



ESP- 05

SUB-BASES E BASES DE MACADAME HIDRÁULICO

INTRODUÇÃO

Esta especificação de serviço define os critérios da utilização do Macadame Hidráulico em camadas de Sub-bases e Bases de Pavimentos, de obras sob a fiscalização da Prefeitura do Município de São Paulo.

1. DESCRIÇÃO

1.1. 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 de bases de Macadame Hidráulico, em conformidade com a norma apresentada a seguir e detalhes executivos contidos no projeto.

1.2. Macadame Hidráulico é a camada de base ou sub-base obtida por compressão de agregados graúdos, uniformemente distribuídos, cujos vazios são preenchidos por pó-de-pedra ou areia (material de enchimento) a princípio a seco e depois, com ajuda de água. A estabilidade da camada é obtida a partir da ação mecânica enérgica de compactação. Caso necessário este processo poderá ser repetido até atingir-se a espessura final desejada.

2. MATERIAIS

Todas as especificações de materiais e normas de ensaios, exceto as explicitadas nesta especificação devem satisfazer as preconizadas pela Prefeitura do Município de São Paulo.

2.1. Agregado Graúdo

O agregado graúdo deverá ser constituído por produtos de britagem e classificação de rocha sã, satisfazendo uma das seguintes faixas granulométricas:



ESP- 05
SUB-BASES E BASES
DE MACADAME HIDRÁULICO

PENEIRAS DE MALHAS QUADRADAS PMSP/SP EM-04/92	PORCENTAGEM, EM PESO, QUE PASSA.		
	I	II	III
100mm (4 “)	100	-	-
90mm (3 ½”)	90-100	-	-
76mm (3”)	-	100	-
64mm (2 ½”)	25-60	90-100	100
50mm (2”)	-	35-70	90-100
38mm (1 ½”)	0-15	0-15	35-70
25mm (1”)	-	-	0-15
19mm (¾”)	0-5	0-5	-
12,5mm (½”)	-	-	0-5

Além do requisito granulométrico, o agregado deverá atender as seguintes condições gerais:

- a. 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;
- b. Quando submetido à avaliação da durabilidade com solução de sulfato de sódio, em cinco ciclos (método DNER-ME 89-64), os agregados deverão apresentar perdas iguais ou inferiores a 15%;
- c. Para o agregado retido na peneira de 2,00 mm (nº10), a porcentagem de desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles (PMSP/SP ME-23/92) não deverá ser superior a 40%;
- d. O diâmetro máximo recomendado deverá estar compreendido entre 1/2 e 2/3 da espessura final de cada camada executada;
- e. A porcentagem de grãos de forma lamelar, obtidas nas amostras de ensaios não poderá ser superior a 20%, e a determinação da forma lamelar dos grãos é feita conforme a fórmula abaixo:



ESP- 05
SUB-BASES E BASES
DE MACADAME HIDRÁULICO

$$l + 1,25g \geq 6e$$

Onde:

l - maior dimensão de grão;

e - afastamento mínimo de dois planos paralelos, entre os quais pode ficar contido o grão;

g - a medida das aberturas de duas peneiras, entre as quais fica retido o grão.

2.2. Agregado para Material de Enchimento

O material de enchimento deve ser constituído pelos finos resultantes de britagem (pó-de-pedra) ou por areia, que satisfaçam às seguintes faixas granulométricas:

PENEIRAS DE MALHAS QUADRADAS PMSP/SP EM-04/92	PORCENTAGEM, EM PESO, QUE PASSA.	
	I	II
19mm (3/4 “)	100	-
12,5mm (1/2 “)	85-100	-
9,5mm (3/8 “)	-	100
4,8mm nº 4	-	85-100
0,150mm nº 100	10-30	10-30

A faixa I deverá ser utilizada para material de enchimento do agregado graúdo da faixa I (quadro acima, item 2.1). A faixa II deverá ser utilizada para material de enchimento do agregado graúdo das faixas II e III (quadro do item 2.1).

Além do requisito granulométrico, o agregado para material de enchimento deverá atender as seguintes condições gerais:

- a. Ser constituído 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;



ESP- 05
SUB-BASES E BASES
DE MACADAME HIDRÁULICO

- b.** Quando submetido à avaliação da durabilidade com solução de sulfato de sódio, em cinco ciclos (método DNER-ME 89-64), os agregados deverão apresentar perdas iguais ou inferiores a 18%;
- c.** Para o agregado retido na peneira de 2,00 mm (nº 10), a porcentagem de desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles (PMSP/SP ME-23/92) não deverá ser superior a 40%;
- d.** O equivalente a areia (DNER ME-54-63) deverá ser igual ou superior a 40%.

2.3. Agregado para Camada de Isolamento ou Bloqueio

Deverá apresentar uma das seguintes faixas granulométricas:

PENEIRAS DE MALHAS QUADRADAS PMSP/SP EM-04/92	PORCENTAGEM, EM PESO, QUE PASSA.	
	I	II
19mm (3/4 “)	100	-
12,5mm (1/2 “)	80-100	-
9,5mm (3/8 “)	70-100	-
4,8mm nº 4	45-100	100
2,0mm nº 10	25-65	55-100
0,42mm nº 40	10-30	25-100
0,074mm nº 200	0-8	0-12

Além do requisito granulométrico o material da camada de isolamento ou bloqueio deverá atender as seguintes condições gerais:

- a.** Ser constituído 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.** Quando submetido à avaliação da durabilidade com solução de sulfato de sódio, em cinco ciclos (método DNER-ME 89-64), os agregados deverão apresentar perdas iguais ou inferiores a 18%.



ESP- 05
SUB-BASES E BASES
DE MACADAME HIDRÁULICO

- c. Para o agregado retido na peneira de 2,00 mm (nº 10), a porcentagem de desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles (PMSP/SP ME-23/92) não deverá ser superior a 45%.

3. EQUIPAMENTOS

Todo o equipamento deverá ser inspecionado pela fiscalização, devendo dela receber aprovação, sem o que não será dada a autorização para o início dos serviços.

O conjunto de equipamentos básicos para a execução do macadame hidráulico compreende:

- a. Instalação de britagem próprias ou de terceiros compatível com as bitolas e as produções desejadas;
- b. Pá-Carregadeira;
- c. Caminhões basculantes;
- d. Distribuidor de agregados e/ ou motoniveladora pesada;
- e. Rolos compressores de rodas lisas, vibratórios ou estáticos;
- f. Rolo compactador pneumático de pressão variável;
- g. Caminhão tanque irrigador;
- h. Compactadores portáteis vibratórios;
- i. Equipamentos e ferramentas complementares: pás, carrinhos de mão, marretas, vassourões ou vassouras mecânicas, etc;
- j. Outros equipamentos, a critério da fiscalização, poderão ser utilizados.

4. EXECUÇÃO

4.1. Condição Física da Camada de Apoio do Macadame Hidráulico

- a. O reforço sobre o qual será executado a sub-base e base de macadame hidráulico deverá ter sido executado de acordo com as condições fixadas pela PMSP/SP ESP-02/92, no caso de reforço de solo



ESP- 05

SUB-BASES E BASES

DE MACADAME HIDRÁULICO

selecionado ou pela PMSP/SP ESP-03/92, no caso de reforço de solo brita descontínua;

b. Caso a execução da camada de macadame hidráulico não se efetue logo após a construção da camada de apoio subjacente e de modo especial, quando esta camada esteve exposta à 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, este grau 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 macadame hidráulico.

4.2. Considerações Gerais

As seguintes considerações da ordem geral são aplicáveis a execução do macadame hidráulico:

a. O confinamento lateral do macadame hidráulico é dado pela sarjeta;

b. A camada de macadame hidráulico deverá ser drenada através de um lastro sob a sarjeta. Este lastro deverá estar interligado à caixa receptora das bocas de lobo ou drenas laterais de via, afim de permitir o escoamento d'água;

c. 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;



ESP- 05 SUB-BASES E BASES DE MACADAME HIDRÁULICO

- d. Quando se desejar camadas de bases ou sub-bases de espessura superior a 12 cm, os serviços deverão ser executados em mais de uma camada.

4.3. Preparo da Superfície

Eventuais defeitos da superfície da camada subjacente deverão ser necessariamente reparados antes da execução da base ou sub-base. Essa superfície deverá estar perfeitamente limpa e desempenada antes da execução da base ou sub-base de macadame hidráulico.

4.4. Camada de Isolamento ou Bloqueio

- a. 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, passado na peneira 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 venham a contaminar a camada executada;
- b. Esta camada será executada na largura da pista, com espessura, após a compressão, de até 3 cm;
- c. O espalhamento do material de bloqueio será executado através de motoniveladora, devendo ser feita a acomodação da camada por compressão, com a utilização de rolo pneumático e estático liso, em uma ou, no máximo duas coberturas de cada equipamento.

4.5. Aplicação do Agregado Graúdo

- 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 em uma camada de espessura uniforme e homogênea, uniformemente solta. O



ESP- 05

SUB-BASES E BASES

DE MACADAME HIDRÁULICO

espalhamento será feito pelo uso de motoniveladora pesada ou distribuidor de agregados, 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.

4.6. Compressão do Agregado Graúdo

a. A compressão inicial deverá ser feita mediante emprego de rolo liso de três rodas lisas de 10 a 12 toneladas (velocidade de 30 a 40 m por minuto) ou rolo liso vibratório, aprovado pela fiscalização;

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 um bom entrosamento do agregado graúdo;

e. Após se obter a cobertura completa da área em compressão, deverá ser feita uma nova verificação do greide longitudinal e seção transversal, efetuando-se, com o próprio agregado graúdo, as correções necessárias;



ESP- 05
SUB-BASES E BASES
DE MACADAME HIDRÁULICO

- f. Em lugares inacessíveis ao equipamento de compressão ou onde seu emprego não for recomendável, a compactação requerida será feita à custa de compactadores portáteis, manuais ou mecânicos.

4.7. Operações de Enchimento e Travamento

- a. O material de enchimento, obedecendo à uma das faixas granulométricas especificadas, o mais seco possível, será espalhado manualmente através de vassouras manuais ou mecânicas, 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, durante o que deve-se continuar a compressão e forçar a sua penetração nos vazios do agregado graúdo por meio da atuação de vassouras manuais ou mecânicas;
- c. Quando não mais for possível a penetração do material de enchimento a seco, será iniciada a irrigação da camada. Simultaneamente, deve-se espalhar mais material de enchimento e prosseguir com as operações de compressão;
- d. A irrigação e a aplicação do material de enchimento deverão prosseguir até que se forme, na frente do rolo, uma pasta de material de enchimento e água;
- e. A compressão será dada como concluída quando desaparecerem as ondulações à frente do rolo, e a camada se apresentar estável e compacta;
- f. Após a compactação e as correções necessárias, sempre que possível a camada deverá ser aberta ao tráfego da obra e dos usuários, de forma controlada e direcionada, mantendo-se a superfície umedecida. Esta etapa estender-se-á por um período suficiente, de forma a garantir a verificação de eventuais problemas localizados de travamento deficiente. Se necessário, eficientes operações corretivas deverão ser aplicadas;
- g. Após a limpeza da pista, caso se trate de camada de base, será feito o umedecimento e nova rolagem de acabamento com rolo liso vibratório,



ESP- 05

SUB-BASES E BASES DE MACADAME HIDRÁULICO

preparando-se a base para sua impermeabilização através dos serviços de imprimação.

5. CONTROLE

5.1. Controle Tecnológico dos Materiais Exigidos no Projeto

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

Serão procedidos os seguintes ensaios:

- a. Um ensaio de granulometria (PMSP/SP ME-20/92) do agregado graúdo, de bloqueio e de enchimento, a cada 700 m² de pista, e no mínimo, dois ensaios por dia de trabalho;
- b. Um ensaio de abrasão Los Angeles (PMSP/SP ME-23/92) e de durabilidade (DNER-ME 89-64) do agregado graúdo, de bloqueio e de enchimento, sempre que, visualmente, se observar alterações mineralógicas na bancada de pedra em exploração, e no mínimo, um ensaio por mês;
- c. Um ensaio equivalente de areia (DNER-ME 54-63) do material de enchimento a cada 1000 m² de pista.

5.2. Controle de Execução

5.2.1 Controle Genérico

- a. A principal atividade de controle, para o serviço de macadame hidráulico, será a inspeção visual, a qual deverá ser aplicada em todas as etapas, ou seja:
 - Na bancada da pedra;
 - Nos estoques de agregados;
 - Na operação de carregamento;
 - As operações de pista (espalhamento, irrigação, compactação, acabamento e tráfego controlado);



ESP- 05

SUB-BASES E BASES

DE MACADAME HIDRÁULICO

- b.** A verificação da eficiência da compactação deverá ser feita com a colocação, à frente do rolo liso compactador, de uma pedra de tamanho razoável, avaliando-se o efeito da passagem do rolo sobre a pedra, e sobre a camada executada;
- c.** As condições de enchimento dos vazios do agregado graúdo e travamento 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 compactados mecanicamente.

5.2.2. Controle Geométrico e de Acabamento

- a.** Controle de Espessura: após a execução da camada, proceder-se-á à recolocação e ao nivelamento do eixo e dos bordos, pelo menos a cada 20 m, envolvendo no mínimo cinco pontos da seção transversal.
- b.** Controle de Acabamento da Superfície: as condições de acabamento da superfície serão apreciadas pela fiscalização, em bases visuais. O aspecto visual deverá mostrar os agregados graúdos da superfície sem finos sobre os mesmos e os finos entupindo os vazios dos graúdos

5.3. Controle de Recebimento

5.3.1. Recebimento Baseado no Controle Tecnológico

Os serviços executados serão aceitos, sob o ponto de vista tecnológico, desde que sejam atendidas as seguintes tolerâncias:

- a.** Os valores individuais obtidos nos ensaios de abrasão Los Angeles, durabilidade e equivalente de areia atendam aos limites especificados no item 2;
- b.** As granulometrias dos materiais utilizados obedeçam a uma das faixas granulométricas preconizadas.

5.3.2. Recebimento com Base no Controle de Execução Genérico

Para que o serviço seja aceito, deverão ser obedecidos os seguintes aspectos, avaliados em bases visuais, pela fiscalização:



ESP- 05
SUB-BASES E BASES
DE MACADAME HIDRÁULICO

- a.** O material pétreo a ser utilizado, observado na bancada da pedreira, deverá apresentar aspecto são e homogêneo, evitando-se o emprego de regiões alteradas ou de aspecto suspeito. Em caso de duvida, a região questionada somente será liberada à exploração se atestada a sua adequação, face aos requisitos especificados para os ensaios de abrasão Los Angeles e durabilidade;
- b.** As condições de estocagem dos agregados deverão ser consideradas satisfatórias, tendo em vista:
 - Não contaminação com materiais estranhos;
 - A adequada separação entre os depósitos de agregados correspondentes às diversas bitolas produzidas;
- c.** A operação de carregamento dos materiais estocados, pela ação de pá carregadeira, deverá ser procedida de forma criteriosa, em particular para os agregados graúdos que contenham alguma presença de finos. Com relação a este aspecto, deverão ser evitadas as zonas do depósito de agregado graúdo que contenham:
- d.** - Alta concentração de finos;
- e.** - Fragmentos lamelares ou fragmentos equigranulares de diâmetros intermediários, ambos de difícil “travamento”.
- f.** As operações de espalhamento do agregado da camada de isolamento, do agregado graúdo e do material de enchimento deverão ter sido consideradas adequadas, tendo em vista a obtenção de uma camada acabada bem desempenhada e homogênea e perfeitamente travada;
- g.** A compactação será julgada eficiente, e conseqüentemente será aceita, se com a passagem do rolo liso compactador constatar-se que não houve penetração de uma pedra de tamanho razoável, colocada sobre a camada;
- h.** Após a passagem do tráfego, de forma direcionada, a fiscalização observará as condições de enchimento dos vazios do agregado graúdo e travamento, observadas através de furos de inspeção, devendo estas



ESP- 05
SUB-BASES E BASES
DE MACADAME HIDRÁULICO

serem consideradas satisfatórias. Condiciona-se, ainda, a aceitação do serviço à não ser existência de:

- Regiões como excesso de finos à superfície;
- Áreas onde se constate a falta de entrosamento dos agregados.

5.3.3. Recebimento com Base no Controle Geométrico

O serviço executado será aceito, à luz do controle geométrico, desde que sejam atendidas as seguintes tolerâncias:

- a. Quanto à largura da plataforma, não se admitirão valores inferiores aos previstos para a camada;
- b. Quanto à espessura da camada acabada:
 - A espessura média, determinada estatisticamente, deverá situar-se no intervalo de 2 cm em relação à espessura de projeto;
 - A determinação estatística da espessura média efetua-se pela expressão:

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

Onde:

\bar{X} - média dos valores individuais

S - desvio padrão

K - coeficiente indicado na Tabela Valor do coeficiente “k” (quadro abaixo)

N - números de valores individuais

- Não serão tolerados valores individuais de espessura fora do intervalo de + 3 cm a - 3 cm, em relação à espessura de projeto;
- Em caso de aceitação, dentro das tolerâncias estabelecidas, de uma camada de macadame hidráulico com espessura média inferior à de projetor, a diferença será compensada, na camada a ser superposta;



ESP- 05

SUB-BASES E BASES

DE MACADAME HIDRÁULICO

- Em caso de aceitação de camada de macadame hidráulico, dentro das tolerâncias estabelecidas, com espessura média superior à de projeto, a diferença não será deduzida da espessura da camada a ser superposta.

Nota: no caso de obra de caráter emergencial e desde que justificado por escrito pelo Eng^o Fiscal e com a devida aprovação Superior, o Fiscal poderá receber os serviços mesmo que não atendam integralmente os requisitos exigidos para recebimento.

6. CRITÉRIO DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

6.1. Medição

A camada de Macadame Hidráulico, executada e recebida na forma descrita, será medida pelo volume de material compactado na pista, expresso em metros cúbicos, e segundo a seção transversal de projeto;

No cálculo de 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 cálculo do volume.

6.2. Pagamento

O pagamento será feito após a aceitação da medição dos serviços executados, com base no preço unitário contratual, o qual representará a compensação integral para todas as operações, 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 relacionada.



ESP- 05
SUB-BASES E BASES
DE MACADAME HIDRÁULICO

VALOR DO COEFICIENTE “K” PARA CONTROLE ESTATÍSTICO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO

N	K	N	K	N	K
3	1,05	10	0,77	30	0,66
4	0,95	12	0,75	40	0,64
5	0,89	14	0,73	50	0,63
6	0,85	16	0,71	100	0,60
7	0,82	18	0,70		0,52
8	0,80	20	0,69	---	---
9	0,78	25	0,67	---	---

Condição necessária:

$$\bar{X} - K.S \geq L$$

Onde:

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

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

N - número de elementos da amostra

X_i - valores individuais da amostra

L - valor limite especificado na amostra