do material, conforme ABNT NBR NM 51;
   Caso agregado apresente abrasão superior a 50%, verificar a degradação do agregado após a compactação Marshall, com e sem ligante conforme DNER ME 40;
b) Índice de forma e porcentagem de partículas lamelares, quando houver variação da natureza do material, conforme ABNT NBR 6954;
c) Ensaio de durabilidade, com sulfato de sódio, em cinco ciclos, quando houver variação da natureza do material, conforme DNER ME 089;
d) A adesividade dos agregados ao ligante asfáltico, conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584;
e) Para agregado miúdo, determinar diariamente o equivalente de areia, conforme ABNT NBR 12052;
f) Granulometria dos agregados nos silos quentes da usina gravimétrica a cada 8h de trabalho;
g) Granulometria nos silos frios de todos dos agregados a cada 4h de trabalho;
h) Determinação da umidade dos agregados nos silos frios a cada 4h de trabalho.

8.1.3. Melhorador de Adesividade

Quando a adesividade não for satisfatória e o melhorador de adesividade for incorporado na mistura, deve-se verificar novamente a adesividade conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584 e AASHTO 283.

8.2. Controle da Produção do Pré-Misturado a Quente

O controle da produção do pré-misturado a quente deve ser acompanhando por laboratório, que deve realizar o acompanhamento e os ensaios pertinentes, devendo obedecer à metodologia indicada pela PMSJC/SP e atender aos parâmetros recomendados.

8.2.1. Controle de Temperatura

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

a) 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.

8.2.2. Granulometria dos Agregados

Durante a produção da mistura, deve ser feito o ensaio de granulometria do agregado de cada silo quente ou dos silos frios, quando se tratar de usina tipo tambor-secador-misturador, sendo duas determinações de cada agregado por jornada de 8 horas de trabalho, conforme NBR NM 248.

8.2.3. Quantidade de Ligante e Granulometria da Mistura

Devem ser executados os seguintes ensaios para controle da quantidade de ligante e granulometria da mistura:

a) Extração de asfalto, preferencialmente conforme ASTM D 6307 ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo, Soxhlet de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172, 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) Análise granulométrica da mistura de agregados 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 NM 248.

8.3. Controle da Aplicação e Destinação da Mistura Asfáltica

O controle da aplicação da mistura asfáltica deve ser efetuado através dos procedimentos descritos em seguida.

8.3.1. 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.

8.3.2. Quantidade de Ligante e Granulometria da Mistura

Devem ser executadas as seguintes determinações em amostras colhidas imediatamente após a passagem da acabadora:

a) Extração de asfalto, preferencialmente conforme ASTM D 6307 ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo Soxhlet de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172: 2 extrações por jornada de 8 h de trabalho;
b) Análise granulométrica da mistura de agregados conforme NBR NM 248, com material resultante das extrações, com amostras de no mínimo 1.000 g: 2 ensaios por jornada de 8 horas de trabalho.

8.3.3. 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 DNER ME 117.

8.3.4. Destinação

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

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

8.4.1. Controle de Espessura e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas de concreto asfáltico deve ser avaliada nos corpos de prova extraídos com sonda rotativa ou pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m.

Devem ser nivelados os pontos para as camadas de rolamento ou binder no eixo, bordas e em dois pontos intermediários, e, para as camadas de regularização, no eixo, bordas e trilhas de roda.

8.4.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.4.3. Controle de Acabamento da Superfície

Durante a execução deve ser feito, em cada estaca da locação, o controle de acabamento da superfície 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 pista.

8.5. Deflexões

Deve-se verificar as deflexões recuperáveis máximas (D0) da camada a cada 20 m por faixa alternada e 40 m na mesma faixa, através da viga *Benkelman*, conforme DNER ME 024, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A medição do serviço de pré-misturado a quente, executado e recebido na forma descrita, será medido e pago por volume de mistura aplicada e compactada, expressa em metro cúbico (m^3).

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, transportes, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e eventuais necessários à completa execução dos serviços.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
CIMENTO ASFÁLTICO			
Penetração (100g, 5s, 25ºC) ABNT NBR 6576	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Ver especificação dos Cimentos Asfálticos no Anexo 2.
Viscosidade *Brookfield* ASTM D 4402			
Ponto de Fulgor ABNT NBR 11341			
Formação de Espuma Aquecido a 177 ºC			
Índice de Susceptibilidade Térmica ABNT NBR 6576 ABNT NBR 6560	1 ensaio para cada 100 t		
Viscosidade *Brookfield* a diferentes temperaturas para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura ASTM D 4402			

AGREGADOS			
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≤ 50%
Equivalente Areia de cada fração do agregado miúdo ABNT NBR 12052	1 ensaio por jornada de trabalho e sempre que houver variação da natureza do agregado.	Resultados individuais	≥ 55%
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	Não cúbicas inferior a 15%
Durabilidade com Sulfato de Sódio, em 5 Ciclos DNER ME 089	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≤ 12%
Adesividade ao Ligante Betuminoso ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	Em todo carregamento que cimento asfáltico que chegar na obra e sempre que houver variação da natureza dos materiais.	Resultados individuais	Adesividade satisfatória, Adesividade insatisfatória empregar melhorador.
Adesividade ao Ligante Asfáltico ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	Em todo carregamento que cimento asfáltico que chegar à obra e sempre que houver variação da natureza dos materiais.	Resultados individuais	Adesividade satisfatória. Quando a adesividade for insatisfatória, empregar melhorador de adesividade.
MELHORADOR DE ADESIVIDADE			
Verificação da Adesividade ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	1 ensaio logo após o emprego do melhorador de adesividade.	Resultados individuais	Adesividade satisfatória.

CONTROLE DE PRODUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
TEMPERATURAS			
Temperatura nos silos quentes. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações de cada silo por jornada de 8 h de trabalho	Resultados individuais	Deve ser de 10 °C a 15 °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. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho	Resultados individuais	Temperatura dentro da faixa de viscosidade definida pelo projeto, sempre superior a 120 ºC e inferior a 177 ºC.
Temperatura da Massa Asfáltica, na saída da usina. Termômetro bimetálico com precisão de 5 ºC	Determinação de todo caminhão carregado na saída da usina	Resultados individuais	Suficientemente elevada para suportar eventuais perdas de calor, e chegar a obra com temperatura compatível para sua aplicação, podendo variar entre ± 5 °C da especificada pelo projeto de mistura.
GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS			
Granulometria do agregado, de cada silo quente, ou frio (usina tipo tambor-secador-misturador) ABNT NBR NM 248	2 determinações de cada agregado 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	Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa de trabalho, definida a partir da curva de projeto.
QUANTIDADE DE LIGANTE E GRANULOMETRIA DA MISTURA			
Extração de Ligante ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina. Quando houver indícios de falta e excesso no teor de ligante. 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	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g) NBR NM 248	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina. No mínimo 2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho.		Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa definida na Tabela 1.

CONTROLE DA EXECUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
TEMPERATURAS			
Temperatura da massa ao chegar na pista, medida imediatamente antes de aplicação. Termômetro bimetálico com precisão de 5 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. Termômetro bimetálico com precisão de 5 ºC	De cada descarga efetuada.	Resultados individuais	Dentro da faixa de tolerância para compactação da massa asfáltica.
QUANTIDADE DE LIGANTE E GRANULOMETRIA DA MISTURA			
Extração de Asfalto ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	2 extrações 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	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g) ABNT NBR NM 248	2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho		Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa de trabalho, definida a partir da curva de projeto.
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. DNER ME 117	A cada 100 m de faixa de rolamento com-pactada	Média: $GC = \frac{100 x d_{pista}}{d_{projeto}}$	O grau de compactação é aceito se a média de GC ≥ 97%.

CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
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 da espessura de projeto.
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 de ligação.	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 da espessura de projeto.
Cota Relocação e nivelamento topográfico.		Resultados individuais	-2 cm a +1 cm da cota de projeto.
Largura da plataforma, desvios dos alinhamentos Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados individuais	No máximo +5 cm.
ACABAMENTO			
Nivelamento com 2 réguas, uma de 3,0 m e outra de 1,2 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.

De modo geral as juntas executadas devem apresentar-se homogêneas ao conjunto da mistura, isentas de desníveis e de saliências.

A superfície deve apresentar desempenada, não deve conter marcas indesejáveis do equipamento de compactação e ondulações.

DEFLEXÕES			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinação deflectométrica, D_0 Viga Benkelman DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	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 sub-trecho deve ser a estabelecida em projeto.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

ANEXO 2 – CIMENTO ASFÁLTICO

ENSAIO	UNIDADE	LIMITES	
		CAP 30-45	CAP 50-70
Penetração (100g, 5s, 25 ºC) ABNT NBR 6576 ASTM D 5	0,1 mm	30-45	50-70
Ponto de Amolecimento, mín. ABNT NBR 6560 ASTM D 36	ºC	52	46
Viscosidade Brookfield - A 135 ºC, SP 21 mín. 20 rpm - A 150 ºC, SP 21 mín. - A 177 ºC, SP 21 mín. ASTM D 4402	cP	 374 203 76-285	 274 112 57-285
Índice de Susceptibilidade Térmica	-	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)
Ponto de Fulgor, mín. ABNT NBR 11341 ASTM D 92	ºC	235	235
Solubilidade em Tricloroetileno, mín. ABNT NBR 14855 ASTM D 2042	% massa	99,5	99,5
Ductilidade a 25 ºC, mín. ABNT NBR 6293 ASTM D 113	Cm	60	60
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 ºC, 85 min.			
Variação em massa, máx. ASTM D 2872	%	0,5	0,5
Ductilidade a 25 ºC, mín. ABNT NBR 6293 ASTM D 113	cm	10	20

Aumento do ponto de amolecimento, máx. ABNT NBR 6560 ASTM D 36	ºC	8	8
Penetração retida, min. ABNT NBR 6576 ASTM D 5	%	60	55

Observações:

$$\text{Índice de Susceptibilidade Térmica} = \frac{(500)\,(\log \text{PEN}) + (20)\,(T^{o}\text{C}) - 1951}{120 - (50)\log \text{PEN}) + (T^{o}\text{C})}$$

Onde: (T ºC) = ponto de amolecimento; PEN = penetração a 25 ºC, 100 g, 5 seg.

A variação em massa (%) é definida como: $AM = \frac{M_{inicial} - M_{final}}{M_{final}} x100$

Onde: $M_{inicial}$ = massa antes do ensaio RTFOT; M_{final} = massa após o ensaio RTFOT

A penetração retida é definida como: $\text{PEN retida} = \frac{PEN_{final}}{PEN_{inicial}} x100$

Onde: $PEN_{inicial}$ = penetração antes do ensaio RTFOT; PEN_{final} = penetração após o ensaio RTFOT

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de concreto asfáltico usinado a quente, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Concreto asfáltico é uma mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas. É composta de agregado graduado, cimento asfáltico, e se necessário, material de enchimento, filler, e melhorador de adesividade, espalhada e compactada a quente. O concreto asfáltico pode ser empregado como revestimento, camada de ligação, binder, regularização ou reforço estrutural do pavimento.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) DNER-ME 043/95 – Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall;
b) DNER-ME 053/94 – Misturas Betuminosas – Percentagem de Betume;
c) DNER-ME 089/94 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
d) DNER-ME 117/94 – Mistura betuminosa – Determinação da densidade aparente;
e) DNER-ME 401/99 – Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – IDML e sem ligante - IDM;
f) DNER-PRO 164/94 – Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e *Maysmeter*);
g) DNER-PRO 182/94 – Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e *Maysmeter*;
h) DNER-PRO 173/86 – Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta;
i) ABNT NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão *Los Angeles*;
j) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
k) ABNT NBR 5564 – Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio;
l) ABNT NBR 6293 – Ligantes asfálticos – Determinação da ductilidade;
m) ABNT NBR 6560 – Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola;

n) ABNT NBR 6576 – Materiais asfálticos – Determinação da penetração;
o) ABNT NBR 11341 – Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland;
p) ABNT NBR 12052 – Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia - Método de ensaio;
q) ABNT NBR 12583 – Agregado graúdo – Determinação da adesividade ao ligante betuminoso;
r) ABNT NBR 12584 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
s) ABNT NBR 12891 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
t) ABNT NBR 14855 – Ligantes asfálticos – Determinação da solubilidade em tricloroetileno;
u) ABNT NBR 15086 – Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetrol;
v) ABNT NBR 15087 – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral;
w) ABNT NBR 15184 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional;
x) ABNT NBR 15235 – Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional;
y) ASTM E 303 – *Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*;
z) ASTM E 1845 – *Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth*;
aa) ASTM D 2041 – *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures*;
bb) ASTM D 2872 – *Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)*;
cc) ASTM D 4402 – *Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer*;
dd) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
ee) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

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

A camada de rolamento deve ser confinada lateralmente pela borda superior chanfrada da sarjeta, com a finalidade de evitar trincamento próximo a borda.

O concreto asfáltico somente deve ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10 ºC.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

Os materiais constituintes do concreto asfáltico são: agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento, filler, ligante asfáltico, e melhorador de adesividade, se necessário.

Os materiais utilizados devem satisfazer às normas pertinentes e às especificações aprovadas pela PMSJC/SP.

5.1. Cimento Asfáltico

Podem ser empregados os seguintes cimentos asfálticos:

- CAP 30-45 ou CAP 50-70, classificação por penetração, atendendo ao especificado na Resolução nº 19, de 11/07/2005 e no regulamento técnico ANP noº 3/2005 de 11/07/2005 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP; apresentada no Anexo 2;

Todo o carregamento de cimento asfáltico 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.

Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

5.2. Agregados

5.2.1. Agregado Graúdo

Deve constituir-se por pedra britada ou seixo rolado britado, 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 50%, conforme ABNT NBR NM 51;
b) Admite-se excepcionalmente agregados com valores com índice de desgaste Los Angeles superior a 50% se:
    - Apresentarem comprovadamente desempenho satisfatório em utilização anterior; a degradação do agregado após a compactação Marshall, com ligante IDml, e sem ligante IDm,

determinada conforme método DNER ME 401, deve apresentar valores IDml ≤ 5% e IDm ≤ 8%.

c) Quando obtidos por britagem de pedregulhos, 90% em massa dos fragmentos retidos na peneira no 4, de 4,8 mm, devem apresentar no mínimo uma face fragmentada pela britagem;
d) Índice de forma apresentando partículas não cúbicas inferiores a 15%, conforme ABNT NBR 5564 Anexo A;
e) Os agregados utilizados devem apresentar perdas inferiores a 12% quando submetidos à avaliação da durabilidade com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089.

5.2.2. Agregado Miúdo

Pode constituir-se por areia, pó de pedra ou mistura de ambos. Deve apresentar partículas individuais resistentes, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. Deve ser atendido, ainda, o seguinte requisito:

a) O equivalente de areia conforme ABNT NBR 12052 da mistura dos agregados miúdos, deve ser igual ou superior a 55%.

5.2.3. Material de Enchimento - Filler

O material de enchimento deve ser de natureza mineral finamente dividido, tal como cimento Portland, cal extinta, pós calcários, cinzas volantes etc., conforme DNER EM 367. Na aplicação, o filler deve estar seco e isento de grumos. A granulometria a ser atendida deve obedecer aos limites estabelecidos na Tabela 1.

TABELA 1 – GRANULOMETRIA DO FILLER

Peneira de Malha Quadrada		Resíduo Asfáltico
ASTM	**mm**	**l/m²**
Nº 40	0,42	100
Nº 80	0,18	95-100
Nº 200	0,075	65-100

A cal hidratada deverá ser do tipo calcítica contendo no mínimo 60% de CaO e no máximo 5% de MgO.

5.2.4. Melhorador de Adesividade

A adesividade do ligante asfáltico aos agregados é determinada conforme os métodos ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584. Quando não houver boa

adesividade deve-se empregar aditivo melhorador de adesividade na quantidade determinada na dosagem do produto.

5.3. Composição da Mistura

A faixa granulométrica a ser empregada deve ser selecionada em função da utilização prevista para o concreto asfáltico. Caso a mistura asfáltica seja utilizada como camada de rolamento, deve-se conferir especial atenção à seleção da granulometria de projeto, tendo em vista a obtenção de rugosidade que assegure adequadas condições de segurança ao tráfego.

A composição da mistura deve satisfazer aos requisitos apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Peneira de Malha Quadrada		**25,0**	**19,0**	**12,5**	**9,5**	**Tolerância**
ASTM	**mm**	**% em Massa, Passando**				
1 ½”	37,5	100	100	100	100	± 2%
1”	25,0	90-100	100	100	100	± 2%
¾”	19,0	-	90-100	100	100	± 2%
½”	12,5	56-80	-	90-100	100	± 2%
3/8”	9,5	-	56-80	-	90-100	± 2%
Nº 4	4,75	29-59	35-65	44-74	55-85	± 2%
Nº 8	2,36	19-45	23-49	28-58	32-67	± 2%
Nº 50	0,30	5-17	5-19	5-21	7-23	± 2%
Nº 200	0,075	1-7	2-8	2-10	2-10	± 2%
Camadas		Ligação (Binder)	Ligação ou Rolamento	Rolamento	Reperfilagem	-
Espessura Máxima por camada executada (cm)		7,0	6,0	6,0	3,0	-

A curva granulométrica dos agregados deve se enquadrar em uma das faixas do quadro seguinte, com a tolerância de 2% em cada peneira. O percentual do ligante asfáltico deve ser o determinado pelo projeto da mistura e a tolerância será de no máximo 0,2% (absoluto).

O projeto da dosagem de mistura deve atender aos seguintes requisitos:

a) O tamanho máximo do agregado da faixa adotada deve ser inferior a 2/3 da espessura da camada compactada;
b) A fração retida entre duas peneiras consecutivas, excetuadas as duas de maior malha de cada faixa, não deve ser inferior a 4% do total;
c) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer a tolerância indicada para cada peneira na Tabela 2, porém, respeitando os limites da faixa granulométrica adotada;
d) O projeto da mistura pela dosagem Marshall deve ser refeito no mínimo a cada 6 meses, e todas as vezes que ocorrer alteração de algum dos materiais constituintes da mistura, a energia de compactação determinada através do número de golpes deve ser definida em projeto. O número de golpes padrão é 75 golpes por face do corpo de prova, podendo ser especificadas outras energias;
e) Os parâmetros obtidos no ensaio Marshall para estabilidade, fluência, porcentagem de vazios e relação betume vazios devem atender aos limites apresentados na Tabela 3;
f) O teor ótimo de ligante do projeto de mistura asfáltica deve atender a todos os requisitos da Tabela 3;
g) Recomenda-se para a camada de rolamento a faixa 12,5 e para a camada de ligação (binder) a faixa 19,0;

TABELA 3 – REQUISITOS PARA O PROJETO MISTURA ASFÁLTICA

Características	Método de Ensaio	Camadas de Rolamento e Reperfilagem	Camada de Ligação
Estabilidade mínima, kN (75 golpes no Ensaio Marshall)	ABNT NBR 12891	8	8
Fluência (mm)	ABNT NBR 12891	2,0 a 4,0	2,0 a 4,0
Relação filler/ligante	-	0,6 a 1,4	0,6 a 1,4
% de Vazios (índice de vazios)	-	3 a 5	4 a 6
Relação Betume Vazios – RBV (%)	-	65 a 78	65 a 75
Vazios do Agregado Mineral – VAM (%)	-	Ver Tabela 4	-
Resistência à Tração por Compressão Diametral Estática a 25ºC, mínima, MPa	ABNT NBR 15087	0,80	0,65
Resistência a danos por Umidade Induzida, mínimo, %	AASHTO T 283	70	-

h) As misturas asfálticas para camada de rolamento faixas 19,0 e 12,5, os vazios do agregado mineral, VAM, devem atender aos valores mínimos definidos em função do tamanho nominal máximo do agregado, conforme Tabela 4;

i) Recomenda-se que o teor ótimo de ligante situe-se abaixo do teor de ligante correspondente ao VAM mínimo, da dosagem Marshall;

j) As condições de vazios da mistura, na fase de dosagem podem ser verificadas por um dos procedimentos:

- Procedimento A
  - Determinação da densidade efetiva através da densidade máxima teórica pelo método Rice, conforme ASTM D 2041.

- Procedimento B
  - Determinação da densidade efetiva através da média entre a densidade aparente e densidade real agregado.

Admite-se a como densidade efetiva do agregado (D_{ea}) como sendo a média aritmética entre a D_1 e D_2;

- As densidades aparentes dos corpos de prova devem ser obtidas através do método DNER ME 117.

$$D_{ea} = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

Onde:

$$D_1 = \frac{100}{\frac{P_1}{D_{SR1}} + \frac{P_2}{D_{SR2}} + \frac{P_3}{D_{SR3}}} \quad ; \quad D_2 = \frac{100}{\frac{P_1}{D_{SAp1}} + \frac{P_2}{D_{SR2}} + \frac{P_3}{D_{SR3}}}$$

Onde:

P_1 = porcentagem de agregado retido na peneira de abertura de 2,0 mm (%);

P_2 = porcentagem de agregado que passa na peneira de abertura de 2,0 mm, e fica retido na peneira de abertura na peneira de abertura de 0,075mm (%);

P_3 = porcentagem de agregado que passa na peneira de abertura de 0,075mm (%);

D_{SR1} = densidade real do agregado retido na peneira de abertura de 2,0 mm;

D_{SR2} = densidade real do agregado que passa na peneira de abertura de 2,0 mm, e fica retido na peneira de abertura de 0,075 mm;

D_{SR3}= densidade real do agregado que passa na peneira de abertura de 0,075 mm;

D_{SAp1}= densidade aparente do agregado que fica retido na peneira de abertura de 2,0 mm.

TABELA 4 – REQUISITOS PARA VAZIOS DO AGREGADO MINERAL - VAM

Tamanho Nominal Máximo do Agregado		VAM Mínimo (%)
ASTM	**mm**	**Teor de Vazios = 4,0%**
1 ½”	37,5	11
1’	25,0	12
¾”	19,0	13
½”	12,5	14
3/8”	9,5	15

*Tamanho nominal máximo do agregado é definido com o diâmetro da peneira imediatamente superior àquela que retém mais que 10% dos agregados.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução dos serviços de concreto asfáltico compreende as seguintes unidades:

6.1. Depósito para Cimento Asfáltico

Os depósitos para o cimento asfáltico devem ser capazes de aquecer o material conforme as exigências técnicas estabelecidas, atendendo aos seguintes requisitos:

a) O aquecimento deve ser efetuado por meio de serpentinas a vapor, a óleo térmico, a eletricidade ou outros meios, de modo a não haver contato direto de chamas com o depósito; esses dispositivos também devem evitar qualquer superaquecimento localizado, e ser capaz de aquecer o cimento asfáltico a temperaturas limitadas;
b) O sistema de recirculação para o cimento asfáltico deve garantir a circulação desembaraçada e contínua do depósito ao misturador, durante todo o período de operação;
c) Todas as tubulações e acessórios devem ser dotados de isolamento térmico, a fim de evitar perdas de calor;
d) A capacidade dos depósitos deve ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.
e) Os tanques de armazenamento do CAP devem ser do tipo vertical com fundo cônico, contendo um eixo vertical com no mínimo três níveis de agitação e sistema de retorno do CAP do fundo para o topo do tanque.

6.2. 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.

6.3. 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 filler, conjugado com dispositivos para sua dosagem.

A usina deve possuir, pelo menos quatro silos individuais para estocagem dos agregados.

6.4. Usina para Misturas Asfálticas

Recomenda-se a utilização de usinas gravimétricas para a produção das misturas asfálticas com controle automatizado de pesagem e do tempo de mistura e sistema de peneiramento que classifica os agregados nos silos quentes.

A usina utilizada deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme. 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 contínua do tipo contra fluxo com misturador externo tipo pugmill de eixo duplo na saída do secador ou tipo multi-paddle, equipadas com células de carga para controle de alimentação dos agregados e com sistema de alimentação do filler recuperado no filtro de mangas integrado o controle da usina.

A usina deve dispor de sistema de controle automático de injeção de CAP (flowmeter).

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

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.

6.5. Caminhão para Transporte da Mistura

Os caminhões tipo basculante para o transporte do concreto asfáltico devem ter caçambas metálicas robustas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas com

água e sabão, óleo cru fino, óleo parafínico ou solução de cal hidratada (3:1), de modo a evitar a aderência da mistura à chapa. Não é permitida a utilização de produtos susceptíveis à dissolução do ligante asfáltico, como óleo diesel, gasolina etc. As caçambas devem ser providas de lona para proteção da mistura.

6.6. Equipamento para Distribuição e Acabamento

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.

A velocidade de avanço da vibro-acabadora deve ser tal que seja evitado ao máximo a sua parada.

6.7. Equipamento para Compactação

O equipamento para a compactação deve constituir-se por rolos pneumáticos com regulagem de pressão e rolo metálico liso, tipo tandem.

Os rolos pneumáticos, autopropulsionados, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 0,25 MPa a 0,84 MPa. É obrigatória a utilização de pneus calibração uniformes, de modo a evitar marcas indesejáveis na mistura compactada.

O rolo metálico liso tipo tandem deve ter massa compatível com a espessura da camada.

O emprego dos rolos lisos vibratórios pode ser admitido desde que a frequência e a amplitude de vibração sejam ajustadas às necessidades do serviço.

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.

6.8. 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, rodos e ancinhos para operações eventuais.
c) Vassouras rotativas, compressores de ar para limpeza da pista.
d) Caminhão tanque irrigador para limpeza de pista.

7. EXECUÇÃO

7.1. 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.

A imprimação ligante ou pintura de ligação deve ser executada, obrigatoriamente, com a barra espargidora, respeitando os valores recomendados para taxa de ligante. Somente para correções localizadas ou locais de difícil acesso pode ser utilizada a caneta. A imprimação deve formar uma película homogênea e promover condições adequadas de aderência quando da execução do concreto asfáltico.

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

No caso de desdobramento da espessura total de concreto asfáltico 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 concreto asfáltico, sobre a pintura de ligação só é permitido após o rompimento definitivo e cura do ligante aplicado.

A imprimação ligante deverá ser executada de acordo com o preconizado na especificação de serviço PMSJC ES-P14/19 – Imprimação Betuminosa Ligante.

7.2. Produção do Concreto Asfáltico

O concreto asfáltico 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.

As aberturas dos silos frios devem ser ajustadas de acordo com a granulometria da dosagem e dos agregados para evitar sobras nos silos quentes, no caso de utilização de usina gravimétrica.

A temperatura do cimento asfáltico não modificado por polímero empregado na mistura deve ser determinada para cada tipo de ligante em função da relação temperatura-viscosidade. A temperatura conveniente é aquela na qual o cimento asfáltico apresenta uma viscosidade Brookfield, determinada conforme ASTM D 4402.

Os agregados devem ser aquecidos a temperaturas de 10 °C a 15 °C acima da temperatura do cimento asfáltico, sem ultrapassar 177 °C.

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

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 diminuição da temperatura da mistura, com prejuízo da compactação.

O tempo decorrido entre a produção na usina e o seu esparrame na pista não deve exceder a três horas. Esse tempo pode ser superior, no caso de ser utilizado aditivo para mistura morna e a temperatura de usinagem ser inferior a 150ºC.

A produção/hora deverá ser definida em função do tipo de mistura, umidade dos agregados e tipo de CAP, de modo a permitir a secagem dos agregados, homogeneidade da mistura e o adequado recobrimento dos agregados graúdos pelo CAP.

7.3. Transporte do Concreto Asfáltico

O concreto asfáltico produzido deve ser transportado da usina ao local de aplicação, em caminhões basculantes, atendendo ao especificado no item 6.5 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, evitar a 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.

7.4. Distribuição da Mistura

A distribuição do concreto asfáltico deve ser feita por equipamentos adequados, conforme especificado no item 6.6.

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 ancinhos ou rodos metálicos. Esta alternativa deve ser, no entanto, minimizada, já que o excesso de reparo manual é nocivo à qualidade do serviço. A mistura deve apresentar textura uniforme, sem pontos de segregação.

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

Na descarga, o caminhão deve ser empurrado pela acabadora, não se permitindo choques ou travamento dos pneus durante a operação.

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 esperar caminhões. Esta velocidade da acabadora deve estar sempre entre 2,5 e 10,0 m por minuto.

7.5. Compactação da Mistura

A rolagem tem início logo após a distribuição do concreto asfáltico. A fixação da temperatura de rolagem condiciona-se à natureza da massa e às características do equipamento utilizado. Como regra geral, a temperatura de rolagem é a mais elevada que a mistura asfáltica pode suportar, temperatura esta fixada experimentalmente para cada caso, considerando-se o intervalo de trabalhabilidade da mistura e tomando-se a devida precaução quanto à espessura da camada, distância de transporte, condições do meio ambiente e equipamento de compactação.

A prática mais frequente de compactação de misturas asfálticas densas usinadas a quente contempla o emprego combinado de rolos pneumáticos de pressão regulável e rolo metálico liso tipo tandem, de acordo com as seguintes premissas:

a) Inicia-se a rolagem com uma passada com rolo liso;
b) Logo após, a passada com rolo liso, inicia-se a rolagem com uma passada do rolo pneumático atuando com baixa pressão;
c) À medida que a mistura for sendo compactada e houver consequente crescimento de sua resistência, seguem-se coberturas com o rolo pneumático, com incremento gradual da pressão;
d) O acabamento da superfície e correção das marcas dos pneus deve ser feito com o rolo tandem, sem vibrar;
e) A compactação deve ser iniciada pelas bordas, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista;
f) Cada passada do rolo deve ser recoberto na seguinte, em 1/3 da largura do rolo;
g) Durante a rolagem não serão permitidas mudanças de direção ou inversões bruscas de marcha, nem estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém rolado, ainda quente;
h) As rodas dos rolos devem ser ligeiramente umedecidas para evitar a aderência da mistura; nos rolos pneumáticos, devem ser utilizados os mesmos produtos indicados para a caçamba dos caminhões transportadores; nos rolos metálicos lisos, se for utilizada água, esta deve ser pulverizada, não se permitido que escorra pelo tambor e acumule-se na superfície da camada.

A compactação através do emprego de rolo vibratório de rodas lisas, quando necessário, deve ser testada experimentalmente na obra, de forma a permitir a definição dos parâmetros mais apropriados à sua aplicação, como o número de coberturas, frequência e amplitude das vibrações. As condições de compactação da mistura exigidas anteriormente permanecem inalteradas.

Antes do início dos trabalhos deve ser executado um trecho experimental para definição da melhor metodologia de compactação, de modo a se obter o grau de compactação e o índice de vazios estabelecidos no projeto.

7.6. 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 vias de pista dupla é recomendado o uso de duas vibro-acabadoras de modo que os panos adjacentes sejam executados simultaneamente.

Em vias 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 sempre 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.

Não é permitido o lançamento dos agregados graúdos provenientes da rastelagem na frente ou dentro da mesa da vibro acabadora. Esse material deve ser descartado.

7.7. Abertura ao Tráfego

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

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1, 2 e 3.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Cimento Asfáltico

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

a) Um ensaio de penetração a 25º C, conforme ABNT NBR 6576;
b) Um ensaio de viscosidade Brookfield, conforme ASTM D 4402;
c) Um ensaio de ponto de fulgor, conforme ABNT NBR 11341;
d) Um ensaio determinação de formação de espuma, quando aquecido a 177º C;
e) Um ensaio de ponto de amolecimento, conforme ABNT NBR 6560.

Para cada 100 t:

a) Um índice de susceptibilidade térmica, determinado pelos ensaios ABNT NBR 6576 e ABNT NBR 6560;
b) Um ensaio de viscosidade Brookfield a diferentes temperaturas para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura, em no mínimo três pontos, conforme ASTM D 4402.

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

8.1.2. Emulsão Asfáltica

O controle da emulsão asfáltica deve ser realizado conforme descrito na especificação de serviço PMSJC ES-P14/19 – Imprimação Betuminosa Ligante.

8.1.3. 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:

a) Abrasão Los Angeles, quando houver variação da natureza do material, conforme ABNT NBR NM 51;
   Caso agregado apresente abrasão superior a 50%, verificar a degradação do agregado após a compactação Marshall, com e sem ligante conforme DNER ME 40;
b) Índice de forma e porcentagem de partículas lamelares, quando houver variação da natureza do material, conforme ABNT NBR 6954;
c) Ensaio de durabilidade, com sulfato de sódio, em cinco ciclos, quando houver variação da natureza do material, conforme DNER ME 089;
d) A adesividade dos agregados ao ligante asfáltico, conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584;
e) Para agregado miúdo, determinar diariamente o equivalente de areia, conforme ABNT NBR 12052;
f) Granulometria dos agregados nos silos quentes da usina gravimétrica a cada 8h de trabalho;
g) Granulometria nos silos frios de todos dos agregados a cada 4h de trabalho;
h) Determinação da umidade dos agregados nos silos frios a cada 4h de trabalho.

8.1.4. Melhorados de Adesividade

Quando a adesividade não for satisfatória e o melhorador de adesividade for incorporado na mistura, deve-se verificar novamente a adesividade conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584 e AASHTO 283.

8.2. Controle da Produção da Mistura Asfáltica

8.2.1. Controle de Temperatura

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

a) Temperatura dos agregados nos silos quentes;
b) Temperatura do cimento asfáltico;
c) Temperatura da massa asfáltica.

8.2.2. Granulometria dos Agregados

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

a) Granulometria do agregado de cada silo quente ou dos silos frios, quando tratar-se de usina tipo tambor-secador-misturador, conforme ABNT NBR NM 248;
b) Granulometria do filler, conforme ABNT NBR NM 248;
c) Se indicado a adição de filler no projeto da mistura, deve-se realizar inspeção rigorosa da quantidade do filler adicionado.

8.2.3. Quantidade de Ligante, Granulometria da Mistura e Características Marshall e Porcentagens de Vazios

Devem ser executados os seguintes ensaios para controle da quantidade de ligante, granulometria da mistura e verificação dos parâmetros Marshall:

a) Extração de asfalto, preferencialmente através do forno de ignição, conforme ASTM D 6307 ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo, Soxhlet de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172;
b) Granulometria da mistura asfáltica com material resultante das extrações da alínea a, conforme ABNT NBR NM 248;
c) Ensaio Marshall, conforme ABNT NBR 12891, com no mínimo 6 corpos-de-prova; devem ser destinados 3 corpos de prova ao ensaio de tração por compressão diametral a 25 °C, conforme ABNT NBR 15087; nos outros 3 corpos-de-prova deve-se determinar a fluência, a estabilidade e as porcentagens de vazios da mistura: Vv, RBV, VAM;
d) Ensaio RICE conforme ASTM D 2041, a cada 4h de produção.

8.3. Controle da Aplicação e Destinação da Mistura Asfáltica

O controle da aplicação da mistura asfáltica deve ser efetuado através dos procedimentos descritos em seguida.

8.3.1. Temperaturas

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

a) Temperatura da massa asfáltica no caminhão transportador;
b) Temperatura da massa asfáltica na saída da vibro acabadora.

8.3.2. Quantidade de Ligante e Granulometria da Mistura

Devem ser executadas as seguintes determinações:

a) Extração de asfalto, preferencialmente através do forno de ignição, conforme ASTM D 6307 ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo Soxhlet de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172;
b) Análise granulométrica da mistura de agregados, com material resultante das extrações da alínea a, de no mínimo 1.000 g, conforme ABNT NBR NM 248.

8.3.3. 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 DNER ME 117.

8.3.4. Destinação

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

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

8.4.1. Controle de Espessura e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas de concreto asfáltico deve ser avaliada nos corpos de prova extraídos com sonda rotativa ou pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m.

Devem ser nivelados os pontos para as camadas de rolamento ou binder no eixo, bordas e em dois pontos intermediários, e, para as camadas de regularização, no eixo, bordas e trilhas de roda.

8.4.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.4.3. Controle de Acabamento da Superfície

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

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;
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 medidores de irregularidade tipo resposta devidamente calibrados, conforme DNER PRO 164, DNER PRO 182 e DNER ES 173; o QI será determinado para cada trecho de 320 m ou nos locais indicados pela fiscalização; opcionalmente, poderá ser empregado o perfilômetro a laser que determina o IRI – *International Roughess Index*.

8.5. Condições de Segurança

As condições de segurança serão determinadas pela macrotextura do revestimento asfáltico, conforme ASTM E 1854, através de ensaios de mancha de areia, espaçados a cada 100 m, por faixa de rolamento e a microtextura pelo pêndulo britânico, conforme ASTM E 303.

8.6. Deflexões

Deve-se verificar as deflexões recuperáveis máximas (D0) da camada a cada 20 m por faixa alternada e 40 m na mesma faixa, através da viga *Benkelman*, conforme DNER ME 024, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A medição do serviço de concreto asfáltico, executado e recebido na forma descrita, será medido e pago por volume de mistura aplicada e compactada, expressa em metro cúbico (m³), para qualquer uma das camadas, ou seja, camada de rolamento, camada de ligação ou de nivelamento.

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, transportes, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e eventuais necessários à completa execução dos serviços.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
CIMENTO ASFÁLTICO			
Penetração (100g, 5s, 25ºC) ABNT NBR 6576	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Ver especificação dos Cimentos Asfálticos no Anexo 2.
Viscosidade *Brookfield* ASTM D 4402			
Ponto de Fulgor ABNT NBR 11341			
Formação de Espuma Aquecido a 177 ºC			
Ponto de amolecimento ABNT NBR 6560			
Índice de Susceptibilidade Térmica ABNT NBR 6576 ABNT NBR 6560	1 ensaio para cada 100 t		
Viscosidade *Brookfield* a diferentes temperaturas para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura ASTM D 4402			

AGREGADO GRAÚDO			
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≤ 50%
Se Abrasão Los Angeles for superior a 50%, verificar degradação do agregado após compactação Marshall DNER ME 401	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	Se apresentarem desempenho satisfatório em utilização anterior e $ID_{ml} \leq 5\%$ $ID_m \leq 8\%$
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	Não cúbicas inferior a 15%
Durabilidade com Sulfato de Sódio, em 5 Ciclos DNER ME 089	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≤ 12%
Adesividade ao Ligante Betuminoso ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	Em todo carregamento que cimento asfáltico que chegar na obra e sempre que houver variação da natureza dos materiais.	Resultados individuais	Adesividade satisfatória, Adesividade insatisfatória empregar melhorador.

MELHORADOR DE ADESIVIDADE			
Verificação da Adesividade ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	1 ensaio logo após o emprego do melhorador de adesividade.	Resultados individuais	Adesividade satisfatória.
AGREGADO MIÚDO			
Equivalente Areia de cada fração do agregado miúdo ABNT NBR 12052	1 ensaio por jornada de trabalho e sempre que houver variação da natureza do agregado.	Resultados individuais	≥ 55%

CONTROLE DE PRODUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
TEMPERATURAS			
Temperatura nos silos quentes. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações de cada silo por jornada de 8 h de trabalho	Resultados individuais	Ver especificação dos Cimentos Asfálticos no Anexo 2.
Temperatura do cimento asfáltico, antes da entrada do misturador. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho	Resultados individuais	Devem estar e situadas na faixa desejável, definida em função da curva viscosidade x temperatura definida na dosagem e inferior a 177 °C.
Temperatura da Massa Asfáltica, na saída da usina Termômetro bimetálico com precisão de 5 ºC	Determinação de todo caminhão carregado na saída da usina	Resultados individuais	Suficientemente elevada para suportar eventuais perdas de calor, e chegar a obra com temperatura compatível para sua aplicação, podendo variar entre ± 5 °C da especificada pelo projeto de mistura.
GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS			
Granulometria do agregado, de cada silo quente, ou frio (usina tipo tambor-secador-misturador) ABNT NBR NM 248	2 determinações de cada agregado 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	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 (Filler) ABNT NBR NM 248	1 determinação 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	Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa definida na Tabela 1.

QUANTIDADE DE LIGANTE, GRANULOMETRIA DA MISTURA, PORCENTAGEM DE VAZIOS, ESTABILIDADE, FLUÊNCIA E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DIÂMETRAL ESTÁTICA			
Extração de Ligante ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	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	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Volume de Vazios totais Vv (%)	2 determinações 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	Camada de rolamento e reperfilagem: 3 a 5% Camada de binder: 4 a 6%
Relação de Betume Vazios RBV (%)			Camada de Rolamento e reperfilagem: 65 a 80% Camada de binder: 65 a 75%
Fluência DNER-ME 043/95			8 a 16 (0,01") 2 a 4 (mm)
Estabilidade min., KN (75 golpes no Ensaio Marshall) DNER-ME 043/95	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho.	Controle Unilateral $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	≥ 8
Resistência a compressão diametral estática a 25º C, MPa, mínima ABNT NBR 15087	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho.	Controle Unilateral $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Camada de rolamento e reperfilagem ≥ 0,80 Camada de binder ≥ 0,65
Densidade teórica RICE ASTM D 2041	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho.		

CONTROLE DA EXECUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
TEMPERATURAS			
Temperatura da massa ao chegar na pista, medida imediatamente antes de aplicação. Termômetro bimetálico com precisão de 5 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. Termômetro bimetálico com precisão de 5 ºC	De cada descarga efetuada	Resultados individuais	Dentro da faixa de tolerância para compactação da massa asfáltica.
QUANTIDADE DE LIGANTE E GRANULOMETRIA DA MISTURA			
Extração de Ligante ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	2 extrações por jornada de 8 h de trabalho	<u>Controle Bilateral</u> $X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g) ABNT NBR NM 248	2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho		Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa de trabalho, definida a partir da curva de projeto.
Extração de amostra indeformada. Determinar a densidade aparente do corpo de prova de cada corpo de prova extraído e correspondente e o grau de compactação. Extração com sonda rotativa DNER ME 117	A cada 100 m de faixa de rolamento compactada	Média $GC_1 = \frac{100 x d_{pista}}{d_{projeto}}$ ou $GC_2 = \frac{100 x d_{pista}}{d_{mt}}$	O grau de compactação é aceito se: A média de $GC_1 \geq 97\%$ ou A média de $GC_2 \geq 92\%$.

CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
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 da espessura de projeto.
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 de ligação.	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 da espessura de projeto.
Cota Relocação e nivelamento topográfico.		Resultados individuais	-2 cm a +1 cm da cota de projeto.
Largura da plataforma, desvios dos alinhamentos Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados individuais	No máximo +5 cm.
ACABAMENTO			
Nivelamento com 2 réguas, uma de 3,0 m e outra de 1,2 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 DNER PRO 164 DNER PRO 182 DNER PRO 173	Em cada faixa de rolamento, determinado a cada trecho de 320 m, ou nos locais indicados pela fiscalização	Resultados individuais	QI $\leq$ 35 contagens/km

De modo geral as juntas executadas devem apresentar-se homogêneas ao conjunto da mistura, isentas de desníveis e de saliências. A superfície deve apresentar desempenada, não deve conter marcas indesejáveis do equipamento de compactação e ondulações de variações decorrentes da carga da vibroacabadora.

CONDIÇÕES DE SEGURANÇA			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinar a macrotextura, para camadas de rolamento, através do ensaio de macha de areia. ASTM E 1845	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	Altura da areia situada entre 0,6 mm a 1,2 mm.
Determinar a microtextura, para camadas de rolamento, através do ensaio de pêndulo britânico. ASTM E 303	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	≥ 47

DEFLEXÕES			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinação deflectométrica, D_0 e D_{25} Viga Benkelman DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	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 sub-trecho deve ser a estabelecida em projeto.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

ANEXO 2 – CIMENTO ASFÁLTICO

ENSAIO	UNIDADE	LIMITES	
		CAP 30-45	CAP 50-70
Penetração (100g, 5s, 25 ºC) ABNT NBR 6576 ASTM D 5	0,1 mm	30-45	50-70
Ponto de Amolecimento, mín. ABNT NBR 6560 ASTM D 36	ºC	52	46
Viscosidade Brookfield - A 135 ºC, SP 21 mín. 20 rpm - A 150 ºC, SP 21 mín. - A 177 ºC, SP 21 mín. ASTM D 4402	cP	 374 203 76-285	 274 112 57-285
Índice de Susceptibilidade Térmica	-	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)
Ponto de Fulgor, mín. ABNT NBR 11341 ASTM D 92	ºC	235	235
Solubilidade em Tricloroetileno, mín. ABNT NBR 14855 ASTM D 2042	% massa	99,5	99,5
Ductilidade a 25 ºC, mín. ABNT NBR 6293 ASTM D 113	Cm	60	60
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 ºC, 85 min.			
Variação em massa, máx. ASTM D 2872	%	0,5	0,5
Ductilidade a 25 ºC, mín. ABNT NBR 6293 ASTM D 113	cm	10	20

Aumento do ponto de amolecimento, máx. ABNT NBR 6560 ASTM D 36	ºC	8	8
Penetração retida, min. ABNT NBR 6576 ASTM D 5	%	60	55

Observações:

$$\text{Índice de Susceptibilidade Térmica} = \frac{(500)\,(\log \text{PEN}) + (20)\,(T^{o}C) - 1951}{120 - (50)\log \text{PEN}) + (T^{o}C)}$$

Onde: (T ºC) = ponto de amolecimento; PEN = penetração a 25 ºC, 100 g, 5 seg.

A variação em massa (%) é definida como: $AM = \frac{M_{inicial} - M_{final}}{M_{final}} x100$

Onde: $M_{inicial}$ = massa antes do ensaio RTFOT; M_{final} = massa após o ensaio RTFOT

A penetração retida é definida como: $\text{PEN retida} = \frac{PEN_{final}}{PEN_{inicial}} x100$

Onde: $PEN_{inicial}$ = penetração antes do ensaio RTFOT; PEN_{final} = penetração após o ensaio RTFOT

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento do serviço de reparação de pavimentos danificados em decorrência de abertura de valas, incluindo a reconstrução de todas as camadas, desde as inferiores ao subleito ou de terraplanagem até as camadas do pavimento propriamente dito, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Os serviços consistem no fornecimento de todos os materiais necessários no local da obra, bem como os equipamentos e mão-de-obra indispensáveis à execução do serviço com padrão de qualidade em conformidade com os critérios apresentados a seguir.

3. CONDIÇÕES GERAIS

Sempre que necessário, a Fiscalização determinará a execução de drenos profundos para rebaixamento do lençol freático.

Em todos os reparos executados será obrigatória a limpeza final do entulho e do material excedente, os quais deverão ser depositados ou recolhidos conforme o caso, em locais pré-estabelecidos pela Fiscalização, ficando proibida a descarga em leitos de vias públicas ou em terrenos baldios.

Todo e qualquer abatimento da pavimentação decorrente de falha de execução do reparo, no local da vala que se produza após a reconstrução, até o prazo de 6 meses a contar do término do contrato, deverá ser imediatamente corrigido pelo executor, por iniciativa própria ou em atenção ao competente aviso expedido pela Fiscalização.

4. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

4.1. Materiais

Consideram-se materiais reaproveitáveis para reconstrução da pavimentação apenas o solo se for compactável, os agregados limpos (pedra britada) não contaminados, os paralelepípedos e peças pré-moldadas de concreto, em bom estado.

Os materiais retirados, constitutivos da base da pavimentação existente, somente poderão ser empregados como "reforço do subleito" ou camadas inferiores.

Consideram-se impróprios para reenchimento das valas, todos os materiais instáveis (solos micáceos, solos de alteração de rocha, solos orgânicos ou solos expansivos) de expansão maior ou igual a 2% ou que não possam ser facilmente compactados.

Sempre que o material do subleito, solo local ou importado, apresentar, a critério da Fiscalização, umidade excessiva, deverá obrigatoriamente ser substituído por material no teor ótimo de umidade, antes da compactação.

5. EQUIPAMENTOS

Os equipamentos a serem utilizados dependem, fundamentalmente, das dimensões da vala a ser reparada. Basicamente são os seguintes:

a) Retroescavadeira;
b) Caminhão Basculante;
c) Irrigadora;
d) Equipamento de compactação portátil;
e) Rolo compactador;
f) Espargideira.

6. EXECUÇÃO

6.1. Compactação das Camadas Inferiores do Pavimento

A reconstrução das camadas inferiores do pavimento, seja subleito ou sub-base, deverá ser feita em camadas de no máximo 20 cm (vinte centímetros) de espessura de material solto.

A compactação das camadas será mecânica obtida com equipamento compatível com as dimensões da escavação e características do material empregado no reparo, portanto poderão ser utilizados desde rolos compactadores de pequeno porte até compactadores manuais mecânicos.

A umidade do material a ser compactado deverá estar compreendida no intervalo de mais ou menos 1,5% (um e meio por cento) em torno da umidade ótima de compactação.

No caso das camadas inferiores ao pavimento, com profundidades superiores a 30 cm (trinta centímetros) em relação a superfície do pavimento acabado, o grau de compactação deve atingir pelo menos 95% (noventa e cinco por cento) da densidade máxima em relação ao proctor normal.

No caso de sub-base, reforço do subleito ou últimas camadas do subleito, com profundidades inferiores a 30 cm (trinta centímetros) em relação a superfície do

pavimento acabado, o grau de compactação deve atingir pelo menos 100% (cem por cento) da densidade máxima em relação ao proctor normal.

6.2. Reconstrução da Camada de Base

O tipo de material a ser utilizado na reconstrução da camada de base será definido pela Fiscalização, preferencialmente adotando-se materiais o máximo possível similares aos das camadas do pavimento existente, observando se o seguinte critério:

a) No caso de base de macadame hidráulico, reconstruir a camada de base com uso de macadame hidráulico;
b) No caso de base de solo brita, reconstruir a camada de base com uso de solo brita;
c) No caso de base de solo arenoso fino laterítico, reconstruir a camada de base com uso de solo cimento com cerca de 8% de cimento em volume, que corresponde a 12 partes de solo para 1 parte de cimento. A misturação deverá ser executada inicialmente com os materiais secos para posterior umedecimento até se atingir a umidade ótima de compactação. O processo de misturação pode variar em função das dimensões do reparo, podendo ser executado manualmente com enxada, com betoneira, ou com grades de discos e pulvimisturadores rebocáveis;
d) No caso de base de macadame betuminoso, reconstruir a camada de base com uso de macadame betuminoso similar à do pavimento existente. Só será permitida a reutilização da pedra do macadame retirada na abertura da vala se esta estiver limpa sem contaminação de materiais prejudiciais ao desempenho da camada.

A espessura da camada a ser reconstruída deverá ser igual a espessura da camada do pavimento existente.

A largura da camada de base a ser reconstruída deverá ser a largura da vala acrescida de 20 cm (vinte centímetros) para cada lado. A remoção das camadas de base e revestimento nesses 20 cm deverá ser executada após a compactação das camadas inferiores do pavimento. Este alargamento tem os seguintes objetivos: permitir uma compactação mais adequada da base; melhorar o engastamento entre o pavimento novo e antigo; melhorar a distribuição de cargas sobre a vala reconstituída e; evitar futuros recalques e trincas nos bordos do remendo.

A compactação da camada de base será mecânica obtida com equipamento compatível com as dimensões do reparo e as características do material empregado na base. Poderão ser utilizados desde rolos compactadores de pequeno porte até compactadores manuais mecânicos.

Na reconstrução da camada de base, o grau de compactação deve atingir pelo menos 100% (cem por cento) da densidade máxima em relação ao proctor intermediário.

Em todos os casos de reconstrução da camada de base, com exceção da base de macadame betuminoso ou de revestimento em paralelepípedos/peças pré-moldadas de concreto é obrigatória a execução de uma imprimadura impermeabilizante sobre a superfície da base acabada.

A imprimadura impermeabilizante deve atender a especificação de serviço PMSJC ES-P14/19.

6.3. Reconstrução do Revestimento

O revestimento a ser reconstruído será definido pela Fiscalização, preferencialmente o máximo possível similar ao revestimento do pavimento existente, observando-se o seguinte critério:

a) No caso de revestimento em tratamentos superficiais, reconstruí-los conforme cada caso existente de acordo com as dosagens e taxas das especificações da PMSJC;
b) No caso de revestimento em paralelepípedos/peças pré-moldadas de concreto reconstruir a camada reaproveitando os paralelepípedos/peças pré-moldadas de concreto em boas condições, assentando os sobre um lastro de areia similar ao existente;
c) No caso de revestimento asfáltico, reconstruí-lo conforme cada caso existente de acordo com as dosagens da especificação da PMSJC.

A espessura do revestimento a ser reconstituído, deverá ser igual a espessura do revestimento do pavimento existente.

A largura do revestimento a ser reconstituído deve ser a largura da base reconstruída, acrescida de 10 cm para cada lado.

6.4. Condições Especiais

No caso de vala com largura superior a 1,50m, reconstruir todas as camadas do pavimento idênticas às existentes, observando as condições preconizadas nesta especificação.

No caso de valas muito pequenas, com larguras inferiores a 40 cm, reconstruir as camadas inferiores do pavimento observando as condições de compactação do item 3, executar sobre essas camadas uma base de concreto magro com espessura mínima de 12 cm e alargamento de 20 cm para cada lado, e executar o revestimento similar ao existente.

No caso de execução do reparo em período de chuvas, com presença permanente de água no fundo da vala que não permitam atender as condições de execução dos serviços conforme preconizado anteriormente, após consentimento da Fiscalização, adotar o seguinte procedimento:

Preencher a vala com areia grossa até cobrir cerca de 30 cm sobre o tubo ou equipamento existente na vala;

a) Lançar e compactar as camadas de solo inferiores do pavimento, tentando atender as condições de compactação do item 3;
b) Executar uma base de concreto magro com espessura mínima de 12 cm e alargamento de 20 cm para cada lado;
c) Executar o revestimento similar ao existente.

7. CONTROLE DE QUALIDADE

7.1. Subleito

Para camadas com profundidade superior a 45 cm em relação à superfície do pavimento acabado, o controle até essa profundidade será efetuado visualmente, pelo número de passadas do equipamento compactador e fica a critério da Fiscalização, a qualquer momento, a execução de ensaios tecnológicos para verificação da massa específica aparente. A partir da profundidade de 45 cm o controle será realizado semelhante ao descrito no parágrafo seguinte.

Para camadas com profundidade inferior a 45 cm em relação à superfície do pavimento acabado, será executada uma determinação do grau de compactação a cada uma das camadas do subleito, para cada 100 (cem) metros de extensão de vala, ou no mínimo 1 (uma) determinação por vala, no caso de valas isoladas de pequena extensão.

7.2. Base

Será executada uma determinação do grau de compactação e coleta de material para ensaios de caracterização em função do tipo de base conforme especificações da PMSJC, para cada 50 metros de extensão de vala, ou no mínimo 1 (uma) determinação por vala, no caso de valas isoladas de pequena extensão.

7.3. Revestimento

Será executada determinação de taxas de aplicação e/ou coleta de material para ensaios de caracterização em função do tipo de revestimento conforme especificações do PMSJC, para cada 50 metros de extensão de vala, ou no mínimo uma determinação por vala, no caso de valas isoladas de pequena extensão.

8. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

Os serviços recebidos serão medidos e pagos aos preços unitários contratuais, conforme descrito a seguir:

a) Por metro cúbico de reaterro com solo compactado (95% do proctor normal);
b) Por metro cúbico de reaterro com areia adensada;
c) Por metro cúbico de sub-base, reforço do subleito ou camada final de terraplanagem compactado (100% do proctor normal);
d) Por metro cúbico de camada de base executada, em função dos seguintes tipos de base:
    - Macadame betuminoso;
    - Macadame hidráulico;
    - Brita graduada simples;
    - Solo brita;
    - Solo-cimento, com 8% de cimento em volume;
    - Areia para assentamento de paralelepípedo;
    - Concreto magro (condições especiais em período de chuvas).
e) Por metro cúbico de revestimento acabado em função dos seguintes tipos de revestimento:
    - Concreto betuminoso usinado a quente;
    - Tratamento superficial direto ou invertido.
f) Por metro quadrado de reposição de paralelepípedo/peças pré-moldadas de concreto.

O transporte de materiais necessários não será medido para fins de pagamento em separado. Considera se o custo de transporte incluído nos preços unitários dos serviços.

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento dos serviços de sub-base e base de solo melhorado com cimento, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Material proveniente de mistura de solo, cimento e água em proporções previamente determinadas por processo próprio de dosagem em laboratório, de forma a apresentar determinadas características de resistência e durabilidade. Os teores usuais de cimento estão situados na faixa de 2 a 4%, em peso, em relação ao total da mistura.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR 5732 - Cimento Portland comum;
b) ABNT NBR 5735 - Cimento Portland de alto-forno;
c) ABNT NBR 5736 - Cimento Portland pozolânico;
d) ABNT NBR 6459 Solos – Limite de Liquidez;
e) ABNT NBR 7180 Solos – Limite de Plasticidade;
f) ABNT NBR 7181 Solos – Análise Granulométrica;
g) ABNT NBR 7185 Solos – Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia;
h) ABNT NBR 9813 Solos Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do cilindro de cravação;
i) ABNT NBR 16097 Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaios;
j) ABNT NBR 9895 Solos – Índice de Suporte Califórnia (ISC);
k) ABNT NBR 11579 - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200);
l) ABNT NBR 12023 - Solo-Cimento – Ensaio de compactação;
m) ABNT NBR NM 137 - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland;
n) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
o) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dia de chuva.

A camada de sub-base ou base de solo melhorado com cimento só deve ser executada quando a camada subjacente estiver liberada quanto aos requisitos de aceitação de materiais e execução.

A superfície deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade antes da execução da sub-base ou base de solo melhorado com cimento.

Durante todo o tempo que durar a execução da sub-base ou base de solo melhorado com cimento, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

5.1.1. Cimento

O cimento empregado deve atender a uma das seguintes especificações:

a) Cimento Portland comum - ABNT NBR 5732;
b) Cimento Portland de alto-forno - ABNT NBR 5735;
c) Cimento Portland pozolânico - ABNT NBR 5736.

5.1.2. Água

A água deve ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis, de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais. Deve atender aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR NM 137.

5.1.3. Solo

Os solos empregados devem ser os provenientes de ocorrências de materiais das áreas de empréstimo e jazidas, devendo apresentar as seguintes características:

a) Limite de liquidez menor que 40%, determinado conforme ABNT NBR 6459;
b) Índice de plasticidade menor que 18 %, conforme ABNT NBR 7180;
c) A curva granulométrica do material deve enquadrar-se nas faixas da Tabela 1;

d) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na Tabela 1, porém, sempre respeitando os limites da faixa granulométrica;
e) Não deve conter matéria orgânica e outras impurezas nocivas.

TABELA 1 – FAIXA GRANULOMÉTRICA DO SOLO

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO	TOLERÂNCIA
ASTM	mm		
3”	76	100	-
Nº 4	4,8	50 – 100	± 5%
Nº 40	0,42	15 – 100	± 2%
Nº 200	0,075	5 – 35	± 2%

5.2. Mistura Solo Melhorado com Cimento

A mistura de solo melhorado com cimento deve ser dosada conforme os critérios estabelecidos em projeto, onde a porcentagem de cimento a ser incorporada ao solo deve sempre ser determinada em relação a massa de solo seco.

A dosagem consiste na mistura de solo – cimento-água, a qual permanece em repouso, em saco plástico, por 72h, sendo a seguir moldados por compactação na energia de projeto corpos de prova de CBR os quais são imersos em água por 96h antes de serem submetidos aos ensaios de CBR e expansão.

5.2.1. Teor de Cimento

Define-se teor de cimento em massa, a relação entre a massa de cimento a ser aplicada e a massa de solo seco, multiplicado por 100.

A porcentagem em massa de cimento a ser incorporada ao solo para constituição da mistura deve ser fixada de modo a atender a resistência à compressão simples, aos vinte oito dias de cura, fixadas no projeto da estrutura do pavimento.

Os teores usuais de cimento estão situados na faixa de 2 a 4%, em peso, em relação ao total da mistura.

5.3. Aditivos

A executante pode, a seu ônus e se autorizado pela fiscalização, utilizar aditivos plastificantes ou retardadores de pega. A utilização de aditivos não deve acarretar diminuição da resistência do solo melhorado com cimento.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da sub-base ou base de solo melhorado com cimento compreende as seguintes unidades:

6.1. Mistura Processada na Pista

a) Pá-carregadeira;
b) Caminhões basculantes;
c) Motoniveladora pesada com escarificador;
d) Recicladora;
e) Rolos compactadores do tipo pé-de-carneiro "pata longa";
f) Rolos compactadores vibratórios corrugados;
g) Rolos compactadores pneumáticos, de pressão regulável;
h) Compactadores portáteis, manuais ou mecânicos;
i) Ferramentas manuais diversas (pás, garfos, enxadas, rastelos e outros).

6.2. Mistura Processada na Usina

a) Caminhões basculantes;
b) Motoniveladora equipada com escarificador;
c) Caminhão tanque irrigador de água com, no mínimo, 6.000 litros de capacidade, equipado com motobomba capaz de distribuir água sob pressão regulável e de forma uniforme;
d) Pá carregadeira;
e) Rompedores, eventuais;
f) Rolos compactadores tipos: pé de carneiro, liso, vibratório, estático e pneumático de pressão variável;
g) Duas réguas de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,00 m de comprimento;
h) Compactadores portáteis, manuais ou mecânicos;
i) Pequenas ferramentas, tais como: pás, enxadas, garfos, rastelos etc.;
j) Distribuidores de solo, capazes de produzir camadas uniformes nas espessuras definidas no projeto e com adensamento;
k) Usina de misturas de solos, para volume de solo melhorado com cimento superior a 25.000 m³.

As centrais de usina devem ser constituídas de:

- Silos: para cimento e solo, providos de comportas e equipados com dispositivo que permita a produção contínua da mistura;
- Correia transportadora: que transportem os solos e o cimento, na proporção conveniente, até o equipamento misturador;

- Misturador: constituído, normalmente, de uma caixa metálica tendo no seu interior, como elementos misturadores, dois eixos dotados de pás tipo pug-mill que rodam em sentido contrário, providos de chapa metálica em espiral ou de pequenas chapas fixadas em hastes e que, devido ao seu movimento, jogam os materiais contra as paredes, ao mesmo tempo em que os faz avançar até a saída do equipamento;
- Reservatórios de água e canalizações que permitam aspergir a água, após a homogeneização da mistura seca, deixando-a no teor de umidade ótimo previsto;
- Equipamento de carga de caminhões constituído de um silo, abastecido por transportadores de correia ou elevadores de canecas e colocado de modo que o caminhão transportador possa receber, por gravidade, a mistura. Este dispositivo é utilizado quando não é possível deixar o misturador na altura adequada, para que o carregamento se faça por gravidade.

7. EXECUÇÃO

7.1. Produção da Mistura

7.1.1. Mistura Processada na Usina

A usina deve ser calibrada racionalmente, de forma assegurar a obtenção das características desejadas para as misturas dos materiais.

Os solos empregados na mistura devem sofrer processo de pulverização até que se obtenha grau de pulverização de no mínimo 80% (% de material passando na peneira de abertura 4,8mm).

Os materiais que integram a mistura devem ser acumulados nos silos da usina, devendo ser previsto o eficiente abastecimento, de modo a evitar a interrupção da produção.

A mistura deve sair da usina perfeitamente homogeneizada, com teor de umidade ligeiramente acima da umidade ótima, de forma a fazer frente às perdas no decorrer das operações construtivas subsequentes.

O material deve ser transportado em caminhões basculantes, protegidos com lonas para que o material não perca umidade e nem receba água de chuva.

O tempo decorrido entre a adição de cimento e água no misturador e o início do espalhamento não deve ser superior a 1 hora, a menos que, a critério da fiscalização, e devidamente comprovado por ensaios, constate a possibilidade de aumentar este tempo.

Em qualquer hipótese o limite de tempo entre a produção e o final da compactação está fixado em 3 horas.

Não é permitida a estocagem do material usinado.

7.1.2. Mistura Processada na Pista

- Preparo da Superfície

a) A superfície que vai receber a camada de base ou sub-base de solo melhorado com cimento deve apresentar-se limpa, isenta de pó ou outras substâncias prejudiciais;
b) Eventuais defeitos existentes devem ser adequadamente reparados, previamente à aplicação da mistura.

- Extração dos Materiais na Jazida

a) A(s) jazidas(s) indicada(s) no projeto deve(m) ser objeto de criterioso zoneamento, com vistas à seleção de materiais que atendam às características especificadas;
b) Durante a operação de carga, devem ser tomadas as precauções necessárias para evitar a contaminação por materiais estranhos.

- Transporte e Distribuição do Solo

a) Não é permitido o transporte do material para a pista, quando o subleito ou a camada subjacente estiverem molhados, não sendo capaz de suportar, sem se deformar, a movimentação do equipamento;
b) Os caminhões basculantes descarregam as respectivas cargas em pilhas sobre a pista, com adequado espaçamento;
c) O espalhamento é efetuado mediante atuação da motoniveladora;
d) A definição da espessura do colchão de material solto que, após compressão, permita a obtenção da espessura de projeto e sua conformação adequada, deve ser obtida a partir de segmento experimental.

- Distribuição do Cimento

a) Concluído o espalhamento e a conformação do colchão de solo, o cimento deve ser distribuído uniformemente na superfície, em toda a largura de faixa, segundo o teor especificado pela dosagem, por processo manual ou mecânico;
b) Quando se empregar a distribuição em sacos, estes devem ser dispostos de modo a assegurar uniformidade na distribuição. Os sacos são contados, anotados, e em seguida distribuídos com rodos de madeira. Quando se utilizar a distribuição a granel, por processo mecânico, o equipamento deve ser aferido e aprovado pela Fiscalização. É sempre preferível a distribuição mecânica do cimento;

c) Imediatamente após a distribuição do cimento, é procedida a mistura deste com o solo, pela ação da recicladora, que simultaneamente promove a devida pulverização, umidificação e homogeneização;
d) O grau de pulverização especificado é de, no mínimo, 70% para solo melhorado com cimento;
e) Concluída a mistura, o teor de umidade deve estar compreendido na faixa de para solos argilosos e siltoso e ±1,0% para solos arenosos, em relação à umidade ótima indicada pelo ensaio de compactação, com a energia adotada em projeto.

7.2. Espalhamento

A mistura de solo melhorado com cimento deve ser adequadamente espalhada e conformada, de forma que a espessura solta seja suficiente para que se obtenha a espessura da camada acabada definida em projeto, nunca inferior a 10 cm e no máximo 20 cm. As bases de espessuras superiores a 20 cm devem ser executadas em mais de uma camada.

A mistura processada em usina deve ser espalhada com o distribuidor de solos, capaz de distribuir a mistura de solo melhorado com cimento em espessura uniforme, sem produzir segregação e de forma a evitar conformação adicional da camada, e que ao final das operações de compactação resulte na espessura definida em projeto.

A mistura processada na pista deve ser espalhada e conformada com a motoniveladora.

7.3. Compactação

Na fase inicial da obra, devem ser executados segmentos experimentais, com formas diferenciadas de execução, na sequência operacional de utilização dos equipamentos de modo a definir os procedimentos a serem obedecidos nos serviços de compactação. Deve-se estabelecer o número de passadas necessárias dos equipamentos de compactação para atingir o grau de compactação especificado, além do respectivo tempo gasto para finalização das operações.

Deve ser realizada nova determinação sempre que houver variação do material ou do equipamento empregado.

O teor de umidade do solo melhorado com cimento imediatamente antes do início das operações de compactação, deve estar compreendido no intervalo – 2,0 % à +1,0 % para solos argilosos e siltosos e ± 1,0% para solos arenosos, da umidade ótima de compactação.

A compactação de solos arenosos ou pouco argilosos deve ser feita, de preferência, com o emprego de rolos vibratórios corrugados e rolos pneumáticos de pressão variável, que assegurem a obtenção do grau de compactação exigido nesta especificação.

A compactação de solos argilosos deve ser iniciada com o emprego de rolos pé de carneiro e terminada com rolos vibratórios corrugados e lisos ou, de preferência, com rolos pneumáticos de pressão regulável.

Nos trechos em tangente, a compactação deve ser executada das bordas para o centro, em percursos equidistantes da linha base, eixo. Os percursos ou passadas do equipamento utilizado devem distar entre si de forma tal que, em cada percurso, seja coberta metade da faixa coberta no percurso anterior.

Nos trechos em curva, havendo sobrelevação, a compactação deve progredir da borda mais baixa para a mais alta, com percursos análogos aos descritos para trechos em tangente.

Nas partes adjacentes ao início e ao fim da camada em construção, a compactação deve ser executada transversalmente à linha do eixo. Nos locais inacessíveis aos rolos compactadores, como cabeceiras de obra de arte etc., a compactação deve ser executada com compactadores portáteis, manuais ou mecânicos.

As operações de compactação devem prosseguir até que se atinja o grau de compactação de 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, obtida na energia intermediária ou a especificada em projeto, obtida conforme ABNT NBR 12023.

Ao final das operações de compactação, se necessário a camada pode ser levemente umedecida de forma que a umidade seja mantida na umidade ótima ou ligeiramente próximo a desta.

O intervalo tempo máximo permitido entre o início e o término das operações de compactação é de 2 horas.

7.4. Acabamento

Após a conclusão da compactação, deve ser feito o acerto final da superfície com motoniveladora, somente em operações de corte, complementado em seguida por algumas passadas com rolos pneumáticos de pressão variável.

O material proveniente do corte deve ser descartado.

7.5. Juntas de Construção

Ao fim de cada jornada de trabalho, ou em caso de interrupção dos serviços, deve ser executada uma junta transversal de construção, mediante corte vertical da camada, podendo ser utilizado rompedores, ferramentas manuais ou lâmina da motoniveladora.

As juntas transversais de construção não devem coincidir entre dois panos de serviços adjacentes.

A face da junta deve ser umedecida antes da colocação da camada subsequente.

As juntas transversais não devem coincidir com os locais de juntas da camada subjacente anteriormente executada.

Nas juntas geradas nos pontos de início e fim da execução da camada, a compactação deve ser executada transversalmente ao eixo da pista.

7.6. Cura

Todo o trecho, logo após a sua execução de acordo com esta especificação, deve ser submetido a um processo de cura, devendo ser protegido contra a perda rápida de umidade, por pelo menos sete dias. A pintura de cura deve ser constituída por imprimação com emulsão asfáltica tipo RR-2C.

A emulsão asfáltica tipo RR-2C deve ser aplicada com caminhão à razão de 0,6 l/m². Sua aplicação deve ser executada sobre a superfície limpa com jato de ar comprimido, e suficientemente umedecida. O material deve ser aspergido, em uma única aplicação e na temperatura adequada.

7.7. Abertura ao Tráfego

A sub-base ou base de solo melhorado com cimento não deve ser submetida à ação direta das cargas e da abrasão do tráfego. Não deve ser executado pano muito extenso, para que a camada não fique exposta à ação de intempéries que possam prejudicar sua qualidade.

O tráfego deve ser interditado e deve-se também impedir o deslocamento de qualquer equipamento até que a camada tenha resistência compatível com sua solicitação de carga, no mínimo de sete dias, a imprimação esteja completamente rompida e curada.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo à metodologia indicada no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos

ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Cimento

Todo carregamento de cimento que chegar à obra deve vir acompanhado de certificado de qualidade que ateste que:

a) Atenda ABNT NBR 5732 quando for utilizado cimento Portland comum;
b) Atenda ABNT NBR 5735 quando for utilizado cimento Portland de alto-forno;
c) Atenda ABNT NBR 5736 quando for utilizado cimento Portland pozolânico.

8.1.2. Água

Deve ser examinada sempre que houver dúvida sobre a sua sanidade, conforme ABNT NBR NM 137.

8.1.3. Solo

Devem ser executados os ensaios abaixo discriminados, com materiais coletados na pista ou na jazida.

a) Análise granulometria do solo, de acordo com ABNT NBR 7181;
b) Limite de liquidez, conforme ABNT NBR 6459;
c) Limite de plasticidade, conforme ABNT NBR 7180.

8.2. Controle da Produção do Solo Melhorado com Cimento

8.2.1. Mistura Processada na Pista

a) Antes da aplicação do cimento

- Determinar o grau de pulverização do solo por meio de peneiramento do material com peneira de abertura 4,8 mm cujo resultado deve ser superior a 80%.

b) Determinar o teor de cimento

- Se a distribuição do cimento for realizada por processo mecânico, uma determinação a cada 8 horas por jornada de trabalho, por intermédio de pesagens;
- Se a distribuição do cimento for manual efetuar contagem do número de sacos de cimento consumidos, e comparar com o estabelecido no projeto de dosagem da mistura, para sub trecho em execução.

c) Em cada sub-trecho, determinar o intervalo de tempo decorrido entre o início do esparrame do cimento, umedecimento e seu término. O

intervalo máximo admitido entre a incorporação do cimento e da água à mistura solo-cimento, e o início da compactação é de 1 hora.

8.2.2. Mistura Processada na Usina

Determinar o teor de cimento através da razão entre a diferença de massas da mistura com cimento e sem adição de cimento, pela massa da mistura com adição de cimento, multiplicado por 100. Realizar uma determinação por jornada de 8 h de trabalho e sempre que houver indícios de falta de cimento. As coletas de material, com e sem adição de cimento são realizadas numa mesma extensão de correia transportadora em intervalos de tempo iguais de descarga do material sobre a correia.

Para cada carregamento e espalhamento, determinar o intervalo de tempo decorrido entre a saída da mistura da usina e o início da compactação. O intervalo máximo admitido entre a incorporação do cimento e da água no misturador e o início do espalhamento para a compactação é de 1 hora.

8.3. Controle da Execução

O controle da execução da camada deve ser realizado pelos seguintes procedimentos:

a) Determinação do teor de umidade, conforme, ABNT NBR 16097, imediatamente antes da compactação; se o teor de umidade deve estar compreendido no intervalo de -2,0 % a +1,0 % da umidade ótima, o material pode ser liberado para compactação;
b) Determinação da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima, conforme ABNT NBR 12023, na energia intermediária, em amostras coletadas na pista
~~c)~~ Ensaio de CBR, conforme ABNT NBR 9895, com determinação da expansão, na energia de compactação especificada em projeto. O ensaio deve ser realizado após sete dias de cura, sendo que nos 3 primeiros dias se procede a mistura do solo com o cimento e a água de moldagem. Essa mistura permanece em repouso dentro de saco plástico por 3 dias. Após esse período a mistura é compactada, os corpos de prova são imersos em água por 4 dias e determinado os valores de CBR e expansão;
d) Determinação, após o término da compactação, do teor de umidade e massa específica aparente seca in situ, de acordo com ABNT NBR 7185 ou ABNT NBR 9813, e o respectivo grau de compactação, em relação os valores obtidos na alínea b, em amostras retiradas na profundidade de no mínimo 75% da espessura da camada;
e) Anotação do intervalo de tempo entre o início e final da compactação, que não deve ser superior a 2 horas, para cada sub-trecho executado;

f) Devem ser registrados os locais de aplicação da mistura, sempre associados às datas de produção e com os respectivos ensaios de controle tecnológico.

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

8.4.1. Controle de Espessuras e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m, conforme nota de serviço.

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

8.4.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.4.3. Controle de Acabamento da Superfície

O acabamento da superfície dos diversos segmentos concluídos é verificado com duas réguas, uma de 1,20 m e outra 3,00 m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, nas diversas seções correspondentes às estacas da locação.

8.5. Deflexões

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

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

Os serviços recebidos da forma descrita serão medidos em:

a) Metros cúbicos de sub-base ou base acabada de solo melhorado com cimento misturado na pista;
b) Metros cúbicos de sub-base ou base acabada de solo melhorado com cimento misturado em usina;
c) Metros cúbicos de sub-base ou base acabada de solo melhorado com cimento, vezes quilômetros de distância de transporte:
d) Do solo ou solos utilizados, no caso de solo melhorado com cimento obtido por mistura na pista, ou;

e) Do solo ou solos utilizados, da jazida para a usina, e de solo melhorado com cimento, da usina para a pista, no caso do solo melhorado com cimento obtido por mistura em usina.

Os volumes de sub-base ou base serão calculados multiplicando a área da seção transversal de projeto pelas extensões determinadas pelo estaqueamento.

A área da seção transversal de projeto da sub-base ou base será calculada multiplicando a largura pela espessura de projeto. Quando houver mistura de solos, os volumes a considerar, para fins de pagamento, serão calculados multiplicando o volume da sub-base ou base acabada, pelas porcentagens em volume dos diversos solos na mistura.

As distâncias de transportes serão determinadas:

f) Quando o transporte for realizado dentro da faixa de domínio, pelo estaqueamento, e:
g) Quando o transporte for realizado fora da faixa de domínio, pelas leituras do odômetro do veículo transportador.

Para fins de pagamento do transporte da mistura, seja qual for o teor de cimento utilizado, não será considerada a contribuição do cimento na formação do volume da sub-base ou base acabada.

Não será cobrado do Empreiteiro o fornecimento de solo extraído de jazidas localizadas dentro da faixa de domínio e indicadas no projeto, ou em instruções da Fiscalização.

Os serviços recebidos e medidos na forma descrita serão pagos aos preços unitários contratuais respectivos e esse pagamento constituirá remuneração única para todos os materiais, mão-de-obra, leis sociais, equipamento e outros recursos utilizados em sua execução pelo Empreiteiro, abrangendo inclusive, benefício e despesas indiretas.

O transporte de solo e de solo melhorado com cimento será pago ao preço unitário contratual correspondente a transporte de solo para Reforço do Subleito. Qualquer dos materiais de proteção para a cura da camada não terá pagamento à parte, sua remuneração já se acha incluída no preço unitário da sub-base ou base de solo melhorado com cimento.

TABELA 2 – UNIDADE DE MEDIÇÃO	
SUB-BASE OU BASE DE SOLO MELHORADO COM CIMENTO, COM MISTURA REALIZADA:	**UNIDADE DE MEDIDA**
NA PISTA	m³
EM USINA	m³
TRANSPORTE DE SOLO	m³ x km

10. REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

a) AASHTO. (1989). *Construction Manual for Highway Construction.* AASHTO.

b) ABNT. (2017). *12254 Solo-cimento - Execução de base de solo-cimento.*

c) ABNT. (s.d.). *Associação Brasileira de Normas Técnicas.*

d) ANCADE; ANTER; IECA. (2008). *Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal.* Instituto Espanõl del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

e) ARTERIS. (2018). *Solo Cimento e Solo Tratado com Cimento .*

f) DNIT. (2010). *Pavimentação - Sub-base de solo melhorado com cimento .*

g) Jones, D., A.rahim, Saadeh, & Harvey, a. J. (2012). *Guidelines for the Stabilization of Subgrade Soils In California.* UC Berkeley: University of Carlifornia Pavement Research Center.

h) Pinto, S., & Preussler, E. S. (2010). *Pavimentação Rodoviária - Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexível.* Rio de Janeiro: Synergia.

i) Scullion, T., Sebesta, S., Harris, J. p., & Syed, a. I. (2005). *Evaluating the Performance of Soil-Cement and Cement-Modified Soil for Pavements: A Laboratory Investigation .* Portland Cement Association.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
CIMENTO			
Cimento Portland Comum Módulo de Finura ABNT NBR 11579	1 ensaio a cada 3.000 m² contínuos de pista	Resultados individuais	Atender DNER-EM 036 NBR 5732 Módulo de finura satisfatório
Cimento Portland de Alto-Forno Módulo de Finura ABNT NBR 11579	1 ensaio a cada 3.000 m² contínuos de pista	Resultados individuais	Atender DNER-EM 036 NBR 5735 Módulo de finura satisfatório
Cimento Portland Pozolânico Módulo de Finura ABNT NBR 11579	1 ensaio a cada 3.000 m² contínuos de pista	Resultados individuais	Atender DNER-EM 036 NBR 5736 Módulo de finura satisfatório
ÁGUA			
Qualidade da água ABNT NBR NM 137	Sempre que houver dúvida sobre a sua sanidade	Resultados individuais	Ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis, matéria orgânica ou outras substâncias nocivas e atender NBR NM 137
SOLO			
Análise Granulométrica ABNT NBR 7181	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro dos limites da faixa de granulométrica definida nesta especificação
Limite de Liquidez ABNT NBR 6459	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	LL < 40%
Limite de Plasticidade ABNT NBR 7180	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	IP < 18%

CONTROLE DE PRODUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
MISTURA PROCESSADA EM PISTA			
Grau de Pulverização Peneiramento através da peneira de 4,8mm, excluindo o material retido na peneira 9,5mm	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Grau de Pulverização igual ou superior a 80%
Teor de Cimento Distribuição Mecânica Efetuar Pesagem	1 determinação a cada 8 horas	Resultados Individuais	± 0,5% do teor de projeto da mistura
Teor de Cimento Distribuição Manual Efetuar Contagem Sacos	1 determinação em cada sub-trecho executado	Resultados Individuais	Número de sacos consumidos compatível com teor de projeto
MISTURA PROCESSADA EM USINA			
Teor de Cimento Razão entre a diferença de massas da mistura com e sem adição de cimento pela massa da mistura com adição de cimento. As coletas de material, com e sem adição de cimento realizadas em uma mesma extensão L da correia transportadora em intervalos de tempo iguais.	1 determinação por jornada de trabalho de 8 horas ou sempre que houver suspeita de falha na dosagem do cimento	Resultados Individuais	+ 0,5% do teor de projeto da mistura

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
CBR – ABNT NBR 9895 (adicionando-se 3 dias de cura da mistura de solo-cimento-água, precedendo a moldagem dos corpos de prova e a sua imersão de em água por 4 dias. Sub-Base – Energia Intermediária. Base – Energia. Modificada	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Igual ou superior aos valores definidos em projeto Em casos omissos: ≥30% para sub-bases ≥ 80% para bases
Expansão ABNT NBR 9895	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Sub-bases < 1,0 % Bases < 0,5 %
Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima – ABNT NBR 12023	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista	Determinação de Valores de Referência	Determinação de Valores de Referência
Massa Específica Aparente Seca, *in situ*, e Grau de Compactação – ABNT NBR 7185 e 9813	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Os segmentos devem ser analisados segundo Controle Estatístico e todas as amostras devem atender ao Controle Individual. Controle Estatístico GC ≥ 100% Controle Individual GC ≥ 98%
Teor de Umidade – ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 500 m² contínuos de pista, imediatamente antes da compactação	Resultados Individuais	Solos Arg. e Siltosos -2 pontos percentuais a +1 ponto percentual em relação à W Ótima Solos Arenosos -1 ponto percentual a +1 ponto percentual em relação à W Ótima

Verificação do intervalo de tempo decorrido entre o início da mistura e término da compactação	Para cada sub-trecho compactado	Resultados Individuais	Intervalo máximo admitido de 2 horas

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Determinação das Deflexões Viga Benkelman – DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de Valores Individuais superiores a 105% da deflexão de controle fornecida em projeto, o segmento deve ser refeito. Para camadas cimentadas, o projeto deverá fornecer a deflexão de referência associada ao estágio de cura desejado para o controle.

CONTROLE GEOMÉTRICO E DE ACABAMENTO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Espessuras e Cotas Locação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo e bordos e dois pontos intermediários	Resultados Individuais	Variação máxima admitida -2 a +1 cm da cota de projeto
Largura e Alinhamento da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Não se admite valores para semi-largura inferiores aos previstos em projeto
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de sub-base e base de brita graduada tratada com cimento, BGTC, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Brita graduada tratada com cimento é o produto resultante da mistura, em usina, de pedra britada, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos, em proporções determinadas experimentalmente. Após a misturação, compactação e cura, a mistura adquire propriedades físicas específicas para atuar como camada de base ou sub-base de pavimentos.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR NM 51 – Agregado Graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”;
b) ABNT NBR NM 137 – Água – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland;
c) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica;
d) DNER-ME 089 – Agregado Graúdo – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
e) ABNT NBR 5564 Anexo A – Agregado Graúdo – Determinação da forma dos fragmentos da pedra britada;
f) ABNT NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;
g) ABNT NBR 7182 – Ensaio de Compactação;
h) ABNT NBR 7185 – Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia;
i) ABNT NBR 7222 – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos;
j) ABNT NBR 11579 – Cimento – Módulo de Finura;
k) ABNT NBR 12052 – Agregado Miúdo – Determinação do equivalente de areia;
l) ABNT NBR 16097 Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaios;
m) ABNT NBR 11581 – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega;

n) ABNT NBR 5738 – Concreto – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos;
o) Procedimento ABCP 3016 – Determinação do teor de cimento em BGTC (titulometria);
p) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
q) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, Falling Weight Deflectometer.

4. CONDIÇÕES GERAIS

A brita graduada tratada com cimento pode ser empregada como camada de sub-base ou base de pavimentos.

A camada de brita graduada tratada com cimento deverá ser apoiada sobre camada de brita graduada simples. Não é permitida a execução da camada de BGTC sobre solos ou macadame seco.

Não será permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

O tempo máximo entre a mistura na usina e o término da compactação na pista é de 3 horas, devendo ser aferido pelo ensaio de início e fim de pega do cimento ABNT NBR 11581.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

5.1.1. Cimento

O cimento empregado deve atender à especificação de material DNER EM 036, para recebimento e aceitação do material. Podem ser empregados:

a) ABNT NBR 5732 – Cimento Portland comum;
b) ABNT NBR 5735 – Cimento Portland de alto-forno;
c) ABNT NBR 5736 – Cimento Portland pozolânico.

5.1.2. Água

Deve estar isenta de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais à hidratação do cimento. Deve atender aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR NM 137.

5.1.3. Agregados

A camada de base e sub-base de brita graduada tratada com cimento deve ser executada com materiais que atendam aos seguintes requisitos:

a) Os agregados utilizados obtidos a partir da britagem e classificação de rocha sã devem constituir-se por fragmentos duros, limpos e duráveis, livres do excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, assim como de outras substâncias ou contaminações prejudiciais;
b) Desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51, inferior a 40%;
c) Equivalente de areia do agregado miúdo, conforme ABNT NBR 12052, superior a 35%;
d) Partículas não cúbicas inferior a 15%, conforme ABNT NBR 5564 Anexo A;
e) Perda no ensaio de durabilidade conforme DNER ME 089, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 12%.

5.1.4. Projeto da Mistura da Brita Graduada Tratada com Cimento

A dosagem da mistura da brita tratada com cimento deve conter:

a) Curva granulométrica de projeto da mistura dos agregados que deve enquadrar-se na faixa granulométrica da Tabela 1;
b) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na Tabela 1, porém respeitando os limites da faixa granulométrica;
c) A porcentagem do material que passa na peneira no 200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira no 40.

TABELA 1 – FAIXA GRANULOMÉTRICA

PENEIRA DE MALHA QUADRADA		% EM MASSA, PASSANDO	TOLERÂNCIA
ASTM	mm	I	
1 ½”	37,5	100	± 7%
1”	25,0	90-100	± 7%
¾”	19,0	75-95	± 7%
3/8”	9,5	45-64	± 7%
Nº 4	4,8	30-45	± 5%
Nº 10	2,0	18-33	± 5%
Nº 40	0,42	7-17	± 5%
Nº 80	0,18	1-11	± 3%
Nº 200	0,075	0-8	± 2%

5.1.5. Projeto da Mistura da Brita Graduada Tratada com Cimento

Define-se teor de cimento em massa a relação entre a massa de cimento e a massa de agregados secos, multiplicado por 100.

A porcentagem em massa de cimento a ser incorporada aos agregados para constituição da mistura deve ser fixada de modo a atender a resistência à compressão simples e à tração no ensaio de compressão diametral, ambas aos 28 dias, fixadas no projeto da estrutura do pavimento.

Quando necessário, a incorporação de aditivos deve ser cuidadosamente estudada, e sua dosagem deve ser feita de maneira racional em laboratório.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento compreende as seguintes unidades:

a) Usina misturadora dotada de unidade dosadora com, no mínimo, três silos, dispositivo de adição de água com controle de vazão e misturador do tipo pugmill;
b) Caminhões basculantes;
c) Vibro-acabadora;
d) Rolos compactadores autopropulsores dos tipos liso, vibratório, estático e do tipo pneumático com controle de pressão;
e) Caminhão tanque irrigador de água;
f) Motoniveladora com escarificador;
g) Compactadores vibratórios manuais ou portáteis, uso eventual;
h) Pá carregadeira;
i) Rompedores, eventuais;
j) Duas réguas de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,0 m de comprimento;
k) Ferramentas manuais diversas.

7. EXECUÇÃO

7.1. Preparo da Superfície

A superfície a receber a camada de sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento deve estar totalmente concluída, perfeitamente limpa, isenta de pó, lama e demais agentes prejudiciais, desempenada e com as declividades estabelecidas no projeto, além de ter recebido prévia aprovação por parte da fiscalização.

Eventuais defeitos existentes devem ser adequadamente reparados antes da distribuição da brita graduada tratada com cimento.

7.2. Produção

A brita graduada tratada com cimento deve ser preparada em usina do tipo contínua ou descontínua. Os agregados, o cimento e a água devem ser dosados em massa.

Os agregados resultantes da operação de britagem normalmente formam três frações de dimensões máximas distintas, devendo ser estocados convenientemente, além de drenados e cobertos de modo que cada fração ocupe um silo da usina. Não é permitida a mistura prévia dos materiais no abastecimento da usina. Cada uma das frações deve apresentar homogeneidade granulométrica.

Nas usinas utilizadas para produção brita graduada tratada com cimento, os silos devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador, e devem possuir, no mínimo, três silos agregados. Os silos devem conter dispositivos que os abriguem da chuva.

A usina deve ser calibrada racionalmente, de forma a assegurar a obtenção das características desejadas para a mistura.

As frações obtidas, acumuladas nos silos da usina, são combinadas no misturador, acrescentando-se ainda a água necessária à condução da mistura de agregados à respectiva umidade ótima, mais o acréscimo destinado a fazer frente às perdas verificadas nas operações construtivas subsequentes. O abastecimento dos insumos deve ser convenientemente programado de modo a evitar a interrupção da produção.

As frações devem ser combinadas de forma tal a enquadrar a mistura final dentro da faixa granulométrica especificada.

A introdução da água no misturador deve ser controlada por meio de dispositivo que permita a verificação da quantidade acrescentada por ciclo.

Eventuais zonas mortas no misturador, nas quais o material não seja revolvido suficientemente, devem ser desfeitas.

7.3. Transporte

A brita graduada tratada com cimento produzida na central deve ser descarregada diretamente sobre caminhões basculantes e em seguida transportada para a pista. Os materiais devem ser protegidos por lonas para evitar perda de umidade durante seu transporte.

Não é permitida a estocagem do material usinado. A produção da brita graduada na usina deve ser adequada às extensões de aplicação na pista.

7.4. Espalhamento

A definição da espessura do material solto deve ser obtida a partir da criteriosa observação de panos experimentais previamente executados. Após a compactação, essa espessura deve permitir a obtenção da espessura definida em projeto.

Imediatamente antes do espalhamento, a superfície a ser recoberta deve ser umedecida sem apresentar excessos de água.

A operação de espalhamento deve ser feita com vibro-acabadora, capaz de distribuir a brita graduada tratada com cimento em espessura uniforme sem produzir segregação e de forma a evitar conformação adicional da camada. Caso, no entanto, isto seja necessário, admite-se conformação pela atuação da motoniveladora, exclusivamente por ação de corte, previamente ao início da compactação.

A largura de cada pano não deve permitir que juntas longitudinais se situem abaixo de trilhas de tráfego.

O mesmo procedimento deve ser realizado nas juntas transversais, as quais não devem coincidir com bueiros, drenos ou outros fatores que venham a enfraquecer a seção.

O espalhamento não pode ser realizado sob chuva.

Não será permitido o espalhamento do material com motoniveladora.

7.5. Compactação e Acabamento

O tipo de equipamento a ser utilizado e o número de passadas do rolo compactador devem ser definidos logo no início da obra, em função dos resultados obtidos na execução de trechos experimentais, de forma que a camada atinja o grau de compactação especificado. Este procedimento deve ser repetido no caso de mudança no projeto da faixa granulométrica adotada.

Terminada a operação de espalhamento, o material deve ser rapidamente compactado. O tempo decorrido entre a adição de água à mistura e o término da compactação não deve exceder o tempo de início de pega do cimento.

A energia de compactação a ser adotada como referência para a execução da brita graduada tratada com cimento, deve ser a intermediária, que deve ser adotada na determinação da densidade seca máxima e umidade ótima, determinadas conforme a NBR 7182. O teor de umidade da brita graduada

tratada com cimento, imediatamente antes da compactação, deve estar compreendido no intervalo de -1,0 % a +1,0 %, em relação à umidade ótima obtida de compactação.

A compactação da brita graduada tratada com cimento é executada mediante o emprego de rolos vibratórios lisos e de rolos pneumáticos de pressão regulável.

Nos trechos em tangente, a compactação deve evoluir partindo das bordas para eixo, e nas curvas, partindo da borda interna para borda externa. Em cada passada, o equipamento utilizado deve recobrir, ao menos, a metade da faixa anteriormente compactada.

Em lugares inacessíveis ao equipamento de compactação ou onde seu emprego não for recomendável, a compactação requerida deve ser realizada à custa de compactadores portáteis, sejam manuais ou mecânicos.

A camada deve ser executada em espessura única, totalizando o valor definido em projeto.

A espessura da camada compactada deve ser de no mínimo 12,5 cm e no máximo 20 cm.

A compactação deve evoluir até que se obtenha o grau de compactação mínimo superior a 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, obtida no ensaio de compactação, conforme NBR 7182, na energia intermediária, e o desvio de umidade deve estar compreendido entre -1,0 % a +1,0 %.

7.6. Junta de Construção

Ao fim de cada jornada de trabalho, ou em caso de interrupção dos serviços, deve ser executada uma junta transversal de construção, mediante corte vertical da camada, podendo ser utilizados: rompedores, ferramentas manuais ou lâmina da motoniveladora.

As juntas transversais de construção não devem coincidir entre dois panos de serviços adjacentes.

A face da junta deve ser umedecida antes da colocação da camada subsequente.

As juntas transversais não devem coincidir com os locais de juntas da camada subjacente anteriormente executada.

Nas juntas geradas nos pontos de início e fim de execução da camada a compactação deve ser executada transversalmente ao eixo da pista.

7.7. Cura

A superfície da brita graduada com cimento deve ser protegida contra a evaporação da água por meio de imprimação com emulsão asfáltica RR-2C, de acordo com a PMSJC ES-P-14/19 - Imprimações Betuminosas. A película protetora deve ser aplicada em quantidade suficiente para construir uma membrana contínua. Este procedimento deve ser executado imediatamente após o término da compactação.

Previamente à aplicação da pintura de cura, se necessário, a camada deve ser adequadamente umedecida.

A aplicação da imprimação da camada só deve ser executada se a camada tiver sido liberada pela fiscalização. No caso de ocorrência de chuvas, antes da aplicação da imprimação, a camada de BGTC deve ser removida e refeita, sem ônus ao contratante.

7.8. Abertura ao Tráfego

A sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento não deve ser liberada à ação do tráfego. A fiscalização poderá, em caráter excepcional, autorizar a abertura ao tráfego desde que a camada apresente, na ocasião, resistência compatível com a solicitação de carga e que a imprimação esteja completamente rompida e curada.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Cimento

Deve ser realizado um ensaio de finura, conforme NBR 11579(11) a cada 30 t de cimento utilizado.

8.1.2. Água

Deve estar isenta de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais à hidratação do cimento.

Sempre que houver indícios sobre a má qualidade da água, verificar a sua sanidade conforme a ABNT NBR NM 137.

8.1.3. Controle dos Materiais na Usina

Devem ser executados os seguintes ensaios no agregado graúdo:

a) Abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51;
b) Índice de forma e percentagem de partículas lamelares, conforme NBR 6954;
c) Durabilidade com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089;
d) Para agregado miúdo, determinar o equivalente de areia, conforme ABNT NBR 12052.

8.2. Controle da Produção da Brita Graduada com Cimento na Usina

O controle das características da mistura na usina deve abranger:

a) Determinação do teor de umidade conforme ABNT NBR 16097, com amostras coletadas na saída do misturador; o desvio da umidade em relação à umidade ótima deve ser estabelecido experimentalmente, no início dos serviços, em função da perda de umidade por evaporação, ocorrida entre a saída do misturador e o início das operações de compactação;
b) Granulometria, conforme ABNT NBR NM 248;
c) Determinação do teor de cimento, obtido pela razão entre a diferença de massas da mistura, com cimento e sem cimento, pela massa da mistura sem cimento, multiplicado por 100; as massas da mistura com e sem cimento são obtidas a partir de coletas na correia transportadora; as amostras devem ser recolhidas na mesma extensão da correia.

8.3. Controle da Execução

O controle das características da brita graduada tratada com cimento com cimento na pista deve abranger:

a) Determinação do teor de umidade, imediatamente antes da compactação conforme ABNT NBR 16097;
b) Ensaio de compactação na energia intermediária, conforme método ABNT NBR 7182, para determinação da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima, de amostras coletadas na pista;
c) Determinação da resistência à compressão simples, de amostras coletadas na pista, aos 7 e 28 dias de cura, ABNT NBR 5739;
d) Determinação da resistência à tração por compressão diametral, aos 7 e 28 dias de cura, conforme ABNT NBR 7222;
e) Determinação da massa específica aparente seca in situ, conforme ABNT NBR 7185 e respectivo grau de compactação;

f) Determinar o intervalo de tempo decorrido entre a incorporação do cimento à mistura na usina e o início da compactação. Este intervalo não deve ser superior ao início de pega do cimento.
g) Devem ser registrados os locais de aplicação da mistura, sempre associados às datas de produção, mediante controle de carga e descarga realizada pelos caminhões acompanhados, com os respectivos ensaios de controle tecnológico.

Na moldagem dos corpos de prova, para determinação da resistência à compressão simples e à tração, cada exemplar é constituído por dois corpos de prova moldados na mesma massada, no mesmo ato, para cada idade de rompimento. Toma-se como resistência do exemplar, na idade de rompimento, o maior dos dois valores obtidos no ensaio. Os corpos de prova devem ser moldados imediatamente antes do início da compactação na pista.

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

8.4.1. Controle de Espessuras e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas, entre a camada subjacente e a de brita graduada tratada com cimento, devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m, conforme nota de serviço.

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

8.4.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.4.3. Controle de Acabamento da Superfície

Durante a execução deve ser feito, em cada estaca da locação, o controle de acabamento da superfície 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 pista.

Deve ser conferida especial atenção à verificação da presença de segregação superficial.

8.5. Deflexões

As deflexões recuperáveis exigidas em projeto devem ser verificadas a cada 20 m por faixa alternada e 40 m na mesma faixa, seja pela Viga Benkelman,

conforme DNER ME 24, ou por FWD – *Falling Weight Deflectometer*, conforme DNER PRO 273, após 28 dias de cura.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

Os serviços recebidos da forma descrita serão medidos em:

a) Metros cúbicos de sub-base ou base acabada de brita graduada tratada com cimento misturado em usina;
b) Metros cúbicos de sub-base ou base acabada de brita graduada tratada com cimento, vezes quilômetros de distância de transporte.

Os volumes de sub-base ou base serão calculados multiplicando a área da seção transversal de projeto pelas extensões determinadas pelo estaqueamento.

A área da seção transversal de projeto da sub-base ou base será calculada multiplicando a largura pela espessura de projeto.

As distâncias de transportes serão determinadas:

- Quando o transporte for realizado dentro da faixa de domínio, pelo estaqueamento, e:
- Quando o transporte for realizado fora da faixa de domínio, pelas leituras do odômetro do veículo transportador.

Para fins de pagamento do transporte da mistura, seja qual for o teor de cimento utilizado, não será considerada a contribuição do cimento na formação do volume da sub-base ou base acabada.

Os serviços recebidos e medidos na forma descrita serão pagos aos preços unitários contratuais respectivos e esse pagamento constituirá remuneração única para todos os materiais, mão-de-obra, leis sociais, equipamento e outros recursos utilizados em sua execução pelo Empreiteiro, abrangendo inclusive, benefício e despesas indiretas.

O transporte de BGTC será pago ao preço unitário contratual correspondente a transporte de BGS. Qualquer dos materiais de proteção para a cura da camada não terá pagamento à parte, sua remuneração já se acha incluída no preço unitário da sub-base ou base de solo-cimento.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
CIMENTO			
Módulo de Finura ABNT NBR 11579	1 ensaio a cada 3.000 m² contínuos de pista	Resultados individuais	Atender DNER-EM 036 e índice de finura satisfatório
ÁGUA			
Qualidade da água ABNT NBR NM 137	Sempre que houver dúvida sobre a sua sanidade	Resultados individuais	Ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis, matéria orgânica ou outras substâncias nocivas e atender NBR NM 137
AGREGADO GRAÚDO			
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	Partículas não cúbicas inferior a 15%.
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	$\leq$ 40%
Durabilidade frente ao Sulfato de Sódio e Sulfato de Magnésio, em 5 ciclos DNER ME 089	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	Sulfato de Sódio < 12%
AGREGADO MIÚDO			
Equivalente de Areia ABNT NBR 12052	1 ensaio por jornada de 8 h de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	≥ 35%

CONTROLE DA PRODUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Teor de Cimento Razão entre a diferença de massa da mistura - com cimento e sem cimento - pela massa da mistura sem cimento, multiplicado por 100.	1 determinação por jornada de trabalho de 4 horas de produção ou sempre que houver suspeita de falha na dosagem do cimento	Resultados Individuais	± 0,5% do teor de projeto da mistura
Teor de Cimento por titulometria Procedimento ABCP 3016	1 determinação por jornada de trabalho de 8 horas de produção ou sempre que houver suspeita de falha na dosagem do cimento	Resultados Individuais	± 0,5% do teor de projeto da mistura
Teor de Umidade ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 4 horas de produção ou sempre que houver suspeita de falha na adição da água	Resultados Individuais	-1 ponto percentual a +1 ponto percentual em relação à Umidade Ótima
Granulometria da Mistura ABNT NBR NM 248	1 ensaio a cada 4 horas de produção ou sempre que houver suspeita de falha na adição dos agregados	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro da faixa de trabalho

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima Energia Intermediária NBR 7182	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Determinação de Valores de Referência
Massa Específica Aparente Seca, *in situ*, e Grau de Compactação ABNT NBR 7185 e 9813	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Os segmentos devem ser analisados segundo Controle Estatístico e todas as amostras devem atender ao Controle Individual. Controle Estatístico GC ≥ 100% Controle Individual GC ≥ 98%
Teor de Umidade – ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 500 m² contínuos de pista, imediatamente antes da compactação	Resultados Individuais	-2% a + 1% da umidade ótima de compactação o material está liberado para início da compactação
Determinação da resistência à compressão aos 7 e 28 dias de cura. ABNT NBR 5739	Ruptura aos 7 dias 1 determinação a cada 500 m² de pista Ruptura aos 28 dias 1 determinação a cada 1000m², de pista	Controle Unilateral $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras e Resultados Individuais	Resistência a compressão aos 28 dias de cura igual ou superior à de projeto. Não serão admitidos valores individuais inferiores a 90% da resistência de projeto

Determinação da resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de cura. ABNT NBR 7222	<u>Ruptura aos 7 dias</u> 1 determinação a cada 500 m^2 de pista <u>Ruptura aos 28 dias</u> 1 determinação a cada 1000m², de pista	Controle Unilateral $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras e Resultados Individuais	Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de cura igual ou superior à de projeto. Não serão admitidos valores individuais inferiores a 90% da resistência de projeto.
Determinação das Deflexões Viga Benkelman após 28 dias de cura DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de Valores Individuais superiores a 105% da deflexão de controle fornecida em projeto, o segmento deve ser refeito. Para camadas cimentadas, o projeto deverá fornecer a deflexão de referência associada ao estágio de cura desejado para o controle.

CONTROLE GEOMÉTRICO E DE ACABAMENTO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Espessuras e Cotas Locação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo e bordos e dois pontos intermediários	Resultados Individuais	Variação máxima admitida -2 a +1 cm da cota de projeto
Largura e Alinhamento da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Não se admite valores para semi-largura inferiores aos previstos em projeto
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de sub-base de macadame seco, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

A sub-base de macadame seco é constituída por agregados graúdos, naturais ou britados. Seus vazios são preenchidos a seco por agregados miúdos, cuja estabilização é obtida pela ação da energia de compactação.

Camada de bloqueio ou isolamento é a parte inferior da camada de macadame seco, limitada à espessura de 0,04 m após a compactação, constituídos por finos da britagem, aplicada nos casos que a camada subjacente ao macadame seco é constituída por solos com mais de 35% passando na peneira 200.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR NM 51 – Agregado Graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”;
b) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica;
c) DNER-ME 089 – Agregado Graúdo – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
d) ABNT NBR 6459 Solos – Limite de Liquidez;
e) ABNT NBR 7180 Solos – Limite de Plasticidade;
f) ABNT NBR 12052 – Agregado Miúdo – Determinação do equivalente de areia;
g) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
h) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, Falling Weight Deflectometer.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

A camada de macadame seco não poderá ser utilizada como base da estrutura de pavimento.

A camada de sub-base de macadame seco só pode ser executada quando a camada subjacente estiver liberada, quanto aos requisitos de aceitação de materiais e execução.

A superfície deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade antes da execução da sub-base de macadame seco.

Durante todo o tempo de execução da camada, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

Não é admitida a complementação da espessura desejada pela adição excessiva de finos, os quais, acumulados sobre o agregado graúdo, possibilitam o aparecimento de trincas, escorregamentos e deformações no revestimento.

Quando se desejar camadas de sub-bases de espessura superior a 20 cm, os serviços devem ser executados em mais de uma camada de espessuras iguais.

No caso de construção em meia pista, é obrigatório o uso de formas ao longo do eixo da estrada; as formas devem ser metálicas ou de madeira, tendo estas últimas espessuras de no mínimo 5 cm.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

5.1.1. Agregado Graúdo

O agregado graúdo deve constituir-se por pedra britada tipo rachão, produto total da britagem primária, constituído de fragmentos duros duráveis, livres de excesso de partículas lamelares, alongadas, macias ou de fácil desintegração, matéria orgânica e outras substâncias ou contaminações prejudiciais. O agregado graúdo deve atender aos seguintes requisitos:

a) O diâmetro máximo do agregado deve estar compreendido entre 1/2 e 2/3 da espessura final da camada. No entanto devido ao processo de obtenção da pedra rachão, admite-se um percentual de até 10% de agregado com granulometria entre 4” e 6”. O agregado graúdo deve satisfazer a faixa granulométrica da Tabela 1:

TABELA 1 – FAIXAS GRANULOMÉTRICAS		
PENEIRA DE MALHA QUADRADA		**% EM MASSA, PASSANDO**
ASTM	**mm**	**I**
6”	152,4	100
4”	101,6	90-100
3”	76,2	65-80
2”	50,8	15-55
1”	25,4	5-30
½”	12,7	2-18
Nº 4	4,8	0-15

b) A perda no ensaio de durabilidade conforme DNER ME 089, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 20%, e com sulfato de magnésio inferior a 30%;
c) Desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles, conforme NBR NM 51, deve ser inferior a 50%.

5.1.2. Agregado para Material de Enchimento e Camada de Isolamento ou Bloqueio

O material de enchimento e da camada de isolamento deve constituir-se por produto de britagem com 50% do material com granulometria entre ¾” (19,1 mm) e 3/8” (9,5 mm) e 50% do material com granulometria inferior a 3/8”, de forma a permitir o travamento da camada de pedra rachão e evitar a penetração no material do subleito.

O agregado deve atender os seguintes requisitos:

a) A perda no ensaio de durabilidade conforme DNER ME 089, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 20%, e com sulfato de magnésio inferior a 30%;
b) O equivalente de areia, conforme NBR 12052, deve ser igual ou superior a 55%;
c) A fração que passa na peneira de abertura 0,42 mm (nº 40), deve apresentar limite de liquidez, conforme NBR 6459, igual ou inferior a 25% e índice de plasticidade inferior ou igual a 6%.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução da sub-base de macadame seco compreende as seguintes unidades:

a) Caminhão basculante;
b) Pá-carregadeira;
c) Motoniveladora ou trator esteira equipado com lâmina;
d) Rolo compactador tio pé de carneiro;
e) Rolo liso autopropelido, vibratório;
f) Compactadores portáteis vibratórios ou sapo mecânico;
g) Equipamentos e ferramentas complementares, pás, carrinhos de mão, vassourões ou vassouras mecânicas.

7. EXECUÇÃO

7.1. Camada de Isolamento ou Bloqueio

A camada de isolamento aplica-se aos casos em que o macadame seco é executado diretamente sobre o material que apresente mais do que 35%, em peso, passando na peneira de abertura de 0,074 mm, nº 200. Sua execução tem por objetivo evitar que o agregado graúdo penetre no material subjacente e que, como consequência, os finos existentes sejam bombeados e venham a contaminar a camada a executar.

Esta camada deve ser executada na largura da pista e deve possuir espessura de 4,0 cm após a compactação, com tolerância de mais um centímetro.

O espalhamento do material de bloqueio deve ser executado por motoniveladora. A acomodação da camada deve ser feita pela compactação, com emprego de rolo estático liso, preferencialmente, em uma ou, no máximo, duas coberturas.

7.2. Camada de Agregado Graúdo

O agregado graúdo deve ser espalhado em uma camada uniformemente distribuída, obedecendo aos alinhamentos e perfis projetados. A espessura solta dos agregados deve ser constante e suficiente para que seja obtida a espessura especificada após compactação.

O espalhamento pode ser feito com motoniveladora ou trator de esteira com lâmina.

Após o espalhamento do agregado graúdo, deve-se executar a verificação do greide e da seção transversal com cordéis ou gabaritos; caso ocorra deficiência ou excesso de material, deve-se efetuar a correção pela adição ou remoção do material. No caso de existir deficiência de material, utilizar sempre agregado graúdo, sendo vetado o uso de agregado miúdo.

Efetuadas as correções necessárias, deve ser obtida a acomodação do material graúdo, previamente ao lançamento do material de enchimento, pela passagem do rolo liso sem vibrar.

7.3. Operações de Enchimento e Acabamento

O material de enchimento, o mais seco possível, e obedecendo a faixa granulométrica especificada, deve ser espalhado com motoniveladora sobre a camada de agregado graúdo, de modo a preencher os vazios deste já parcialmente compactado.

Após a distribuição do material de enchimento, a camada deve ser compactada com uso de rolo liso vibratório, para forçar a penetração do material nos vazios do agregado graúdo.

Nos trechos em tangente, a compactação deve partir sempre das bordas para o eixo, e, nas curvas, da borda interna para a externa. Em cada passada, o equipamento utilizado deve recobrir ao menos a metade da faixa anteriormente compactada.

Em lugares inacessíveis ao equipamento de compactação, ou onde seu emprego não seja recomendável, a compactação requerida deve ser feita com compactadores portáteis, manuais ou sapos mecânicos.

A aplicação do material de enchimento deve ser feita uma ou mais vezes, até se obter um bom preenchimento, evitando-se o excesso superficial.

Logo após a completa compactação da camada, deve ser feita nova verificação na superfície para verificar a ocorrência de excesso ou deficiência de material de enchimento. Constatado o excesso ou falta de finos, deve-se realizar as correções necessárias da seguinte forma:

- Se houver deficiência de finos, deve-se processar o espalhamento da segunda camada de material de enchimento;
- Se houver excesso de finos, deve-se processar a remoção do material excedente por meios manuais ou mecânicos, utilizando-se ferramentas auxiliares, tais como: pá, enxada, rastelo ou vassoura mecânica.

A compactação deve prosseguir até se obter um bom entrosamento dos agregados componentes da camada de macadame seco.

7.4. Abertura ao Tráfego

Concluída a compactação, a camada deve ser aberta ao tráfego da obra e usuários, de forma controlada e direcionada, mantendo-se a superfície umedecida. Esta etapa deve estender-se por período suficiente, que permita a

verificação de eventuais problemas localizados de travamento deficiente. Caso ocorram deficiências de travamento, devem ser executadas as correções pertinentes.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Agregado Graúdo

Devem ser executados os seguintes ensaios:

a) Durabilidade com sulfato de sódio e magnésio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089;
b) Abrasão Los Angeles, conforme NBR NM 51;
c) Análise Granulométrica, conforme NBR 248.

8.1.2. Agregado para Enchimento e Camada de Isolamento

Devem ser executados os seguintes ensaios nos materiais utilizados para as camadas de enchimento ou isolamento:

a) Durabilidade com sulfato de sódio em cinco ciclos, conforme DNER ME 089;
b) Equivalente de areia, determinado conforme NBR 12052;
c) Análise Granulométrica, conforme NBR 248;
d) Na fração que passa na peneira de abertura 0,42 mm, nº 40, realizar: um ensaio de limite de liquidez, determinado conforme NBR 6459, e um ensaio de limite de plasticidade, conforme NBR 7180.

8.2. Controle de Execução

O controle da execução da sub-base de macadame seco deve ser realizado através de inspeção visual, com:

a) Verificação da uniformidade e espessura da camada de bloqueio, em cada faixa compactada;
b) Verificação das condições de compactação do macadame seco efetuada visualmente, em cada faixa compactada;
c) Constatação de que eventuais pontos fracos, observados após a liberação do tráfego, foram corrigidos.

8.3. Controle Geométrico e de Acabamento

8.3.1. Controle de Espessuras e Cotas

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m e, devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal a cada 20 m, conforme nota de serviço.

8.3.2. Controle da Largura e Alinhamentos

A verificação do eixo e 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.

8.3.3. Controle de Acabamento da Superfície

As condições de acabamento da superfície devem ser verificadas visualmente.

8.4. 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, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A medição dos serviços, executados e recebidos na norma descrita, serão medidos em metros cúbicos de sub-base de Macadame Seco compactada na pista, segundo a seção transversal de projeto.

No cálculo dos volumes, obedecidas as tolerâncias especificadas, será considerada a espessura média X, calculada como indicado anteriormente desde que X não seja inferior à espessura de projeto. No caso de X ser maior do que a espessura de projeto, será considerada a de projeto para o cálculo do volume.

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, transportes, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e outros gastos eventuais necessários à completa execução dos serviços.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
AGREGADO GRAÚDO			
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	≤ 50%
Análise Granulométrica ABNT NBR NM 248	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro da faixa de trabalho
Durabilidade frente ao Sulfato de Sódio e Sulfato de Magnésio, em 5 ciclos DNER ME 089	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	Sulfato de Sódio < 20% Sulfato de Magnésio < 30%
AGREGADO P/ ENCHIMENTO E CAMADA DE ISOLAMENTO OU BLOQUEIO			
Equivalente de Areia ABNT NBR 12052	1 ensaio por jornada de 8 h de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	≥ 55%
Análise Granulométrica ABNT NBR NM 248	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	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	Valores obtidos estatisticamente devem estar dentro da faixa de trabalho
Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade ABNT NBR 6459 ABNT NBR 7180	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	LL≤ 25% IP ≤ 6%
Durabilidade frente ao Sulfato de Sódio e Sulfato de Magnésio, em 5 ciclos DNER ME 089	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	Sulfato de Sódio < 20% Sulfato de Magnésio < 30%

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Verificação da uniformidade e espessura da camada de bloqueio conforme projeto Visual	Em cada faixa compactada	Resultados Individuais	Verificação da uniformidade e espessura da camada de bloqueio em conformidade com o projeto
Verificação das condições de compactação Visual	Em cada faixa compactada	Resultados Individuais	Quando não existirem sulcos ou ondulações a frente do rolo compactador, a compactação será considerada finalizada
Correção de defeitos Visual	Pontos localizados, detectados após abertura do tráfego	Resultados Individuais	A correção dos defeitos seja considerada satisfatória
Determinação das Deflexões Viga Benkelman DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de valores individuais superiores a 105% da deflexão de controle do projeto, o segmento deve ser refeito

CONTROLE GEOMÉTRICO E DE ACABAMENTO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Espessuras e Cotas Locação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo e bordos e dois pontos intermediários	Resultados Individuais	Variação máxima admitida -2 a +1 cm da cota de projeto. O abaulamento da seção transversal deve estar compreendido de ±0,5%, em relação ao valor de projeto, não se admitindo depressões que propiciem acúmulo de água.
Largura e Alinhamento da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Não se admite valores para semi-plataforma inferiores aos previstos em projeto, tolerando-se no máximo +15 cm na semi-largura.
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm
Inspeção na superfície Visual	Em toda superfície	Resultados Individuais	Não ocorram finos na superfície, e acabamento seja julgado satisfatório.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento dos serviços de microrrevestimento asfáltico a frio, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Microrrevestimento asfáltico a frio é uma mistura composta de agregado mineral, material de enchimento, filler, emulsão asfáltica modificada por polímero, água e aditivos se necessários, com consistência fluida, uniformemente espalhada sobre uma superfície previamente preparada. O microrrevestimento asfáltico a frio pode ser empregado como camada de selagem inibidora de trincas, impermeabilização, rejuvenescimento ou como camada antiderrapante de pavimentos.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) DNER-ME 053/94 – Misturas Betuminosas – Percentagem de Betume;
b) DNER-ME 089/94 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
c) ABNT NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão *Los Angeles*;
d) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
e) ABNT NBR 6297 – Emulsão asfáltica de ruptura lenta – Determinação da ruptura – Método da mistura com cimento;
f) ABNT NBR 6299 – Emulsões asfálticas – Determinação do pH;
g) ABNT NBR 6300 – Emulsões asfálticas catiônicas – Determinação da resistência à água (adesividade) em agregados graúdos;
h) ABNT NBR 6302 – Emulsões asfálticas – Determinação da ruptura – Método de mistura com filler silícico;
i) ABNT NBR 6560 – Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola;
j) ABNT NBR 6567 – Ligantes asfálticos – Emulsões asfálticas - Determinação da carga de partícula;
k) ABNT NBR 6568 – Emulsões asfálticas – Determinação do resíduo de destilação;
l) ABNT NBR 6569 – Emulsões asfálticas catiônicas – Determinação da desemulsibilidade;
m) ABNT NBR 6570 – Ligantes asfálticos – Determinação da sedimentação e estabilidade à estocagem de emulsões asfálticas;

n) ABNT NBR 6576 – Materiais asfálticos – Determinação da penetração;
o) ABNT NBR 12052 – Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia - Método de ensaio;
p) ABNT NBR 14376 – Ligantes asfálticos – Determinação do teor do resíduo seco de emulsões asfálticas convencionais ou modificadas – Métodos expeditos;
q) ABNT NBR 14393 – Emulsões asfálticas – Determinação da peneiração;
r) ABNT NBR 14491 – Emulsões asfálticas – Determinação da viscosidade Saybolt Furol;
s) ABNT NBR 15086 – Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetrol;
t) ABNT NBR 15184 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional;
u) ASTM E 1845 – *Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

Deve-se evitar a aplicação do microrrevestimento asfáltico a frio quando a temperatura ambiente for inferior a 10 ºC ou superior a 40 ºC. Sob estas condições, o projeto da mistura e a execução dos trabalhos devem ser reavaliados.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

Os materiais constituintes do microrrevestimento asfáltico a frio são: agregado miúdo, material de enchimento, filler, emulsão asfáltica modificada por polímero elastomérico, água e aditivos, se necessários. Devem satisfazer às normas pertinentes e às especificações aprovadas pelo PMSJC/SP.

5.2. Ligante Asfáltico

Devem ser empregadas emulsões asfálticas catiônicas de ruptura controlada modificadas por polímero elastomérico.

As emulsões modificadas por polímero elastomérico devem atender ao especificado no anexo ou à especificação que estiver em vigor na época de sua utilização.

Todo o carregamento de ligante asfáltico modificado por polímero 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 carregamento, para transporte com destino ao canteiro de serviço. Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a fábrica e o canteiro de obra.

5.3. Agregados

Os agregados, pó de pedra, ou a mistura de ambos provenientes da britagem de rochas, devem apresentar partículas individuais resistentes, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. Devem ser atendidos, ainda, os seguintes requisitos:

a) O material que deu origem ao agregado miúdo deve apresentar:
   - Desgaste por abrasão Los Angeles igual ou inferior a 40%, conforme ABNT NBR NM 51;
   - Perda inferior a 12% quando submetido à avaliação da durabilidade com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089;

b) O equivalente de areia do agregado miúdo, conforme ABNT NBR 12052, deve ser igual ou superior a 65%;
c) Índice de forma apresentando partículas não cúbicas inferiores a 15%, conforme ABNT NBR 5564 Anexo A;
d) Adsorção no azul de metileno máximo 10ml, conforme ABNT NBR 14949.

5.4. Material de Enchimento - Filler

O material de enchimento deve ser de natureza mineral finamente dividido, tal como: cimento Portland, cal hidratada tipo calcítica, pós calcários, cinzas volantes etc., conforme DNER EM 367. Na aplicação, o filler deve estar seco e isento de grumos. A granulometria a ser atendida deve obedecer aos limites estabelecidos na Tabela 1.

TABELA 1 – GRANULOMETRIA DO FILLER

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando
ASTM	mm	
Nº 40	0,42	100
Nº 80	0,18	95-100
Nº 200	0,075	65-100

5.5. Aditivos

Podem ser empregados aditivos para acelerar ou retardar a ruptura da emulsão na execução do microrrevestimento asfáltico a frio.

5.6. Água

Deve ser limpa, isenta de matéria orgânica, óleos e outras substâncias prejudiciais à ruptura da emulsão asfáltica. Deve ser empregada na quantidade necessária para promover a consistência adequada da mistura.

5.7. Composição da Mistura

A composição da mistura deve satisfazer os requisitos apresentados na Tabela 2, com as respectivas tolerâncias no que diz respeito à granulometria.

O projeto da dosagem de mistura deve atender aos seguintes requisitos:

a) O tamanho máximo do agregado da faixa adotada deve ser inferior a 2/3 da espessura da camada compactada;
b) A fração retida entre duas peneiras consecutivas, exceto as duas de maior malha de cada faixa, não deve ser inferior a 4% do total;
c) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer a tolerância indicada para cada peneira na Tabela 2, porém, respeitando os limites da faixa granulométrica adotada;
d) As taxas de aplicação de agregados e ligante asfáltico devem ser definidos no projeto de dosagem. Geralmente, o consumo necessário encontra-se nos intervalos estabelecidos na Tabela 2;

TABELA 2 – COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Peneira de Malha Quadrada		**I**	**II**	**III**	**Tolerância**
ASTM	**mm**	**% em Massa, Passando**			
½”	12,5	100	100	100	-
3/8”	9,5	100	100	85-100	± 7%
Nº 4	4,75	90-100	70-90	60-87	± 5%
Nº 8	2,36	65-90	45-70	40-60	± 5%
Nº 16	1,18	45-70	28-50	28-45	± 5%
Nº 30	0,60	30-50	19-34	19-34	± 3%
Nº 50	0,30	18-30	12-25	14-25	± 3%
Nº 100	0,15	10-21	7-18	8-17	± 2%
Nº 200	0,075	5-15	5-15	4-8	± 2%
Asfalto residual, % em massa de Agregado Seco		6,5-9,5	6,0-8,5	5,0-8,0	-
Filler, % em Massa de Agregado Seco		0-3	0-3	0-2	-
Taxa de Aplicação da Mistura, kg/m²		6-11	8-16	15-30	-
Espessura (mm)		4-15	6-20	10-30	-

e) A dosagem adequada do microrrevestimento asfáltico a frio é realizada com base nos ensaios recomendados pela ISSA - *International Slurry Surfacing Association*, atendendo as características indicadas na Tabela 3;

f) Na dosagem, deve ser definido o tempo necessário para se atingir a coesão na mistura suficiente para liberação ao tráfego, coesão mínima de 20 kg.cm, ou seja, que confere coesão necessária para evitar que haja arrancamento superficial de agregados;

TABELA 3 – REQUISITOS PARA O PROJETO MISTURA ASFÁLTICA

Características	Método de Ensaio	Limites
Perda por abrasão úmida, WTAT, máximo em 1h	ABNT NBR 14746	538 g/m²
Excesso de asfalto e adesão de areia pela máquina LWT, máximo	ABNT NBR 14841	538 g/m²
Adesividade, mínimo	ABNT NBR 14757	90% de área recoberta
Coesão úmida, 30 minutos, mínimo	ABNT NBR 14758	12 kg.cm
Coesão úmida, 60 minutos, mínimo	ABNT NBR 14758	20 kg.cm
Tempo de mistura a (25 ± 1) ºC	ABNT NBR 14798	120 s min

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução do microrrevestimento asfáltico a frio compreende as seguintes unidades:

6.1. Equipamento de Limpeza

Para limpeza da superfície podem ser utilizadas vassouras mecânicas, compressores de ar e caminhão-pipa.

6.2. Equipamento para Transporte e Estocagem de Material

O equipamento para transporte e estocagem de materiais compreende as seguintes unidades:

a) Depósito apropriado para estocagem de agregados;
b) Tanque para armazenamento de emulsão asfáltica;
c) Tanque de depósito para água ou caminhão-pipa;
d) Pá-carregadeira;
e) Caminhão basculante.

6.3. Ferramentas e Equipamentos Acessórios

São utilizados, complementarmente, os seguintes equipamentos: pás, garfos e rodos de madeira ou de borracha, para operações eventuais.

6.4. Usina Móvel

O micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero deve ser executado caminhão-usina, capaz de misturar e espalhar a mistura contendo:

a) Depósitos separados para água, emulsão asfáltica modificada por polímero e aditivos;
b) Silo para agregado miúdo;
c) Depósito para material de enchimento, com alimentador automático;
d) Sistema de circulação e alimentação do ligante asfáltico, interligado por acoplagem direta ou não com sistema de alimentação do agregado miúdo, de modo a assegurar perfeito controle do traço;
e) Sistema misturador capaz de processar uma mistura uniforme e de aplicá-la diretamente sobre a pista, em operação contínua, sem processo de segregação;
f) Chassi: todo o conjunto descrito nos itens anteriores é montado sobre um chassi móvel, autopropelido ou atrelado a um cavalo mecânico, adequado à produção horária desejada;
g) Caixa distribuidora: esta peça se apoia diretamente sobre o pavimento, atrelada ao chassi. Deve ser montada sobre borracha, ter largura regulável para meia pista, isto é, 3,30 m a 3,60 m, ser suficientemente pesada para garantir uniformidade de distribuição e ser munida de regulador de espessura.

7. EXECUÇÃO

7.1. 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.

A pintura de ligação geralmente não é necessária, mas deve ser exigida se a superfície a ser recoberta estiver extremamente desgastada ou fissurada, ou for de concreto de cimento Portland. A pintura deve estar curada antes da aplicação do microrrevestimento e deve constar no projeto.

A pintura de ligação deve ser executada com os materiais, equipamentos e procedimentos prescritos na especificação de serviço PMSJC ES-P14/19.

Quando ocorrem trincas de origem não estrutural, deve-se executar a selagem das trincas, antes da aplicação do microrrevestimento asfáltico.

A aplicação de microrrevestimento em duas camadas pode ser realizada quando especificada em projeto.

7.2. Aplicação da Mistura

O caminhão-usina é colocado em posição perfeitamente centrada, em relação à meia pista. De acordo com o traço projetado e aprovado, e com as tabelas de calibração, abrem-se todas as comportas de alimentação dos agregados, emulsão asfáltica, água e filler, se requerido, iniciando o funcionamento do pugmill, até produzir quantidade de mistura suficiente à alimentação de toda a área interna da caixa distribuidora.

Com velocidade uniforme, a mais reduzida possível, é dada a partida do "caminhão-usina" e iniciada a aplicação da mistura. Em condições normais, a operação se processa com bastante simplicidade. A maior preocupação requerida consiste em observar a consistência da mistura, abrindo ou fechando a alimentação da água, de modo a obter uma consistência homogênea e manter a caixa distribuidora uniformemente carregada de mistura.

As possíveis falhas de execução, tais como: escassez ou excesso de mistura e irregularidade na emenda de faixas; devem ser corrigidas imediatamente após a execução. A escassez é corrigida com adição de mistura e, os excessos com a retirada por meio de rodos de madeira ou de borracha. Após estas correções, a superfície áspera deixada é alisada com a passagem suave de qualquer tecido espesso, umedecido com a própria mistura ou com emulsão.

7.3. Abertura ao Tráfego

O tráfego somente é liberado após a conformação final da superfície e, quando o microrrevestimento apresentar coesão suficiente para evitar arrancamento superficial de agregados.

O tempo médio necessário para liberação ao tráfego é de uma hora e trinta minutos.

O tráfego liberado deve ter controle de operação por um período mínimo de 24 horas.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1 e 2.

A usina móvel deve ser calibrada deve ser calibrada antes do início da execução dos serviços, em trecho experimental, de modo a validar:

a) Consistência da mistura espalhada;
b) Atendimento ao projeto de dosagem da mistura;

c) Taxa de aplicação para definição da velocidade de aplicação.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Emulsão Asfáltica Modificada por Polímero

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

d) Um ensaio de viscosidade *Saybolt-Furol*, a 50 ºC, conforme ABNT NBR 14491;
e) Um ensaio de resíduo asfáltico da emulsão, conforme ABNT NBR 14896;
f) Um ensaio de peneiração, conforme ABNT NBR 14393;
g) Um ensaio de recuperação elástica a 25 ºC no resíduo da emulsão, conforme ABNT NBR 15086;
h) Um ensaio de carga de partícula, conforme ABNT NBR 6567;
i) Um ensaio de recuperação elástica do resíduo a 25ºC, conforme ABNT NBR 14086.

Para cada 100 t:

a) Um ensaio de sedimentação, conforme ABNT NBR 6570;
b) Um ensaio de resíduo asfáltico da emulsão, conforme ABNT NBR 14896;
c) Um ensaio de penetração do resíduo, conforme ABNT NBR 6575;
d) Um ensaio de ponto de amolecimento, conforme ABNT NBR 6560.

Para todo carregamento de emulsão asfáltica modificada por polímero, que chegar a obra deve-se retirar uma amostra que será identificada e armazenada para possíveis ensaios posteriores.

8.1.2. 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 nos agregados:

a) Abrasão Los Angeles, conforme NBR NM 51, do material que deu origem ao agregado miúdo: 1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
b) Ensaio de durabilidade com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089: 1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
c) Equivalente de areia do agregado miúdo, conforme NBR 12052: 1 ensaio por jornada de 8 horas de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material;

d) Adesividade, conforme NBR 6300: 1 ensaio a cada carregamento de ligante asfáltico que chegar à obra e sempre que houver variação da natureza dos materiais;
e) Adsorção no azul de metileno máximo 10 ml, 1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material, conforme ABNT NBR 14949.

8.2. Controle da Aplicação e Destinação

O controle da aplicação da mistura asfáltica deve ser efetuado através dos procedimentos descritos em seguida.

8.2.1. Controle da Taxa de Aplicação de Microrrevestimento

Determinar a taxa de aplicação do microrrevestimento por intermédio de bandejas metálicas ou outro dispositivo de área conhecida a cada 5.000 m².

8.2.2. Quantidade de Ligante, Granulometria da Mistura

Devem ser executadas as seguintes determinações em amostras coletadas na caixa distribuidora:

a) Extração de ligante, conforme DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo – “Soxhlet” de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172: 2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho;
b) Análise granulométrica da mistura de agregados, com material resultante das extrações, de no mínimo 1.000 g, conforme ABNT NBR NM 248: 2 ensaios por jornada de 8 horas de trabalho;
c) Se indicado a adição de filler no projeto da mistura, deve-se realizar inspeção rigorosa da quantidade do filler adicionado.

8.2.3. Destinação

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

8.3. Controle Geométrico e de Acabamento

O controle geométrico deve ser feito por acompanhamento topográfico, obedecendo a metodologia indicada pela PMSJC/SP e deve satisfazer os parâmetros recomendados.

8.3.1. Controle da Largura e Alinhamentos

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, ou faixas de aplicação, deve ser determinada por medidas à trena executadas pelo menos a cada 20 m.

8.3.2. Controle de Acabamento da Superfície

A superfície acabada é verificada visualmente devendo se apresentar desempenada e com o mesmo aspecto e textura obtidos nos segmentos experimentais.

8.4. Condições de Segurança

As condições de segurança serão determinadas pela macrotextura do revestimento asfáltico, conforme ASTM E 1854, através de ensaios de mancha de areia, espaçados a cada 100 m, por faixa de rolamento e a microtextura pelo pêndulo britânico, conforme ASTM E 303.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

Os serviços devem são medidos pela determinação da área executada, expressa em metros quadrados.

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

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
EMULSÃO ASFÁLTICA MODIFICADA POR POLÍMERO			
Resíduo Asfáltico da Emulsão ABNT NBR 6568	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Quando tratar-se de emulsão asfáltica por polímero modificada por polímero SBS atender ao Anexo 2.
Viscosidade de *Saybolt-Furol* ABNT NBR 14491			
Peneiração ABNT NBR 14393			
Recuperação Elástica ABNT NBR 15086			
Sedimentação ABNT NBR 6570	1 ensaio para cada 100 t		
Ensaios no resíduo da emulsão: - Penetração - Ponto de Amolecimento ABNT NBR 6576 ABNT NBR 6560			
AGREGADO			
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≤ 40%
Adsorção no Azul de Metileno ABNT NBR 14949			≤10 ml
Durabilidade Frente ao Sulfato de Sódio DNER ME 089			≤ 12%
Equivalente de Areia do Agregado Miúdo ABNT NBR 12052	1 ensaio por jornada de 8 h de trabalho e sempre que houver variação da natureza do agregado.		≥ 65%
Resistência à Água - Adesividade, % mínima de Cobertura ABNT NBR 6300	Em todo carregamento de ligante asfáltico que chegar à obra e sempre que houver variação da natureza dos materiais.		Quando tratar-se de emulsão asfáltica modificada por polímero, atender Anexo 2.

CONTROLE DA EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Taxa de aplicação Pesagens	1 determinação a cada 5.000 m²	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	± 0,3% da taxa definida em projeto.
Extração de Ligante DNER ME 053 ASTM D 2172	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina. Quando houver indícios de falta ou excesso de ligante. No mínimo 2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho.		± 0,3% do teor ótimo de projeto
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g) NBR NM 248	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina. No mínimo 2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho.		Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa definida na Tabela 2.

CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
GEOMÉTRICO			
Largura da semi-plataforma ou faixa executada e desvios dos alinhamentos. Medidas de Trena	A cada 20 m	Resultados individuais	No máximo + 5 cm
ACABAMENTO			
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 e homogênea.			

CONDIÇÕES DE SEGURANÇA			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinação da Macrotextura ASTM E 1845	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	Altura da areia situada entre 0,6 mm e 1,2 mm
Determinar a microtextura, para camadas de rolamento, através do ensaio de pêndulo britânico. ASTM E 303	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	≥ 47

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

ANEXO 2 – EMULSÕES ASFÁLTICAS CATIÔNICAS MOD. POR POLÍMERO

ENSAIO	RUPTURA CONTROLADA
	RC1C-E
EMULSÃO	
Viscosidade Saybolt-Furol, S, a 50 ºC ABNT NBR 14491	70 máx.
Sedimentação, % peso, máx. ABNT NBR 6570	5
Peneiração 0,84 mm, % peso, máx. ABNT NBR 14393	0,10
Resistência à Água, % mín. de cobertura Agregado Seco Agregado Úmido ABNT NBR 6300	 80 60
Mistura com Cimento, % máx. ABNT NBR 6297 ou Filler Silícico ABNT NBR 6302	- -
Carga de Partícula ABNT NBR 6567	Positiva
pH, máx. ABNT NBR 6299	6,0
Destilação Solvente Destilado a 360 ºC, % vol. ABNT NBR 6568	0-1
Resíduo Seco, % peso, mín. ABNT NBR 14376	62
Desemulsibilidade, % peso, mín. ABNT NBR 6569	-

ENSAIO	RUPTURA CONTROLADA
	RC1C-E
RESÍDUO DA EMULSÃO	
Penetração a 25ºC, 100g, 5s, 0,1 mm ABNT NBR 6576	45-150
Ponto de Amolecimento, ºC, mín. ABNT NBR 6560	55
Viscosidade Brookfield a 135 ºC, SP 21, 20 RPM, cP, mín. ABNT NBR 15184	650
Recuperação Elástica a 25 ºC, 20 cm, % mín. ABNT NBR 15086	75

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento dos serviços de microrrevestimento asfáltico a quente, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Microrrevestimento asfáltico a quente é uma mistura composta de agregado mineral graduado, cimento asfáltico modificado por polímero e, se necessário, material de enchimento, filler, e melhorador de adesividade, sendo espalhada e compactada a quente. O microrrevestimento asfáltico a quente pode ser empregado como camada de selagem inibidora de trincas, impermeabilização, rejuvenescimento ou como camada antiderrapante de pavimentos.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) DNER-ME 053/94 – Misturas Betuminosas – Percentagem de Betume;
b) DNER-ME 089/94 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
c) ABNT NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão *Los Angeles*;
d) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
e) ABNT NBR 5564 – Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio;
f) ABNT NBR 6560 – Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola;
g) ABNT NBR 6576 – Materiais asfálticos – Determinação da penetração;
h) ABNT NBR 11341 – Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland;
i) ABNT NBR 12052 – Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia - Método de ensaio;
j) ABNT NBR 12583 – Agregado graúdo – Determinação da adesividade ao ligante betuminoso;
k) ABNT NBR 12584 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
l) ABNT NBR 12891 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
m) ABNT NBR 15086 – Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetro;

n) ABNT NBR 15087 – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral;
o) ABNT NBR 15166 – Asfalto modificado – Ensaio de separação de fase;
p) ABNT NBR 15184 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional;
q) ABNT NBR 15235 – Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional;
r) ASTM E 1845 – *Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth*;
s) ASTM D 2172 – *Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Asphalt Binder from Asphalt Mixtures*;
t) ASTM D 3203 – *Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Asphalt Mixtures*;
u) ASTM D 4402 – *Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer*;
v) ASTM D 6307 – *Standard Test Method for Asphalt Content of Asphalt Mixture by Ignition Method*;

4. CONDIÇÕES GERAIS

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

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

Os materiais constituintes do microrrevestimento asfáltico a quente são: agregado graúdo, agregado miúdo, ligante asfáltico modificado por polímero e, se necessário, material de enchimento, filler e melhorador de adesividade. Devem satisfazer as normas pertinentes e as especificações aprovadas pela PMSJC/SP.

5.2. Ligante Asfáltico

Devem ser empregados cimentos asfálticos de petróleo modificados por polímero do tipo SBS, devendo satisfazer a um dos tipos especificados no Anexo 2, ou a especificação que estiver em vigor na época de sua utilização.

Todo o carregamento de cimento asfáltico que chegar a 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.

Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

5.3. Agregado Graúdo

Deve constituir-se por pedra britada ou seixo rolado britado, 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 40%, conforme ABNT NBR NM 51;
b) Quando obtidos por britagem de pedregulhos, 90% em massa dos fragmentos retidos na peneira no 4, de 4,8 mm, devem apresentar no mínimo uma face fragmentada pela britagem;
c) Índice de forma, superior a 0,5 e porcentagem de partículas lamelares inferior a 10%, conforme ABNT NBR 6954;
d) Os agregados utilizados devem apresentar perdas inferiores a 12% quando submetidos à avaliação da durabilidade com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089.

5.4. Agregado Miúdo

Pode constituir-se por areia, pó de pedra ou mistura de ambos. Deve apresentar partículas individuais resistentes, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. O equivalente de areia obtido conforme ABNT NBR 12052 deve ser igual ou superior a 55%.

5.5. Material de Enchimento - Filler

O material de enchimento deve ser de natureza mineral finamente dividido, tal como: cimento Portland, cal extinta, pós calcários, cinzas volantes etc., conforme DNER EM 367. Na aplicação, o filler deve estar seco e isento de grumos. A granulometria a ser atendida deve obedecer aos limites estabelecidos na Tabela 1.

TABELA 1 – GRANULOMETRIA DO FILLER

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando
ASTM	mm	
Nº 40	0,42	100
Nº 80	0,18	95-100
Nº 200	0,075	65-100

5.6. Melhorador de Adesividade

A adesividade do ligante asfáltico aos agregados é determinada conforme os métodos ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584. Quando não houver boa adesividade deve-se empregar aditivo melhorador de adesividade na quantidade fixada no projeto e repetir os ensaios.

5.7. Composição da Mistura

A composição da mistura deve satisfazer os requisitos apresentados na Tabela 2, com as respectivas tolerâncias no que diz respeito à granulometria.

O projeto da dosagem de mistura deve atender aos seguintes requisitos:

a) O tamanho máximo do agregado da faixa adotada deve ser inferior a 2/3 da espessura da camada compactada;
b) A fração retida entre duas peneiras consecutivas, exceto as duas de maior malha de cada faixa, não deve ser inferior a 4% do total;
c) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer a tolerância indicada para cada peneira na Tabela 2, porém, respeitando os limites da faixa granulométrica adotada.

TABELA 2 – COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Peneira de Malha Quadrada		I	II	Tolerâncias
ASTM	mm	% em Massa, Passando		
½”	12,5	100	100	-
3/8”	9,5	90-100	90-100	± 7%
Nº 4	4,75	60-90	25-40	± 5%
Nº 10	2,0	27-50	19-34	± 5%
Nº 40	0,42	10-20	11-20	± 5%
Nº 80	0,18	7-15	10-15	± 3%
Nº 200	0,075	6-10	7-10	± 2%
Espessura Máxima (cm)		2,5		-

d) O projeto da mistura pela dosagem Marshall deve ser refeito periodicamente, no mínimo a cada 6 meses e todas as vezes que ocorrer alteração de algum dos materiais constituintes da mistura;
e) Os parâmetros obtidos no ensaio Marshall para estabilidade, fluência, porcentagem de vazios e relação betume vazios devem atender aos limites apresentados na Tabela 3;

f) O teor ótimo de ligante do projeto de mistura asfáltica, deve corresponder àquele que atende simultaneamente a todos os requisitos da Tabela 3;

TABELA 3 – REQUISITOS PARA O PROJETO MISTURA ASFÁLTICA

Características	Método de Ensaio	Limites
Estabilidade Marshall, mínima, kN (75 golpes no ensaio Marshall)	ABNT NBR 12891	7,0
Fluência Marshall (mm)	ABNT NBR 12891	2,5 a 4,5
Volume de vazios, mínimo, %	-	4
Relação Betume Vazios – RBV (%)	-	65 a 82
Vazios do agregado mineral – VAM mínimo (%)	-	16
Relação filler-asfalto	-	0,6 a 1,6
Perda de massa no ensaio Cântabro, máximo, %	ABNT NBR 15140	10
Resistência a danos por umidade induzida, mínimo, %	AASHTO T 283	70
Resistência à tração por compressão diametral estática a 25 ºC, mínima, MPa	ABNT NBR 15087	0,6

g) as condições de vazios da mistura, na fase de dosagem, devem ser verificadas a partir da determinação da densidade máxima teórica pelo método de Rice, conforme ASTM D 2041.

6. EQUIPAMENTOS

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

Os equipamentos básicos para execução dos serviços de microrrevestimento asfáltico a quente são compostos das seguintes unidades:

6.1. Depósito para Cimento Asfáltico Modificado por Polímero

Os depósitos para o cimento asfáltico modificado por polímero devem ser capazes de aquecer o material conforme as exigências técnicas estabelecidas, atendendo aos seguintes requisitos:

a) O aquecimento deve ser efetuado por meio de serpentinas a óleo, a eletricidade ou outros meios, de modo a não haver contato direto de

chamas com o depósito. Esses dispositivos também devem evitar qualquer superaquecimento localizado, e ser capaz de aquecer o cimento asfáltico a temperaturas limitadas;

b) O sistema de circulação para o cimento asfáltico deve garantir a circulação desembaraçada e contínua do depósito ao misturador, durante todo o período de operação;
c) Todas as tubulações e acessórios devem ser dotados de isolamento térmico, a fim de evitar perdas de calor;
d) A capacidade dos depósitos deve ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.

6.2. 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.

6.3. 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 filler, conjugado com dispositivos para sua dosagem.

6.4. Usina para Misturas Asfálticas

A usina utilizada deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme. 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 filler, sistema de descarga da mistura asfáltica, por intermédio de transportador de correia com comporta do tipo clam-shell ou alternativamente, em silos de estocagem.

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

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.

6.5. Caminhão para Transporte da Mistura

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

6.6. Equipamento para Distribuição

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.

6.7. Equipamento para Compactação e Acabamento

A compactação da mistura é efetuada pela ação de rolo liso tipo tandem auto-propelido, com peso compatível à espessura da camada.

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.

6.8. 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.

7. EXECUÇÃO

7.1. Preparo da Superfície

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

A pintura de ligação, preferencialmente, deve ser executada com emulsão modificada por polímero, sendo feita, obrigatoriamente, com a barra espargidora. Somente para correções localizadas ou locais de difícil acesso pode ser utilizada a caneta ou regador. Deve apresentar película homogênea e promover adequadas condições de aderência quando da execução do microrrevestimento asfáltico a quente.

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

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

7.2. Produção do Microrrevestimento Asfáltico a Quente

O microrrevestimento asfáltico a quente 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.

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 e determinada conforme ABNT NBR 15184. A temperatura do ligante não deve exceder a 177 °C.

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

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

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 em diminuição da temperatura da mistura com prejuízo da compactação.

7.3. Transporte do Microrrevestimento Asfáltico a Quente

O microrrevestimento asfáltico a quente produzido deve ser transportado da usina ao local de aplicação em caminhões basculantes, atendendo ao especificado no item 6.5, 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 tempo máximo de permanência da mistura no caminhão é dado pelo limite de temperatura estabelecido para aplicação da massa na pista.

7.4. Distribuição da Mistura

A distribuição do microrrevestimento asfáltico a quente deve ser feita por equipamentos adequados, conforme especificado no item 6.6.

Deve ser assegurado, previamente ao início dos trabalhos, o aquecimento conveniente da mesa alisadora da vibro-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. A mistura deve apresentar textura uniforme, sem pontos de segregação.

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

Na descarga, o caminhão deve ser empurrado pela acabadora, não se permitindo choques ou travamento dos pneus durante a operação.

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 esperar caminhões. Esta velocidade da acabadora deve estar sempre entre 2,5 e 10,0 m por minuto.

7.5. Compactação da Mistura

A rolagem tem início logo após a distribuição do microrrevestimento asfáltico a quente. A fixação da temperatura de rolagem condiciona-se à natureza da massa e às características do equipamento utilizado. Como regra geral, a temperatura de rolagem é a mais elevada que a mistura asfáltica pode suportar, temperatura esta fixada experimentalmente para cada caso, considerando-se o intervalo de trabalhabilidade da mistura e tomando-se a devida precaução quanto à espessura da camada, distância de transporte, condições do meio ambiente e equipamento de compactação.

A compactação deve ser feita com rolo metálico liso tipo tandem, sem vibrar. As operações de compactação 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 compactação 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 sendo permitido que escorra pelo tambor e acumule-se na superfície da camada.

7.6. 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 para as faixas da pista quanto para o acostamento.

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 sempre 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.

7.7. Abertura ao Tráfego

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

8. CONTROLE DE QUALIDADE

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Cimento Asfáltico Modificado por Polímero

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

a) Um ensaio de ponto de amolecimento, conforme ABNT NBR 6560;
b) Um ensaio de viscosidade Brookfield, conforme ABNT NBR 15184;
c) Um ensaio de ponto de fulgor, conforme ABNT NBR 11341;
d) Um ensaio de recuperação elástica, conforme ABNT NBR 15086;
e) Um ensaio determinação de formação de espuma, quando aquecido a 175 ºC.

Para cada 100 t:

a) Um ensaio de estabilidade à estocagem, conforme ABNT NBR 15166;
b) Um ensaio de penetração a 25 ºC, conforme ABNT NBR 6576;
c) Um ensaio do resíduo no RTFOT: variação em massa conforme ABNT NBR 15235, ponto de amolecimento conforme ABNT NBR 6560, penetração conforme ABNT NBR 6576 e recuperação elástica conforme ABNT NBR 15086.

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

8.1.2. 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 nos agregados:

a) Abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51: 1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
b) Índice de forma e porcentagem de partículas lamelares, conforme ABNT NBR 6954: 1 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 e sulfato de magnésio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089: 1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
d) Equivalente de areia do agregado miúdo, conforme ABNT NBR 12052: 1 ensaio por jornada de 8 horas de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material;
e) A adesividade dos agregados ao ligante asfáltico, conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584: 1 ensaio a cada carregamento de ligante asfáltico que chegar à obra e sempre que houver variação da natureza dos materiais.

8.1.3. Melhorador de Adesividade

Quando a adesividade não for satisfatória e o melhorador de adesividade for incorporado na mistura, deve ser verificada novamente a adesividade, conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584.

8.2. Controle da Produção da Mistura Asfáltica

8.2.1. Temperaturas

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

a) Temperatura dos agregados nos silos quentes: 2 determinações de cada silo, por jornada de 8 horas de trabalho;
b) Temperatura do cimento asfáltico, antes da entrada do misturador: 2 determinações por jornada de 8 horas de trabalho;

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

8.2.2. Granulometria dos Agregados

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

a) Granulometria do agregado de cada silo quente ou dos silos frios, quando se tratar de usina tipo tambor-secador-misturador: 2 determinações de cada agregado por jornada de 8 horas de trabalho, conforme ABNT NBR NM 248;
b) Granulometria do material de enchimento, filler: 1 ensaio por jornada de 8 horas de trabalho, conforme ABNT NBR NM 248.
c) Se indicado a adição de filler no projeto da mistura, deve-se realizar inspeção rigorosa da quantidade do filler adicionado.

8.2.3. Quantidade de Ligante, Granulometria da Mistura, Características Marshall, Propriedades Volumétricas e Resistência à Tração

Devem ser executados os seguintes ensaios para controle da quantidade de ligante e granulometria da mistura e verificação dos parâmetros Marshall:

a) Extração de ligante, preferencialmente conforme ASTM D 6307(21) ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo Soxhlet de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172, quantas vezes forem necessárias no início de cada jornada de trabalho e sempre que houver indícios de falta ou excesso de ligante na mistura, no mínimo 2 ensaios por jornada de 8 horas de trabalho;
b) Granulometria da mistura asfáltica com material resultante das extrações de ligante, quantas vezes forem necessárias para a calibração da usina, no mínimo 2 ensaios, conforme ABNT NBR NM 248, por jornada de 8 horas de trabalho;
c) Compactação Marshall, conforme ABNT NBR 12891, de no mínimo seis corpos-de-prova; devem ser destinados três corpos-de-prova ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral a 25 °C, conforme ABNT NBR 15087; nos outros três corpos-de-prova devem ser determinadas a fluência e estabilidade Marshall e as propriedades volumétricas da mistura, Vv e RBV. Devem ser realizados dois ensaios por jornada 8 horas de trabalho.

8.3. 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.

8.3.1. Temperaturas

Devem ser executadas as seguintes leituras de temperaturas da 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 no momento do espalhamento e no início da compactação, a cada descarga efetuada.

8.3.2. Quantidade de Ligante e Granulometria da Mistura

Devem ser executadas as seguintes determinações:

a) Extração de ligante, preferencialmente conforme ASTM D 6307 ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo Soxhlet de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172: 2 extrações por jornada de 8 horas de trabalho;
b) Análise granulométrica da mistura de agregados, com material resultante das extrações, de no mínimo 1.000 g, conforme ABNT NBR NM 248: 2 ensaios por jornada de 8 horas de trabalho.

8.3.3. Destinação

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

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

O controle geométrico deve ser feito por acompanhamento topográfico, obedecendo a metodologia indicada pela PMSJC/SP e deve satisfazer os parâmetros recomendados.

8.4.1. Controle de Espessura

A espessura da camada de microrrevestimento asfáltico a quente deve ser avaliada pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m.

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

8.4.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.4.3. Controle de Acabamento da Superfície

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.

8.5. Condições de Segurança

As condições de segurança são determinadas pela macrotextura do revestimento asfáltico, através de ensaios de mancha de areia, conforme ASTM E 1845, espaçados a cada 100 m, por faixa de rolamento.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

Os serviços devem são medidos pela determinação da área executada, expressa em metros quadrados.

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

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
EMULSÃO ASFÁLTICA MODIFICADA POR POLÍMERO			
Ponto de Amolecimento ABNT NBR 6560	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Quando tratar-se de emulsão asfáltica por polímero modificada por polímero SBS atender ao Anexo 2.
Viscosidade Brookfield ABNT NBR 15184			
Ponto de Fulgor ABNT NBR 11341			
Recuperação Elástica ABNT NBR 15086			
Formação de Espuma Aquecido a 175 ºC			
Estabilidade à Estocagem ABNT NBR 15166	1 ensaio para cada 100 t		
Penetração ABNT NBR 6576			
Ensaios do resíduo no RTFOT: - Variação em massa - Ponto de amolecimento - Penetração - Recuperação elástica ABNT NBR 15235 ABNT NBR 6560 ABNT NBR 6576 ABNT NBR 15086			

AGREGADO			
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≤ 40%
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A			Partículas não cúbicas inferior a 15%.
Durabilidade Frente ao Sulfato de Sódio DNER ME 089			≤ 12%
Equivalente de Areia do Agregado Miúdo ABNT NBR 12052	1 ensaio por jornada de 8 h de trabalho e sempre que houver variação da natureza do agregado.		≥ 55%
Adesividade ligante-agregado ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	Três ensaios no início da utilização do ligante na obra, e sempre que houver variação da natureza do material.		Adesividade satisfatória, caso contrário aplicar melhorador.

CONTROLE DE PRODUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
TEMPERATURAS			
Temperatura nos silos quentes. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações de cada silo por jornada de 8 h de trabalho	Resultados individuais	Deve ser de 5 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. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho	Resultados individuais	Devem estar e situadas na faixa desejável, definida em função da curva viscosidade Brookfield x temperatura do ligante empregado, definida pelo fabricante. Inferior a 177°C.
Temperatura da Massa Asfáltica, na saída da usina. Termômetro bimetálico com precisão de 5 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 especificada no projeto da mistura.
GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS			
Granulometria do agregado, de cada silo quente, ou frio (usina tipo tambor-secador-misturador) ABNT NBR NM 248	2 determinações de cada agregado por jornada de 8 h de trabalho	<u>Controle Bilateral</u> $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ 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 (filler) ABNT NBR NM 248	1 determinação por jornada de 8 h de trabalho.		Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa definida na Tabela 1.

QUANTIDADE DE LIGANTE E GRANULOMETRIA DA MISTURA			
Extração de Ligante ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina. Quando houver indícios de falta e excesso no teor de ligante. 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	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g) ABNT NBR NM 248	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina. No mínimo 2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho.		Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa definida na Tabela 1.
CARACTERÍSTICAS MARSHALL, PROPRIEDADES VOLUMÉTRICAS E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO			
Estabilidade Marshall, KN (75 golpes no Ensaio Marshall) ABNT NBR 12891	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho.	Controle Unilateral $X = \bar{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	> 7
Fluência Marshall ABNT NBR 12891	2 determinações 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	(2 a 4) mm
Volume de vazios – Vv ASTM D 3203	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho.	Controle Unilateral $X = \bar{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	> 4%
Relação de Betume Vazios – RBV ABNT NBR 12891	2 determinações 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	(65 a 82)%
Resistência à tração por compressão diametral a 25º C, MPa ABNT NBR 15087	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho.	Controle Unilateral $X = \bar{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	≥ 0,6

CONTROLE DA EXECUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
TEMPERATURAS			
Temperatura da massa ao chegar na pista, medida imediatamente antes de aplicação. Termômetro bimetálico com precisão de 5 ºC	De todo caminhão carregado que chegar à pista.	Resultados individuais	Pode variar ± 5° C da indicada para início da rolagem.
Temperatura da massa asfáltica, no momento do espalhamento e no início da compactação. Termômetro bimetálico com precisão de 5 ºC	De cada descarga efetuada.	Resultados individuais	Dentro da faixa de tolerância para compactação da massa asfáltica.
QUANTIDADE DE LIGANTE E GRANULOMETRIA DA MISTURA			
Extração de asfalto ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	2 extrações por jornada de 8 h de trabalho.	<u>Controle Bilateral</u> $X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g) NBR NM 248	2 extrações por jornada de 8 h de trabalho.		Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa de trabalho, definida a partir da curva de projeto.

CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
GEOMÉTRICO			
Determinação da espessura através do nivelamento da camada. Relocação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo, bordas e dois pontos intermediários.	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 da espessura de projeto.
Largura da plataforma, desvios dos alinhamentos. Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados individuais	No máximo + 5 cm
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
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.			

CONDIÇÕES DE SEGURANÇA			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinação da Macrotextura ASTM E 1845	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	Altura da areia situada entre 0,6 mm e 1,2 mm

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum (\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

ANEXO 2 – CIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO POR POLÍMERO

ENSAIO	UNIDADE	RELAÇÃO PONTO DE AMOLECIMENTO x RECUPERAÇÃO ELÁSTICA (ºC / %)	
		60/85	65/90
ENSAIOS NA AMOSTRA VIRGEM			
Penetração (100g, 5s, 25 ºC) ABNT NBR 6576	0,1 mm	45-70	45-70
Ponto de amolecimento, mín. ABNT NBR 6560	ºC	60	65
Ponto de fulgor, mín. ABNT NBR 11341	ºC	235	235
Viscosidade Brookfield a 135 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx. ASTM D 4402	cP	3000	3000
Viscosidade Brookfield a 135 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx. ASTM D 4402	cP	2000	2000
Viscosidade Brookfield a 135 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx. ASTM D 4402	cP	1000	1000
Estabilidade à estocagem, máx. ABNT NBR 15166	ºC	5	5
Recuperação elástica a 20 ºC, 20 cm, mín. ABNT NBR 15086	%	85	90
ENSAIOS NO RESÍDUO DO RTFOT			
Variação de massa, máx. ABNT NBR 15235	%	1	1
Aumento do ponto de amolecimento, máx. ABNT NBR 6560	ºC	7	7
Redução do ponto de amolecimento, máx. ABNT NBR 6560	ºC	5	5
Porcentagem de penetração original, mín. ABNT NBR 6576	%	60	60
Porcentagem de recuperação elástica original a 25 ºC, mín. ABNT NBR 15086	%	80	80

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de revestimento asfáltico poroso com ligante modificado por polímero, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Revestimento asfáltico poroso com ligante modificado por polímero consiste numa mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas. É composta por agregados minerais em graduação especificada, cimento asfáltico modificado por polímero e, se necessário, material de enchimento, filler, e melhorador de adesividade, sendo espalhada e compactada a quente. O revestimento asfáltico poroso com ligante modificado por polímero deve ser empregado como camada sobrejacente ao revestimento, com a função de drenar a água superficial evitando a aquaplanagem, recebendo a denominação de camada porosa de atrito.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) DNER-ME 053/94 – Misturas Betuminosas – Percentagem de Betume;
b) DNER-ME 089/94 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
c) DNER-ME 117/94 – Mistura betuminosa – Determinação da densidade aparente;
d) DNER-PRO 164/94 – Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e *Maysmeter*);
e) DNER-PRO 182/94 – Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e *Maysmeter*;
f) DNER-PRO 173/86 – Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta;
g) ABNT NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão *Los Angeles*;
h) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
i) ABNT NBR 5564 Anexo A – Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio;
j) ABNT NBR 6560 – Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola;
k) ABNT NBR 6576 – Materiais asfálticos – Determinação da penetração;

l) ABNT NBR 11341 – Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland;
m) ABNT NBR 12583 – Agregado graúdo – Determinação da adesividade ao ligante betuminoso;
n) ABNT NBR 12584 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
o) ABNT NBR 12891 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
p) ABNT NBR 15086 – Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetrol;
q) ABNT NBR 15087 – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral;
r) ABNT NBR 15140 – Misturas asfálticas – Determinação da Perda de Massa por Abrasão *Cantabro*;
s) ABNT NBR 15166 – Asfalto modificado – Ensaio de separação de fase;
t) ABNT NBR 15184 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional;
u) ABNT NBR 15235 – Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional;
v) ASTM E 1845 – *Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth*;
w) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
x) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva. A mistura asfáltica somente deve ser fabricada, transportada e aplicada quando a temperatura ambiente for superior a 10 ºC.

Especial atenção deve ser dada pelo projetista no uso de camada porosa de atrito em pavimentos urbanos, devido ao confinamento imposto pelas sarjetas que impedem a saída natural das águas de chuva, que drenam transversalmente pelo interior do material.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

Os materiais constituintes do revestimento asfáltico poroso com ligante modificado por polímero são: agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento, filler, e ligante asfáltico modificado por polímero. Devem satisfazer as normas pertinentes e as especificações aprovadas pela PMSJC/SP.

Todo o carregamento de cimento asfáltico modificado por polímero 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 carregamento para transporte com destino ao canteiro de serviço. 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.

5.1. Ligante Asfáltico

Devem ser empregados cimentos asfálticos de petróleo modificados por polímero do tipo elastomérico, devendo satisfazer a um dos três tipos especificados no Anexo 2, ou a especificação que estiver em vigor na época de sua utilização.

5.2. Agregados

5.2.1. Agregado Graúdo

Deve constituir-se por pedra britada ou seixo rolado britado, 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 ABNT NBR NM 51;
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 apresentando partículas não cúbicas inferiores a 15%, conforme ABNT NBR 5564 Anexo A;
d) Os agregados utilizados devem apresentar perdas inferiores a 12% quando submetidos à avaliação da durabilidade com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089.

5.2.2. 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 ABNT NBR 12052 deve ser igual ou superior a 55%.

5.2.3. Material de Enchimento - Filler

O material de enchimento deve ser de natureza mineral finamente dividido, tal como cimento Portland ou cal hidratada até o limite de 2%, pó calcário, a parcela fina do pó-de-pedra etc., conforme DNER EM 367. Na aplicação, o filler deve estar seco e isento de grumos. A granulometria a ser atendida deve obedecer aos limites estabelecidos na Tabela 1.

A cal hidratada deve ser do tipo calcítica contendo no mínimo 60% de CaO e no máximo 5% de MgO.

TABELA 1 – GRANULOMETRIA DO MATERIAL DE ENCHIMENTO

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando
ASTM	**mm**	
Nº 40	0,42	100
Nº 80	0,18	95-100
Nº 200	0,075	65-100

5.2.4. Melhorador de Adesividade

A adesividade dos agregados ao ligante asfáltico é determinada conforme os métodos ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584.

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 asfáltica, verificando novamente a adesividade, conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584.

5.3. Composição da Mistura

O projeto da dosagem de mistura deve atender aos seguintes requisitos:

a) A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer a tolerância indicada para cada peneira na Tabela 2, porém, respeitando os limites da faixa granulométrica adotada;
b) Os corpos-de-prova Marshall, devem ser moldados conforme DNER ME 043;
c) O projeto de dosagem deve ser refeito periodicamente, no mínimo a cada 6 meses, e todas as vezes que ocorrer alteração de algum dos materiais constituintes da mistura;
d) A composição da mistura deve satisfazer os requisitos apresentados na Tabela 2, com as respectivas tolerâncias no que diz respeito à granulometria e teor de ligante;

e) O teor ótimo de ligante do projeto de mistura asfáltica, deve corresponder àquele que atende simultaneamente a todos os requisitos da Tabela 3.

TABELA 2 – COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Peneira de Malha Quadrada		I	II	III	IV	V	Tolerância
ASTM	mm	% em Massa, Passando					
¾”	19,0	100	100	100	100	100	-
½”	12,5	100	100	100	100	70-100	± 7%
3/8”	9,5	80-100	70-100	80-90	70-90	50-80	± 7%
Nº 4	4,75	20-40	20-40	40-50	15-30	18-30	± 5%
Nº 10	2,00	12-20	5-20	10-18	10-22	10-22	± 5%
Nº 40	0,42	8-14	-	6-12	6-13	6-13	± 5%
Nº 80	0,18	-	2-8	-	-	-	± 3%
Nº 200	0,075	3-5	0-4	3-6	3-6	3-6	± 2%
Espessura		3,0 cm		4,0 cm			-
Variação do Teor de Ligante %		4,0 – 6,0					± 0,3%

TABELA 3 – REQUISITOS PARA O PROJETO DE MISTURA ASFÁLTICA

Características	Método de Ensaio	Camada Porosa de Atrito
Volume de Vazios, %	ASTM D 3203	18 a 25
Perda de Massa no Ensaio Cantabro, máximo, %	ABNT NBR 15140	25
Escorrimento de ligante asfáltico na temperatura de produção, máximo, %	ASTM D 6390 ou AASHTO T 305	0,3
Resistência à tração por compressão diametral estática a 25 ºC, mínima, MPa	ABNT NBR 15087	0,6

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a

execução dos serviços de camada porosa de atrito compreende as seguintes unidades:

6.1. Depósito para Cimento Asfáltico Modificado por Polímero

Os depósitos para o cimento asfáltico modificado por polímero devem ser capazes de aquecer o material conforme as exigências técnicas estabelecidas, atendendo aos seguintes requisitos:

a) O aquecimento deve ser efetuado por meio de serpentinas a óleo térmico, a eletricidade ou outros meios, de modo a não haver contato direto de chamas com o depósito. Esses dispositivos também devem evitar qualquer superaquecimento localizado, e devem ser capazes de aquecer o cimento asfáltico a temperaturas limitadas;
b) O sistema de circulação para o cimento asfáltico deve garantir a circulação contínua do depósito ao misturador, durante todo o período de operação;
c) Todas as tubulações e acessórios devem ser dotados de isolamento térmico a fim de evitar perdas de calor;
d) A capacidade dos depósitos deve ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.

6.2. 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.

6.3. 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 filler, conjugado com dispositivos para sua dosagem.

6.4. Usina para Misturas Asfálticas

Recomenda-se a utilização de usinas gravimétricas para a produção das misturas asfálticas com controle automatizado de pesagem e do tempo de mistura e sistema de peneiramento que classifica os agregados nos silos quentes.

A usina utilizada deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme. 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 contínua do tipo contra fluxo com misturador externo tipo pugmill de eixo duplo na saída do secador ou tipo multi-paddle, equipadas com células de carga para controle de alimentação dos agregados e com sistema de alimentação do filler recuperado no filtro de mangas integrado o controle da usina.

A usina deve dispor de sistema de controle automático de injeção de CAP (flowmeter).

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

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.

6.5. Caminhão para Transporte da Mistura

Os caminhões tipo basculante para o transporte da mistura asfáltica, 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. Não é permitida a utilização de produtos susceptíveis à dissolução do ligante asfáltico, como óleo diesel, gasolina etc. As caçambas devem ser providas de lona para proteção da mistura.

6.6. Equipamento para Distribuição e Acabamento

A distribuição da mistura asfáltica é normalmente efetuada através de vibro-acabadora automotriz, capaz de espalhar e conformar a mistura ao alinhamento, cotas e abaulamento requeridos.

A vibro-acabadora deve ser preferencialmente equipada com esteiras metálicas para sua locomoção. O uso de acabadoras de pneus só é admitido se for comprovado que a qualidade do serviço não é afetada por variações na carga acabadora.

A acabadora deve possuir ainda:

a) Sistema composto por parafuso-sem-fim, capaz de distribuir adequadamente a mistura, em toda a largura da faixa de trabalho;
b) Sistema rápido e eficiente de direção, além de marchas para frente e para trás;
c) Alisadores, vibradores e dispositivos para seu aquecimento à temperatura especificada, de modo que não haja irregularidade na distribuição da massa;
d) Sistema de nivelamento eletrônico.

6.7. Equipamento para Compactação

A compactação da mistura é efetuada pela ação de rolos lisos tipo tandem autopropelido, com peso compatível à espessura da camada, sendo recomendado que tenha, no máximo, 8 toneladas.

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

6.8. 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.

7. EXECUÇÃO

7.1. 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.

A pintura de ligação deve ser modificada por polímero e deve ser executada, obrigatoriamente, com a barra espargidora. Caneta ou regador podem ser utilizados somente para correções localizadas ou em locais de difícil acesso.

A pintura de ligação deve apresentar película homogênea e promover adequadas condições de aderência quando da execução da camada porosa de atrito.

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

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

7.2. Produção da Mistura

A mistura asfáltica deve ser produzida 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.

As aberturas dos silos frios devem ser ajustadas de acordo com a granulometria da dosagem e dos agregados para evitar sobras nos silos quentes.

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 e determinada conforme ABNT NBR 15184. A temperatura do ligante não deve exceder a 177 °C.

Os agregados devem ser aquecidos a temperaturas de 10 °C a 15 °C acima da temperatura do cimento asfáltico, sem ultrapassar 177 °C.

A carga dos caminhões deve ser feita de maneira a evitar segregação da mistura dentro da caçamba, sugerindo uma 1º 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 vibro-acabadora que pode acarretar diminuição da temperatura da mistura, com prejuízo da compactação.

7.3. Transporte da Mistura

A mistura asfáltica produzida deve ser transportada da usina ao local de aplicação, em caminhões basculantes, atendendo ao especificado no item 6.6 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.

7.4. Distribuição da Mistura

Tendo em vista a obtenção de maior eficácia na operação de compactação, recomenda-se a execução prévia de panos experimentais, com a finalidade de definir os tipos de equipamentos e técnica de compactações mais adequadas, bem como o número de coberturas necessárias à obtenção das condições de compactação desejadas.

A distribuição da mistura deve ser feita por equipamentos adequados, conforme especificado no item 6.6.

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 ancinhos ou 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 empola-mento previsto, onde a mesa deve ser apoiada.

A mistura deve apresentar textura homogênea, sem pontos segregados. Qualquer falha constatada na superfície deve ser sanada antes do início da compactação, com espalhamento manual.

Na descarga, o caminhão deve ser empurrado pela acabadora, não se permitindo choques durante a operação.

O tipo de vibro-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.

7.5. Compactação da Mistura

A rolagem tem início logo após a distribuição da mistura. A fixação da temperatura de rolagem condiciona-se à natureza da massa e às características do equipamento utilizado. 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. 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 recoberto 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) Os cilindros dos rolos devem ser ligeiramente umedecidos 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.

7.6. 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.

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.

Não é permitido o lançamento dos agregados graúdos provenientes da rastelagem na frente ou dentro da mesa da vibro acabadora. Esse material deve ser descartado.

7.7. Abertura ao Tráfego

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

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1 e 2.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Cimento Asfáltico Modificado por Polímero

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

a) Um ensaio de penetração a 25 ºC, conforme ABNT NBR 6576;
b) Um ensaio de viscosidade *Brookfield*, conforme ABNT NBR 15184;
c) Um ensaio de ponto de fulgor, conforme ABNT NBR 11341;
d) Um ensaio determinação de formação de espuma, quando aquecido a 175 ºC;
e) Um ensaio de recuperação elástica, conforme ABNT NBR 15086.

Para cada 100 t:

a) Um ensaio de estabilidade à estocagem, conforme ABNT NBR 15166;
b) um ensaio de ponto de amolecimento, conforme ABNT NBR 6560;
c) Um ensaio do resíduo no RTFOT: variação em massa conforme ABNT NBR 15235, ponto de amolecimento conforme ABNT NBR 6560,

penetração conforme ABNT NBR 6576 e recuperação elástica conforme ABNT NBR 15086.

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

8.1.2. Agregados

Diariamente deve-se inspecionar o britador 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:

a) Abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51: um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
b) Índice de forma e porcentagem de partículas lamelares, conforme ABNT NBR 6954: 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 DNER ME 089: um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
d) Equivalente de areia do agregado miúdo, conforme ABNT NBR 12052: um ensaio por jornada de 8 horas de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material;
e) A adesividade dos agregados ao ligante asfáltico, conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584; para todo carregamento que cimento asfáltico que chegar na obra e sempre que houver variação da natureza dos materiais.

8.1.3. Melhorados de Adesividade

Quando a adesividade não for satisfatória e o melhorador de adesividade for incorporado na mistura, deve-se verificar novamente a adesividade, conforme ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584.

8.2. Controle da Produção da Mistura Asfáltica

O controle da produção da mistura asfáltica deve ser acompanhado por laboratório, o qual deve realizar o acompanhamento e os ensaios pertinentes e deve obedecer à metodologia indicada pela PMSJC/SP, e atender os parâmetros recomendados.

8.2.1. Temperaturas

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

a) 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.

8.2.2. Granulometria dos Agregados

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

a) Granulometria do agregado de cada silo quente ou dos silos frios, quando tratar-se de usina tipo tambor-secador-misturador: 2 determinações de cada agregado por jornada de 8 h de trabalho conforme ABNT NBR NM 248;
b) Granulometria do filler: 1 ensaio por jornada de 8 h de trabalho conforme ABNT NBR NM 248;
c) Se indicada a adição de filler no projeto da mistura, deve-se realizar inspeção rigorosa da quantidade do filler adicionado.

8.2.3. Teor de Ligante Asfáltico e Granulometria da Mistura

Devem ser executados os seguintes ensaios para controle do teor de ligante asfáltico e granulometria da mistura:

a) Extração de ligante asfáltico, preferencialmente conforme ASTM D 6307 ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo, *Soxhlet* de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172, 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 2 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 ABNT NBR NM 248.

8.3. Controle da Aplicação e Destinação da Mistura Asfáltica

O controle da aplicação da mistura asfáltica deve ser efetuado através dos procedimentos descritos em seguida.

8.3.1. 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.

8.3.2. Teor de Ligante Asfáltico, Granulometria da Mistura, Resistência à Tração e Perda de Massa no Ensaio Cantabro

Devem ser executadas as seguintes determinações em amostras colhidas imediatamente após a passagem da acabadora:

a) Extração de asfalto, preferencialmente conforme ASTM D 6307 ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo, *Soxhlet* de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172, duas extrações por jornada de trabalho de 8 horas;
b) Análise granulométrica da mistura de agregados, com material resultante das extrações, de no mínimo 1.000 g, conforme ABNT NBR NM 248: dois ensaios por jornada de 8 horas de trabalho;
c) Ensaio Marshall, conforme ABNT NBR 12891, com no mínimo 6 corpos-de-prova; devem ser destinados 3 corpos de prova ao ensaio de tração por compressão diametral a 25°C, conforme ABNT NBR 15087; nos outros 3 corpos-de-prova deve-se determinar a perda de massa no ensaio *Cantabro*, conforme ABNT NBR 15140. Devem ser realizados dois ensaios por jornada de 8 horas de trabalho.
d) Ensaio RICE conforme ASTM D 2041, a cada 4h de produção.

8.3.3. Controle da Compactação e Volume de Vazios

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 DNER ME 117.

8.3.4. Destinação

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

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

O controle geométrico deve ser feito por acompanhamento topográfico, obedecendo à metodologia indicada pela PMSJC/SP e deve satisfazer os parâmetros recomendados.

8.4.1. Controle de Espessura e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas 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.

8.4.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.4.3. Controle de Acabamento da Superfície

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

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;
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 medidores de irregularidade, tipo resposta, devidamente calibrados, conforme DNER PRO 164, DNER PRO 182 e DNER ES 173; o QI será determinado para cada trecho de 320 m ou nos locais indicados pela fiscalização; opcionalmente, poderá ser empregado o perfilômetro a laser na determinação do IRI, *International Roughess Index*.

8.5. Condições de Segurança

As condições de segurança serão determinadas pela macrotextura do revestimento asfáltico, conforme ASTM E 1854, através de ensaios de mancha de areia, espaçados a cada 100 m, por faixa de rolamento e a microtextura pelo pêndulo britânico, conforme ASTM E 303.

8.6. Deflexões

Deve-se verificar as deflexões recuperáveis máximas (D0) da camada a cada 20 m por faixa alternada e 40 m na mesma faixa, através da viga *Benkelman*, conforme DNER ME 024, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A medição do serviço da camada porosa de atrito, executado e recebido na forma descrita, será medido e pago por volume de mistura aplicada e compactada, expressa em metro cúbico (m^3), para qualquer uma das camadas, ou seja, camada de rolamento, camada de ligação ou de nivelamento.

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, transportes, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e eventuais necessários à completa execução dos serviços.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
CIMENTO ASFÁLTICO			
Penetração ABNT NBR 6576	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Atender ao especificado no Anexo 2.
Viscosidade de *Brookfield* ABNT NBR 15184			
Ponto de Fulgor ABNT NBR 11341			
Formação de Espuma Aquecido a 175 ºC			
Recuperação Elástica ABNT NBR 15086			
Estabilidade à Estocagem ABNT NBR 15166	1 ensaio para cada 100 t		
Ponto de Amolecimento ABNT NBR 6560			
Ensaios do Resíduo no RTFOT: - Variação em Massa ABNT NBR 15235 - Ponto de Amolecimento ABNT NBR 6560 - Penetração ABNT NBR 6576 - Recuperação Elástica ABNT NBR 15086			

AGREGADO			
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≤ 50%
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	Não cúbicas inferior a 15%
Durabilidade com Sulfato de Sódio, em 5 Ciclos DNER ME 089	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≤ 12%
Adesividade ao Ligante Betuminoso ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	Em todo carregamento que cimento asfáltico que chegar na obra e sempre que houver variação da natureza dos materiais.	Resultados individuais	Adesividade satisfatória Quando a adesividade for insatisfatória, empregar melhorador de adesividade.
MELHORADOR DE ADESIVIDADE			
Verificação da Adesividade ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	1 ensaio após o emprego do melhorador de adesividade.	Resultados individuais	Adesividade satisfatória

CONTROLE DE PRODUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
TEMPERATURAS			
Temperatura nos silos quentes. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações de cada silo por jornada de 8 h 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. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações por jornada de 8 h 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.			
GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS			
Granulometria do agregado, de cada silo quente, ou frio (usina drum-mixer) ABNT NBR NM 248	2 determinações de cada agregado por jornada de 8 h de trabalho	<u>Controle Bilateral</u> $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ 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.

TEOR DE LIGANTE ASFÁLTICO E GRANULOMETRIA DA MISTURA			
Extração de Ligante ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina Quando houver indícios de falta e excesso no teor de asfalto. 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	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g) ABNT NBR NM 248	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina. 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	Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa definida na Tabela 1.

CONTROLE DA EXECUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
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. Termômetro bimetálico com precisão de 5 ºC	De cada descarga efetuada	Resultados individuais	Dentro da faixa de tolerância para compactação da massa asfáltica.
TEOR DE LIGANTE ASFÁLTICO, GRANULOMETRIA DA MISTURA, RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E PERDA DE MASSA NO ENSAIO CANTABRO			
Extração de Ligante ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	2 extrações 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	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g) ABNT NBR NM 248	2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho		Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa de trabalho, definida a partir da curva de projeto.
Resistência à tração por compressão diametral a 25 ºC, MPa ABNT NBR 15087	1 determinação por jornada de 8 h de trabalho.	Controle Unilateral $X = \bar{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	≥ 0,60
Perda de massa no ensaio Cantabro, %. ABNT NBR 15140	1determinação por jornada de 8 h de trabalho.	Controle Unilateral $X = \bar{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	≤ 25

COMPACTAÇÃO E VOLUME DE VAZIOS			
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. DNER ME 117	A cada 100 m de faixa de rolamento compactada	Média: $GC = \frac{100 x d_{pista}}{d_{projeto}}$	O grau de compactação é aceito se a média de GC ≥ 97%
Volume de Vazios ABNT NBR 12891	A cada 100 m de faixa de rolamento compactada	<u>Controle Bilateral</u> $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	(18 a 25) %

CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
GEOMÉTRICO			
Determinação da espessura através dos corpos-de-prova extraídos. Medidas 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.
Determinação da 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 de ligação.	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.
Cota Relocação e nivelamento topográfico.		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.
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 DNER PRO 164 DNER PRO 182 DNER PRO 173	Em cada faixa de rolamento, determinado a cada trecho de 320 m, ou nos locais indicados pela fiscalização	Resultados individuais	QI $\leq$ 35 contagens/km

De modo geral as juntas executadas devem apresentar-se homogêneas ao conjunto da mistura, isentas de desníveis e de saliências. A superfície deve apresentar desempenada, não deve conter marcas indesejáveis do equipamento de compactação e ondulações de variações decorrentes da carga da vibroacabadora.

CONDIÇÕES DE SEGURANÇA			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinar a macrotextura, para camadas de rolamento. ASTM E 1845	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	Altura de areia ≥ 0,6 mm.
Determinar a microtextura, para camadas de rolamento, através do ensaio de pêndulo britânico. ASTM E 303	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	≥ 47

DEFLEXÕES			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinação deflectométrica, D_0 e D_{25} Viga Benkelman DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	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 superiores ao valor admitido em projeto.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

ANEXO 2 – CIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO POLÍMERO

ENSAIO	UNIDADE	RELAÇÃO PONTO DE AMOLECIMENTO x RECUPERAÇÃO ELÁSTICA (ºC / %)		
		55/75	60/85	65/90
ENSAIOS NA AMOSTRA VIRGEM				
Penetração (100g, 5s, 25 ºC) ABNT NBR 6576	0,1 mm	45-70	45-70	45-70
Ponto de amolecimento, mín. ABNT NBR 6560	ºC	55	60	65
Ponto de fulgor, mín. ABNT NBR 11341	ºC	235	235	235
Viscosidade Brookfield a 135 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx. ABNT NBR 15184	cP	3000	3000	3000
Viscosidade Brookfield a 135 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx. ABNT NBR 15184	cP	2000	2000	2000
Viscosidade Brookfield a 135 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx. ABNT NBR 15184	cP	1000	1000	1000
Estabilidade à estocagem, máx. ABNT NBR 15166	ºC	5	5	5
Recuperação elástica a 20 ºC, 20 cm, mín. ABNT NBR 15086	%	75	85	90
ENSAIOS NO RESÍDUO DO RTFOT				
Variação de massa, máx. ABNT NBR 15235	%	1	1	1
Aumento do ponto de amolecimento, máx. ABNT NBR 6560	ºC	7	7	7
Redução do ponto de amolecimento, máx. ABNT NBR 6560	ºC	5	5	5
Porcentagem de penetração original, mín. ABNT NBR 6576	%	60	60	60
Porcentagem de recuperação elástica original a 25 ºC, mín. ABNT NBR 15086	%	80	80	80

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de concreto asfáltico com asfalto-borracha, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Concreto asfáltico com asfalto-borracha é uma mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas. É composto por agregado graduado, cimento asfáltico modificado por borracha moída de pneus e, se necessário, material de enchimento, filler, e melhorador de adesividade, sendo espalhada e compactada a quente. O concreto asfáltico com asfalto-borracha pode ser empregado como revestimento, camada de ligação, binder, regularização ou reforço estrutural do pavimento.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) DNER-ME 043/95 – Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall;
b) DNER-ME 089/94 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
c) DNER-ME 117/94 – Mistura betuminosa – Determinação da densidade aparente;
d) DNER-PRO 164/94 – Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e *Maysmeter*);
e) DNER-PRO 182/94 – Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e *Maysmeter*;
f) DNER-PRO 173/86 – Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta;
g) ABNT NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão *Los Angeles*;
h) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
i) DNER ME 401/99 – Agregados – Determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – IDML e sem ligante - IDM;
j) ABNT NBR 5564 Anexo A – Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio;
k) ABNT NBR 6293 – Ligantes asfálticos – Determinação da ductilidade;
l) ABNT NBR 6560 – Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola;

m) ABNT NBR 6576 – Materiais asfálticos – Determinação da penetração;
n) ABNT NBR 11341 – Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland;
o) ABNT NBR 12052 – Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia - Método de ensaio;
p) ABNT NBR 12583 – Agregado graúdo – Determinação da adesividade ao ligante betuminoso;
q) ABNT NBR 12584 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
r) ABNT NBR 14855 – Ligantes asfálticos – Determinação da solubilidade em tricloroetileno;
s) ABNT NBR 15086 – Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetrol;
t) ABNT NBR 15087 – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral;
u) ASTM E 1845 – *Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth*;
v) ASTM D 2196 – *Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational Viscometer*;
w) ASTM D 2872 – *Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)*;
x) ASTM D 4402 – *Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer*;
y) ASTM D 6307 – *Standard Test Method for Asphalt Content of Asphalt Mixture by Ignition Method*;
z) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
aa) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva. O concreto asfáltico usinado a quente com asfalto-borracha somente deve ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10 ºC.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

Os materiais constituintes do concreto asfáltico com asfalto-borracha são: agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento ou filler, ligante asfáltico modificado por borracha moída de pneus, e melhorador de adesividade, se necessário.

Os materiais utilizados devem satisfazer às normas pertinentes e às especificações aprovadas pela PMSJC/SP.

5.1. Cimento Asfáltico

Os cimentos asfálticos de petróleo modificados por adição de borracha moída de pneus devem possuir as seguintes características:

a) O teor mínimo de borracha deve ser de 15% em massa, incorporada no ligante asfáltico;
b) O ligante asfalto-borracha deve atender aos requisitos apresentados na Tabela 1;
c) O tempo máximo e as condições de armazenamento e estocagem do asfalto-borracha, para diferentes situações, devem ser definidos pelo fabricante;
d) A garantia do produto asfáltico por carga deve ser atestada pelo fabricante através de certificado com as características do produto.

Todo o carregamento de asfalto-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, correspondentes à data de carregamento para transporte com destino ao canteiro de serviço. Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a fábrica e o canteiro de obra.

TABELA 1 – PROPRIEDADE DO LIGANTE ASFALTO-BORRACHA – AB 8

Características	Exigência		Método ABNT
	Mínima	Máxima	
Viscosidade Brookfield a 175 ºC, spindle 3, 20RPM, cP	800	2000	ABNT NBR 15529
Penetração, 100 g, 5 s, 25 ºC, 0,1 mm	30	70	ABNT NBR 6576
Ponto de Amolecimento, ºC,	50	-	ABNT NBR 6560
Recuperação Elástica %	50	-	ABNT NBR 15086
Ponto de Fulgor, ºC	235	-	ABNT NBR 11341
Estabilidade a estocagem, ºC	-	9	ABNT NBR 15166
Ensaio no Resíduo do RTFOT			
- Variação em Massa, %	-	1,0	ABNT NBR 15235
- Percentagem de Penetração Original	55	-	ABNT NBR 6576
Porcentagem da recuperação elástica original (25ºC, 10cm)	100	-	ABNT NBR 15086

Devido ao fato da faixa de variação da viscosidade ser elevada e sendo a viscosidade do CAP modificado por borracha importante na produção e qualidade da mistura asfáltica produzida, recomenda-se que a viscosidade Brookfield a 175ºC do produto durante toda a produção da usina seja estabelecida adotando-se uma variação de ±10% em relação à viscosidade do CAP modificado por borracha utilizado na dosagem da mistura asfáltica.

5.2. Agregados

5.2.1. Agregado Graúdo

Deve constituir-se por pedra britada ou seixo rolado britado, 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 50%, conforme ABNT NBR NM 51;

b) Admite-se excepcionalmente agregados com valores com índice de desgaste Los Angeles superior a 50% se:
c) Apresentarem comprovadamente desempenho satisfatório em utilização anterior;
d) A degradação do agregado após a compactação Marshall, com ligante IDml, e sem ligante IDm, determinada conforme método DNER ME 401, deve apresentar valores IDml ≤ 5% e IDm ≤ 8%.
e) Quando obtidos por britagem de pedregulhos, 90% em massa dos fragmentos retidos na peneira no 4, de 4,8 mm, devem apresentar no mínimo uma face fragmentada pela britagem;
f) Índice de forma apresentado partículas não cúbicas inferiores a 15%, conforme ABNT NBR 5564 Anexo A;
g) Os agregados utilizados devem apresentar perdas inferiores a 12% quando submetidos à avaliação da durabilidade com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089.

5.2.2. Agregado Miúdo

Pode constituir-se por areia, pó de pedra ou mistura de ambos. Deve apresentar partículas individuais resistentes, livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. O equivalente de areia obtido conforme ABNT NBR 12052 deve ser igual ou superior a 55%.

5.2.3. Material de Enchimento - Filler

O material de enchimento deve ser de natureza mineral finamente dividido, tal como cimento Portland, cal extinta, pós calcários, cinzas volantes etc., conforme DNER EM 367. Na aplicação, o filler deve estar seco e isento de grumos. A granulometria a ser atendida deve obedecer aos limites estabelecidos na Tabela 2.

TABELA 2 – GRANULOMETRIA DO MATERIAL DE ENCHIMENTO

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando
ASTM	mm	
Nº 40	0,42	100
Nº 80	0,18	95–100
Nº 200	0,075	65–100

A cal hidratada deverá ser do tipo calcítica contendo no mínimo 60% de CaO e no máximo 5% de MgO.

5.2.4. Melhorador de Adesividade

A adesividade dos agregados ao ligante betuminoso é determinada conforme os métodos ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584.

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 asfáltica, verificando novamente a adesividade, conforme AASHTO T 283. A razão da resistência à tração por compressão diametral estática após e antes da imersão deve ser superior a 0,70.

5.3. Composição da Mistura

A faixa granulométrica a ser empregada deve ser selecionada em função da utilização prevista para o concreto asfáltico com asfalto-borracha. Caso a mistura asfáltica seja utilizada como camada de rolamento, deve-se conferir especial atenção à seleção da granulometria de projeto, tendo em vista a obtenção de rugosidade que assegure adequadas condições de segurança ao tráfego.

A composição da mistura deve satisfazer aos requisitos apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Peneira de Malha Quadrada		**25,0**	**19,0**	**12,5**	**9,5**	**Tolerância**
ASTM	**mm**	**% em Massa, Passando**				
1 ½”	37,5	100	100	100	100	± 2%
1”	25,0	90-100	100	100	100	± 2%
¾”	19,0	-	90-100	100	100	± 2%
½”	12,5	56-80	-	90-100	100	± 2%
3/8”	9,5	-	56-80	-	90-100	± 2%
Nº 4	4,75	29-59	35-65	44-74	55-85	± 2%
Nº 8	2,36	19-45	23-49	28-58	32-67	± 2%
Nº 50	0,30	5-17	5-19	5-21	7-23	± 2%
Nº 200	0,075	1-7	2-8	2-10	2-10	± 2%
Camadas		Ligação (Binder)	Ligação ou Rolamento	Rolamento	Reperfilagem	-
Espessura Máxima por camada executada (cm)		7,0	6,0	6,0	3,0	-

A curva granulométrica dos agregados deve se enquadrar em uma das faixas do quadro seguinte, com a tolerância de 2% em cada peneira. O percentual do ligante asfáltico deve ser o determinado pelo projeto da mistura e a tolerância será de no máximo 0,2% (absoluto).

TABELA 4 – REQUISITOS PARA O PROJETO DE MISTURA ASFÁLTICA

Características	Método de Ensaio	Camadas de Rolamento e Reperfilagem	Camada de Ligação (Binder)
Estabilidade mínima, kN (75 golpes no Ensaio Marshall)	ABNT NBR 12891	8	8
Fluência (mm)	ABNT NBR 12891	2,0 a 4,0	2,0 a 4,0
% de Vazios (índice de vazios)	-	4	4 a 6
Relação Betume Vazios – RBV (%)	-	65	65 a 75
Vazios do Agregado Mineral – VAM (%)	-	Ver Tabela 4	-
Resistência à Tração por Compressão Diametral Estática a 25 ºC, mínima, MPa	NBR 15087	0,80	0,65
Resistência a danos por Umidade Induzida, mínimo, %	AASHTO T 283	70	70

a) As misturas asfálticas para camada de rolamento faixas II e III, os vazios do agregado mineral – VAM, devem atender aos valores mínimos definidos em função do tamanho nominal máximo do agregado, conforme Tabela 4;
b) Recomenda-se que o teor ótimo de ligante situe-se abaixo do teor de ligante correspondente ao VAM mínimo, da dosagem Marshall;
c) As condições de vazios da mistura na fase de dosagem podem ser verificadas por um dos procedimentos:

- Procedimento A

- Determinação da densidade efetiva através da densidade máxima teórica pelo método Rice, conforme ASTM D 2041.

- Procedimento B
  - Determinação da densidade efetiva através da média entre a densidade aparente e densidade real agregado. Admite-se a como densidade efetiva do agregado (D_{ea}) como sendo a média aritmética entre a D_1 e D_2;
  - As densidades aparentes dos corpos de prova devem ser obtidas através do método DNER ME 117.

$$D_{ea} = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

Onde:

$$D_1 = \frac{100}{\frac{P_1}{D_{SR1}} + \frac{P_2}{D_{SR2}} + \frac{P_3}{D_{SR3}}} \quad ; \quad D_2 = \frac{100}{\frac{P_1}{D_{SAp1}} + \frac{P_2}{D_{SR2}} + \frac{P_3}{D_{SR3}}}$$

Onde:

P_1 = porcentagem de agregado retido na peneira de abertura de 2,0 mm (%);

P_2 = porcentagem de agregado que passa na peneira de abertura de 2,0 mm, e fica retido na peneira de abertura na peneira de abertura de 0,075mm (%);

P_3 = porcentagem de agregado que passa na peneira de abertura de 0,075mm (%);

D_{SR1} = densidade real do agregado retido na peneira de abertura de 2,0 mm;

D_{SR2} = densidade real do agregado que passa na peneira de abertura de 2,0 mm, e fica retido na peneira de abertura de 0,075 mm;

D_{SR3}= densidade real do agregado que passa na peneira de abertura de 0,075 mm;

D_{SAp1}= densidade aparente do agregado que fica retido na peneira de abertura de 2,0 mm.

TABELA 5 – REQUISITOS PARA VAZIOS DO AGREGADO MINERAL - VAM		
Tamanho Nominal Máximo do Agregado		**VAM Mínimo (%)**
ASTM	**mm**	**Teor de Vazios = 4,0%**
1 ½”	37,5	11
1”	25,0	12
¾”	19,0	13
½”	12,5	14
3/8”	9,5	15
*Tamanho nominal máximo do agregado é definido com o diâmetro da peneira imediatamente superior àquela que retém mais que 10% dos agregados.		

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução dos serviços de concreto asfáltico compreende as seguintes unidades:

6.1. Depósito para Cimento Asfáltico

Os depósitos para o cimento asfáltico devem ser capazes de aquecer o material conforme as exigências técnicas estabelecidas, atendendo aos seguintes requisitos:

a) O aquecimento deve ser efetuado por meio de serpentinas a vapor, a óleo térmico, a eletricidade ou outros meios, de modo a não haver contato direto de chamas com o depósito; esses dispositivos também devem evitar qualquer superaquecimento localizado, e ser capaz de aquecer o cimento asfáltico a temperaturas limitadas;
b) O sistema de recirculação para o cimento asfáltico deve garantir a circulação desembaraçada e contínua do depósito ao misturador, durante todo o período de operação;
c) Todas as tubulações e acessórios devem ser dotados de isolamento térmico, a fim de evitar perdas de calor;
d) A capacidade dos depósitos deve ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.
e) Os tanques de armazenamento do CAP devem ser do tipo vertical com fundo cônico, contendo um eixo vertical com no mínimo três níveis de agitação e sistema de retorno do CAP do fundo para o topo do tanque.

6.2. 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.

6.3. 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 filler, conjugado com dispositivos para sua dosagem.

A usina deve possuir, pelo menos quatro silos individuais para estocagem dos agregados.

6.4. Usina para Misturas Asfálticas

Devido a elevada viscosidade do CAP borracha, o que dificulta o envolvimento dos agregados graúdos nas usinas volumétricas, recomenda-se a utilização de usinas gravimétricas para a produção das misturas asfálticas com controle automatizado de pesagem e do tempo de mistura e sistema de peneiramento que classifica os agregados nos silos quentes.

A produção/hora da usina não é a mesma de quando se está utilizando CAPs convencionais. No caso das misturas contínuas que é o caso das contempladas nesta especificação há necessidade de se avaliar qual deverá ser a produção/hora adequada para que ocorra o perfeito recobrimento dos agregados grados.

A avaliação para definição da produção/hora deverá ser feita através da determinação do teor de CAP/Mistura dos agregados que ficam retidos na peneira de maior abertura, procedendo-se a retirada dos agregados miúdos da superfície dos agregados retidos na peneira de maior abertura.

O teor mínimo de CAP/Mistura que recobre os agregados grados deverá ser de 2,5%.

A usina utilizada deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme. 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 contínua do tipo contra fluxo com misturador externo tipo *pugmill* de eixo duplo na saída do secador ou tipo *multipaddle*, equipadas com células de carga para controle de alimentação dos agregados e com sistema de alimentação do *filler* recuperado no filtro de mangas integrado o controle da usina.

A usina deve dispor de sistema de controle automático de injeção de CAP *flowmeter*.

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

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.

6.5. Caminhão para Transporte da Mistura

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

6.6. Equipamento para Distribuição e Acabamento

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.

A velocidade de avanço da vibro-acabadora deve ser tal que seja evitado ao máximo a sua parada.

6.7. Equipamento para Compactação

O equipamento para a compactação deve constituir-se por rolos pneumáticos com regulagem de pressão e rolo metálico liso, tipo tandem.

Os rolos pneumáticos, autopropulsionados, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 0,25 MPa a 0,84 MPa. É obrigatória a utilização de pneus calibração uniformes, de modo a evitar marcas indesejáveis na mistura compactada.

O rolo metálico liso tipo tandem deve ter massa compatível com a espessura da camada.

O emprego dos rolos lisos vibratórios pode ser admitido desde que a frequência e a amplitude de vibração sejam ajustadas às necessidades do serviço.

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.

6.8. 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, rodos e ancinhos para operações eventuais.
c) Vassouras rotativas, compressores de ar para limpeza da pista.
d) Caminhão tanque irrigador para limpeza de pista.

7. EXECUÇÃO

7.1. 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.

A imprimação ligante ou pintura de ligação 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 concreto asfáltico.

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.

No caso de desdobramento da espessura total de concreto asfáltico 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 concreto asfáltico com asfalto-borracha, sobre a pintura de ligação só é permitido após o rompimento e cura do ligante aplicado.

A imprimação ligante deverá ser executada de acordo com o preconizado na especificação de serviço PMSJC ES-P14/19 – Imprimação Betuminosa Ligante.

7.2. Produção do Concreto Asfáltico com Asfalto-Borracha

O concreto asfáltico com asfalto-borracha 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.

As aberturas dos silos frios devem ser ajustadas de acordo com a granulometria do traço e dos agregados para evitar sobras nos silos quentes.

A temperatura de aquecimento do cimento asfáltico modificado com borracha de pneus empregado deve, salvo em orientação contrária e justificada do fabricante, se situar no limite de 175 ºC. 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.

A temperatura de aquecimento dos agregados, medida nos silos quentes, deve ser até 10 °C superior à temperatura definida para o aquecimento do ligante, desde que não supere 180 °C.

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

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 em diminuição da temperatura da mistura com prejuízo da compactação.

O tempo decorrido entre a produção na usina e o seu esparrame na pista não deve exceder a três horas. Esse tempo pode ser superior, no caso de ser utilizado aditivo para mistura morna e a temperatura de usinagem ser inferior a 150 ºC.

A produção/hora deverá ser definida em função do tipo de mistura, umidade dos agregados, de modo a permitir a secagem dos agregados, homogeneidade da mistura e o adequado recobrimento dos agregados graúdos pelo CAP.

7.3. Transporte do Concreto Asfáltico com Asfalto-Borracha

O concreto asfáltico com asfalto-borracha produzido deve ser transportado da usina ao local de aplicação, em caminhões basculantes, atendendo ao especificado no item 6.6 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.

7.4. Distribuição da Mistura

A distribuição do concreto asfáltico com asfalto-borracha deve ser feita por equipamentos adequados, conforme especificado no item 6.7.

Para o caso de emprego de concreto asfáltico com asfalto-borracha como camada de rolamento, ligação ou de regularização, a mistura deve ser

distribuída por uma ou mais acabadoras, atendendo aos requisitos anteriormente especificados.

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 uniforme, sem pontos segregados. Qualquer falha constatada na superfície deve ser sanada antes do início da compactação, com espalhamento manual.

Na descarga, o caminhão deve ser empurrado pela acabadora, não se permitindo choques ou travamento dos pneus durante a operação.

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 esperar caminhões. A velocidade da acabadora deve estar sempre entre 2,5 m/minuto e 10,0 m/minuto.

7.5. Compactação da Mistura

A rolagem tem início logo após a distribuição do concreto asfáltico com asfalto-borracha. A fixação da temperatura de rolagem condiciona-se à natureza da massa e às características do equipamento utilizado. Como regra geral, deve-se iniciar a compactação na temperatura mais elevada que a mistura asfáltica possa suportar, temperatura esta fixada experimentalmente, em cada caso. A temperatura mínima recomendável para a compactação da mistura é de 150 ºC, devendo ser ajustada no campo em função dos equipamentos de compactação, condições ambientais e de serviço que garantam as características requeridas pela mistura, por ocasião do projeto de dosagem.

É obrigatória, às expensas do contratado, a execução de trecho experimental, que deve possuir no mínimo 150 m e cobrir a largura da faixa ou a metade da largura da pista, para definição dos equipamentos de compactação e números

de passadas necessárias dos equipamentos para atingir o grau de compactação mínimo exigido nesta especificação. Após aceitação do trecho experimental pela fiscalização, aos serviços podem ser iniciados.

A prática mais frequente de compactação de misturas asfálticas densas usinadas a quente contempla o emprego combinado de rolos pneumáticos de pressão regulável e rolo metálico liso tipo tandem, de acordo com as seguintes premissas:

a) Inicia-se a rolagem com uma passada com rolo liso;
b) Logo após, a passada com rolo liso, inicia-se a rolagem com uma passada do rolo pneumático atuando com baixa pressão;
c) À medida que a mistura for sendo compactada e houver consequente crescimento de sua resistência, seguem-se coberturas com o rolo pneumático, com incremento gradual da pressão;
d) O acabamento da superfície e correção das marcas dos pneus deve ser feito com o rolo tandem, sem vibrar;
e) A compactação deve ser iniciada pelas bordas, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista;
f) Cada passada do rolo deve ser recoberto na seguinte, em 1/3 da largura do rolo;
g) Durante a rolagem não serão permitidas mudanças de direção ou inversões bruscas de marcha, nem estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém rolado, ainda quente;
h) As rodas dos rolos devem ser ligeiramente umedecidas para evitar a aderência da mistura; nos rolos pneumáticos, devem ser utilizados os mesmos produtos indicados para a caçamba dos caminhões transportadores; nos rolos metálicos lisos, se for utilizada água, esta deve ser pulverizada, não se permitido que escorra pelo tambor e acumule-se na superfície da camada.

No caso de rejeição dos serviços no trecho experimental por desempenho insatisfatório, o trecho experimental deve ser refeito, as expensas do contratado.

7.6. Juntas

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

Em pista dupla é recomendado o uso de duas vibro-acabadoras, de modo que os panos adjacentes sejam executados simultaneamente.

Em vias 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.

Não é permitido o lançamento dos agregados graúdos provenientes da rastelagem na frente ou dentro da mesa da vibro acabadora. Esse material deve ser descartado.

7.7. Abertura ao Tráfego

A camada de concreto asfáltico, com asfalto-borracha recém-acabada, deve ser liberada ao tráfego somente quando a massa atingir a temperatura ambiente.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1, 2 e 3.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Cimento Asfáltico Modificado por Borracha de Pneu

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

a) Um ensaio de viscosidade Brookfield a 175ºC, conforme ASTM D 2196;
b) Um ensaio de penetração a 25 ºC, conforme ABNT NBR 6576;
c) Um ensaio de ponto de amolecimento, conforme ABNT NBR 6560;
d) Um ensaio de recuperação elástica, conforme NLT 329;
e) Um ensaio determinação de formação de espuma, quando aquecido a 175 ºC.

Para cada 100 t:

a) Um ensaio de estabilidade à estocagem, conforme ABNT NBR 15166;

b) Um ensaio de ponto de amolecimento, conforme ABNT NBR 6560;

c) Um ensaio do resíduo no RTFOT: variação em massa conforme ABNT NBR 15235, ponto de amolecimento conforme ABNT NBR 6560,

penetração conforme ABNT NBR 6576 e recuperação elástica conforme ABNT NBR 15086.

Pode ser utilizado viscosímetro rotacional portátil compatível ou adaptável através de correlação com o viscosímetro Brookfield.

Para todo carregamento de cimento asfáltico modificado por borracha de pneu, com ou sem polímero, que chegar a obra deve-se retirar uma amostra que será identificada e armazenada para possíveis ensaios posteriores.

8.1.2. 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:

a) Abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51: um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
   Caso o agregado apresente abrasão superior a 50%, verificar a degradação do agregado após a compactação Marshall, com e sem ligante conforme DNER ME 401: um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do agregado;
b) Índice de forma e porcentagem de partículas lamelares, ABNT NBR 5564 Anexo A: 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 DNER ME 089: 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 ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584: um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
e) Granulometria dos agregados nos silos quentes da usina gravimétrica a cada 8h de trabalho;
f) Granulometria nos silos frios de todos dos agregados a cada 4h de trabalho;
g) Determinação da umidade dos agregados nos silos frios a cada 4 h de trabalho.

Para agregado miúdo, determinar equivalente de areia, conforme ABNT NBR 12052: um ensaio por jornada de 8 h de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material.

8.1.3. Melhorador de Adesividade

Quando a adesividade não for satisfatória e o melhorador de adesividade for incorporado na mistura, deve-se verificar novamente a adesividade conforme ABNT NBR 12583, ABNT NBR 12584 e AASHTO T 283.

8.2. Controle da Produção da Mistura Asfáltica

O controle da produção do concreto asfáltico com asfalto-borracha deve ser acompanhando por laboratório, o qual deve realizar o acompanhamento e os ensaios pertinentes devendo obedecer à metodologia indicada pela PMSJC/SP atendendo os parâmetros recomendados.

8.2.1. Controle de Temperatura

O controle da temperatura da produção da mistura asfáltica com asfalto-borracha deve ser realizado de acordo com os seguintes procedimentos:

a) Temperatura dos agregados nos silos quentes: duas determinações de cada silo, por jornada de 8 h de trabalho;
b) Temperatura do cimento asfáltico, antes da entrada do misturador: duas determinações por jornada de 8 h de trabalho;
c) Temperatura da massa asfáltica, na saída dos caminhões carregados na usina: em todo caminhão.

8.2.2. Granulometria dos Agregados

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

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 h de trabalho conforme ABNT NBR NM 248;
b) Granulometria do material de enchimento: um ensaio por jornada de 8 h de trabalho conforme ABNT NBR NM 248.
c) Se indicado a adição de filler no projeto da mistura, deve-se realizar inspeção rigorosa da quantidade do filler adicionado.

8.2.3. Quantidade de Ligante, Granulometria da Mistura, Características Marshall e Porcentagens de Vazios

Devem ser executados os seguintes ensaios para controle da quantidade de ligante, granulometria da mistura e verificação dos parâmetros Marshall:

a) Extração de asfalto, preferencialmente através do forno de ignição conforme ASTM D 6307 ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo, Soxhlet de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172, ou, 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 2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho.
b) Quando for utilizado o método DNER ME 053 ou ASTM D 2172, o teor de ligante obtido após a extração deve ser multiplicado por um fator de correção que leva em conta a percentagem de borracha não solúvel pelo solvente. Esse fator de correção é indicado pelo fabricante durante a execução dos serviços;
c) 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 h de trabalho, conforme ABNT NBR NM 248;
d) Ensaio Marshall, conforme ABNT NBR 12891, com no mínimo 6 corpos-de-prova; devem ser destinados 3 corpos-de-prova ao ensaio de resistência a tração por compressão diametral a 25 °C, conforme ABNT NBR 15087; nos outros 3 corpos-de-prova deve-se determinar a fluência, a estabilidade e as propriedades volumétricas da mistura. Devem ser realizados, no mínimo, 2 ensaios por jornada 8 h de trabalho;
e) Ensaio RICE conforme ASTM D 2041, a cada 4h de produção.

8.3. Controle da Aplicação e Destinação da Mistura Asfáltica

O controle da aplicação da mistura asfáltica deve ser efetuado através dos procedimentos descritos em seguida.

8.3.1. 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.

8.3.2. Quantidade de Ligante e Granulometria da Mistura

Devem ser executadas as seguintes determinações:

a) Extração de asfalto, preferencialmente conforme ASTM D 6307 ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo Soxhlet de 1.000 ml ou, conforme ASTM D 2172, 2 extrações por jornada de 8 h de trabalho;

Quando for utilizado o método DNER ME 053 ou ASTM D 2172, o teor de ligante obtido após a extração deve ser multiplicado por um fator de correção que leva em conta a percentagem de borracha não solúvel pelo solvente. Esse fator de correção é indicado pelo fabricante durante a execução dos serviços.

b) Análise granulométrica da mistura de agregados, com material resultante das extrações da alínea a, de no mínimo 1.000 g, conforme ABNT NBR NM 248: dois ensaios por jornada de 8 h de trabalho.

8.3.3. 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 DNER ME 117.

8.3.4. Destinação

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

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

O controle geométrico deve ser feito por acompanhamento topográfico, obedecendo à metodologia indicada pela PMSJC/SP e deve satisfazer os parâmetros recomendados.

8.4.1. Controle de Espessura e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas de concreto asfáltico com asfalto-borracha deve ser avaliada nos corpos-de-prova extraídos com sonda rotativa ou pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20 m.

Devem ser nivelados os pontos para as camadas de rolamento ou binder no eixo, bordas e em dois pontos intermediários, e, para as camadas de regularização, no eixo, bordas e trilhas de roda.

8.4.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.4.3. Controle de Acabamento da Superfície

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

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;
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 medidores de irregularidade tipo resposta devidamente calibrados, conforme DNER PRO 164, DNER PRO 182 e DNER ES 173; o QI será determinado para cada trecho de 320 m ou nos locais indicados pela fiscalização; opcionalmente, poderá ser empregado o perfilômetro a laser que determina o IRI – *International Roughess Index*.

8.5. Condições de Segurança

As condições de segurança devem ser determinadas pela macrotextura do revestimento asfáltico, conforme ASTM E 1845, através de ensaios de mancha de areia, espaçados a cada 100 m, por faixa de rolamento e a microtextura pelo pêndulo britânico, conforme ASTM E 303.

8.6. Deflexões

Deve-se verificar as deflexões recuperáveis máximas (D0) da camada a cada 20 m por faixa alternada e 40 m na mesma faixa, através da viga *Benkelman*, conforme DNER ME 024, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A medição do serviço de concreto asfáltico com asfalto-borracha, executado e recebido na forma descrita, será medido e pago por volume de mistura aplicada e compactada, expressa em metro cúbico (m^3), para qualquer uma das camadas, ou seja, camada de rolamento, camada de ligação ou de nivelamento.

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, transportes, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e eventuais necessários à completa execução dos serviços.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
CIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADOS POR POLÍMERO			
Penetração ABNT NBR 6576	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Ver especificação para Cimento Asfáltico Modificado por Polímero no Anexo 3.
Viscosidade de *Brookfield* ABNT NBR 15184			
Ponto de Fulgor ABNT NBR 11341			
Formação de Espuma Aquecido a 175 ºC			
Recuperação Elástica ABNT NBR 15086			
Ponto de amolecimento ABNT NBR 6560			
Estabilidade à Estocagem ABNT NBR 15166	1 ensaio para cada 100 t		
Ponto de Amolecimento ABNT NBR 6560			
Ensaios do Resíduo no RTFOT: - Variação em Massa ABNT NBR 15235 - Ponto de Amolecimento ABNT NBR 6560 - Penetração ABNT NBR 6576 - Recuperação Elástica ABNT NBR 15086			

AGREGADOS			
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	≤ 50%
Se Abrasão Los Angeles for superior a 50%, verificar degradação do agregado após compactação Marshall DNER ME 401			Se apresentarem desempenho satisfatório em utilização anterior e $ID_{ml} \leq 5\%$ $ID_m \leq 8\%$
Índice de Forma e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A			Não cúbicas inferior a 15%
Durabilidade com Sulfato de Sódio, em 5 Ciclos DNER ME 089			≤ 12%
Equivalente de Areia do Agregado Miúdo ABNT NBR 12052	1 ensaio por jornada de 8 h de trabalho e sempre que houver variação da natureza do agregado.		≥ 55%
Adesividade ao Ligante Betuminoso ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	Em todo carregamento que cimento asfáltico que chegar na obra e sempre que houver variação da natureza dos materiais.		Adesividade satisfatória. Quando a adesividade for insatisfatória, empregar melhorador de adesividade.
MELHORADOR DE ADESIVIDADE			
Verificação da Adesividade ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584 AASTHO T 283	1 ensaio logo após o emprego do melhorador de adesividade.	Resultados individuais	$\frac{RT_{SATURADO}}{RT_{SECO}} > 0{,}70$

CONTROLE DE PRODUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
TEMPERATURAS			
Temperatura nos silos quentes. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações de cada silo por jornada de 8 h de trabalho.	Resultados individuais	Deve ser de até 10 °C superior à temperatura definida para o aquecimento do ligante, desde que não supere a 180°C.
Temperatura do cimento asfáltico, antes da entrada do misturador. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho.	Resultados individuais	165 ºC a 180 ºC
Temperatura da Massa Asfáltica, na saída da usina Termômetro bimetálico com precisão de 5 ºC	Determinação de todo caminhão carregado na saída da usina.	Resultados individuais	Suficientemente elevada para suportar eventuais perdas de calor, e chegar a obra com temperatura compatível para sua aplicação, podendo variar entre ± 5 °C da especificada pelo projeto de mistura.
GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS			
Granulometria do agregado, de cada silo quente, ou frio (usina tipo tambor-secador-misturador) ABNT NBR NM 248	2 determinações de cada agregado 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	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 (Filler) ABNT NBR NM 248	1 determinação 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	Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa definida na Tabela 2.

QUANTIDADE DE LIGANTE, GRANULOMETRIA DA MISTURA, PORCENTAGEM DE VAZIOS, ESTABILIDADE, FLUÊNCIA E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DIÂMETRAL ESTÁTICA			
Extração de Ligante ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	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	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Análise Granulométrica (com Material Resultante da Extração com Massa Igual ou Superior a 1000 g) ABNT NBR NM 248	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina. No mínimo 2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho.		Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa definida na Tabela 3.
Volume de Vazios totais Vv (%)	2 determinações 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	Camada de rolamento e reperfilagem: 3 a 5% Camada de binder: 4 a 6%
Relação de Betume Vazios RBV (%)			Camada de Rolamento e reperfilagem: 65 a 80% Camada de binder: 65 a 75%
Fluência DNER-ME 043/95			8 a 16 (0,01") 2 a 4 (mm)
Estabilidade min., KN (75 golpes no Ensaio Marshall) DNER-ME 043/95	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho.	Controle Unilateral $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	≥ 8
Resistência a tração por compressão diametral estática a 25 ºC, MPa ABNT NBR 15087	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho.	Controle Unilateral $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Camada de rolamento e reperfilagem ≥ 0,80 Camada de binder ≥ 0,65
Densidade teórica RICE ASTM D 2041	2 determinações por jornada de 8 h de trabalho.	-	-

CONTROLE DA EXECUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
TEMPERATURAS			
Temperatura da massa ao chegar na pista, medida imediatamente antes de aplicação. Termômetro bimetálico com precisão de 5 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. Termômetro bimetálico com precisão de 5 ºC	De cada descarga efetuada	Resultados individuais	Temperatura que propicie adequadas condições de compactação, nunca inferior a 150 ºC.
QUANTIDADE DE LIGANTE E GRANULOMETRIA DA MISTURA			
Extração de Ligante ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	2 extrações 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	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g) ABNT NBR NM 248	2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho		Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa de trabalho, definida a partir da curva de projeto.

COMPACTAÇÃO			
Extração de amostra indeformada. Determinar a densidade aparente do corpo de prova de cada corpo de prova extraído e correspondente e o grau de compactação. Extração com sonda rotativa DNER ME 117	A cada 100 m de faixa de rolamento compactada	Média $GC_1 = \frac{100 x d_{pista}}{d_{projeto}}$ ou $GC_2 = \frac{100 x d_{pista}}{d_{mt}}$	O grau de compactação é aceito se: A média de $GC_1 \geq 97\%$ ou A média de $GC_2 \geq 92\%$.

CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
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 da espessura de projeto.
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 de ligação.	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 da espessura de projeto.
Cota Relocação e nivelamento topográfico.		Resultados individuais	-2 cm a +1 cm da cota de projeto.
Largura da plataforma, desvios dos alinhamentos Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados individuais	No máximo +5 cm.
ACABAMENTO			
Nivelamento com 2 réguas, uma de 3,0 m e outra de 1,2 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 DNER PRO 164 DNER PRO 182 DNER PRO 173	Em cada faixa de rolamento, determinado a cada trecho de 320 m, ou nos locais indicados pela fiscalização	Resultados individuais	QI $\leq$ 35 contagens/km

De modo geral as juntas executadas devem apresentar-se homogêneas ao conjunto da mistura, isentas de desníveis e de saliências. A superfície deve apresentar desempenada, não deve conter marcas indesejáveis do equipamento de compactação e ondulações de variações decorrentes da carga da vibroacabadora.

CONDIÇÕES DE SEGURANÇA			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinar a macrotextura, para camadas de rolamento, através do ensaio de macha de areia. ASTM E 1845	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	Altura da areia situada entre 0,6 mm a 1,2 mm.
Determinar a microtextura, para camadas de rolamento, através do ensaio de pêndulo britânico. ASTM E 303	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	≥ 47

DEFLEXÕES			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinação deflectométrica, D_0 e D_{25} Viga Benkelman DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 20 m por faixa alternada, a cada 40 m na mesma faixa, determinar D_0; A cada 80 m determinar D_{25}	<u>Controle Unilateral</u> $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica de cada sub-trecho deve ser a estabelecida em projeto.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

ANEXO 2 – CIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO POR BORRACHA

PROPRIEDADE DO LIGANTE ASFALTO-BORRACHA – AB 8

Características	Exigência		Método ABNT
	Mínima	Máxima	
Viscosidade Brookfield a 175 ºC, spindle 3, 20 RPM, cP	800	2000	ABNT NBR 15529
Penetração, 100 g, 5 s, 25 ºC, 0,1 mm	30	70	ABNT NBR 6576
Ponto de Amolecimento, ºC,	50	-	ABNT NBR 6560
Recuperação Elástica a 25 ºC, 10cm, %	50	-	ABNT NBR 15086
Ponto de Fulgor, ºC	235	-	ABNT NBR 11341
Estabilidade a estocagem, ºC		9	ABNT NBR 15166
Ensaio no Resíduo do RTFOT			
- Variação em Massa, %	-	1,0	ABNT NBR 15235
- Variação no ponto de amolecimento	-	-	ABNT NBR 6560
- Percentagem de Penetração Original	55	-	ABNT NBR 6576
Porcentagem da recuperação elástica original (25ºC, 10cm)	100	-	ABNT NBR 15086

RESOLUÇÃO ANP Nº 39, DE 24.12.2008

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de misturas asfálticas tipo SMA, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

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 e, se necessário, melhorador de adesividade, sendo espalhada e compactada a quente. O revestimento asfáltico tipo SMA deve ser empregado como camada asfáltica de rolamento de pavimento.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) DNER-ME 053/94 – Misturas Betuminosas – Percentagem de Betume;
b) DNER-ME 089/94 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
c) DNER-ME 117/94 – Mistura betuminosa – Determinação da densidade aparente;
d) DNER-PRO 164/94 – Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e *Maysmeter*);
e) DNER-PRO 182/94 – Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e *Maysmeter*;
f) DNER-PRO 173/86 – Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta;
g) ABNT NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão *Los Angeles*;
h) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
i) ABNT NBR 5564 Anexo A – Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio;
j) ABNT NBR 6560 – Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola;
k) ABNT NBR 6576 – Materiais asfálticos – Determinação da penetração;
l) ABNT NBR 11341 – Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland;

m) ABNT NBR 12052 – Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia – Método de ensaio;
n) ABNT NBR 12583 – Agregado graúdo – Determinação da adesividade ao ligante betuminoso;
o) ABNT NBR 12584 – Agregado miúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso;
p) ABNT NBR 15086 – Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetrol;
q) ABNT NBR 15087 – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral;
r) ABNT NBR 15166 – Asfalto modificado – Ensaio de separação de fase;
s) ABNT NBR 15184 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional;
t) ABNT NBR 15235 – Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional;
u) AASHTO T 283 – *Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage*;
v) ASTM D 3203 – *Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Asphalt Mixtures*;
w) ASTM E 1845 – *Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth*;
x) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
y) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, *Falling Weight Deflectometer*.

4. 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. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

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

5.1. Cimento Asfáltico

Devem ser empregados cimentos asfálticos de petróleo modificados por polímero do tipo elastomérico, devendo satisfazer a um dos tipos especificados no Anexo 2.

Todo o carregamento de cimento asfáltico modificado por polímero 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 o produtor e a usina de mistura asfáltica a quente.

5.2. Agregados

5.2.1. Agregado Graúdo

Deve ser 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 ABNT NBR NM 51;
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 e porcentagem de partículas lamelares inferior a 10%, conforme ABNT NBR 6954;
d) Os agregados utilizados devem apresentar perdas inferiores a 12% quando submetidos à avaliação da durabilidade com sulfato de sódio, em cinco ciclos, conforme DNER ME 089.

5.2.2. 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 0,075 mm. 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 ABNT NBR 12052 deve ser igual ou superior a 55%.

5.2.3. Material de Enchimento - Filler

O material de enchimento deve ser de natureza mineral finamente dividido, tal como cimento Portland ou cal extinta até o limite de 2%, pó calcário, a parcela fina do pó-de-pedra etc., conforme DNER EM 367. Na aplicação, o filler deve

estar seco e isento de grumos. A granulometria a ser atendida deve obedecer aos limites estabelecidos na Tabela 1.

TABELA 1 – GRANULOMETRIA DO MATERIAL DE ENCHIMENTO

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando
ASTM	**mm**	
Nº 40	0,42	100
Nº 80	0,18	95-100
Nº 200	0,075	65-100

5.2.4. 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.

5.2.5. Melhorador de Adesividade

A adesividade dos agregados ao ligante asfáltico é determinada conforme os métodos ABNT NBR 12583, ABNT NBR 12584 e AASHTO T 283.

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 asfáltica, verificando novamente a adesividade, conforme AASHTO T 283. 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 AASHTO T 283, deve ser superior a 0,70. O ensaio de resistência à tração por compressão diametral deve seguir a especificação ABNT NBR 15087.

Caso a mistura, quando ensaiada conforme AASHTO T 283 não atenda ao valor de 0,70, deve ser adicionado a mistura cal hidratada contendo no mínimo 60% de CaO e no máximo 5% de MgO.

5.3. Composição da Mistura

A composição dos agregados da mistura deve satisfazer aos requisitos apresentados na Tabela 2, conforme norma alemã ZTV Asphalt – StB. 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, porém, respeitando os limites da faixa granulométrica adotada.

TABELA 2 – FAIXAS GRANULOMÉTRICAS DE SMA

Peneira de Malha Quadrada		I	II	III	IV	Tolerância
ASTM	mm	% em Massa, Passando				
5/8”	15,9	100	100	100	100	-
½”	12,5	95-100	100	100	100	± 5%
3/8”	9,5	65-80	100	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	90-10	± 3%
Nº 10	2,00	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 é menor ou igual aos vazios da fração graúda do agregado compactado. Esses parâmetros são obtidos através das expressões:

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

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

Onde:

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

γ_s - massa específica aparente da fração graúda do agregado seco compactado, g/cm3, conforme DNER ME 153;

γ_w - massa específica da água à temperatura de 20 ºC de 0,998 g/cm3;

G_{CA} - densidade aparente da fração graúda do agregado, conforme DNER ME 81;

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

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

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

Peneira de Malha Quadrada		Porção de Agregado Retida na Peneira	
ASTM	**mm**	**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

A Tabela 4 contém as características requeridas para a mistura, para corpos-de-prova compactados segundo método Marshall, conforme ABNT NBR 12891, com 50 golpes por face.

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}
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 ou AASHTO T 305	0,3
Resistência à Tração por Compressão Diametral a 25 ºC, mínima, (MPa)	NBR 15087	0,6
Dano por umidade induzida	AASHTO T 283	≥ 0,7

As condições de vazios da mistura, na fase de dosagem podem ser verificadas por um dos procedimentos:

Procedimento A

- Determinação da densidade efetiva através da densidade máxima teórica pelo método Rice, conforme ASTM D 2041.

Procedimento B

- Determinação da densidade efetiva através da média entre a densidade aparente (D_1) e densidade real (D_2) do agregado. Admite-se a como densidade efetiva do agregado, D_{ea}, como sendo a média aritmética entre D_1 e D_2;
- A densidade aparente dos corpos-de-prova deve ser obtida através do método DNER ME 117.

$$D_{ea} = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

$$D_1 = \frac{100}{\frac{P_1}{D_{SR1}} + \frac{P_2}{D_{SR2}} + \frac{P_3}{D_{SR3}}} \quad \text{e} \quad D_2 = \frac{100}{\frac{P_1}{D_{SAp1}} + \frac{P_2}{D_{SR2}} + \frac{P_3}{D_{SR3}}}$$

Onde:

P_1 = porcentagem de agregado retido na peneira de abertura de 2,0 mm (%);

P_2 = porcentagem de agregado que passa na peneira de abertura de 2,0 mm, e fica retido na peneira de abertura na peneira de abertura de 0,075mm (%);

P_3 = porcentagem de agregado que passa na peneira de abertura de 0,075mm (%);

D_{SR1} = densidade real do agregado retido na peneira de abertura de 2,0 mm;

D_{SR2} = densidade real do agregado que passa na peneira de abertura de 2,0 mm, e fica retido na peneira de abertura de 0,075 mm;

D_{SR3}= densidade real do agregado que passa na peneira de abertura de 0,075 mm;

D_{SAp1}= densidade aparente do agregado que fica retido na peneira de abertura de 2,0 mm.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução dos serviços de SMA compreende as seguintes unidades:

6.1. Depósito para Cimento Asfáltico Modificado por Polímero

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.

Os tanques de armazenamento do CAP devem ser do tipo vertical com fundo cônico, contendo um eixo vertical com no mínimo três níveis de agitação e sistema de retorno do CAP do fundo para o topo do tanque.

6.2. 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.

6.3. 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 filler, conjugado com dispositivos para sua dosagem.

6.4. Usina para Misturas Asfálticas

A usina utilizada deve ser do tipo gravimétrica, 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.

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 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 semi-automática 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

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.

É vetado o uso de usina volumétrica para a elaboração da mistura do tipo SMA.

6.5. Caminhão para Transporte da Mistura

Os caminhões tipo basculante 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.

6.6. Equipamento para Distribuição e Acabamento

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.

6.7. Equipamento para Compactação

A compactação da mistura é efetuada pela ação de rolo liso tipo tandem autopropelido, com peso compatível à espessura da camada.

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.

6.8. 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.

7. EXECUÇÃO

7.1. 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.

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.

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.

7.2. Produção do SMA

O SMA deve ser produzido em usinas gravimétricas, 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.

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 filler, fibra de celulose e cimento asfáltico. O tempo de mistura a seco dos agregados e filler 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.

A carga dos caminhões deve ser feita de maneira a evitar segregação da mistura dentro da caçamba, sugerindo uma 1º 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 em diminuição da temperatura da mistura com prejuízo da compactação.

7.3. Transporte do SMA

O SMA produzido deve ser transportado da usina ao local de aplicação, em caminhões basculantes, atendendo ao especificado no item 6.4 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.

7.4. Distribuição do SMA

A distribuição do SMA deve ser feita por equipamentos adequados, conforme especificado no item 6.5.

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 empola-mento 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.

Na descarga, o caminhão deve ser empurrado pela acabadora, não se permitindo choques ou travamento dos pneus durante a operação.

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.

7.5. 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.

7.6. 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.

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.

Não é permitido o lançamento dos agregados graúdos provenientes da rastelagem na frente ou dentro da mesa da vibro acabadora. Esse material deve ser descartado.

7.7. Abertura ao Tráfego

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

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1 e 2.

8.1. Controle dos Materiais

8.1.1. Cimento Asfáltico Modificado por Polímero

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

a) Um ensaio de ponto de amolecimento, conforme ABNT NBR 6560;
b) Um ensaio de viscosidade *Brookfield*, conforme ABNT NBR 15184;
c) Um ensaio de ponto de fulgor, conforme ABNT NBR 11341;
d) Um ensaio determinação de formação de espuma, quando aquecido a 175° C;
e) Um ensaio de recuperação elástica, conforme ABNT NBR 15086.

Para cada 100 t:

a) Um ensaio de estabilidade à estocagem, conforme ABNT NBR 15166;
b) Um ensaio de penetração a 25° C, conforme ABNT NBR 6576;
c) Um ensaio do resíduo no RTFOT: variação em massa conforme ABNT NBR 15235, ponto de amolecimento conforme ABNT NBR 6560, penetração conforme ABNT NBR 6576 e recuperação elástica conforme ABNT NBR 15086.

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.

8.1.2. 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:

a) Abrasão Los Angeles, conforme ABNT NBR NM 51: um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;
b) Índice de forma e porcentagem de partículas lamelares, conforme ABNT NBR 6954: 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 DNER-ME 089: 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 ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584: 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 ABNT NBR 12052: um ensaio por jornada de 8 horas de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material.

8.1.3. Melhorados 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 AASHTO T 283.

8.2. 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 pela PMSJC/SP e atender os parâmetros recomendados.

8.2.1. Temperaturas

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

a) 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.

8.2.2. Granulometria dos Agregados

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

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 ABNT NBR NM 248;

b) Granulometria do material de enchimento: um ensaio por jornada de 8 horas de trabalho conforme ABNT NBR NM 248;
c) Se indicada a adição de filler no projeto da mistura, deve-se realizar inspeção rigorosa da quantidade do filler adicionado.

8.2.3. Teor de Ligante Asfáltico, Granulometria da Mistura, Propriedades Volumétricas e Resistência à Tração

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, preferencialmente conforme ASTM D 6307 ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo, *Soxhlet* de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172, 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 ABNT NBR NM 248;
c) Compactação Marshall, conforme ABNT NBR 12891, de no mínimo três corpos-de-prova para a determinação das propriedades volumétricas da mistura e da resistência à tração por compressão diametral a 25 °C, conforme ABNT NBR 15087. Devem ser realizados dois ensaios por jornada 8 horas de trabalho;
d) Ensaio RICE conforme ASTM D 2041, a cada 4h de produção.

8.3. 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.

8.3.1. 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.

8.3.2. Teor de Ligante Asfáltico e Granulometria da Mistura

Devem ser executadas as seguintes determinações em amostras colhidas imediatamente após a passagem da acabadora:

a) Extração de ligante asfáltico, preferencialmente conforme ASTM D 6307 ou DNER ME 053, ou ensaio de extração por refluxo *Soxhlet* de 1.000 ml, conforme ASTM D 2172: duas extrações por jornada de 8 h de trabalho;
b) Análise granulométrica da mistura de agregados, com material resultante das extrações da alínea a, de no mínimo 1.000 g, conforme ABNT NBR NM 248: dois ensaios por jornada de 8 horas de trabalho.

8.3.3. 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 DNER ME 117.

8.3.4. Destinação

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

8.4. Controle Geométrico e de Acabamento

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

8.4.1. Controle de Espessura e Cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas da camada de SMA deve ser avaliada 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.

8.4.2. Controle da Largura e Alinhamentos

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.

8.4.3. Controle de Acabamento da Superfície

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

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;
b) O acabamento longitudinal, para pavimentos novos, é avaliado pela irregularidade longitudinal da superfície, em cada faixa de tráfego. A irregularidade da superfície deve ser verificada por aparelhos medidores de irregularidade tipo resposta, devidamente calibrados, conforme DNER PRO 164, DNER PRO 182 e DNER ES 173; o QI deve ser determinado para cada trecho de 320 m ou nos locais indicados pela fiscalização; opcionalmente, pode ser empregado o perfilômetro a laser na determinação do IRI – *International Roughess Index*.

8.5. Condições de Segurança

As condições de segurança serão determinadas pela macrotextura do revestimento asfáltico, conforme ASTM E 1854, através de ensaios de mancha de areia, espaçados a cada 100 m, por faixa de rolamento e a microtextura pelo pêndulo britânico, conforme ASTM E 303.

8.6. Deflexões

Deve-se verificar as deflexões recuperáveis máximas (D0) da camada a cada 20 m por faixa alternada e 40 m na mesma faixa, através da viga *Benkelman*, conforme DNER ME 024, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A medição do serviço de SMA, executado e recebido na forma descrita, será medido e pago por volume de mistura aplicada e compactada, expressa em metro cúbico (m^3), para qualquer uma das camadas, ou seja, camada de rolamento, camada de ligação ou de nivelamento.

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, transportes, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e eventuais necessários à completa execução dos serviços.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
CIMENTO ASFÁLTICO			
Penetração ABNT NBR 6576	1 ensaio para todo carregamento que chegar à obra	Resultados individuais	Atender ao especificado no Anexo 2.
Viscosidade de *Brookfield* ABNT NBR 15184			
Ponto de Fulgor ABNT NBR 11341			
Formação de Espuma Aquecido a 175 ºC			
Recuperação Elástica ABNT NBR 15086			
Estabilidade à Estocagem ABNT NBR 15166	1 ensaio para cada 100 t		
Ponto de Amolecimento ABNT NBR 6560			
Ensaios do Resíduo no RTFOT: - Variação em Massa ABNT NBR 15235 - Ponto de Amolecimento ABNT NBR 6560 - Penetração ABNT NBR 6576 - Recuperação Elástica ABNT NBR 15086			

AGREGADO			
Abrasão Los Angeles ABNT NBR NM 51	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 e Partículas Lamelares ABNT NBR 5564 Anexo A	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material.	Resultados individuais	Não cúbicas inferior a 15%
Durabilidade com Sulfato de Sódio, em 5 Ciclos DNER ME 089	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 ABNT NBR 12052	1 ensaio por jornada de trabalho e sempre que houver variação da natureza do agregado.	Resultados individuais	≥ 55%
Adesividade ao Ligante Betuminoso ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	Em todo carregamento que cimento asfáltico que chegar na obra e sempre que houver variação da natureza dos materiais.	Resultados individuais	Adesividade satisfatória. Quando a adesividade for insatisfatória, empregar melhorador de adesividade.
MELHORADOR DE ADESIVIDADE			
Verificação da Adesividade AASHTO T 283	1 ensaio após o emprego do melhorador de adesividade.	Resultados individuais	$\frac{RT_{condicionado}}{RT_{seco}} > 0{,}70$

CONTROLE DE PRODUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
TEMPERATURAS			
Temperatura nos silos quentes. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações de cada silo por jornada de 8 h 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. Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	2 determinações por jornada de 8 h 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.			
GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS			
Granulometria do agregado, de cada silo quente, ou frio (usina drum-mixer) ABNT NBR NM 248	2 determinações de cada agregado 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	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 – Filler NBR NM 248	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.

TEOR DE LIGANTE ASFÁLTICO, GRANULOMETRIA DA MISTURA, VOLUME DE VAZIOS E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL			
Extração de Ligante ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	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	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g) ABNT NBR NM 248	Quantas vezes forem necessárias para calibração da usina. 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	Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa definida na Tabela 1.
Volume de vazios – Vv ASTM D 3203	2 determinações 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	(3,5 a 4,5) %
Resistência à tração por compressão diametral estática a 25° C, MPa ABNT NBR 15087	2 determinações por jornada de 8 horas de trabalho.	Controle Unilateral $X = \bar{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	≥ 0,6

CONTROLE DA EXECUÇÃO			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
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. Termômetro bimetálico com precisão de 5 ºC	De cada descarga efetuada	Resultados individuais	Dentro da faixa de tolerância para compactação da massa asfáltica.
TEOR DE LIGANTE ASFÁLTICO, GRANULOMETRIA DA MISTURA, RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E PERDA DE MASSA NO ENSAIO CANTABRO			
Extração de Ligante ASTM D 6307 DNER ME 053 ASTM D 2172	2 extrações por jornada de 8 h 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	± 0,3% do teor ótimo de projeto.
Análise granulométrica (com material resultante da extração com massa igual ou superior a 1.000 g) ABNT NBR NM 248	2 ensaios por jornada de 8 h de trabalho		Aceita, quando as variações (LIE e LSE) estiverem compreendidas entre os limites da faixa de trabalho, definida a partir da curva de projeto.
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. DNER ME 117	A cada 100 m de faixa de rolamento compactada	Média: $GC = \frac{100 x d_{pista}}{d_{projeto}}$	O grau de compactação é aceito se a média de GC ≥ 97%.

CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
GEOMÉTRICO			
Determinação da espessura através dos 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.
Determinação da 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 de ligação.	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.
Cota Relocação e nivelamento topográfico.		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.
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 DNER PRO 164 DNER PRO 182 DNER PRO 173	Em cada faixa de rolamento, determinado a cada trecho de 320 m, ou nos locais indicados pela fiscalização	Resultados individuais	QI $\leq$ 35 contagens/km

De modo geral as juntas executadas devem apresentar-se homogêneas ao conjunto da mistura, isentas de desníveis e de saliências. A superfície deve apresentar desempenada, não deve conter marcas indesejáveis do equipamento de compactação e ondulações de variações decorrentes da carga da vibroacabadora.

CONDIÇÕES DE SEGURANÇA			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinar a macrotextura ASTM E 1845	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	Altura de areia ≥ 0,6 mm
Determinar a microtextura, para camadas de rolamento, através do ensaio de pêndulo britânico. ASTM E 303	Uma determinação a cada 100 m	Resultados individuais	≥ 47

DEFLEXÕES			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
Determinação deflectométrica, D_0 e D_{25} Viga Benkelman DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	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 superiores ao valor admitido em projeto.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

ANEXO 2 – CIMENTO ASFÁLTICO MOD. POR POLÍMERO ELASTOMÉRICO

ENSAIO	UNIDADE	RELAÇÃO PONTO DE AMOLECIMENTO x RECUPERAÇÃO ELÁSTICA (ºC / %)		
		55/75	60/85	65/90
ENSAIOS NA AMOSTRA VIRGEM				
Penetração (100g, 5s, 25 ºC) ABNT NBR 6576	0,1 mm	45-70	45-70	45-70
Ponto de amolecimento, mín. ABNT NBR 6560	ºC	55	60	65
Ponto de fulgor, mín. ABNT NBR 11341	ºC	235	235	235
Viscosidade Brookfield a 135 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx. ABNT NBR 15184	cP	3000	3000	3000
Viscosidade Brookfield a 150 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx. ABNT NBR 15184	cP	2000	2000	2000
Viscosidade Brookfield a 177 ºC, spindle 21, 20 rpm, máx. ABNT NBR 15184	cP	1000	1000	1000
Estabilidade à estocagem, máx. ABNT NBR 15166	ºC	5	5	5
Recuperação elástica a 20 ºC, 20 cm, mín. ABNT NBR 15086	%	75	85	90
ENSAIOS NO RESÍDUO DO RTFOT				
Variação de massa, máx. ABNT NBR 15235	%	1	1	1
Aumento do ponto de amolecimento, máx. ABNT NBR 6560	ºC	7	7	7
Redução do ponto de amolecimento, máx. ABNT NBR 6560	ºC	5	5	5
Porcentagem de penetração original, mín. ABNT NBR 6576	%	60	60	60
Porcentagem de recuperação elástica original a 25 ºC, mín. ABNT NBR 15086	%	80	80	80

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento do serviço de fresagem à frio em pavimentos asfálticos, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Fresagem a frio consiste no corte ou desbaste de uma ou mais camadas do pavimento asfáltico por meio de processo mecânico a frio. É realizada através de cortes por movimento rotativo contínuo, seguido de elevação do material fresado para caçamba do caminhão basculante.

A fresagem deve produzir uma superfície de textura aparentemente uniforme, sobre a qual o rolamento do tráfego seja suave. A superfície deve ser isenta de saliências diferenciadas, sulcos contínuos e outras imperfeições de construção, quando o pavimento permitir.

A fresagem tem como finalidade a remoção de pavimento previamente à execução de novo revestimento asfáltico. É executada em áreas com ocorrência de remendos em mau estado, áreas adjacentes a panelas, rupturas plásticas e corrugações, áreas com grande concentração de trincas e outros defeitos.

A fresagem do pavimento aplica-se também na remoção revestimento betuminoso existente sobre o tabuleiro de obras de arte especiais, em áreas de intensa deterioração, regularização de pavimento de encontros, e como melhoria de coeficiente de atrito nas pistas em locais de alto índice de derrapagem.

A fresagem do pavimento é também a etapa preliminar para a reciclagem de pavimentos asfálticos.

No processo a frio a fresagem é executada sem qualquer pré-aquecimento.

Os serviços descritos nesta especificação abrangem o corte, desbaste, carga, transporte e descarga dos resíduos resultantes da operação de fresagem.

3. CONDIÇÕES GERAIS

O serviço de fresagem deve ser iniciado somente após a prévia demarcação das áreas a serem fresadas e definidas as profundidades de corte e rugosidade indicadas no projeto.

Deve ser implantada sinalização provisória de regulamentação e advertência para execução da obra. Durante a execução dos serviços, no caso de haver

degraus, se inevitáveis, deve ser implantada a sinalização especifica, para advertir a sua existência aos usuários, principalmente aos condutores de motocicletas.

A área da fresagem fina, não deve permanecer por mais de 3 (três) dias sem o devido recobrimento.

Aplica-se também a microfresagem em pavimentos de concreto e revestimentos asfálticos sobre o tabuleiro de obras de artes especiais, na regularização do pavimento e como melhoria do coeficiente de atrito.

Esta norma abrange os serviços de corte, desbaste, carga, transporte, descarga e estocagem dos materiais da operação de fresagem.

A pista fresada só pode ser librada ao tráfego se não oferecer perigo aos usuários, isto é, a rodovia deve estar limpa dos materiais soltos ou de problemas decorrentes da fresagem, tais como degraus, ocorrência de buracos e descolamento de placas.

4. EQUIPAMENTOS

Todos os equipamentos devem ser examinados antes do início da execução da obra e devem estar de acordo com esta especificação.

Os equipamentos básicos necessários para execução dos serviços são:

a) Máquina fresadora com as seguintes características:
- Capacidade mecânica e dimensões que permitam a execução da fresagem de maneira uniforme, com dispositivos que permitam graduar corretamente a profundidade de corte;
- Possuir comando hidráulico que permita variações na espessura de fresagem, com uma largura mínima de 0,20 m até a largura de 3,80;
- Capacidade de nivelamento automático e precisão de corte que permitam o controle de conformação da inclinação transversal para satisfazer o projeto geométrico, bem como a profundidade de corte.
- Dispositivo que permita a remoção do material cortado simultaneamente à operação de fresagem, com a elevação do material removido na pista para a caçamba do caminhão basculante;
- Os dentes do tambor fresador devem ser cambiáveis e permitir que sejam extraídos e montados através de procedimentos simples e práticos, visando o controle de largura de corte.

- Dispositivo que permita a aspersão de água para controlar a emissão de poeira emitida na operação de fresagem

b) Caminhões basculantes;
c) Vassouras mecânicas;
d) Compressores de ar;
e) Caminhão tanque de água;
f) Minicarregadeiras;
g) Retroescadeira de pneus;
h) Materiais de consumo: bits, jogos de dentes.

5. EXECUÇÃO

A remoção do pavimento asfáltico deve ser executada através de fresagem mecânica a frio do pavimento, respeitando a espessura indicada no projeto e a área demarcada previamente.

Quando o material da fresagem for destinado a reciclagem, previamente à fresagem deve ser retirado o excesso de sujeira e resíduos da superfície do pavimento, por meio de varrição mecânica.

O material resultante da fresagem deve ser imediatamente elevado para carga no caminhão e transportado para o local em que for reaproveitado ou para o bota-fora. Os locais de estocagem devem ser previstos no projeto ou em locais obtidos pela construtora e devidamente aprovados pela fiscalização.

Na ocorrência de placas de material de revestimento devido à variação de espessura da camada de revestimento a ser removida, deve-se aumentar a profundidade da fresagem para eliminação desses resíduos.

Durante a fresagem deve ser mantida a operação de jateamento de água, para resfriamento dos dentes da fresadora e controlar a emissão de poeira.

Para limpeza da área fresada, devem ser utilizadas vassouras mecânicas que disponham de caixa para recebimento do material e jateamento de ar comprimido.

6. CONTROLE DE QUALIDADE

6.1. Controle da Superfície Fresada

A fresagem deve obedecer aos limites da área demarcada previamente.

A superfície fresada deverá apresentar textura uniforme, sendo que os sulcos resultantes não devem ultrapassar a 0,5 cm.

6.2. Controle do Desempeno da Superfície Fresada

O desempeno da superfície deve ser verificado visualmente, e é considerado satisfatório desde que não se observe caimentos para centro da pista.

6.3. Controle da Espessura Fresada

Deve-se medir a espessura da fresagem a cada passada, admitindo-se variações de mais ou menos 0,3 cm em relação à profundidade indicada no projeto.

7. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

O serviço deve ser medido em metro cúbico de fresagem asfáltica. O volume é calculado multiplicando-se a extensão obtida a partir do estaqueamento pela largura da seção transversal e espessura de projeto dos locais efetivamente fresados.

O serviço recebido e medido da forma descrita é pago conforme o respectivo preço unitário contratual, no qual estão inclusos: o transporte, descarga e armazenamento do material resultante da fresagem; 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.

1. OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e recebimento de reforço do subleito ou sub-base de pavimento com resíduos de construção civil, RCC, em obras de infraestrutura viária sob a jurisdição da Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

2. DESCRIÇÃO

Os serviços consistem no fornecimento de Agregado Reciclado para pavimentos, com características e restrições estabelecidas nos itens seguintes, além de carga, transporte, descarga, espalhamento e compactação, assim como a mão-de-obra, materiais e equipamentos necessários à execução e ao controle de qualidade da camada de Agregado Reciclado, de conformidade com a especificação apresentada a seguir e detalhes executivos contidos no projeto:

a) Resíduos sólidos da construção civil, comumente chamados de “entulho de obra”, adequados à execução de camadas de reforço do subleito e sub-base, são os provenientes de construções, reformas, reparos ou demolições de obras de construção civil, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, rocha, argamassas, telhas, pavimentos asfálticos, etc, devendo ser evitada a presença de solos, madeiras, vidros, plásticos, gessos, forros, tubulações, fiações elétricas e papéis ou quaisquer materiais orgânicos ou não inertes;
b) Agregado Reciclado para pavimento é o material granular proveniente do beneficiamento, por meio de britagem e classificação, de resíduos de construção ou demolição de obras civis, conforme item “a”, que apresente características técnicas para aproveitamento em obras de pavimentação;
c) Reciclagem é o processo de aproveitamento de resíduos, depois de terem sido submetidos à transformação;
d) Reforço do subleito e sub-base de Agregado Reciclado para pavimento são camadas de material granular proveniente do beneficiamento através de britagem e classificação de resíduos sólidos da construção civil, conforme item “b”, cujas técnicas executivas e controle de qualidade estão descritos a seguir.

3. ENSAIOS NECESSÁRIOS

Para o entendimento desta especificação técnica devem ser consultados os documentos seguintes em sua última versão:

a) ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica;

b) ABNT NBR 7185 Solos – Determinação da Massa Específica Aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia;
c) ABNT NBR 7182 – Ensaio de Compactação;
d) ABNT NBR 7809 – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro;
e) ABNT NBR 9895 Solos – Índice de Suporte Califórnia (ISC);
f) ABNT NBR 16097 Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaios;
g) ABNT NBR 5738 – Concreto – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos;
h) ABNT NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;
i) DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
j) DNER PRO 273 – Determinação das deflexões pelo FWD, Falling Weight Deflectometer.

4. CONDIÇÕES GERAIS

Não será permitida a execução dos serviços em dia de chuva;

A camada de Agregado Reciclado deverá, quando necessário, ser drenada através de um lastro sob a sarjeta. Esse lastro deverá estar interligado à caixa receptora das “bocas de lobo” ou drenos laterais à via, a fim de permitir o escoamento da água.

A camada de reforço do subleito ou sub-base de pavimento de Agregado Reciclado 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 tal fato não prejudique a qualidade do serviço.

Quando for prevista a imprimação impermeabilizante da camada de Agregado Reciclado, a mesma deverá ser realizada após a conclusão da compactação. Antes da aplicação da pintura betuminosa, a superfície deverá ser adequadamente limpa, mediante emprego de processos e equipamentos próprios.

5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1. Materiais

Todas as especificações de materiais e normas de ensaio, exceto as explicitadas neste documento, devem satisfazer às especificações preconizadas pela Prefeitura Municipal de São José dos Campos/SP.

Os resíduos sólidos de construção civil que se aplicam à reciclagem, com posterior utilização em obras de pavimentação, devem ser classificados em:

a) Resíduos Sólidos Cerâmicos de Construção Civil: constituídos predominantemente (acima de 70% em massa) de materiais cerâmicos, tais como peças ou fragmentos de tijolos, telhas, manilhas, blocos, revestimentos e assemelhados, confeccionados com argila e submetidos à queima;
b) Resíduos Sólidos Cimentícios de Construção Civil: constituídos predominantemente (acima de 70% em massa) de materiais compostos por areias com aglomerantes, argamassas, concretos endurecidos, artefatos ou fragmentos de concreto ou argamassa de cimento, tais como blocos, lajes e lajotas, vigas, colunas e assemelhados, tendo como materiais constitutivos básicos às areias, os agregados pétreos, cimentos e cales;
c) Resíduos Sólidos Mistos de Construção Civil: constituídos predominantemente (acima de 70% em massa) dos materiais descritos nos itens “a” e “b”.

A camada de reforço do subleito e sub-base de Agregado Reciclado deverá ser executada com materiais que atendam aos seguintes requisitos:

a) Os agregados utilizados, obtidos a partir da britagem e classificação de resíduos sólidos de construção civil deverão ser constituídos por fragmentos duros, limpos e duráveis, livres de excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, e de outras substâncias ou contaminações prejudiciais;
b) O Agregado Reciclado deverá apresentar curva granulométrica contínua e bem graduada, com coeficiente de curvatura compreendido entre 1 e 3 e coeficiente de uniformidade Cu $\geq$ 10 e diâmetro máximo dos grãos de 50 mm;
c) A porcentagem que passa na peneira 0,42mm (nº 40) deverá ficar entre 10 e 30%;
d) Os Agregados Reciclados serão classificados quanto ao tipo de emprego possível na execução de camadas de pavimentos, segundo parâmetros de Índice de Suporte Califórnia (CBR), obtidos por meio do ensaio ABNT NBR 9895, conforme abaixo discriminado:
    - Material para execução de reforço de subleito: CBR $\geq$ 12%, Expansão $\leq$ 1,0% (energia de compactação normal);
    - Material para execução de sub-base: CBR $\geq$ 30%, Expansão $\leq$ 1,0% (energia de compactação intermediária);
e) No caso de materiais que não atendam às exigências do item anterior, estes poderão ser estabilizados granulométrica ou quimicamente. No caso de adição de cimento e/ou cal hidratada, o material deverá ser

submetido ao ensaio de resistência à compressão simples conforme os seguintes métodos ABNT NBR 5738 e ABNT NBR 5739, após 7 dias de cura e apresentar resistência de no mínimo 2,1MPa, em corpos de prova moldados na energia de compactação especificada;

f) Para o agregado graúdo, fração retida na peneira 4,8mm (n° 4), a porcentagem de grãos de forma lamelar, obtida nas amostras de ensaios conforme ABNT NBR 7809 não poderá ser superior a 30% e a determinação da forma lamelar dos grãos será feita conforme a fórmula abaixo:

$$\lambda + 1{,}25g \geq 6e$$

onde:

λ – Maior dimensão do grão entre dois planos paralelos;
e – Afastamento mínimo entre dois planos paralelos, entre os quais pode ficar contido o grão;
g – A média das aberturas de duas peneiras de malhas quadradas, entre as quais fica retido o grão.

g) Diâmetro máximo dos grãos: 50mm;
h) Materiais indesejáveis de características distintas: máximo de 3% em massa;
i) Materiais indesejáveis de mesma característica: máximo de 2% em massa;
j) Não serão permitidos materiais indesejáveis nocivos ao meio ambiente ou à saúde do trabalhador.

6. EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços, todo equipamento deve ser examinado e aprovado pela fiscalização da PMSJC/SP. O equipamento básico para a execução do reforço do subleito ou da sub-base de pavimento com RCC, compreende as seguintes unidades:

a) Pá carregadeira;
b) Caminhão basculante;
c) Caminhão-tanque irrigador;
d) Motoniveladora pesada, com escarificador;
e) Distribuidor de agregados autopropulsionado ou rebocável;
f) Rolo compactador do tipo liso vibratório;
g) Rolo compactador pé de carneiro vibratório;
h) Compactador portátil, manual ou mecânico;
i) Grade de discos;

j) Ferramentas manuais diversas;
k) Equipamentos de laboratório para o controle tecnológico de recebimento de camada.

7. EXECUÇÃO

A execução das camadas de pavimento compreende as operações de mistura e pulverização, umedecimento ou secagem dos materiais, realizadas na pista ou em central de mistura, bem como o espalhamento, compactação e acabamento na pista devidamente preparada na largura desejada, nas quantidades que permitam, após a compactação, atingir a espessura projetada.

Se a camada de pavimento exigir uma espessura final superior a 20cm, deverá ser subdividida em camadas parciais. A espessura mínima de qualquer camada de base, sub-base ou reforço de subleito será de 10cm, após a compactação.

7.1. Condições Físicas da Superfície de Apoio da Camada de Agregado Reciclado

a) A camada sobre a qual será executado o reforço do subleito ou a sub-base do pavimento, deverá ter sido executada de acordo com as condições fixadas pela respectiva especificação de serviços da PMSJC;
b) A superfície a receber a camada de reforço do subleito ou sub-base de pavimento de Agregado Reciclado deverá estar perfeitamente limpa e conformada devendo ter recebido a prévia aprovação por parte da Fiscalização;
c) Eventuais defeitos existentes deverão ser reparados antes da distribuição da camada de Agregado Reciclado;
d) Caso a execução da camada de Agregado Reciclado não seja efetuada imediatamente após a execução da camada de apoio (camada subjacente) e, de modo especial, quando essa camada de apoio estiver exposta à chuva deverão ser efetuadas as seguintes verificações:
    - O Teor de Umidade deverá situar-se dentro do intervalo de $\pm$ 3% em relação à umidade ótima obtida no ensaio de compactação em laboratório;
    - O Grau de Compactação deverá atender às exigências indicadas no controle de recebimento da camada executada;
    - As áreas nas quais o Teor de Umidade e o Grau de Compactação não atendam aos limites especificados deverão ser reexecutadas.

7.2. Transporte do Agregado Reciclado

O Agregado Reciclado será transportado para a pista, protegido com lona, em caminhões basculantes.

7.3. Distribuição do Material

a) A distribuição do material solto deverá ter uma espessura suficiente para que após a compactação atinja a espessura de projeto;
b) A distribuição do material, sobre a camada subjacente, será realizada com distribuidor de agregados, capaz de distribuir o Agregado Reciclado em espessura uniforme, sem produzir segregação;
c) Excepcionalmente, e a critério da Fiscalização, a distribuição do Agregado Reciclado poderá ser procedida pela ação de motoniveladora. Nesse caso, o Agregado Reciclado será descarregado dos basculantes em leiras, devendo ser estabelecidos os critérios de trabalho que assegurem a qualidade do serviço;
d) A espessura de cada camada individual acabada deverá se situar no intervalo de 10cm, no mínimo, a 20cm, no máximo;
e) É vedada a complementação da espessura da camada, após sua compactação, para obtenção da espessura de projeto;
f) Caso a espessura da camada compactada não atenda a espessura de projeto conforme estabelecido nos critérios de recebimento, a camada deverá ser refeita.

7.4. Compactação e Acabamento

a) Tendo em vista a importância das condições de compactação da camada de Agregado Reciclado, recomenda-se a execução de trechos experimentais, com a finalidade de definir os tipos de equipamentos de compressão e a sequência executiva mais apropriada, objetivando alcançar, de forma mais eficaz, a espessura e o Grau de Compactação especificados para a camada;
b) A energia de compactação a ser adotada na execução da camada de Agregado Reciclado será:
    - Camada de Reforço do Subleito – energia normal;
    - Camada de Sub-Base – energia intermediária.
c) O Teor de Umidade da mistura, por ocasião da compactação da camada de Agregado Reciclado, deverá estar compreendido no intervalo de $\pm$ 1,5% em relação à Umidade Ótima obtida no ensaio de compactação executado com a energia especificada;
d) A compactação da camada de Agregado Reciclado será executada mediante o emprego de rolos compactadores do tipo pé-de-carneiro vibratório e liso-vibratório;
e) Nos trechos em tangente a compactação deverá evoluir partindo dos bordos para o eixo e nas curvas partindo do bordo interno para o bordo

externo. Em cada passada o equipamento utilizado deverá recobrir, ao menos, a metade da faixa anteriormente comprimida;

f) Durante a compactação, se necessário, deverá ser promovido o umedecimento da superfície da camada por caminhão-tanque irrigador;
g) As manobras do equipamento de compactação que impliquem em variações direcionais prejudiciais à qualidade dos serviços deverão ocorrer fora da área de compressão;
h) O Grau de Compactação mínimo exigido para a camada acabada será de 100% em relação à massa específica aparente seca máxima obtida em laboratório, na energia especificada. O número de passadas do compactador será definido em função dos trechos experimentais executados;
i) Em lugares inacessíveis aos equipamentos de compressão, ou onde seu emprego não for recomendável, a compactação requerida será feita por meio de compactadores portáteis manuais ou mecânicos.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

Todos os materiais devem ser testados em laboratório, obedecendo às metodologias indicadas no item 3. Os insumos devem ser submetidos aos ensaios abaixo discriminados, executados na frequência e critérios de aceitação indicados na tabela do Anexo 1.

8.1. Controle dos Materiais

Devem ser executados os seguintes ensaios:

a) Ensaio de granulometria com determinação de coeficientes de curvatura e uniformidade, conforme ABNT NBR NM 248;
b) Ensaio para determinação da massa específica aparente seca, Umidade Ótima e Índice de Suporte Califórnia – CBR e expansão, conforme ABNT NBR 9895;
c) Ensaio para determinação da porcentagem de grãos lamelares, conforme ABNT NBR 9895.

8.2. Controle de Execução

a) Determinação do teor de umidade, imediatamente antes do início das operações de compactação conforme ABNT NBR 16097;
b) Determinação da massa específica aparente seca “in situ”, imediatamente após a conclusão das operações de compactação, conforme ABNT NBR 7185.

8.3. Controle Geométrico e de Acabamento

8.3.1. Controle de Espessuras e Cotas

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m e, devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

A espessura da camada e as diferenças de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal a cada 20 m, conforme nota de serviço.

8.3.2. Controle da Largura e Alinhamentos

A verificação do eixo e 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.

8.3.3. Controle de Acabamento da Superfície

As condições de acabamento da superfície devem ser verificadas visualmente.

8.4. 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, ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273.

9. CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A camada de Agregado Reciclado, executada e recebida na forma descrita, será medida em metros cúbicos de reforço do subleito ou sub-base de Agregado Reciclado compactado 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 de projeto. Caso “e” seja maior que a espessura de projeto será considerada a de projeto para cálculo do volume.

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, transporte, materiais, perdas, mão-de-obra, equipamentos, encargos e outros gastos eventuais necessários à completa execução da camada de Agregado Reciclado.

ANEXO 1 – CRITÉRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICOS E ACEITAÇÃO

CONTROLE DE MATERIAIS			
ENSAIO	**FREQUÊNCIA**	**CRITÉRIO DE ANÁLISE**	**CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO**
AGREGADO GRAÚDO			
Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima ABNT NBR 7182	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista, intercalado com o ensaio de CBR e Expansão	Resultados Individuais	Determinação de Valores de Referência
Análise Granulométrica ABNT NBR NM 248	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	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	Diâmetro máximo dos grãos ≤ 50mm Coeficiente de curvatura Cc = 1 a 3 Coeficiente de uniformidade Cu ≥ 10
Determinação da porcentagem de grãos lamelares ABNT NBR 7809	1 ensaios no início da utilização e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados Individuais	Lamelar ≤ 30%
CBR e Expansão Para Reforço do Subleito: Energia Normal Para Sub-base: Energia Intermediária ABNT NBR 9895	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	Material para execução de reforço de subleito: CBR ≥ 12% Expansão ≤ 1,0% Material para execução de sub-base: CBR ≥ 30% Expansão ≤ 1,0%
Resistência à compressão simples aos 7 dias de cura ABNT NBR 5738 e ABNT NBR 5739	1 ensaio a cada 2.000 m² contínuos de pista	Resultados Individuais	≥ 2,1 MPa

CONTROLE DE EXECUÇÃO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Teor de Umidade ABNT NBR 16097	1 ensaio a cada 500 m² contínuos de pista, imediatamente antes da compactação	Resultados Individuais	± 1,5 percentual em relação à Umidade Ótima
Massa Específica Aparente Seca, *in situ*, e Grau de Compactação ABNT NBR 7185	1 ensaio a cada 1.000 m² contínuos de pista	Controle Estatístico $X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Os segmentos devem ser analisados segundo Controle Estatístico e todas as amostras devem atender ao Controle Individual. Controle Estatístico GC ≥ 100% Controle Individual GC ≥ 98%
Determinação das Deflexões Viga Benkelman DNER ME 24 FWD DNER PRO 273	A cada 40 m de faixa, para todas as faixas da pista, em posição alternada.	Controle Estatístico $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica deve ser fornecida em projeto. No caso de ocorrência de valores individuais superiores a 105% da deflexão de controle do projeto, o segmento deve ser refeito

CONTROLE GEOMÉTRICO E DE ACABAMENTO

ENSAIO	FREQUÊNCIA	CRITÉRIO DE ANÁLISE	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
Espessuras e Cotas Locação e nivelamento topográfico	A cada 20 m, no eixo e bordos e dois pontos intermediários	Resultados Individuais	Variação máxima admitida -2 a +1 cm da cota de projeto. O abaulamento da seção transversal deve estar compreendido de ±0,5%, em relação ao valor de projeto, não se admitindo depressões que propiciem acúmulo de água.
Largura e Alinhamento da Plataforma Medidas de trena	A cada 20 m	Resultados Individuais	Não se admite valores para semi-plataforma inferiores aos previstos em projeto, tolerando-se no máximo +15 cm na semi-largura.
Acabamento da Superfície Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados Individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm
Inspeção na superfície Visual	Em toda superfície	Resultados Individuais	Não ocorram finos na superfície, e acabamento seja julgado satisfatório.

CONTROLE ESTATÍSTICO	
Média Aritmética da Amostra ($\overline{X}$)	Desvio-Padrão da Amostra (S)
$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$
Controle pelo Limite Inferior	Controle pelo Limite Superior
$X = \overline{X} - KS \geq LIE$	$X = \overline{X} + KS \leq LSE$
Controle pelo Limite Inferior e Superior	
$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e	$X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$

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

VALORES K – TOLERÂNCIA UNILATERAL E K1 TOLERANCIA BILATERAL

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
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	**Infinito**	0,52	0,84

1. OBJETIVO

Este procedimento apresenta as diretrizes para o dimensionamento de pavimentos flexíveis e semi-rígido de vias urbanas do município de São José dos Campos/SP.

2. ESTUDO GEOTÉCNICO DO SUBLEITO

Os serviços geotécnicos aqui descritos se desenvolverão em 2 etapas:

- Serviços de Campo e Laboratório;
- Serviços de Escritório.

Todos os Serviços de Campo ou de Laboratório que não forem executados por norma específica da Prefeitura de São José dos Campos, deverão seguir as normas vigentes, obedecendo-se a seguinte ordem:

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- P.M.S.P. - Prefeitura do Município de São Paulo;
- Métodos de Ensaios / DER-SP;
- Métodos de Ensaios / DNER.

2.1. Serviços de Campo e Laboratório

Os serviços de Campo e Laboratório são compostos de 3 fases, a saber:

- Reconhecimento Preliminar de Campo;
- Amostragem Sistemática;
- Ensaios Geotécnicos.

2.1.1. Reconhecimento Preliminar de Campo

De posse de informações obtidas em mapas geológicos, pedológicos e geotécnicos, se disponíveis, o estudo deverá prosseguir através de vistoria no campo por profissionais especializados, de comprovada experiência na área e que possuam conhecimentos pedológicos, geológicos e geotécnicos.

Nesse reconhecimento preliminar deve-se obter as seguintes informações básicas:

- Existência ou não de revestimento primário (presença de materiais pétreos, escória ou entulho de boa qualidade) nas vias;
- Verificação da localização de areais e estimativa de volume;
- Condições topográficas e aspectos ligados a drenagem superficial e profunda das vias em questão;
- Identificação expedita, tactil-visual, do subleito e dos solos das áreas de empréstimos, caso ocorram, considerando a cor, macroestrutura, mineralogia e granulometria ou pelo método expedito de pastilha, proposto na metodologia Miniatura Compactada Tropical - MCT;
- Delimitação aproximada e estimativa de volume de áreas de empréstimo de solo;

A partir dessas informações e da identificação genética do material, serão programadas as fases do estudo geotécnicos referentes à amostragem sistemática e aos ensaios geotécnicos.

2.1.2. Amostragem Sistemática

A amostragem da via, para fins geotécnicos, será feita através de furos de sondagens, com espaçamento máximo entre dois furos consecutivos, no sentido longitudinal, de 75 metros, devendo-se fazer furos intermediários a cada 25 metros, para simples identificação táctil-visual dos materiais encontrados. Os furos de sondagens deverão ser locados baseados nas informações contidas no reconhecimento preliminar de campo.

Figura 1. - Perfil Geotécnico

Executado por:					
N.A. (m)	Amostr.	Prof. (m)	Perfil	Descrição do Material	Motivo da Paralização
Nota:				Escala:	Folha Nº:
Interessado:				Cota:	
Obra:				Estaca/soleira Nº:	
Local:				Data:	
Sondagem a Trado ST -				Início: Término:	

As sondagens, que servirão para reconhecimento (análise táctil-visual), coleta de amostras, traçado do perfil geotécnico do subleito e anotação da cota do nível d'água (se constatado), serão executadas com auxílio de equipamentos manuais, tipo trado espiral, cavadeira, pá, picareta e etc.

A profundidade das sondagens, em relação a cota de fundação do pavimento, será de 1,50 m, ou mais no caso da ocorrência de solos imprestáveis (solos atípicos) sujeitos a remoção. Neste caso essa área deve ser delimitada e o projeto deverá dar um tratamento adequado à mesma.

As folhas de sondagem deverão seguir o modelo apresentado na Figura 1.

A amostragem das camadas representativas do revestimento primário e do subleito, visando a obtenção de suas características geotécnicas, será feita conforme itens abaixo:

a) Subleito Natural

A coleta de amostras será no 1º metro abaixo da cota de fundação do pavimento e deverá ser representativa das camadas encontradas.

b) Subleito com Camada de Revestimento Primário

Quando as vias existentes apresentarem camada com revestimento primário, em espessura superior a 10 cm, com materiais pétreos, escória e entulho de boa qualidade, em porcentagem superior a 30% em peso (material retido na peneira 2,00 mm), deverão ser coletadas amostras, separadamente, da camada de revestimento primário e das camadas do subleito até a profundidade de 1,00 metro abaixo da cota de fundação do pavimento.

2.1.3. Ensaios Geotécnicos

Baseados nas informações obtidas no reconhecimento preliminar do campo e no levantamento topográfico (planialtimétrico cadastral), caso já tenha sido executado, o projetista poderá pré-definir a cota de implantação do pavimento e portanto prever a possibilidade de utilização de alguma(s) camada(s) em suas condições locais.

A partir disso, far-se-á a programação de ensaios, quer seja "in situ" como de laboratório, considerando a graduação do material do subleito e a presença ou não do revestimento primário.

Os ensaios serão feitos de forma a avaliar os materiais entre 0,00 e 1,00 metro, abaixo do greide de fundação do pavimento, em duas camadas de aproximadamente 50 cm. No caso dos ensaios de laboratoriais, as amostras

representativas dessas duas camadas, se identificadas como iguais (táctil-visual e granulometricamente), poderão ser ensaiadas em uma única amostra representativa do mesmo horizonte.

a) Ensaios Geotécnicos para o Subleito Natural

Os materiais de solo serão estudados conforme os ensaios geotécnicos do Quadro 1.

b) Ensaios Geotécnicos para o Subleito com Camada de Revestimento Primário

Quando as vias apresentarem camada de revestimento primário, conceituado no item b) de 2.1.2., deve-se estudar esta camada separadamente.

Quadro 1. - Ensaios Geotécnicos para Subleito Natural

Camada	Ensaios "in situ"	Ensaios Laboratoriais
1ª camada (0,00 a 0,50 m)	- Massa específica aparente (1) -Umidade de solos (2) - Índice de Suporte "in situ"(3)	- Compactação com equip, miniatura (4) - Perda por Imersão de Solos (5) - Índice de Suporte e Expansão (6) (8) - Análise Granulométrica completa (7)
2ª camada (0,50 a 1,00 m)	- Massa específica aparene (1) -Umidade de Solos (2) - Índice de Suporte "in situ" (3)	- Compactação com equip. miniatura (4) - Perda por Imersão de Solos (5) - Análise Granulométrica completa (7)

Obs:

(1) Massa específica aparente de solo "in situ" pelo emprego do frasco de areia (ME-12/PMSP) ou através de amostradores cilíndricos de no mínimo 50 mm de diâmetro (ABNT-MB-1059);

(2) Teor de Umidade de Solos (DER-SP M1-161);

(3) Mini-CBR "in situ" (ME-55 ou ME-56 / PMSP), ou CBR "in situ" através da retirada de amostras pela cravação de cilindro de CBR (Procedimento da PMSP);

(4) *Ensaio de Compactação de Solos com equipamento miniatura (ME-53 / PMSP);

(5) *Determinação de Perda por Imersão de Solos compactados (ME-61/PMSP);

(6) Determinação do Índice de Suporte Mini-CBR e de Expansão dos solos compactados com equipamento miniatura (ME-54 / PMSP), ou ensaio de Suporte Califórnia de Solos em amostras não trabalhadas (ME-09 / PMSP);

(7) Análise Granulométrica de Solos (ME-06 / PMSP);

(8) O uso do Mini-CBR é admissível, em substituição ao CBR, quando o material apresentar granulometria com 90% passando na peneira 2,00mm.

* Com os dados obtidos em (4) e (5) far-se-á a classificação MCT.

As camadas subjacentes à camada de revestimento primário deverão ser estudadas até a profundidade de 1,00 m abaixo do greide de fundação do pavimento, conforme o item 2.1.3.a.

A camada de revestimento primário poderá ser usada, em sua condição natural ou trabalhada, como camada de reforço ou sub-base do pavimento. O procedimento para a avaliação desta camada encontra-se no Quadro 2.

2.2. Serviços de Escritório

Os serviços de escritório descritos a seguir orientam a produção dos documentos geotécnicos do projeto e devem referir-se a sub-trechos de trechos estudados, definidos pelo projetista. Esses documentos deverão conter as informações indicadas nos itens abaixo:

2.2.1. Perfil Geotécnico no qual deverá constar as seguintes indicações abaixo:

a) Indicações Gerais

- Distância entre os diversos furos sondados;
- Identificação numérica de cada furo;
- Identificação numérica de cada camada e respectivo furo;
- Profundidade de cada camada, com indicação das respectivas cotas em relação ao greide de projeto.

b) Indicação das características de cada camada estudada, conforme relacionado abaixo:

- Identificação tátctil-visual incluindo a cor de cada camada;
- Origem provável.

Quadro 2. Ensaios Geotécnicos para Subleito com Camada de Revestimento Primário (3)

Ensaios			Condição de Uso da Camada
Camadas	**"In Situ"**	**Laboratório**	
Revestimento Primário	- Deflexão pela Viga Benkelman (2) ≤ 100 (1/100 mm)	-	Poderá ser usada em sua condição natural, adotando-se CBR=20%
	> 100 (1/100 mm)	CBR / Expansão (1)	Poderá ser usada, mas trabalhada
Subleito	Conforme Quadro 1.	-	Subleito em sua condição natural ou melhorado

Obs.:

(1) Ensaio de Suporte Califórnia de Solos em amostras não trabalhadas (ME-9 / PMSP);

(2) Ensaio de Deflexão pela Viga Benkelman (ME-46 / PMSP);

(3) Nos casos em que o leito esteja acima ou abaixo do greide de fundação do pavimento, recomenda-se o estudo desta camada em laboratório, para o seu uso em camadas que poderão compor a estrutura do pavimento.

- Massa Específica seca natural;
- Umidade Natural;
- Suporte "in situ";
- Massa Específica Aparente Seca máxima;
- Umidade Ótima;
- Granulometria;
- Índice de Suporte Califórnia (CBR) ou Índice de Suporte Mini-CBR;
- Classificação MCT.

c) Indicação dos Universos de Solos

Os universos serão definidos, para efeito de dimensionamento, segundo um dos critérios:

c.1) Classificação MCT

Os solos poderão ser classificados de acordo com a metodologia MCT para solos tropicais e apresentar nomenclatura conforme apresentado a seguir:

- ***U1: Solos de classificação LA' e LG';***

Solos com comportamento lateríticos, onde:

- LA' – solo arenoso laterítico
- LG' – solo argiloso laterítico

Os casos de subleito do tipo LA', cuja origem seja a formação São Paulo, do tipo variegado, devem ser tratados isoladamente.

- ***U2: Solos de classificação NS' e NG';***

Solos com comportamento não lateríticos, onde:

- NS' – solo siltoso não laterítico
- NG' – solo argiloso não laterítico

Nos casos de subleito do tipo NG', com estrutura estratificada e/ou com problemas de drenagem, utilizar um mínimo de 20 cm de reforço de solo selecionado ou estabilizada com CBR $\geq$ 11%.

Os demais grupos MCT (NA', NA, LA), de ocorrência restrita na região da grande São Paulo, deve, ser estudados isoladamente.

c.2) Através de intervalos de Índice de Suporte, Mini-CBR ou CBR, com Expansão $\leq$ 2%

U1: Solos com CBR ou Mini-CBR $<$ 4%;

U2: Solos com 4% $\leq$ CBR ou Mini-CBR $\leq$ 8%;

U3: Solos com 8% $\leq$ CBR ou Mini-CBR $\leq$ 12%;

U4: Solos com CBR ou Mini-CBR $>$ 12%.

Para subleitos com solos de expansão com CBR > 2%, deverá ser obedecido o item 4.5.1.

O projetista poderá se utilizar de outros critérios para a definição de um mesmo universo de solo, desde que devidamente justificado.

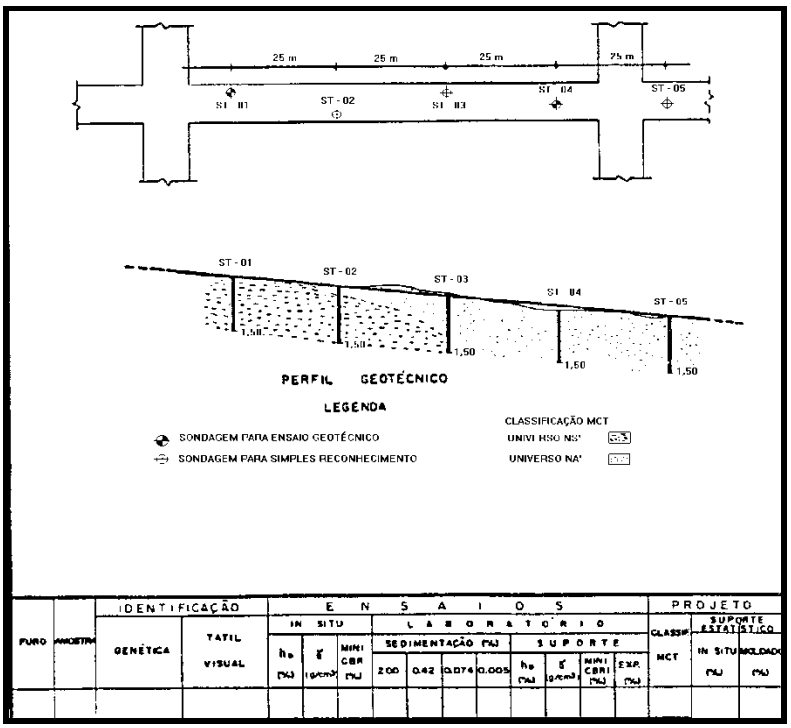
2.2.2. Planta Representativa da Posição dos Diversos Furos Sondados

A planta representativa da posição dos diversos furos sondados deverá conter as seguintes indicações:

- Largura da seção transversal do pavimento com sarjetas;
- Identificação numérica de cada furo;
- Estaca, número da soleira, poste ou qualquer outro elemento que identifique a posição da sondagem;
- Distância entre os diversos furos sondados;
- Distância dos furos em relação aos alinhamentos das travessas mais próximas;
- Larguras e nomes das ruas transversais.

A Figura 2 traz um modelo de um perfil geotécnico.

Figura 2. - Modelo de um Perfil Geotécnico de um Subtrecho



2.2.3. Cálculo do Suporte (CBR ou Mini-CBR) de Projeto

As amostras de solos para a determinação da capacidade de suporte de projeto devem ser coletadas nas áreas de cortes e nas caixas de empréstimo que serão utilizadas para a execução das últimas camadas dos aterros.

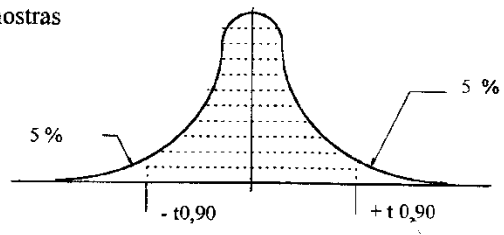
Os cálculos geotécnicos, para fins de dimensionamento do pavimento, serão tratados estatisticamente, por universo de solos, definido conforme o item 2.2.1c, universo este que deverá conter pelo menos 3 unidades de ensaios. Esse tratamento estatístico poderá ser feito através da distribuição "t" de Student, adequada ao controle pela média de amostragem pequenas e com nível de confiança de 95% para o suporte de projeto.

A Figura 3 mostra os valores "t" de Student para este nível de confiança.

Figura 3. - Distribuição "t" de Student

n-1	t 0,90	n-1	t 0,90	n-1	t 0,90	n-1	t 0,90
1	3,08	11	1,36	21	1,32	40	1,30
2	1,89	12	1,36	22	1,32	60	1,30
3	1,64	13	1,35	23	1,32	120	1,29
4	1,53	14	1,34	24	1,32	∞	1,28
5	1,48	15	1,34	25	1,32		
6	1,44	16	1,34	26	1,32		
7	1,42	17	1,33	27	1,31		
8	1,40	18	1,33	28	1,31		
9	1,38	19	1,33	29	1,31		
10	1,37	20	1,32	30	1,31		

onde: n = nº de amostras



Para estarmos 95 % confiantes de que o CBR de projeto não será inferior:

$$CBR_p = \overline{CBR} - \frac{S \times t_{0,90}}{\sqrt{n-1}}$$

onde: $\overline{CBR} = \frac{\sum CBRi}{n}$ e $S = \sqrt{\frac{\sum \left[CBR_i - \overline{CBR}\right]^2}{n}}$

3. CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE TRÁFEGO

O tráfego para o dimensionamento de pavimentos pode ser caracterizado de várias formas, porém a mais utilizada é a determinação do número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN para um determinado período de projeto.

O número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN é a transformação de todos os tipos de eixos e cargas dos veículos comerciais que trafegarão sobre o pavimento em um eixo simples padrão de rodas duplas equivalente de 80 kN. Consideram-se apenas os veículos comerciais no cálculo do número “N”, visto que os automóveis possuem carga de magnitude desprezível em relação aos veículos comerciais.

3.1. Tráfego “N” Obtido Através de Contagem de Veículos na Via

O tráfego, para efeito de projeto, será caracterizado pelo número equivalente “N” de operações do eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN.

Para o cálculo de “N” é necessário obter para a via seu fator de veículo, o fator climático regional e seu volume total de tráfego.

3.1.1. Fator de Veículo

O Fator de Veículo (Fv) é um coeficiente que, multiplicado pelo volume total de tráfego comercial que solicita o pavimento, durante o período de projeto, fornece o número equivalente de operações do eixo simples padrão, no mesmo período.

Para a determinação do F_V, é necessário inicialmente determinar o fator equivalente de operações de cada um dos veículos que trafegarão sobre o pavimento, que é o produto entre o fator de eixo, F_E, e o fator de carga, F_C.

$$F_V = F_E \times F_C$$

A determinação do F_C possui duas (2) metodologias: a da United States Army Corps of Engineers – USACE preconizada pelo DNIT, e a da American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO.

Para a determinação dos fatores de carga é necessário se conhecer as várias cargas por tipo de eixo que atuarão sobre o pavimento. Para tanto é necessário a realização de pesquisas de pesagem na área de influência do projeto.

Para se conhecerem os vários tipos de eixos e suas respectivas cargas que atuarão sobre o pavimento a ser projetado é necessária a realização de pesquisas de pesagem na área de influência do projeto para posterior estudo.

Entretanto, caso não se consigam dados de pesagens de veículos e se autorizados pela fiscalização do PMSJC, podem ser adotados os valores de cargas por tipo de eixo indicados nas Tabela 1 e os valores de fatores de veículos indicados na Tabela 2.

Tabela 1 – Tipos de Eixos e Cargas

Classificação dos Veículos		**Cargas (kN)**				**Nº de Eixos**
		ESRS	**ESRD**	**ETD**	**ETT**	
Classe	**Tipo**					
2C (16)	Com. 1	40	45	-	-	2
2C (22)	Com. 2	55	95	-	-	2
3C (20)	Com. 3	45	-	130	-	3
3C (22)	Com. 4	55	-	160	-	3
2S1	Com. 5	50	2 x 95	-	-	3
2S2	Com. 6	55	95	160	-	4
2S3	Com. 7	55	95	-	245	5
3S3	Com. 8	55	-	150	224	6
3D4	Com. 9	55	-	3 x 160	-	7
3D6	Com. 10	55	-	4 x 150	-	9
Ôn (2C)	Ônibus 2	55	95	-	-	2
Ôn (3C)	Ônibus 3	55	-	130	-	3

Tabela 2 – Fatores de Veículos

Classificação dos Veículos		**FV**			**Combinação de Eixos**				**Nº de Eixos**
		Flexível		**Rígido**	**ESRS**	**ESRD**	**ETD**	**ETT**	
Classe	**Tipo**	**USACE**	**AASHTO**						
2C (16)	Com. 1	0,09	0,11	0,11	1	1	0	0	2
2C (22)	Com. 2	2,78	1,89	1,91	1	1	0	0	2
3C (20)	Com. 3	2,28	0,55	0,93	1	0	1	0	3
3C (22)	Com. 4	5,44	1,27	1,97	1	0	1	0	3
2S1	Com. 5	4,09	2,81	2,99	1	2	0	0	3
2S2	Com. 6	8,70	3,14	3,96	1	1	1	0	4
2S3	Com. 7	10,27	3,32	5,95	1	1	0	1	5
3S3	Com. 8	9,42	1,90	5,01	1	0	1	1	6
3D4	Com. 9	17,28	4,09	6,25	1	0	3	0	7
3D6	Com. 10	14,02	3,27	5,08	1	0	4	0	9
Ôn. (2C)	Ônibus 2	2,81	1,88	1,90	1	1	0	0	2
Ôn. (3C)	Ônibus 3	2,21	0,71	1,02	1	1	0	0	3

Onde:

ESRS: eixo simples de rodas simples;

ESRD: eixo simples de rodas duplas;

ETD: eixo tandem duplo;

ETT: eixo tandem triplo;

3.1.2. Fator Climático Regional

O fator climático regional (F_R) é um coeficiente que multiplica-se ao número "N" para traduzir as variações da capacidade de suporte dos materiais decorrentes do efeito causado pelas variações de umidade dos materiais constituintes do pavimento durante as diversas estações do ano. No Brasil, costuma-se adotar F_R igual a 1,0, considerando os resultados de pesquisas desenvolvidas.

3.1.3. Cálculo do Número Total de Solicitações "N"

O número "N" de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN é a transformação de todos os tipos de eixos e cargas dos veículos comerciais que trafegarão sobre o pavimento em um eixo simples padrão de rodas duplas equivalente de 80 kN. Consideram-se apenas os veículos comerciais no cálculo do número "N", visto que os automóveis possuem carga de magnitude desprezível em relação aos veículos comerciais.

O número "N" é calculado pela expressão:

$$N = \sum_{i=1}^{P} N_i$$

Onde:

N: número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto;

P: período de projeto igual a 10 anos para pavimento flexível ou semi-rígido e 20 anos para pavimento rígido;

i = 1: ano de início da vida de projeto;

Ni: número equivalente de operações do eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado durante o ano "i".

"Ni" é calculado pela seguinte expressão:

$$N_i = V_{ti} \times FV \times FR$$

Onde:

Vti: volume total acumulado de veículos comerciais por sentido na faixa de projeto durante o ano "i";

FV: fator de veículo da frota, que é função do método empregado;

FR: fator climático regional.

Para a determinação do volume total acumulado de veículos comerciais que trafegará pela faixa de projeto durante o ano "i" é utilizada a seguinte expressão:

$$V_{ti} = VDM_C \times 365 \times D \times Fp$$

Onde:

Vti: volume total acumulado de veículos comerciais por sentido na faixa de projeto durante o ano "i";

VDM_C : volume diário médio de veículos comerciais total durante o ano " i ";

D: distribuição direcional (%);

Fp: porcentagem de veículos comerciais na faixa de projeto (%).

O cálculo do número de repetições dos vários tipos de eixos e cargas necessita do conhecimento da distribuição de freqüência das cargas por tipo de eixo, pela

expressão abaixo.

$$N_{REP} = \sum_{i=1}^{P} N_{REP"i"}$$

$$N_{REP"i"} = VDM_C \times 365 \times D \times Fp$$

Onde:

N_{REP}: número total acumulado de repetições do eixo tipo “x” com carga “y” por sentido direcional na faixa de projeto durante a vida de projeto;

N_{REP} “i”: número total acumulado de repetições do eixo tipo “x” com carga “y” por sentido direcional na faixa de projeto durante o ano “i”;

V_{DM}: volume diário médio de eixos do eixo tipo “x” com carga “y” total durante o ano “ i ”;

Portanto, o cálculo do número N acumulado, conforme mencionado anteriormente, será calculado conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Cálculo do “N acumulado”

FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DIRECIONAL	D	
% DE VEIC. COMERCIAIS NA FAIXA SOLICITADA	Fp	
FATOR CLIMÁTICO	FR	
TAXA DE CRESCIMENTO	t%	
% DE VEICULOS COM CARGA MÁXIMA		
% DE VEICULOS VÁZIOS		

ANO	VDM - COMERCIAIS													FV frota			Vti	N anual			N acumulado		
	COM 1	COM 2	COM 3	COM 4	COM 5	COM 6	COM 7	COM 8	COM 9	COM 10	ONIBUS 2	ONIBUS 3	TOTAL	USACE	AASHTO			USACE	AASHTO		USACE	AASHTO	
														FLEX.	FLEX.	RÍG.		FLEX.	FLEX.	RÍG.	FLEX.	FLEX.	RÍG.
1	VDM_{C1}	VDM_{C2}	VDM_{C3}	VDM_{C4}	VDM_{C5}	VDM_{C6}	VDM_{C7}	VDM_{C8}	VDM_{C9}	VDM_{C10}	VDM_{O2}	VDM_{O1}		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
2	VDM_{C1} x t%	VDM_{C2} x t%	VDM_{C3} x t%	VDM_{C4} x t%	VDM_{C5} x t%	VDM_{C6} x t%	VDM_{C7} x t%	VDM_{C8} x t%	VDM_{C9} x t%	VDM_{C10} x t%	VDM_{O2} x t%	VDM_{O1} x t%											
3	VDM_{C1} x t% x t%	VDM_{C2} x t%x t%	VDM_{C3} x t%x t%	VDM_{C4} x t%x t%	VDM_{C5} x t%x t%	VDM_{C6} x t%x t%	VDM_{C7} x t%x t%	VDM_{C8} x t%x t%	VDM_{C9} x t%x t%	VDM_{C10} x t%x t%	VDM_{O2} x t%x t%	VDM_{O1} x t%x t%											
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							

Onde:

t% = taxa de crescimento anual (na falta de dados mais precisos adotar 3%)

(1), (2) e (3) = FV frota

FV frota = [(VDM_{C1} x FV_{C1}) + (VDM_{C2} x FV_{C2}) +.....+ (VDM_{O2} x FV_{O2}) + (VDM_{O1} x FV_{O1})] / VDM_{TOTAL}

FV_{C1}, FV_{C2}, FV_{C3}, FV_{C4},....., FV_{C10}, FV_{O2}, FV_{O3} = Fatores de veículos para cada tipo de veículo (na falta de dados mais precisos adotar os valores apresentados na Tabela 2)

(4) $Vti = VDM_{TOTAL} \times 365 \times D \times Fp$

(5), (6) e (7) N anual = Vti x FV frota x FR

(8), (9) e (10) N acumulado = Σ N anual

3.2. Tráfego Estimado

No caso em que não se tenha contagem de veículos, o projetista poderá estimar o número equivalente "N" de operações do eixo simples padrão, baseado em dados fornecidos pela PMSJC, poderá arbitrar por faixa, um dos valores para o número "N", para efeito de dimensionamento, conforme indicado abaixo:

- **Tráfego Muito Leve:** Ruas de características essencialmente residenciais, para as quais não é absolutamente previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente, passagens de caminhões em número não superior a três (3) por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um número "N" típico de 10^4 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos;

- **Tráfego Leve:** Ruas de características essencialmente residenciais, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente, passagens de caminhões ou ônibus em número não superior a vinte (20) por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um número "N" típico de 10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos;

- **Tráfego Médio**: Ruas ou estradas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em um número entre vinte e um (21) a cem (100) por dia, na faixa de tráfego mais solicitada, caracterizando o número "N" típico por 5×10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos.

- **Tráfego Meio Pesado**: Ruas ou estradas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em um número entre cento e um (101) a trezentos (300) por dia, na faixa de tráfego mais solicitada, caracterizando o número "N" típico de 2×10^6 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos.

- **Tráfego Pesado**: Ruas ou estradas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em um número entre trezentos e um (301) a mil (1.000) por dia, na faixa de tráfego mais solicitada,

caracterizando o número “N” típico de 2 x 10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos.

- **Tráfego Muito Pesado**: Ruas ou estradas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em um número entre mil e um (1.001) a dois mil (2.000) por dia, na faixa de tráfego mais solicitada, caracterizando o número “N” típico de 5 x 10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos.

- **Corredores de Ônibus**: Corredores com a previsão da passagem de ônibus em um número menor que quinhentos (500) por dia, caracteriza o número “N” típico de 10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos e para corredores com a previsão da passagem de ônibus em um número maior que quinhentos (500) por dia, caracteriza o número “N” típico de 5 x 10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos.

Para efeito de dimensionamento da estrutura do pavimento, pode ser adotado o valor do N_{AASHTO} (Metodologia da AASHTO) como N_{USACE} x 0,3. Os tráfegos estimados estão indicados na tabela 4.

Tabela 4 – Tráfegos Estimados

TRÁFEGO		N_{USACE} CARACTERÍSTICO	N_{AASHTO} CARACTERÍSTICO
Muito leve		10^4 solicitações	3,0 x 10^3 solicitações
Leve		10^5 solicitações	3,0 x 10^4 solicitações
Médio		5 x 10^5 solicitações	1,5 x 10^5 solicitações
Meio pesado		2 x 10^6 solicitações	6,0 x10^5 solicitações
Pesado		2 x 10^7solicitações	6,0 x 10^6solicitações
Muito Pesado		5 x 10^7solicitações	1,5 x 10^7solicitações
Corredor de ônibus	Médio	1,0 x 10^7 solicitações	3,0 x 10^6 solicitações
	Elevado	5,0 x 10^7solicitações	1,6 x 10^7solicitações

OBS: Na Instrução de projeto da PMSP (IP-05/2004), para os tráfegos pesado, muito pesado e corredores de ônibus, utilizam-se o período de projeto de 12 anos para a estimativa do Nusace característico, mas como para realizar o dimensionamento do pavimento flexível recomenda-se o período de 10 anos, foi considerado, nesse procedimento, 10 anos para todos os tráfegos.

3.3. Carga Legal

No presente método de dimensionamento, foi considerado que a carga máxima legal no Brasil é de 10 toneladas por eixo.

4. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

Para a elaboração do dimensionamento dos pavimentos deve ser adotado o método de dimensionamento de pavimentos do DNIT, apresentado no DER/SP (IP-DE-P00/001).

O método fornece a estrutura de pavimento necessária para suportar o tráfego previsto durante o período de projeto adotado e para as condições geotécnicas dos solos do subleito vigentes na obra rodoviária, de modo a transmitir ao subleito tensões compatíveis com sua capacidade de suporte e permitir o tráfego de veículos.

Deverá ser realizada a verificação mecanicista da estrutura de pavimento dimensionada pelo método do DNIT através do emprego de programa computacional. Na utilização de programas computacionais para a verificação mecanicista, devem ser fornecidas a descrição sucinta do programa computacional, as hipóteses de cálculo utilizadas e simplificações adotadas, dados de entrada e resultados obtidos.

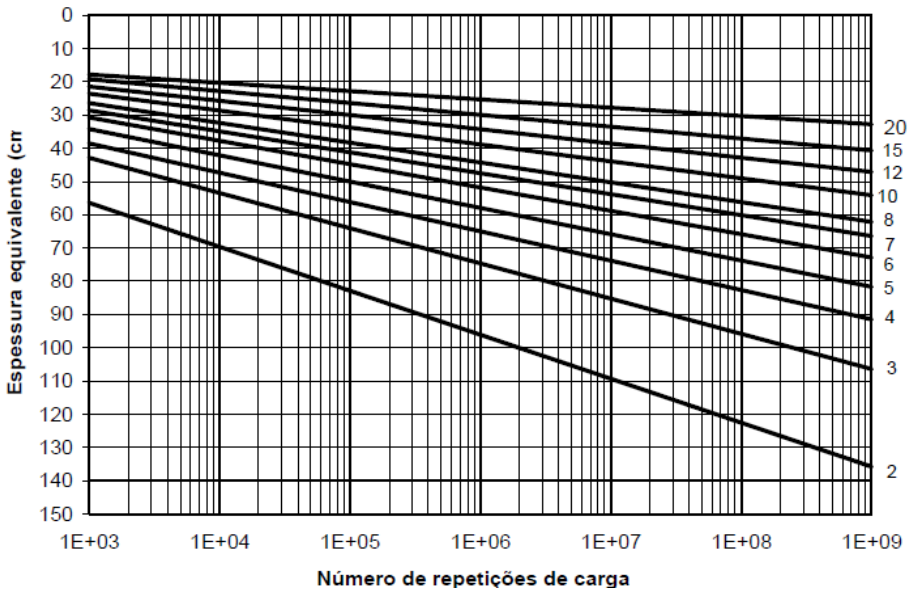
É recomendável a utilização de estrutura de pavimento semi-rígido em vias com número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN igual ou superior a 10^7.

4.1. Espessura Total do Pavimento

Definido o tipo de tráfego do pavimento e determinado o suporte representativo do subleito, a espessura total básica do pavimento, em termos de material granular, H_{SL} será fixada de acordo com o ábaco da Figura 4, ou através da seguinte fórmula:

$$H_{SL} = 77{,}67\ N_{USACE}^{0{,}0482}\ CBR^{-0{,}598}$$

Figura 4 – Ábaco da espessura total do pavimento



4.2. Tipo e Espessura da Camada de Rolamento

Os tipos e espessuras mínimas de revestimento asfáltico são dados em função do número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN, acumulado durante o período de projeto. A Tabela 5, indica as espessuras mínimas de revestimento asfáltico recomendadas pelo DER/SP.

Tabela 5 – Tipos e Espessuras Mínimas de Revestimento

TIPO E ESPESSURA DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO	NÚMERO “N”
Pré misturado a Quente (PMQ) ou Concreto asfáltico com 3,5 cm de espessura	$N \leq 1 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura	$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura	$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura	$1 \times 10^7 < N \leq 2,5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura	$2,5 \times 10^7 < N \leq 5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 15,0 cm de espessura	$N > 5 \times 10^7$

Para revestimento de concreto asfáltico sobre base de solo-cimento, recomenda-se a execução de tratamento superficial simples ou duplo entre a base e o revestimento asfáltico, como ponte de aderência e camada de anti-reflexão de trincas.

4.3. Espessura das Demais Camadas

Uma vez determinada a espessura total do pavimento (H_{SL}), em termos de material granular e fixada a do revestimento (R), procede-se ao dimensionamento das espessuras das demais camadas, ou seja, da base, sub-base e do reforço do subleito, levando-se em conta os materiais disponíveis para cada uma delas, seus coeficientes de equivalência estrutural e suas capacidades de suporte, traduzidas pelos respectivos CBR ou Mini-CBR.

As espessuras da Base (B), Sub-base (h_{SB}) e do Reforço do Subleito (h_{REF}) são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{SB} \quad (1)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{SB} \times K_{SB} \geq H_{REF} \quad (2)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{SB} \times K_{SB} + h_{REF} \times K_{REF} \geq H_{SL} \quad (3)$$

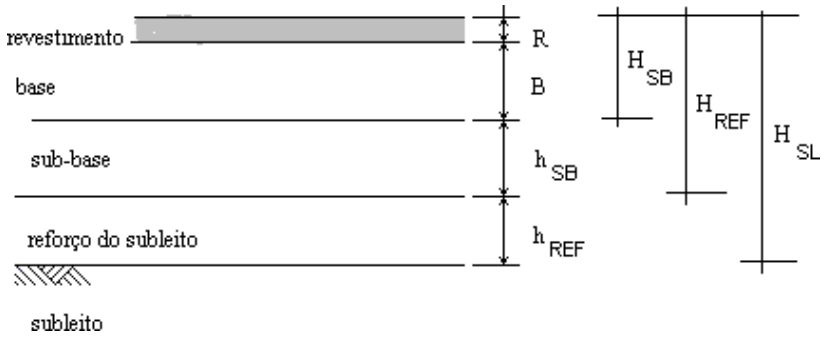
Onde:

K_R, K_B, K_{SL}, K_{REF} representam os coeficientes estruturais do revestimento, da base, da sub-base e do reforço do subleito, respectivamente;

H_{SB}, H_{REF} ou H_{SL}, as espessuras fornecidas pela figura acima para materiais com CBR_{SB}, CBR_{REF} e CBR_{SL} ou Mini-CBR_{SB}, Mini-CBR_{REF} e Mini-CBR_{SL}.

A estrutura do pavimento poderá ou não conter sub-base, ficando a critério do projetista.

Esquema Elucidativo



As bases de solo arenoso fino de comportamento laterítico e de solo laterítico argiloso somente devem ser utilizadas para tráfego inferior a 5×10^6 equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN.

A espessura total da base e revestimento necessária para proteção da sub-base deve ser determinada considerando a capacidade de suporte CBR igual a 20%, mesmo se o material apresentar capacidade de suporte superior a 20%.

No entanto, se o CBR da sub-base for igual ou superior a 40% e para $N \leq 5 \times 10^6$ equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN, admite- se substituir H_{20} na inequação $R \times K + B \times K_B \geq H_{20}$, por $0,8 \times H_{20}$. Para $N \geq 5 \times 10^7$ equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN, deve-se substituir, na mesma inequação, H_{20} por $1,2 \times H_{20}$.

4.4. Coeficiente de Equivalência Estrutural

O coeficiente de equivalência estrutural de um material é definido como a relação entre as espessuras de uma base granular e de uma camada de material considerado, que apresente o mesmo comportamento, ou seja, considera-se que uma camada de 10 cm de um material com coeficiente de equivalência estrutural igual a 1,5 apresenta comportamento igual ao de uma camada de 15 cm de base granular.

Para as camadas de pavimento executadas de acordo com as instruções de execução da Prefeitura do Município de São José dos Campos, são adotados os seguintes coeficientes de equivalência estrutural, indicados na Tabela 6.

Tabela 6 – Coeficientes de Equivalência Estrutural

Camada do Pavimento	Coeficiente Estrutura (K)
Base ou Revestimento de Concreto Betuminoso	2,00
Base ou Revestimento de Concreto Magro	2,00
Base ou Revestimento de Pré-Misturado à Quente, Grad. Densa	1,80
Base ou Revestimento de Pré-Misturado à Frio, Grad. Densa	1,40
Base ou Revestimento Betuminoso por Penetração	1,20
Camada de Isolamento ou Bloqueio	1,00
Base de Brita Graduada e Estabilizadas Granulometricamente	1,00
Sub-bases Granulares ou Estabilizadas com Aditivos	≤ 1,0
Reforço do Subleito	≤ 1,0
Base de Solo-Cimento ou Brita com Cimento, com resitência à compressão aos 7 dias, superior a 45 Kg/cm^2	1,70
Base de Solo-Cimento ou Brita com Cimento, com resitência à compressão aos 7 dias, superior a 45 a 28 Kg/cm^2	1,40
Base de Solo-Cimento, com resistência à compressão aos 7 dias, menor que 28 e maior ou igual a 21 Kg/cm^2	1,20
Base de Solo-Cimento, com resitência à compressão aos 7 dias, menor que 21 Kg/cm^2	1,00
Areia	1,00

O coeficiente estrutural do reforço do subleito ou da sub-base granular deve ser igual a 1,0 toda vez que o CBR do material de um ou do outro for igual ou superior a três vezes o do subleito. Para relações inferiores, o coeficiente deve ser dado pela expressão:

$$K_{SB} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{SB}}{3 \times CBR_{SL}}} \leq 1$$

e

$$K_{REF} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{REF}}{3 \times CBR_{SL}}} \leq 1$$

Onde: CBR_{SB}, CBR_{REF} e CBR_{SL} são os suportes da sub-base, reforço e subleito.

Destas expressões, resultam os seguintes coeficientes estruturais, em função das relações CBR_{SB}/CBR_{SL} e CBR_{REF}/CBR_{SL}:

Relação de CBR	K
1,1	0,72
1,2	0,75
1,3	0,76
1,4	0,78
1,5	0,80
1,6	0,82
1,7	0,83
1,8	0,85
1,9	0,86
2,0	0,88
2,1	0,90
2,2	0,91
2,3	0,92
2,4	0,94
2,5	0,95
2,6	0,96
2,7	0,97
2,8	0,98
2,9	0,99
≥ 3,0	1,00

Mesmo que o CBR do reforço ou da sub-base seja superior a 30%, deverá ser considerado como se fosse igual a 30%, para efeito de cálculo das relações acima.

Quando pavimentos antigos de paralelepípedos forem beneficiados com revestimentos betuminosos, o valor do coeficiente de equivalência estrutural do pavimento existente, poderá variar de 1,2 a 1,8, em função do comportamento, abaulamento e rejuntamento dos paralelepípedos.

4.5. Materiais das Diversas Camadas do Pavimento

Os materiais próprios para as camadas de revestimento, base e reforço do subleito, deverão obedecer às especificações constantes das instruções em vigor na Prefeitura do Município de São José dos Campos.

4.5.1. Solos do Subleito

Para a camada de melhoria e preparo do subleito os solos devem apresentar as seguintes propriedades geotécnicas:

- Capacidade de suporte (CBR) superior ou igual à 2%;
- Expansão máxima de 2%;
- Grau de compactação mínimo de 100% do Proctor Normal. Para solos finos lateríticos ou para solos granulares pode ser utilizada a energia de 100% do Proctor Intermediário.

No caso de aproveitamento do subleito de estradas já implantadas, cascalhadas, o solo na profundidade de 0,20 m abaixo do greide preparado para receber o pavimento deve ser escarificado, umedecido e compactado na energia indicada anteriormente.

Nos casos onde as sondagens indicaram a necessidade de substituição do subleito, deverá ser considerado o valor do suporte do solo de empréstimo ou da camada de reforço.

No caso de ocorrência de solos com CBR inferior a 2%, deve-se efetuar substituição destes solos, por solo com suporte $\geq$ 5% e expansão $\leq$ 2%, na espessura indicada no projeto. Outra solução poderá ser utilizada desde que devidamente justificada.

Para subleito com solos de expansão superior a 2%, deve ser determinada, experimentalmente, a sobrecarga necessária para o solo apresentar expansão menor que 2%. O peso próprio do pavimento projetado deve transmitir para o

subleito pressão igual ou maior do que a determinada pelo ensaio. Caso o peso próprio da estrutura não seja suficiente para proporcionar pressão maior ou igual à determinada no ensaio de sobrecarga, deve-se efetuar a substituição de solos em espessura definida nos estudos geotécnicos realizados.

4.5.2. Materiais para Reforço do Subleito

Os solos apropriados para camada de reforço do subleito são os de CBR superior ao do subleito e expansão máxima de 1%.

Recomenda-se que os solos seja os de comportamento laterítico do tipo LA, LA' e LG' da classificação Miniatura Compactada Tropical – MCT proposta por Nogami & Villibor.

4.5.3. Materiais para Camadas de Sub-Base e Base

Os solos, misturas de solos, solos estabilizados quimicamente, materiais pétreos ou misturas de solos quando empregados na camada de sub-base do pavimento devem apresentar as seguintes propriedades geotécnicas:

- Capacidade de suporte, CBR, superior ou igual a 30%;
- Expansão máxima de 1%.

Estes materiais ou misturas de materiais, quando empregados na camada de base do pavimento, devem apresentar as seguintes propriedades geotécnicas:

- Capacidade de suporte, CBR, superior ou igual a 80%;
- Expansão máxima de 1%.

Para misturas de solo-cimento, a resistência característica à compressão simples, avaliada aos 7 dias de idade, deve ser igual ou superior à definida quando da realização de estudos de dosagem.

Para $N_{USACE} \geq 5 \times 10^7$ utilizar somente base cimentada, com a finalidade de evitar a fadiga prematura nas camadas betuminosas.

A "base invertida" poderá ser adotada como solução de projeto.

Recomenda-se, ainda, a execução de tratamento superficial simples ou duplo sobre a camada de base de solo-cimento ou brita graduada tratada com cimento, como ponte de aderência entre a camada de rolamento de concreto asfáltico e a camada de base cimentada, como também camada anti-reflexão de trincas da camada cimentada para a camada asfáltica.

Espessuras Mínimas

As espessuras mínimas que deverão ser utilizados nas camadas de base e sub base, são:

- A espessura mínima da camada de base / sub base granular de acordo com o método do DNER deve ser superior a 10 cm. Recomenda-se utilizar espessura mínima de 15 cm, para facilitar a execução de estrutura com menor irregularidade.

- A espessura da camada de base / sub base cimentada de acordo com o método do DNER deve ser superior a 15 cm. Recomenda-se utilizar espessura mínima de 20 cm.

5. VERIFICAÇÃO MECANICISTA

A verificação mecanicista da estrutura de pavimento é realizada por meio da análise de deslocamentos, tensões e deformações. São considerados críticos o deslocamento vertical recuperável máximo na superfície do revestimento asfáltico, a deformação horizontal específica de tração na fibra inferior do revestimento e a deformação vertical de compressão no topo do subleito. O deslocamento vertical recuperável na superfície do revestimento e a deformação horizontal na fibra inferior da camada de revestimento estão relacionados com a fadiga, e a deformação vertical de compressão no topo do subleito está relacionada com a deformação permanente ou plástica.

Para a verificação mecanicista de estruturas de pavimentos podem ser utilizados diversos programas computacionais com métodos de análise de elementos finitos ou métodos das diferenças finitas. Entretanto os cálculos processados por computadores devem vir acompanhados dos documentos justificativos, a seguir discriminados:

- No caso de programas computacionais usualmente comercializados no mercado nacional: identificação do programa computacional; descrição do programa computacional utilizado, definindo os módulos utilizados, as hipóteses de cálculo utilizadas ou simplificações adotadas, dados de entrada, carregamento e resultados obtidos;

- No caso de programas computacionais de uso particular e exclusivo do projetista: identificação e descrição do programa computacional utilizado, com indicação da formulação teórica, hipóteses de cálculo utilizadas ou simplificações adotadas, dados de entrada, carregamento e resultados obtidos.

Para a verificação mecanicista da estrutura de pavimento, é necessário o conhecimento dos parâmetros relativos à capacidade de suporte dos solos do subleito e do tráfego previsto para o período de projeto, além das propriedades dos materiais constituintes das camadas da estrutura do pavimento e de modelos de fadiga para estes materiais.

As cargas a serem inseridas na análise mecanicista devem simular o eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN, utilizando quatro pontos de aplicação da carga de 20 kN cada e pressão de contato pneu-pavimento de 0,56 MPa.

Na Tabela 7, são indicados os valores recomendados para as propriedades dos materiais de pavimentação.

Tabela 7 – Valores Usuais de Módulo de Resiliência ou Elasticidade e Coeficiente de Poison

MATERIAL		**INTERVALOS DE VALORES DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)**	**VALOR RECOMENDADO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)**	**VALOR RECOMENDADO DE COEFICIENTE DE *POISSON***
Concretos Asfálticos:	Revestimento Convencional	3000 – 4000	3500	0,30
	Revestimento modificado por polímero	3500 – 4500	4000	0,30
Materiais granulares	Brita graduada simples	200 – 300	250	0,35
	Macadame hidráulico	250 – 450	300	0,35
	Macadame seco / Rachão	150 – 250	200	0,35
Materiais estabilizados quimicamente	Solo-cimento	5000 – 10000	*	0,20
	Brita graduada tratada com cimento	7000 – 18000	*	0,20
	Concreto compactado com rolo	7000 – 22000	*	0,20
Solos finos em subleito e reforço do subleito	Solos de comportamento laterítico LA, LA', LG'	100 – 200	**	0,40
	Solos de comportamento não laterítico	25 – 75	**	0,40
	Solos finos melhorados com cimento para reforço de subleito	200 – 300	200	0,40
	Solos finos melhorados com cimento com	100 - 200	200	0,40

	cimento ou cal			

* O módulo de resiliência se dá para as resistências previstas no projeto, que é diferente em função da porcentagem de cimento existente no material.

**O módulo de resiliência é calculado pelas equações da Tabela 8.

Na Tabela 8, são indicadas as correlações entre módulo de resiliência e capacidade de suporte (CBR), recomendadas para os solos do subleito.

Tabela 8 – Correlações entre módulo de resiliência e capacidade de suporte (CBR) recomendadas para os solos do subleito

TIPO DE SOLO	MÓDULO DE ELASTICIDADE (MPa)
Solo laterítico arenoso (LA, LA') ou argiloso (LG')	$ESL = 22,0 \times (CBR)^{0,80}$
Solo não laterítico siltoso (NS') ou não laterítico (NG')	$ESL = 18,0 \times (CBR)^{0,64}$
Solo arenosos pouco ou não coesivo (LA, NA, NA')	$ESL = 14,0 \times (CBR)^{0,70}$

Deverão ser determinados indicadores estruturais representados pelas deformações horizontais de tração na face inferior do revestimento (εt), pela deformação vertical no topo do subleito (εv), e pela tensão de tração nas camadas cimentadas (σt).

A análise comparativa de desempenho das estruturas é feita através da verificação da compatibilidade entre esforços solicitantes (devidos à aplicação de cargas de tráfego) e os esforços resistentes, intrínsecos de cada material, traduzidos pelas equações de fadiga apresentadas a seguir.

5.1. Deflexão Máxima sobre o revestimento

Os deslocamentos verticais recuperáveis de um pavimento representam a resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento. Quando uma carga é aplicada em um ponto da superfície do pavimento, todas as camadas fletem devido às tensões e às deformações geradas pelo carregamento, sendo que o valor do deslocamento geralmente diminui com a profundidade e com o distanciamento do ponto de aplicação da carga.

Dessa forma, é conveniente verificar o valor do deslocamento vertical recuperável máximo da superfície do pavimento, comparando-o com o valor de projeto obtido pelas expressões matemáticas do DNER-PRO 011/79 ou DNER-PRO 269, que é função do número “N”.

O deslocamento vertical recuperável máximo da superfície do pavimento é denominado como deflexão.

As expressões matemáticas são do tipo:

$$\log D_{adm} = k - n \times \log N$$

Onde:

N: número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto (Metodologia da USACE);

k e n: coeficientes determinados por regressões lineares.

Recomenda-se empregar na análise mecanicista uma das equações cujos parâmetros são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Deslocamento Vertical Recuperável em Função do Número "N"

Equação	Procedimento	k	n
1	DNER-PRO 011/79	3,01	0,174
2	DNER-PRO 269/94	3,148	0,188

5.2. Fadiga de revestimentos asfálticos

As deformações horizontais de tração, εt, nas fibras inferiores das camadas asfálticas, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, podem causar sua ruptura por fadiga se forem excessivas.

Para materiais asfálticos existem dois tipos principais de ensaios: deformação ou tensão controladas. No entanto, qualquer que seja o método de ensaio, para definir a Deformação Limite horizontal de Tração (εt) na fibra inferior do revestimento vale a seguinte expressão:

$$N_{AASHTO} = \mathrm{k\,x}\left(\frac{1}{\varepsilon t}\right)^{n}$$

Onde:

N_{AASHTO}: número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto (Metodologia da AASHTO);

εt : deformação específica horizontal na tração;

K e n: coeficientes determinados por regressões lineares, particulares para cada tipo de mistura asfáltica e modificados para refletir o desempenho no campo.

Os ensaios de fadiga apresentam grande dispersão dos resultados, particularmente no que diz respeito às misturas asfálticas, devido não só à inerente heterogeneidade do material, como também às técnicas de ensaio de preparação dos corpos de prova, tipos de ensaios etc.

Dentre as inúmeras equações de fadiga desenvolvidas por pesquisadores em estudos nacionais e internacionais, recomenda-se para a camada de revestimento de concreto asfáltico o emprego de umas das expressões matemáticas cujos parâmetros são indicados na Tabela 10 para a análise mecanicista.

Tabela 10 – Número "N" em Função da Deformação Específica de Tração εt da Fibra Inferior da Camada de Concreto Asfáltico

Equação	Autor	Ano	*K*	*n*
1	FHWA (*Federal Highway Administration*)	1976	$1{,}092 \times 10^{-6}$	3,512
2	*Asphalt Institute*	1976	$2{,}961 \times 10^{-5}$	3,291
3	Barker, Brabston & Chou	1977	$9{,}7 \times 10^{-10}$	4,03
4	Pinto & Preussler – CAP 50-70	1980	$2{,}85 \times 10^{-7}$	3,69

A expressão do Asphalt Institute foi simplificada para se ajustar ao formato da equação ilustrada anteriormente, adotando-se os valores médios para mistura asfáltica: módulo resiliente de 3.000 MPa, volume de betume de 13,5% e volume de vazios de 4%.

5.3. Acúmulo de deformações permanentes no topo do subleito

O solo de fundação é normalmente o material menos resistente da estrutura, portanto é por ele que se inicia a verificação estrutural. Entretanto, uma vez confirmado o seu desempenho, é importante efetuar-se também a análise global para assegurar eventuais problemas devido ao fenômeno da deformação permanente.

A análise é feita comparando-se a máxima deformação específica vertical de compressão (εv) atuante no topo do subleito, considerando-se um sistema de camadas elásticas, comparando-as com os valores admissíveis correspondentes ao material utilizado.

Nos pavimentos rodoviários onde o tráfego é canalizado, a deformação permanente em geral se manifesta nas chamadas trilhas de roda. Essa deformação devida ao cisalhamento é um dos fatores que precisa ser levado em conta no projeto racional de pavimentos, objetivando-se minimizar as deformações totais dos mesmos.

O critério de fadiga para deformações verticais de compressão do subleito é idêntico aos modelos adotados para a fadiga de misturas asfálticas e expresso por equação do tipo:

$$N_{USACE} = \mathrm{k\,x}\left(\frac{1}{\varepsilon v}\right)^{n}$$

Onde:

N: número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto (Metodologia da USACE);

εv: deformação específica horizontal na tração;

K e n: coeficientes determinados por regressões lineares, particulares para cada tipo de mistura asfáltica e modificados para refletir o desempenho no campo.

Dentre as inúmeras equações de fadiga para deformações verticais de compressão do subleito desenvolvidas por pesquisadores em estudos nacionais e internacionais, recomenda-se o emprego na análise mecanicista de uma das expressões matemáticas cujas parâmetros são indicados na Tabela 11.

Tabela 11 – Número "N" em Função da Deformação Específica de Compressão εv do Topo da Camada do Subleito

Equação	Autor	Ano	*K*	*n*
1	Dormon & Metcalf	1965	$6{,}069 \times 10^{-10}$	4,762
2	Shell (Claessen, Edwards, Sommer, Uge) 50% de confiabilidade 85% de confiabilidade 95% de confiabilidade	Revisado em 1985	 $6{,}15 \times 10^{-7}$ $1{,}94 \times 10^{-7}$ $1{,}05 \times 10^{-7}$	 4,0 4,0 4,0
3	*Asphalt Institute* (Santucci)	1984	$1{,}338 \times 10^{-9}$	4,484

5.4. Fadiga de misturas cimentadas

5.4.1. Solo-Cimento

As deformações horizontais de tração, εt, ou tensões horizontais de tração, σt, na fibra inferior da camada de solo-cimento, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, podem causar sua ruptura por fadiga se forem excessivas. Para a análise mecanicista recomenda-se a utilização da equação de fadiga quanto à flexão de misturas de solo-cimento pesquisadas por Ceratti apresentada a seguir.

$$N_{USACE} = 10^{(SR - A / B)}$$

Onde:

N: número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto (Metodologia USACE);

SR: relação entre tensões de tração na fibra inferior da camada cimentada (tensão atuante e tensão de ruptura);

A e B: coeficientes determinados por regressões lineares, particulares para cada tipo de mistura solo-cimento.

Tabela 12 – Número "N" em Função da Relação de Tensões de Tração na Fibra Inferior da Camada de Solo-Cimento

EQUAÇÃO	TIPO DE SOLO – CLASSIFICAÇÃO MCT	A	B
1	Areias não lateríticas (NA)	125,63	-14,920
2	Areias lateríticas (LA)	64,01	- 0,822
3	Solos arenosos lateríticos (LA')	94,76	- 2,50
4	Solos argilosos lateríticos (LG')	67,59	- 1,03

5.4.2. Brita graduada tratada com cimento

Na camada de base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento, ocorre a fadiga de forma idêntica à da camada de solo-cimento. As deformações horizontais de tração, εt, ou tensões horizontais de tração, σt, na fibra inferior da camada cimentada, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, podem causar sua ruptura por fadiga se forem

excessivas. Logo, para a análise mecanicista recomenda-se a equação proposta por Balbo (1993):

$$N_{USACE} = 10^{\left(17{,}1373 - 19{,}6078 x \left(\frac{\sigma t}{\sigma r}\right)\right)}$$

Onde :

N: número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto (Metodologia USACE);

σt = tensão de tração na flexão limite ou admissível (kgf/cm^2)

σr = tensão de ruptura de tração na flexão do material (kgf/cm^2)

O modelo desenvolvido por Balbo (1993) para a BGTC balizou-se por ensaios dinâmicos de compressão diametral para amostras com as seguintes características: granulometria do agregado na faixa B do DER-SP; teor de cimento de 4% em peso; umidade de moldagem 1,5% abaixo da umidade ótima de compactação na energia modificada.

6. REVESTIMENTO COM POLÍMERO

Para a redução da camada asfáltica com a utilização de polímero, de acordo com a publicação da Pesquisa de Asfaltos Modificados por Polímeros, desenvolvida pela Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico do DNER (DNIT), edição de junho/1998, a espessura de concreto asfáltico com asfalto polímero pode ser avaliada a partir da expressão:

$$HCApol = HCA / \beta$$

Onde:

HCApol. – espessura de concreto asfáltico com asfalto modificado por polímero, cm;

HCA– espessura de concreto asfáltico com cimento asfáltico convencional, cm.

β – coeficiente de redução da espessura em função do tipo de subleito (recomenda 1,26 que é o coeficiente de redução para solos com grau de resiliência intermediário que apresentam comportamento regular como subleito).

Para a verificação mecanicista da estrutura do pavimento, com a redução da camada asfáltica, recomenda-se considerar apenas para deflexão na superfície do revestimento asfáltico e deformação de compressão no subleito.

7. ACOSTAMENTOS

O emprego da mesma estrutura de pavimento para a pista de rolamento e para os acostamentos tem efeitos benéficos no comportamento da estrutura de pavimento da pista de rolamento, facilitando a drenagem e o procedimento construtivo.

As camadas de reforço do subleito, sub-base e base podem ser idênticas para a pista de rolamento e para os acostamentos.

Para a escolha da camada de revestimento dos acostamentos pode-se considerar o tráfego nos acostamentos como sendo da ordem de até 5% do tráfego na pista de rolamento.

Para rodovias de tráfego pesado com número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN superior ou igual a 5×10^7, recomenda- se considerar tráfego nos acostamentos da ordem de até 10% do tráfego da pista de rolamento para a escolha da camada de revestimento dos acostamentos.

O acostamento deve sempre ter estrutura de custo mais baixo do que a da pista de rolamento, exceto em casos excepcionais, como: corredor de grandes cargas e vias de elevado volume de tráfego com picos elevados em ocasiões específicas.

8. ESTUDO DEFLECTOMÉTRICO PARA LIBERAÇÃO DE CAMADAS DO PAVIMENTO

Para a liberação das camadas do pavimento recomenda-se um estudo de deflexões recuperáveis das diversas camadas das estruturas dos pavimentos a serem implantados para a utilização como ferramenta adicional no controle tecnológico de obra.

Para a determinação dos valores deflectométricos para a aceitação das diversas camadas da estrutura do pavimento podem ser utilizados diversos programas computacionais.

9. DRENAGEM

A drenagem superficial das vias urbanas deve ser suficientemente adequada para escoar a água de forma rápida para fora da plataforma, não permitindo o acúmulo de água e, conseqüentemente, a infiltração para o interior da estrutura do pavimento.

Caso seja necessária, deve ser prevista a utilização de dispositivos de drenagem sub- superficial na estrutura de pavimento.

O lençol d'água subterrâneo deve estar rebaixado a, pelo menos, 1,5 m em relação ao greide da terraplenagem acabada.

Recomenda-se o emprego de dreno de pavimento em todos os pontos baixos e passagens de corte para aterro e vice-versa, cujas extensão e localização devem ser definidas pelo projeto de drenagem.

10. PRESSUPOSTOS DO DIMENSIONAMENTO

10.1. Drenagem

O dimensionamento parte do pressuposto que haverá sempre uma drenagem superficial adequada e que o lençol subterrâneo será rebaixado a, pelo menos, 1,50 m em relação ao greide de terraplanagem.

10.2. Compactação das Camadas de Pavimento, Camada Final de Terraplenagem e Melhoria do Subleito

O dimensionamento pressupõe, também, que sejam inteiramente satisfeitos os requisitos de compactação a seguir discriminados:

- Os revestimentos de concreto asfáltico deverão ser compactados a, no mínimo, 95% da densidade aparente do projeto;

- As bases estabilizadas granulometricamente deverão ser compactadas a, no mínimo, 100% do Proctor Intermediário, ressalvados os casos que venham a danificar as construções lindeiras, onde deverá ser avaliado;

- As camadas de reforço do pavimento e melhoria do subleito deverão ser compactadas na energia preconizada em projeto;

- Para a implantação das estruturas de pavimentos em segmentos de aterro, os últimos 60,0 cm (Camada Final de Terraplenagem) deverão ser constituídos de materiais apresentando CBR ≥ CBR de projeto e EXP ≤ 2,0% e isento de material orgânico. Esses últimos 60,0 cm do aterro deverão ser executados em três camadas de 20,0 cm, cada uma compactada, no mínimo, 100% do Proctor Normal. Quando a altura do terreno for inferior a 60,0 cm, deverá ser executado o rebaixamento do terreno natural, de forma a assegurar o mínimo de 60,0 cm de aterro com materiais de qualidade superior.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instrução de Projeto de Pavimentação (IP-DE-P00/001). São Paulo – Jan/2006

- PREFEITURA DE SÃO PAULO – Dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio (IP-04/2004). São Paulo, 2004.

- PREFEITURA DE SÃO PAULO – Dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego meio pesado, pesado, muito pesado e faixa exclusiva de ônibus (IP-05/2004). São Paulo, 2004.

- DNER-PRO 011/79 – Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis – Procedimento “B”. Rio de Janeiro, 1979. 16 p.

- DNER-PRO 269/94 – Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis – Tecnapav. Rio de Janeiro, 1994. 17 p.

- DNIT. Manual de Pavimentação – Publicação IP-719. 3a edição. Rio de Janeiro, 2006. 274 p.

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C. 1993. 593 p.

- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos.Ed. Villibor. São Paulo, 1995.

- CERATTI, J. A. P. Estudo do Comportamento à Fadiga de Solos Estabilizados com Cimento. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 1991.

- BALBO, J. T., “Estudo das Propriedades Mecânicas das Misturas de Brita e Cimento e sua Aplicação aos Pavimentos Semi-Rígidos”, Tese de Doutorado - EPUSP, São Paulo, 1993.

- DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO DNER (DNIT). Publicação da Pesquisa de Asfaltos Modificados por Polímeros, edição de junho/1998.