

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELA VISTA DE GOIÁS

MEMORIAL DESCRITIVO

PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA

AVENIDA BELA VISTA, ROSELÂNDIA – DISTRITO DE BELA VISTA DE GOIÁS.

1. INTRODUÇÃO

O Projeto Básico de Pavimentação Urbana tem por objetivo conceber uma estrutura construída após a terraplenagem, destinada, econômica e simultaneamente em seu conjunto a:

- Resistir e distribuir ao subleito (terreno de fundação da pavimentação) os esforços verticais oriundos dos veículos;
- Melhorar as condições de rolamento quanto a economicidade, comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

Em princípio, um Pavimento é constituído por duas camadas: a BASE (sub-base, reforço) e o REVESTIMENTO.

A BASE é uma camada destinada a resistir as deformações e distribuir os esforços verticais oriundos das tensões (pressão) dos veículos e sobre a qual se constrói um revestimento.

O REVESTIMENTO é a camada, tanto quanto possível impermeável, coesa, o mais possível desempenado geometricamente, que recebe diretamente a ação de rolamento dos veículos e das intempéries (água, vento, temperatura, atrito, hidrocarbonetos, impactos mecânicos e

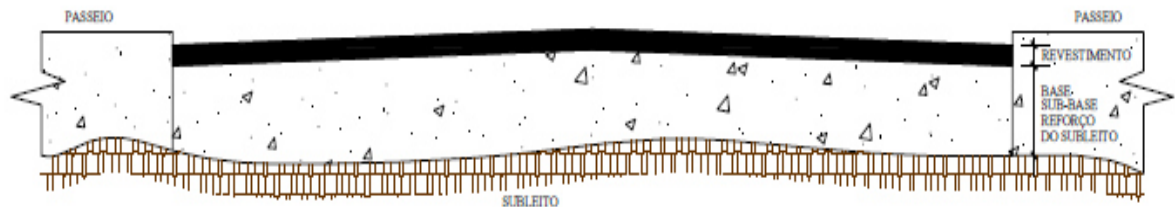
outros) e destinada a resistir os esforços tangenciais (cisalhamento, frenagem, aceleração, movimentos centrífugos etc.).

O Pavimento Projetado será do tipo flexível, o qual utiliza o ligante betuminoso na construção do revestimento.

2. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

2.1 – CONSIDERAÇÕES

Um pavimento é um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço infinito, que é o subleito.



O problema geral do dimensionamento consiste em considerar um ponto P qualquer do sistema, no subleito ou no pavimento e determinar, para este ponto, quando o sistema é solicitado por uma carga de roda “Q”, o estado de tensão, a deformação e a possibilidade de ruptura.

O sistema será considerado satisfatório, do ponto de vista do dimensionamento, quando não houver ruptura em nenhum ponto ou a deformação máxima satisfizer os limites previamente fixados, sendo as espessuras das camadas, as necessárias e suficientes.

Existem várias teorias ou modelos para o estudo do sistema de camadas múltiplas de pavimento: “Boussinesq, Busmister, Hogg, Westergaard, Peattie e Jones, Jeuffroy e

Bachelez”, (Murillo Lopes, 1980, p. 317 a 353). Mesmo assim, existe grande dificuldade para aplicar os métodos teóricos ao dimensionamento de pavimentos flexíveis.

Por este motivo, o dimensionamento de pavimentos flexíveis é feito através de métodos empíricos. Para tanto, são utilizados ensaios empíricos, definidores das características de resistência dos materiais, certos parâmetros de tráfego e uma equação ou ábaco, estabelecidos experimentalmente e ligando estas grandezas.

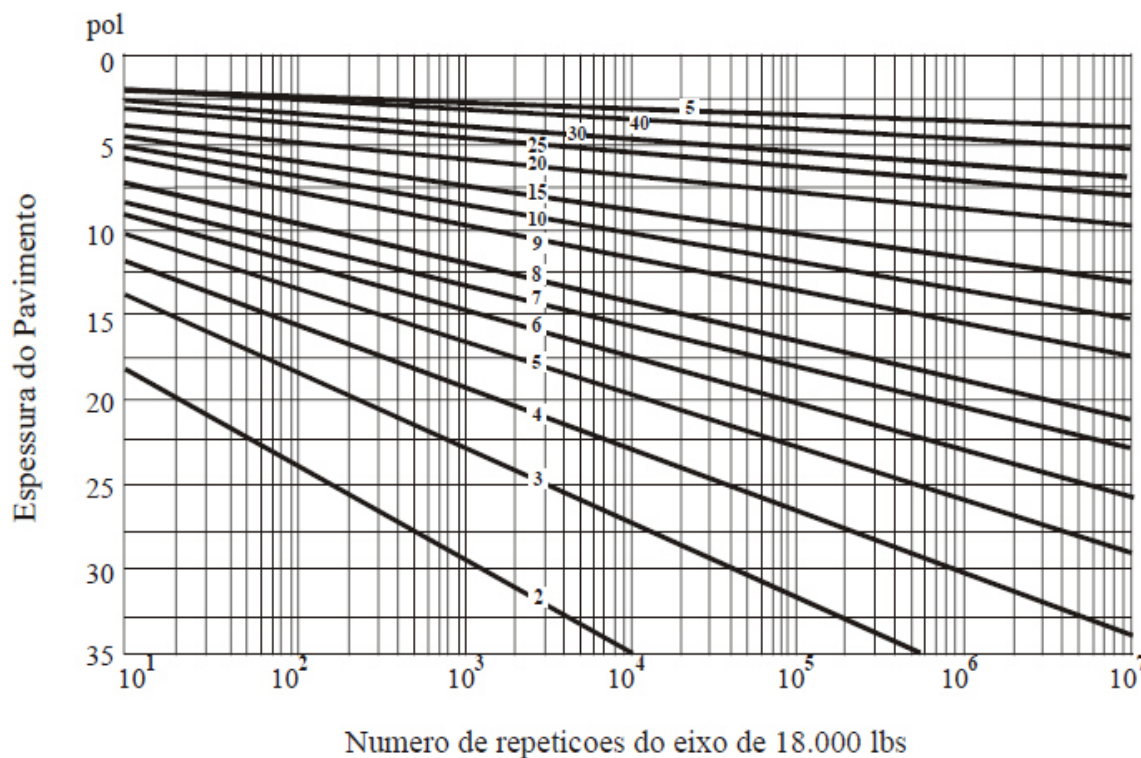
Este projeto basear-se-á no Método de Dimensionamento de Pavimento Flexível do DNER/DNIT-1966/79, que tem como base o trabalho “Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume”, da autoria de W. J. Turnbull, C. R. Foster e R.G. Ahlvin, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U. e conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHTO, com as considerações pertinentes às finalidades do Programa Asfalto Novo.

2.2. ESTUDO DO TRÁFEGO

Como preconiza o PACI, a pavimentação asfáltica urbana será executada em zonas residenciais com predominância de tráfego de veículos de passeio, quando houver.

Mesmo assim, para que se possa sistematizar um procedimento de dimensionamento de pavimento flexível e utilizar o Método do DNER-DNIT/1966/79, considerar-se-á a incidência do menor número de solicitações do eixo padrão de 8,2t, devido ao tráfego, número N, que o ábaco de dimensionamento permite, ou seja, $N = 10$.

ÁBACO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL MÉTODO DNER-1966/79

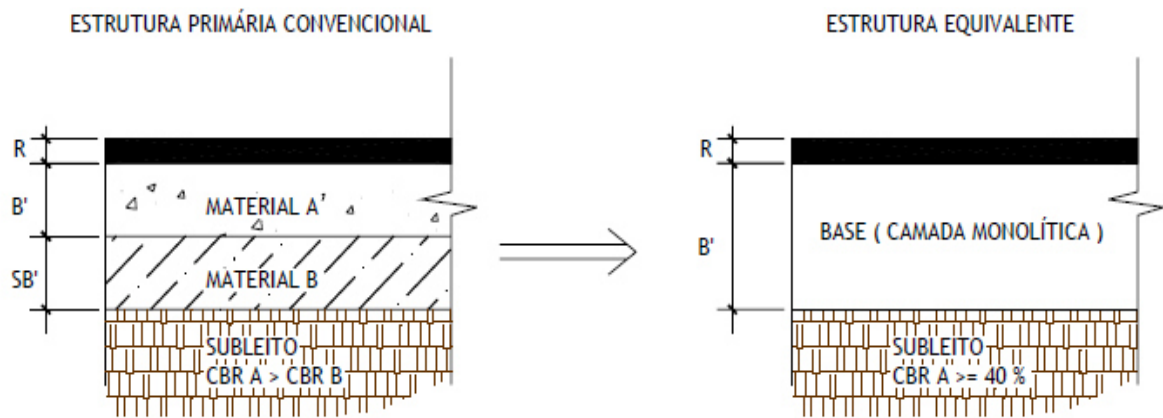


2.3. CAPACIDADE DE SUPORTE DO SUB-LEITO (CBR)

Devido ao Programa Asfalto Novo ser de caráter Estadual, com condições de atender a todos os Municípios do Estado, que por sua vez apresentam características geotécnicas diferenciadas, optou-se por adotar um valor mínimo de Índice de Suporte Califórnia – ISC/CBR do subleito, de tal forma a obter as espessuras mais delgadas de pavimento, buscando economicidade. O CBR mínimo do subleito adotado é de 8%.

2.4. DETERMINAÇÃO DO REVESTIMENTO E DA BASE

Sejam as duas estruturas de pavimento:



Uma vez definidos os parâmetros: número N e CBR do sub-leito pode-se dimensionar o pavimento com o auxílio do ábaco de dimensionamento e das inequações abaixo:

$$RKr + B'KB' \geq \square H_{20} \quad (1)$$

$$RKr + B'KB' + SB'KSB' \geq \square H_n \quad (2)$$

Onde:

R = espessura do revestimento;

Nota: Devido às condições de tráfego leve e ocasional, o projeto adotou o tratamento superficial duplo

(TSD) como revestimento. Portanto $R = 1'' = 2,5 \text{ cm}$.

B' = espessura de base;

SB' = espessura de sub-base;

Kr = coeficiente estrutural do revestimento;

Nota: Para revestimento do tipo tratamento $kr = 1,20$

KB' = coeficiente estrutural do material de base (solo granular);

KSB' = coeficiente estrutural do material de sub-base (solo granular);

Nota: Para solo granular o $KB' = KSB' = 1,00$

H₂₀ = espessura necessária acima da sub-base, admitindo seu material com

CBR = 20%;

H_n = espessura necessária acima do sub-leito com CBR = n, no caso do projeto n=8%.

Portanto em (1) tem-se:

$$RKr + B'KB' \geq H_{20} \quad (1)$$

Utilizando-se o ábaco de dimensionamento para $N = 10$ e $CBR = 20\%$, obtém-se $H_{20} = 3,5''$
 $= 3,5 \times 2,5 = 8,75 \text{ cm} \approx 9,0 \text{ cm}$.

Substituindo-se R , Kr , KB' e H_{20} em (1) tem-se:

$$2,5 \times 1,2 + B' \times 1,0 = 9,0 \text{ ----- } B' = 6,0 \text{ cm.}$$

Em (2) tem-se:

$$RKr + B'KB' + SB'KSB' \geq H_n \quad (2)$$

Utilizando-se o ábaco de dimensionamento para $N = 10$ e $CBR = 8\%$ (do Sub-leito), obtém-se
 $H_8 = 7,5'' = 7,5 \times 2,5 = 18,8 \text{ cm} \approx 19,0 \text{ cm}$.

Substituindo-se R , Kr , B' , KB' , KSB' e H_8 em (2) tem-se:

$$2,5 \times 1,2 + 6,0 \times 1,0 + SB' \times 1,0 = 19,0 \text{ ----- } SB' = 10,0 \text{ cm.}$$

Nota: Este valor de $SB'=10,0 \text{ cm}$ seria para a utilização de material com $CBR = 20\%$. Porém, como para a estrutura equivalente de pavimento o $CBR \geq 40\%$, pode-se fazer a correção da SB' , multiplicando-a pelo resultado da seguinte expressão $(20/CBR)^{(1/3)}$ (Cyro Nogueira, 1974, p.197).

Portanto:

$$SB'_{\text{corrigida}} = 10,0 \times (20/40)^{(1/3)}$$

$$SB'_{\text{corrigida}} = 7,9 \text{ cm. Assim, adota-se } SB'_{\text{corrigida}} = 8,0 \text{ cm.}$$

Considerando que na estrutura equivalente de pavimento $B + R$, a BASE (B) comportará B' e SB' da estrutura primária, desde que o material de B apresente $CBR \geq 40\%$, o resumo do dimensionamento será:

✓ **Revestimento (R) = 2,5 cm (tratamento superficial duplo – TSD)**

- ✓ **Base (B) = B' + SB' corrigida = 6,0 + 8,0 = 14,0 cm**
- ✓ **SERÁ ADOTADA BASE ESTABILIZADA DE 14 CM**
- ✓ **Espessura Total = 2,5 + 14,0 = 16,5 cm**

2.5. RECOMENDAÇÕES

a) Os materiais do sub-leito devem apresentar, impreterivelmente, as seguintes características:

- $\text{CBRSL} \geq 8,0\%$;
- $\text{Expansão} \leq 2,0\%$; e
- $\text{GC (Grau de Compactação)} \geq 100,0\%$ do Proctor Normal.

b) Os materiais de base devem apresentar, necessariamente, as seguintes características:

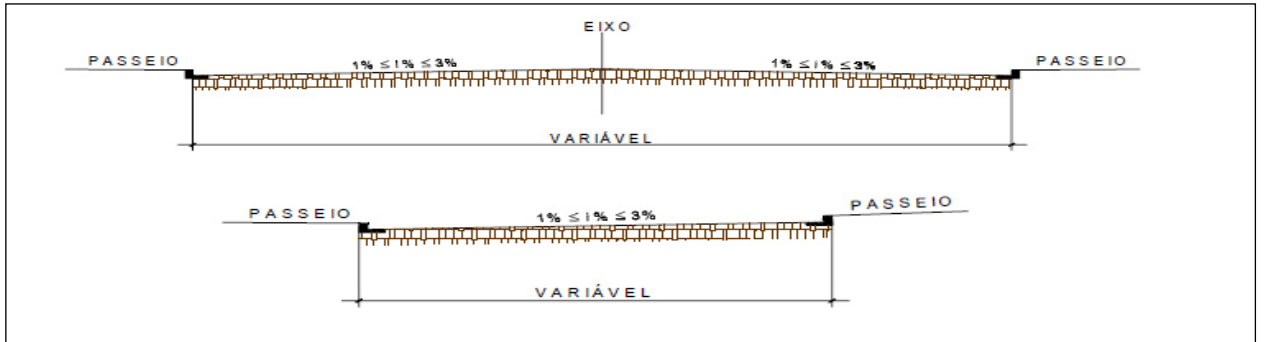
- $\text{CBRB} \geq 40,0\%$;
- $\text{Expansão} \leq 0,5\%$;
- $\text{Limite de Liquidez} \leq 30,0\%$;
- $\text{Índice de Plasticidade} \leq 9,0\%$; e
- $\text{GC (Grau de Compactação)} \geq 100,0\%$ do Proctor Intermediário.

c) O lençol d'água deve ser rebaixado pelo menos 1,50 m de profundidade em relação à superfície do pavimento.

d) O tratamento superficial duplo com capa selante deve atender às Especificações Gerais de Obras Rodoviárias da AGETOP.

e) A drenagem superficial deverá considerar uma declividade longitudinal mínima de 0,5% e 1,0% de abaulamento mínimo na plataforma acabada.

Seções Tipo Quanto à Drenagem



ESPECIFICAÇÕES DOS SERVIÇOS

1. INTRODUÇÃO

Os serviços básicos para pavimentação urbana compreendem: terraplenagem, regularização do sub-leito, compactação de base de 14 cm e capa asfáltica do tipo tratamento superficial duplo com capa selante (TSD com capa selante).

2. TERRAPLENAGEM

Os *serviços preliminares* de limpeza das vias que serão pavimentadas, uma vez definidas e delimitadas pela implantação topográfica, deverão promover a retirada da camada vegetal, de vegetações que estejam obstruindo os trabalhos, entulhos e lixos.

Os *serviços de regularização dos perfis longitudinal e transversal* das vias deverão ser executados seguindo o padrão do arruamento existente, ou seja, acompanhando preferencialmente as declividades longitudinal e transversal naturais da via, preservando o mínimo de 0,5% no sentido longitudinal e de 1% a 3% no sentido transversal, evitando assim grandes movimentos de terra ou serviços complementares, cortes, aterros, empréstimos etc.

A área mínima, na qual as referidas operações serão executadas em sua plenitude, compreenderá à largura da plataforma da via acrescida de 0,30 m para cada lado, pelo comprimento da mesma.

O controle das referidas operações será feito por apreciação visual da qualidade dos serviços, e/ou a critério da fiscalização.

Os serviços de terraplenagem só serão iniciados após a execução da drenagem profunda das vias, quando recomendada tecnicamente.

3. PAVIMENTAÇÃO

3.1 – REGULARIZAÇÃO DO SUB-LEITO

Regularização do sub-leito é a denominação tradicional para as operações (cortes e aterros até 0,20 m) necessárias à obtenção de um leito “conformado” para receber um pavimento. Cortes e aterros acima de 0,20 m são considerados serviços de terraplenagem, enquanto a regularização do subleito, que também envolve a compactação dos 0,20 m superiores do subleito, é considerada um serviço de pavimentação.

Pode acontecer, numa regularização do subleito, caso o solo seja orgânico, ou expansivo, ou de baixa capacidade de suporte, ou seja, solo de má qualidade, a necessidade de substituição da camada de solo. Sendo necessária, o solo substituto deverá ser analisado, não se admitindo ISC $\leq 8,0\%$ e expansão superior a 2%.

A execução da regularização do subleito envolve basicamente as seguintes operações: escarificação e espalhamento dos materiais, homogeneização dos materiais secos, umedecimento ou aeração e homogeneização da umidade, compactação e acabamento.

Os equipamentos a serem utilizados nestas operações são os seguintes: motoniveladora, grade de disco, caminhões “pipa” e rolos compactadores.

Ao executar a regularização e compactação do subleito, observar para não atingir as tubulações de água, esgoto, telefone e fossas, bem como os tipos de moradias para não causar danos às mesmas.

O controle geométrico da regularização deve ser o mesmo da terraplenagem, sendo a área regularizada e compactada compreendendo a largura da via acrescida de 0,30 m para cada lado pelo comprimento da mesma, observando as declividades longitudinal e transversal de cada via.

O controle tecnológico da regularização do subleito deve atender os seguintes critérios:

- a) Para cada “pano” de até 100m de comprimento, fazer um ensaio padrão de compactação com material retirado da pista, já homogeneizado. Aproximadamente no mesmo local, realizar a determinação da densidade “in situ”, calculando-se, então o Grau de Compactação - GC;
- b) O serviço será considerado aprovado desde que apresente um $GC \geq 100\%$ do Proctor Normal e umidade “in situ” variando $\pm 2\%$ da umidade ótima de laboratório.

3.2. BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE

O pavimento será executado basicamente com uma camada de 14 cm de espessura, composta de material granular devidamente analisado, não se admitindo material com $ISC < 40\%$ e expansão $\leq 0,5\%$.

Os equipamentos a serem utilizados nas operações de estabilização da base são os seguintes: motoniveladora, grade de disco, caminhões “pipa” e rolos compactadores.

A execução da estabilização da base envolve basicamente as seguintes operações: espalhamento dos materiais, homogeneização dos materiais secos, umedecimento ou aeração e homogeneização da umidade, compactação e acabamento.

Ao executar a estabilização granulométrica da base ter o cuidado de não atingir as tubulações de água, esgoto, telefone e fossas, bem como os tipos de moradias para não causar danos as mesmas.

O controle geométrico da base deve ser o mesmo do sub-leito, sendo a área regularizada e compactada compreendendo a largura da via acrescida de 0,30 m para cada lado pelo comprimento da mesma, observando as declividades longitudinal e transversal de cada via.

A espessura da camada de base compactada não deve ser inferior a 14 cm, verificando eixos e bordos.

O controle tecnológico da base deve atender os seguintes critérios:

- a) Para cada “pano” de até 100m de comprimento fazer um ensaio padrão de compactação com material retirado da pista, já homogeneizado. Aproximadamente no mesmo local realizar a determinação da densidade “in situ”, calculando-se, então o Grau de Compactação - GC;
- b) O serviço será considerado aprovado desde que apresente um $GC \geq \square 100\%$ do Proctor Intermediário e umidade “in situ” variando $\pm \square 2\%$ da umidade ótima de laboratório.

3.3 – IMPRIMAÇÃO

Imprimação é a operação que consiste na impregnação com asfalto da parte superior de uma camada de base de solo granular já compactada, através da penetração de asfalto diluído aplicado em sua superfície, objetivando conferir:

- a) Uma certa coesão na parte superior da camada de solo granular, possibilitando sua aderência com o revestimento asfáltico;
- b) Um certo grau de impermeabilidade que, aliado com a coesão propiciada, possibilita a circulação dos veículos da obra ou mesmo do tráfego existente, sob as ações de intempéries, sem causar danos à camada imprimada;
- c) Garantir a necessária aderência da base granular com o revestimento tipo asfáltico, tratamento ou mistura.

O ligante asfáltico indicado, de um modo geral, para a imprimação é o asfalto diluído do tipo CM-30, admitindo-se o tipo CM-70 somente em camadas de alta permeabilidade, com consentimento escrito da fiscalização.

A taxa de asfalto diluído a ser utilizada é de 0,8 à 1,2 litros/m², devendo ser determinada experimentalmente no canteiro da obra a taxa ideal, observando durante 24 horas aquela taxa que é absorvida pela camada sem deixar excesso na superfície.

Os equipamentos utilizados para a execução da imprimação são os seguintes: vassoura mecânica rotativa, podendo ser manual esta operação; caminhão espargidor e espargidor manual para distribuição homogênea do ligante.

A execução da imprimação deve atender os seguintes procedimentos:

- a) Após a perfeita conformação geométrica da camada granular, procede-se a varredura da superfície, de modo a eliminar o pó e o material solto existente;
- b) Proceder o banho com o asfalto diluído, na taxa e temperatura compatíveis com seu tipo, de maneira mais uniforme possível;
- c) Deve-se imprimir a pista inteira em um mesmo turno de trabalho e deixá-la fechada para o trânsito;
- d) A fim de se evitar a superposição, ou excesso, nos pontos inicial e final das aplicações, deve-se colocar faixas de papel transversalmente, na pista, de modo que o início e o término da aplicação do material asfáltico situem-se sobre essas faixas, as quais serão retiradas a seguir. Qualquer falha na aplicação do ligante asfáltico deve ser imediatamente corrigida.

O controle tecnológico da taxa de ligante aplicada na camada de base deverá ser verificada a cada “pano” de 100 m de comprimento, correspondente ao eixo longitudinal do caminhão.

3.4 – REVESTIMENTO – TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO COM CAPA SELANTE

3.4.1 – Conceitos Básicos

3.4.1.1 – Tratamento Superficial Simples - (TSS) é um revestimento asfáltico sobre uma base imprimada constituído essencialmente pela sobreposição de uma camada de agregado uniformemente distribuído sobre um banho de ligante asfáltico espargido. O envolvimento parcial do agregado pelo ligante betuminoso processa-se por penetração invertida, originada pela ascensão do ligante sob a ação de enérgica compressão.

3.4.1.2 – Tratamento Superficial Duplo – (TSD) pode ser visto como um Tratamento Superficial Simples – TSS de agregado D1/d1 coberto com outro Tratamento Superficial Simples – TSS de agregado D2/d2, onde D1 e D2 são os diâmetros máximos e d1 e d2 são os diâmetros mínimos das duas faixas granulométricas de agregados que o compõe.

3.4.1.3 – Capa Selante é uma camada de agregado miúdo (areia natural ou areia artificial – pó-de-pedra) uniformemente distribuído sobre um banho de ligante betuminoso diluído, objetivando a selagem da superfície revestida, constituindo-se numa terceira camada do tratamento superficial.

Nota: *Para a execução do Tratamento Superficial, a base deve apresentar a necessária resistência à penetração das partículas de agregado e uma superfície asfáltica (imprimada ou com pintura de ligação) sem falhas e bem limpa.*

3.4.2 – Materiais

3.4.2.1 – Agregado

- ✓ Será constituído de pedra britada, cascalho ou seixo rolado, britados, ou agregados artificiais indicados no projeto, como escória britada, argila expandida etc.;
- ✓ O agregado, somente de um tipo, deve possuir partículas limpas, duras, isentas de cobertura e torrões de argila, qualidades essas avaliadas por inspeção visual;
- ✓ O desgaste por abrasão Los Angeles (determinado pelo Método DNER-ME-35/64) não deve ser superior a 40%. Quando não houver, na região, materiais com esta qualidade, admite-se o emprego de agregados com até 50% de desgaste;

- ✓ A forma deve ser tal que o índice de forma (DNER-ME-86/64) não deve ser inferior a 0,5;
- ✓ A granulometria do agregado deve obedecer à inequação $d \geq \square 0,5D$, onde D é a malha da peneira que passa 100% do material e d é a da peneira que passa 0%, ou seja, retém todo material;
- ✓ Para o estabelecimento da classe granulométrica do agregado das camadas de tratamento superficial, além da inequação acima, deve-se ter: $D \leq \square 1 \frac{1}{4}"$ (31,8 mm) e $d \geq \square \frac{3}{16}"$ (4,8 mm);
- ✓ Para a relação entre diâmetros de agregado das duas camadas tem-se usualmente a regra $d1 = D2$, conhecida às vezes como composição de classes granulométricas contínuas, como por exemplo:

Classes Granulométricas Contínuas		
	1ª Camada	2ª Camada
I	1" - ½" (25 - 12,5 mm)	½" - ¼" (12,5 - 6,3 mm)
II	¾" - 3/8" (19 - 10 mm)	3/8" - 3/16" (10 - 4,8 mm)
III	1 1/4" - 5/8" (31,8 - 16 mm)	5/8" - 5/16"(16 - 8 mm)

Nota: As classes ou faixas granulométricas que devem ser adotadas para o tratamento superficial duplo, são as indicadas acima.

- ✓ Uma pequena porosidade é benéfica, pois favorece a adesividade passiva. Entretanto, caso se desconfie de uma alta porosidade (maior que 1,0% de absorção, calculada com os dados do DNER-ME-81/64: $a = 100(Ph - Ps)/Ps$ e se essa for confirmada), deve-se impedir o uso do agregado;
- ✓ A adesividade é uma propriedade do par agregado/ligante e deve ser determinada com o ligante que realmente será usado. Deve-se determinar a adesividade com o CAP-7 (DNER-ME-79/63; se ela for insatisfatória deve-se usar um “dope” , na proporção mínima de 0,5% e máxima de 1,0%, em relação ao peso do CAP, repetindo-se o ensaio até encontrar um “dope” que, no intervalo de % acima, apresente satisfatório.

3.4.2.2 – Ligante betuminoso

A emulsão asfáltica catiônica RR – 2C, à base de CAP – 50/60, é o ligante ideal para os tratamentos superficiais, apresentando ótima adesividade ativa e passiva com qualquer tipo de agregado, enquanto o CAP-7 (CAP-150/200) deve ser necessariamente “dopado”, com pelo menos 0,5% (mínimo para uma boa homogeneização) de um melhorador de adesividade (“dope”) eficaz, para uso com agregados eletronegativos (granito, diorito, gnaisse, arenito, quartzito etc.) A RR-2C para se situar na faixa de 20 – 60 Saybolt-Furol (viscosidade) necessita apenas de um ligeiro aquecimento, da ordem de 60°C. O CAP-50/60 emulsificado em temperaturas bem acima de 177°C, pode, após o espargimento, esperar muito mais tempo pelo espalhamento do agregado, pois a ruptura da emulsão – separação da água do asfalto - se dá devido à reação com o agregado. Após a ruptura rápida no contato com o agregado, a água remanescente garante uma ótima trabalhabilidade na fase da compressão do agregado (“rolagem”). Só é conveniente a abertura ao tráfego após cerca de 48 horas, quando toda a água evaporou e o CAP-50/60 atinge sua consistência definitiva. Com o CAP-7 (CAP-150/200) basta esperar que o mesmo volte à temperatura ambiente, exigindo-se o controle de velocidade do tráfego usuário – $V_{m\acute{a}x} = 40 \text{ Km/h}$. Essa é a única vantagem, aliás, diminuta, que o CAP-7 apresenta sobre a RR-2C.

Portanto, os ligantes asfálticos indicados para Tratamentos Superficiais passam a ser apenas: CAP-7 ou CAP-150/200 e a RR-2C (emulsificada com o CAP- 50/60).

Os ligantes betuminosos devem atender às especificações do Instituto Brasileiro do Petróleo – IBP quanto à viscosidade, peneiramento, teor de resíduo, ponto de fulgor etc.

3.4.2.3 – Dosagem do agregado e do ligante asfáltico

A “teoria” da dosagem dos Tratamentos Superficiais foi estabelecida originalmente em 1934 pelo Engenheiro neozelandês HANSON, que estabeleceu os seguintes princípios:

1. O agregado a ser usado em cada camada deve ser do tipo “uma só dimensão”;

2. Após seu espalhamento na pista o agregado possui uma porcentagem de vazios de 50%;
3. Na compressão, os agregados se orientam apoiando em sua “maior dimensão” ficando com a “menor dimensão” na posição vertical, reduzindo-se a porcentagem de vazios para 20% (a espessura da camada após a compressão é igual à média das “menores dimensões” das partículas do agregado);
4. Para fixar o agregado, os vazios finais (20%) devem ser preenchidos, de 50 a 70% com o ligante asfáltico, devendo o agregado ficar acima do ligante de 2,8 a 4,8 mm (3,8 mm em média) para se garantir uma superfície rugosa.

Com base na teoria de Hanson, pode-se estabelecer fórmulas que, com pequenos ajustamentos práticos, dão valores bem aproximados para as taxas de agregado e de ligante betuminoso, para as condições médias usuais. Essas taxas devem ser sempre testadas com experiências em verdadeira grandeza.

Sendo assim, tem-se as seguintes fórmulas práticas para as taxas de agregado “a espalhar” Tag, de CAP-7 (CAP-150/200) TCAP e de Emulsão Asfáltica RR-2C TEA , em litro/m², considerando-se um melhor aproveitamento da EA em relação ao CAP de 6% no TSS e de 10% no TSD:

$$\mathbf{Tag = K.(D + d)/2 (1)}$$

Onde:

Tag = taxa de agregado a espalhar em litro/m²

D e d = diâmetro superior e inferior, em mm, da faixa granulométrica

K = 0,90 se $d \geq 5/8''$ (16 mm)

K = 0,93 se $5/8'' < d < 3/8''$ (10 mm)

K = 1,00 se $d < 3/8''$ (10 mm)

Portanto:

$$\mathbf{TCAP = Tag/12 (2)}$$

$$\mathbf{TEA = 0,94. TCAP /0,67 - TSS (3)}$$

$$\mathbf{TEA = 0,90. TCAP /0,67 - TSD (4)}$$

A regra de ouro para dosagem de um TSD continua sendo: o “máximo de ligante compatível com os diversos fatores” (tráfego, estado da superfície, forma do agregado e clima). A taxa ideal é aquela que provoca uma exsudação incipiente (após os primeiros meses de tráfego), pois o ligante asfáltico é o principal responsável pela vida do Tratamento.

No estágio atual de fabricação de asfaltos no Brasil, o ligante “por excelência” para os Tratamentos Superficiais é, sem dúvida, a Emulsão Asfáltica Catiônica de Ruptura Rápida – RR-2C (com 67% de CAP-50/60, em peso, ou volume, desde que a densidade do CAP seja praticamente igual à da água), apresentando-se o CAP-7 (CAP-150/200) como uma alternativa.

Importante notar que há um melhor aproveitamento do CAP emulsificado, devido à sua menor viscosidade, em relação ao CAP aquecido que resfria violentamente ao ser espargido na pista. No TSS – Tratamento Superficial Simples esse melhor aproveitamento é da ordem de 6%, sendo maior no TSD – Tratamento Superficial Duplo, da ordem de 10%, devido ao “2º banho de emulsão” sobre a “1ª camada de agregado” ter um maior rendimento que o correspondente “2º banho de CAP”.

Assim, se T_{CAP} é a taxa de CAP-7 (CAP-150/200), a T_{EA} taxa de RR-2C (com 67% de CAP residual) correspondente será de :

$$\mathbf{TEA = 0,94.(TCAP/0,67) \text{ para o TSS, e}}$$

$$\mathbf{TEA = 0,90. TCAP /0,67 \text{ para o TSD}}$$

Logo, as dosagens de agregado e de ligante para o Tratamento Superficial Duplo – TSD é geralmente feita como sequência de dois TSS. Assim, pode-se usar como indicação para os estudos experimentais os mesmos procedimentos referente ao TSS.

Por exemplo, seja a classe granulométrica I do TSD:

Classe I	Tag (l/m ²)	T _{CAP} (l/m ²)
1" - 1/2" (25 - 12,5) (1ª camada)	17,44	1,45
1/2" - 1/4" (12,5 - 6,3) (2ª camada)	9,4	0,78

Onde o total de T_{CAP} = 2,23 l/m²

Entretanto, quando se trabalha com Emulsão Asfáltica, para se tirar partido de sua maior fluidez, aumenta-se a taxa do 2º banho e diminui-se a mesma quantidade do 1º banho. No Exemplo dado, tem-se:

$$1^\circ \text{ banho} + 2^\circ \text{ banho} = \text{TCAP} = 2,23 \text{ l/m}^2 \quad \square \square \text{TEA} = 0,90. \text{TCAP}/0,67 = 3,00 \text{ l/m}^2.$$

Para saber qual a taxa de cada banho, toma-se geralmente o 1º banho de EA como 42% do total e o 2º banho de EA como 48%. Assim, tem-se no exemplo:

$$1^\circ \text{ banho} \quad \square \square \text{TEA} = 0,42. (3,00 \text{ l/m}^2) = 1,26 \text{ l/m}^2$$

$$2^\circ \text{ banho} \quad \square \square \text{TEA} = 0,58. (3,00 \text{ l/m}^2) = 1,74 \text{ l/m}^2$$

$$\text{Total} = 3,00 \text{ l/m}^2$$

Dá-se a seguir, de acordo com a experiência brasileira, *como uma orientação para os estudos experimentais*, as taxas de Agregado, CAP-7 e RR-2C, em condições não extremas de tráfego, clima, forma do agregado e estado da superfície a tratar, para as 3 combinações das classes granulométricas I, II e III:

Taxas Estimadas de Agregado e Ligante Betuminoso (CAP-7 e RR-2C) (litro/m ²)				
Classes Granulométricas		Agregado a Espalhar	CAP-7	RR-2C
I	1" - 1/2" (1ª camada)	16 - 18	1,4 - 1,6	1,2 - 1,4
	1/2" - 1/4" (2ª camada)	8 - 10	0,7 - 0,9	1,7 - 1,9
II	3/4" - 3/8" (1ª camada)	12 - 14	1,0 - 1,2	0,9 - 1,1
	3/8" - 3/16" (2ª camada)	6 - 8	0,5 - 0,7	1,3 - 1,5
III	1 1/4" - 5/8" (1ª camada)	20 - 22	1,7 - 1,9	1,5 - 1,7
	5/8" - 5/16" (2ª camada)	11 - 13	0,9 - 1,1	2,1 - 2,3

Taxas Estimadas de Agregado e Ligante Betuminoso (RR-2C) (litro/m²) para a Capa Selante			
Classe Granulométrica		Agregado a Espalhar	RR-2C diluída em 50% de água
única	4,8 - 0,075 mm	4 - 6	0,9 - 1,1

3.4.3 – Equipamento

- Para a execução do TSD com capa selante são necessários os seguintes equipamentos: trator de pneus, vassouras mecânicas e manuais, caminhões espargidores e espargidor de operação manual, distribuidores de agregados, rolos compactadores lisos e de pneus;
- Todo equipamento deverá estar em perfeitas condições de uso, sendo a quantidade condicionada ao tamanho da obra.

3.4.4 – Execução

- A execução do Tratamento Superficial Duplo – TSD com capa selante envolve as seguintes operações:
 1. Limpeza da superfície adjacente (imprimada ou com pintura de ligação);
 2. 1º espargimento do ligante asfáltico (1º banho);
 3. 1ª distribuição dos agregados (1ª camada);
 4. Compressão da 1ª camada;
 5. 2º espargimento do ligante asfáltico (2º banho);
 6. Compressão da 2ª camada;
 7. 3º espargimento do ligante asfáltico (da capa selante);
 8. 3ª distribuição dos agregados (da capa selante);
 9. Compressão da capa selante;
 10. Eliminação dos rejeitos, e
 11. Liberação ao tráfego.

LIMPEZA DA SUPERFÍCIE

- A superfície da camada subjacente deve se apresentar completamente limpa isenta de pó, poeira ou outros elementos. A operação de limpeza pode-se processar por

equipamentos mecânicos (vassouras rotativas ou jatos de ar comprimido) ou, em circunstâncias especiais, mesmo por varredura manual;

ESPARGIMENTO DO MATERIAL ASFÁLTICO

- Procedida à limpeza, o espargimento do ligante asfáltico só deverá ser processado se as condições atmosféricas forem propícias. Recomenda-se pois, não iniciar os trabalhos antes do nascer do sol, sendo proibido a operação quando:
 1. a temperatura ambiente for inferior a 12°C para os CAPs e a 9°C para as EA;
 2. em dias de chuva ou sob superfícies molhadas; se o ligante for emulsão, admite-se a execução desde que a camada subjacente não apresente encharcada.
- Quando de trabalho em temperaturas excessivamente elevadas, cuidados devem ser tomados se verificar a tendência de os agregados, aquecidos pelo sol, aderirem aos pneus dos rolos e dos veículos;
- A temperatura de aplicação do ligante asfáltico deve estar compreendida entre 177°C a 135°C para o CAP-7 (CAP-150/200) e no caso da RR-2C (emulsão) entre 80°C e 50°C;
- Os materiais asfálticos deverão ser aplicados de uma só vez em toda a largura a ser trabalhada e o espargidor, ajustado e operado de modo a distribuir o material uniformemente, pois depósitos excessivos de material asfáltico devem ser prontamente eliminados;

DISTRIBUIÇÃO DE AGREGADOS

- A distribuição de agregados deve seguir de perto a operação de espargimento do ligante betuminoso. Um espaçamento da ordem de 50m é razoável, devendose ter em conta as seguintes regras práticas:
 1. a uma mesma temperatura, quanto maior a viscosidade do ligante a empregar, tanto menor deverá ser o espaçamento;
 2. a uma mesma viscosidade do ligante a empregar, quanto menor a temperatura ambiente, tanto menor deverá ser o espaçamento.

- A operação de espalhamento deverá ser realizada pelo equipamento especificado e, quando necessário, para garantir uma cobertura uniforme, complementada com processo manual adequado. Excessos de agregado devem ser removidos antes da compressão.

COMPRESSÃO DOS AGREGADOS

- Os agregados, após espalhamento, deverão ser comprimidos o mais rápido possível. Nos trechos em tangente, a compressão deve-se iniciar pelos bordos e progredir para o eixo e, nas curvas, deverá progredir sempre do bordo mais baixo para o bordo mais alto;
- O número de passadas do rolo compressor deve ser no mínimo 3, sendo que cada passagem deverá ser recoberta, na vez subsequente, em pelo menos a metade da largura do rolo; acredita-se que a compressão total se processa ao cabo de um número máximo de 5 coberturas (número de passadas no mesmo ponto);
- A primeira camada deverá receber individualmente apenas uma fraca compressão, procedimento este que faculta corrigir eventuais faltas e/ou excessos. A seguir, executa-se a camada subsequente, analogamente à primeira, procedendo-se contudo a compressão nos moldes exigidos;
- É fundamental que a primeira rolagem se processe imediatamente após a distribuição dos agregados, compondo a integração do comboio de execução (espargidor de ligante – distribuidor de agregados – rolos de compressão) a ser disposto seqüencialmente e de forma igualmente espaçada. As passadas subsequentes poderão ser efetuadas com maior intervalo de tempo.

LIBERAÇÃO AO TRÁFEGO

- Cimento Asfáltico: a liberação pode-se processar após o resfriamento total do ligante, exigindo-se o controle de velocidade do tráfego usuário – velocidade máxima de 40 km/h.
- Emulsão Asfáltica: o tráfego só deverá ser liberado após se assegurar o desenvolvimento completo da adesividade passiva (resistência ao arrancamento), propriedade que nesta alternativa requer tempos maiores; esta avaliação deve ser feita no começo da obra, estabelecendo-se, para orientação inicial, um repouso da ordem de 48 horas, o qual poderá ser alargado ou reduzido conforme as constatações.

Nota: A capa selante será executada conforme procedimentos das camadas do tratamento superficial.

3.4.5 – Controle Tecnológico

EMULSÃO ASFÁLTICA

- Em todo carregamento de emulsão que chegar à obra serão realizados os seguintes ensaios:
 1. Viscosidade Saybolt-Furol (Método P-MB-581);
 2. Peneiração (Método P-MB-609);
 3. Teor de Resíduo (% de CAP residual) – Método Expedito.

Nota: Os resultados dos ensaios devem corresponder aos constantes quando do carregamento da emulsão no fabricante, atendendo às especificações do IBP-Instituto Brasileiro do Petróleo.

AGREGADOS

- Antes do início da britagem, caso de ocorrência de material pétreo não explorada, deverão ser confirmados os valores de absorção, de abrasão Los Angeles e, se for o caso, de durabilidade, através de ensaios de 3 amostras estrategicamente coletadas, para posterior utilização da brita;
- Os agregados deverão enquadrar-se nas classes granulométricas especificadas anteriormente, apresentando boa adesividade ao ligante betuminoso e desgaste abrasão até 50%. Deverão também estar desprovidos de pó, senão deverão ser obrigatoriamente lavados quando da utilização;
- Atendidas as condições anteriores, para cada 30 m³ de agregado estocado será retirada aleatoriamente uma amostra para o ensaio de:
 1. Granulometria para verificação da classe granulométrica;
- Quando houver mudança de fonte de agregado, todas as características citadas anteriormente deverão ser checadas.
- O par agregado/ligante deverá atender à viscosidade satisfatória para a execução do TSD.

TAXAS DO LIGANTE E DO AGREGADO

- Para cada “pano” de 100 m de comprimento, as taxas deverão ser determinadas pelo tradicional processo da bandeja, pesada antes e depois do espargimento de ligante, e do espalhamento do agregado. Como a dosagem é sempre feita em base volumétrica deve-se determinar a massa específica do material. Para o ligante (CAP ou Emulsão) pode-se considerar $d(\text{massa específica}) = 1,0 \text{ kg/litro}$, e para os agregados usar uma caixa de madeira com dimensões internas aproximadamente de $0,30 \times 0,30 \times 0,20 \text{ m}$, tendo-se então: $d = (P2 - P1)/V$, onde d é a densidade solta, $P2$ – massa do (agregado + caixa), com a caixa cheia de partículas arrumadas a mão, e rasada o melhor possível, $P1$ é a massa da caixa vazia e V o volume da mesma calculado a base de régua. O valor d adotado é a média aritmética de pelo menos 9 resultados para a classe granulométrica em questão.