



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

STT-107 – PROJETO E CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS

- Revestimentos Asfálticos
- Misturas betuminosas densas – camada de rolamento de concreto betuminoso usinados a quente.
- Método de dosagem e misturas betuminosas densas usinadas a quente.

DOUGLAS FADUL VILLIBOR

SÃO CARLOS
2021

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE VIAS DE TRANSPORTE E TOPOGRAFIA - STT

NOTAS DE AULA

STT-107 - PROJETO E CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS

- REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS - Con
- MISTURAS BETUMINOSAS DENSAS - CAMADA DE ROLAMENTO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADOS À QUENTE.
- MÉTODO DE DOSAGEM E MISTURAS BETUMINOSAS DENSAS USINADAS À QUENTE.

- Prof. Douglas Fadul Villibor



REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O revestimento asfáltico é a camada mais superficial do Pavimento sendo também a mais delgada. É constituído de ligante betuminoso e agregados. Em termos econômicos é a camada mais cara do Pavimento. Tem a função de suportar e transmitir as camadas subjacentes do Pavimento os esforços verticais e tangencias provenientes dos veículos, nas condições climáticas mais adversas, além de evitar o mais possível a penetração de água no interior do Pavimento.

Características de um bom revestimento:

- Superfície confortável e não deslizante;
- Resistência aos esforços:
 - a) - horizontais evitando os problemas de desgaste, arrancamento do agregado.
 - b) - verticais evitando ondulações e deformações devido a problemas de estabilidade.
- Flexibilidade suficiente para acompanhar a deflexão do movimento sem fissuras.
- Durabilidade
- Impermeabilidade suficiente para evitar a infiltração de água nas camadas do Pavimento em quantidade indesejável.

Os revestimentos betuminosos são usados para camadas de pavimento ou de recapeamento e podem ser classificados em dois grandes grupos a saber:

- Revestimento por penetração;
- Revestimentos usinados;

O momento de se recapear um pavimento até pouco tempo era decidido por avaliações tendo um caráter muito objetivo de-

pendendo unicamente dos responsáveis por essa avaliação e sem ter medidas quantitativas do estado do pavimento.

Com os conceitos introduzidos pela pista experimental da AASHO ROAD TEST pode-se medir o estado do pavimento a ser recapeado ou reconstituído pelo Índice de Serventia P.S.I. (Present Serviceability Index) que é seu número variando de 0 (destruído) a 5 (perfeitas condições) e obtido através de medidas de deformações e trincas no revestimento.

Após a construção o Pavimento deverá apresentar um índice de serventia próximo 5, com a utilização do mesmo, esse índice vai diminuindo até que se aproximar do valor 2,5, aí deverá receber um recapeamento de vulto para voltar a um índice de serventia satisfatório. Se na época oportuna não se executar esse recapeamento o padrão de trincamento do revestimento vai se acelerando com tendência a um aumento do número e dimensões das trincas no revestimento e permitindo a entrada de uma grande quantidade de água no seu interior, tendo como consequência um aumento na velocidade de exidação do material betuminoso da camada de rolamento, acelerando sua destruição além de prejudicar as camadas inferiores do pavimento pela alteração das condições de umidade devido à infiltração da água nas mesmas. Nesse caso um simples recapeamento está fadado a insucesso sendo necessário um reforçado Pavimento para elevar seu índice de serventia à valores admissíveis. (P.S.I. \cong 4).

O tipo de revestimento a ser utilizado e sua espessura, podem ser obtidos pelos métodos de Dimensionamento de Pavimentos.

O método de dimensionamento do DNER de 1966 vigente até hoje por exemplo recomenda a utilização de tratamentos superficiais invertidos para um número de solicitações do eixo simples pa-

drão 8,2 t inferior a 10^6 durante a vida de projeto e com espessura mínima de 2,5 cm enquanto que o DER-SP admite a utilização de tratamento superficiais duplos até com espessura de 1,5 cm.

Para solicitações superior a 10^6 o DNER propõe o uso de camadas de rolamento usinadas e com espessura variável em função do número de solicitações durante a vida de projeto do revestimento.

II - DOSAGEM

Os agregados e o material betuminoso são os componentes de uma mistura betuminosa e sua dosagem é a escolha e proporções relativas desses componentes.

Serão desenvolvidos os métodos de dosagens para revestimento de tratamentos superficiais e usinados de misturas betuminosas densas à quente tipo Concreto Asfáltico e Rolled Asphalt.

1 - DOSAGEM DE TRATAMENTO SUPERFICIAIS INVERTIDOS

Consiste na aplicação de ligante betuminoso sobre a superfície a revestir seguida da cobertura de agregado com dimensões apropriadas. De acordo com o número de aplicação de ligante e agregado o tratamento poderia ser classificado em simples, duplo ou triplo.

Nesse tratamento superficial o ligante penetra no agregado, pela parte inferior do mesmo, daí o nome de penetração invertida e o betume mais utilizado é do tipo cimento asfáltico.

Quando se utiliza emulsões asfálticas o tratamento superficial é dito direto pois o material betuminoso é aplicado sobre o agregado.

1.1 - MATERIAIS UTILIZADOS

a) - ligante betuminoso:

b) - agregado mineral

a) - Ligante Betuminoso - o mais utilizado entre nós é o asfalto de Petróleo. O ligante tem a função aglutinante fixando o agregado através de uma elevada viscosidade e uma boa adesividade com agregado e impermeabilizar o Pavimento.

Tipos de Asfalto de Petróleo:-

Em Pavimentação utilizamos os seguintes:

a.1) - cimentos asfálticos

a.2) - asfaltos diluídos

a.3) - emulsões asfálticas

a.1-) Cimento Asfáltico: são preparados para apresentar qualidades e consistências próprias para sua utilização em Pavimentos.

Possue propriedades aglutinantes e impermeabilizante além de apre-
sar entre outras as características de flexibilidade, durabilidade.

Classificam-se de acordo com sua consistência medida pela penetração, em décimos de milímetros, de uma agulha padrão colocada verticalmente que penetra no asfalto sob determinadas condições de cargas - (100 g) tempo (5 seg) e temperatura (25 C).

De acordo com a Especificação brasileira IBP/ABNT - EB - 78 os cimentos asfálticos designados com o símbolo (CAP) são classificados nos seguintes tipos:- 50-60, 85-100, 100-120, 150-200

a.2-) Asfaltos Diluídos: resultam da diluição do cimento asfáltico por destilados do petróleo. São também conhecidos como asfaltos recortados ou "CUT-BACKS".

Os diluentes utilizados funcionam apenas como veículos, resultando produtos menos viscosos, que podem ser aplicados a temperaturas baixas (50 C).

Sua classificação está ligada ao tempo de cura (evaporação do diluente).

CR - Asfaltos diluídos de cura rápida.

CM - Asfaltos diluídos de cura média.

Os diluentes mais utilizados são respectivamente a gasolina e o querosene.

De acordo com as especificações Brasileiras IBP/ABNT-P-EB - 651 e 652 os asfaltos diluídos são classificados nos seguintes tipos:- CR-70, CR-250, CR-800, CR-3000, CM-30, CM-70, CM-250, CM-800, CM-3000.

Os números indica a viscosidade cinemática (ensaio padronizado) média de cada tipo.

a.3-) Emulsões Asfálticas: são dispersões de ligante asfáltico em fase aquosa, com estabilidade variável. A quantidade de emulsificante utilizados varia, de 0,2% a 1% enquanto que a quantidade de asfalto é da ordem de 60 a 70%.

A emulsão antes da ruptura é marrom e após é preta. Podem ser classificadas quanto ao tipo de carga da partícula em catiônicas, aniônicas, bi-iônicas e não iônicas. Quanto ao tempo de ruptura podem ser: ruptura rápida (RR), média (RM) e lenta (RL).

Os tipos mais usados são as catiônicas:-

RR-1C, RR-2C, RM-1C, RM-2C, RL-1C.

Escolha do ligante para fins de pavimentação

Devem ser levados em conta, as condições climáticas, tráfego, tipo de superfície sobre o qual será aplicado e característica do agregado. Recomendações práticas:-

- Para uma determinada taxa de aplicação o ligante escolhido deve ter

uma viscosidade tal que em sua aplicação não ocorra escoamento para os bordos e nem provoque um espalhamento irregular.

- O ligante deve ser tanto mais viscoso quanto maior quando for o agregado, quanto mais intenso o tráfego e quanto mais quente for o clima. (Em tratamentos triplo deverá ser C.A.P.).

Vantagens e desvantagens dos diversos tipos de ligante:

Cimentos Asfálticos

Vantagens: - desenvolve rapidamente uma elevada viscosidade.

- apresenta bom comportamento com agregado graúdo.
- adequado para tráfego pesado.
- propicia uma menor rejeição do agregado da última camada - em revestimento de penetração invertida.

Desvantagens: - exige aquecimento à temperatura elevadas.

- quando da execução de tratamentos superficiais, exige a aplicação imediata do agregado após o espalhamento do ligante e exige maiores cuidados, na distribuição tendo em vista a possibilidade de bicos na barra distribuidora.

O Cimento Asfáltico é o ligante mais aplicado nos serviços - mais aplicados nos serviços de pavimentação no DER - SP é apresentado - um bom comportamento sendo os tipos mais empregados os de penetração - 85-100 e 100-120.

Asfaltos Diluídos (Cut-Back) - Não tem aplicação corrente.

Vantagens:- facilita execução não exigindo cobertura imediata, com agregado e em geral não se tem problemas com a distribuição.

Desvantagens:- não desenvolve rapidamente a viscosidade.

- exige controle de velocidade dos veículos nos primeiros dias após a execução.

- não é adequado a tráfego pesado.

Emulsões Asfálticas

Vantagens: - facilita a execução, não exigindo cobertura imediata com agregado.

- não exige aquecimento.
- pode ser usada com agregado úmido.

Desvantagens: - Não desenvolve rapidamente a viscosidade.

- exige controle de velocidade dos veículos que trafegam nos primeiros dias após a execução.
- não permitem a execução de tratamento superficial, invertidos com agregados a partir de uma certa dimensão.
- maior rejeição de agregado da última camada em tratamentos invertidos.

b) - Agregado Mineral: O agregado tem a finalidade de oferecer uma superfície que propicie o deslocamento dos veículos com segurança e conforto assim como de resistir aos esforços tangenciais e de proteger a base de desgaste provocado pela ação direta dos veículos.

Nos revestimentos com tratamentos superficiais, o agregado é solicitado diretamente pelos esforços produzidos pelos veículos.

Na escolha do tipo de agregado, deve-se estudar, principalmente os parâmetros de granulometria, forma, resistência e adesividade.

b.1) - Granulometria

A distribuição granulométrica é de grande importância na escolha de agregado para emprego em tratamentos superficiais.

Dois aspectos devem ser encarados em particular:

- a granulometria do agregado
- o diâmetro máximo do agregado de cada camada.

A granulometria do agregado é determinada por ensaios padronizados normalmente com as seguintes peneiras: 38,1 mm; 25,4 mm; 19,1 mm; 12,7 mm; 9,52 mm; 4,76 mm; 2,38 mm; 0,074 mm.

O diâmetro máximo \underline{D} de um agregado é a abertura da malha da peneira, à qual corresponde uma porcentagem passando acumulada igual a 95% enquanto o diâmetro mínimo \underline{d} de um agregado é a abertura da malha da peneira, à qual corresponde uma porcentagem passando acumulada igual a 5%.

O agregado para emprego em tratamento superficial pode ser designado pelos diâmetros máximos \underline{D} e mínimo \underline{d} , ou por faixas granulométricas em que são consideradas as tolerâncias permitidas.

Uma condição de grande importância a ser atendida pelo agregado é a seguinte:

$$d > 0,5 D \quad (1)$$

Esta relação garante uniformidade do agregado e da espessura do tratamento superficial. Segundo alguns autores, melhores resultados seriam obtidos para:

$$d > 0,6 D \quad (2)$$

Recomendações para a fixação dos diâmetros máximos:

- a).- O diâmetro máximo \underline{D} do agregado da 2ª camada de um tratamento deve ser igual ao diâmetro mínimo \underline{d} da 1ª camada; o \underline{D} da 3ª deve ser igual ao \underline{d} da 2ª.
- b).- O diâmetro máximo \underline{D} do agregado da 1ª camada deve ser tanto maior quanto mais pesado for o tráfego.
- c).- Os valores máximos recomendáveis para \underline{D} da 1ª camada são:
 - tratamento triplo : $D = 1 \frac{1}{2}''$
 - tratamento duplo : $D = 1''$

- d).- Quanto maior fôr o diâmetro mínimo do agregado da última camada, tanto mais rugosa será a superfície do revestimento.
- e).- Quanto menos fôr o diâmetro máximo do agregado, mais críticas serão as dosagens em agregado e em ligante, requerendo maiores cuidados na execução.

b.2) - Forma

A forma afeta o tratamento superficial especialmente no que diz respeito à espessura; é preferível sempre que a forma seja cúbica.

As dimensões de um agregado podem ser assim definidas:

- comprimento: é a maior dimensão do mesmo;
- largura: é o diâmetro mínimo do anel através do qual pode o agregado passar;
- espessura: é o afastamento mínimo de dois planos paralelos encerrando o agregado pode ser medida pelo paquímetro.

Chamando-se C, L, e E respectivamente, o comprimento, a largura e a espessura de um agregado, as seguintes formas podem ser definidas:

- cúbica, quando:

$$C + L < 6 E$$

- lamelar, quando:

$$C + L \geq 6 E$$

A forma que as partículas pode tomar depende de vários fatores. No caso de agregados naturais utilizados sem britagem, a forma depende do tipo de depósito e da composição mineralógica da rocha de origem. Destacam-se neste caso, as formas: arredondada, nos seixos que sofreram transporte e angular nos pedregulhos de depósitos residuais.

No caso de agregado proveniente de britagem de rocha, a forma depende:

- da natureza da rocha;
- do tipo de britador;
- de regularidade de alimentação do britador;
- do coeficiente de redução na britagem;

Destes, o coeficiente de redução é o que mais influencia a forma. Este, é a relação entre o diâmetro do fragmento da rocha antes de entrar no britador e diâmetro do agregado britado. Quanto maior esse coeficiente, maior a possibilidade de agregado lamelar:

Quanto à natureza da rocha, os basaltos tem tendência a apresentar forma menos cúbica que os granitos e gnaisses. Os calcários é que melhor forma pode apresentar.

A britagem de pedregulhos ou cascalho de depósito resulta - em geral em agregado de forma excelente, tendo em vista que o coeficiente de redução é pequeno.

A forma do agregado é verificada através de ensaios como por exemplo o do DNER-DPT M 86-64: índice de forma do agregado.

b.3) - Resistência

As solicitações que recebem os agregados do tratamento superficial em contacto direto com os pneumáticos dos veículos podem ser: verticais ou tangenciais, dando então lugar a:

- esforços verticais: esmagamento do agregado;
- esforços tangenciais: desgaste do agregado;
- polimento do agregado;

Um dos ensaios que correlaciona a resistência dos agregados a esses esforços é o ensaio Los Angeles. As especificações são prática

mente unânimes na fixação do valor máximo de desgaste em 40. O ensaio de resistência à abrasão Los Angeles é executado pelo método DNER-DPT M 35-64.

b.4) - Adesividade

A adesividade satisfatória do agregado ao ligante asfáltico, é essencial para o bom comportamento do tratamento superficial. Com efeito, ao contrário do que ocorre com outros revestimentos o agregado, no tratamento superficial fica apenas parcialmente envolvido por ligante, e dessa ligação ligante-agregado é que vai depender a resistência, ao arrancamento resultante da ação combinada da água e do tráfego.

A adesividade é um fenômeno de superfície interessando propriedades fisicoquímicas dos dois materiais. Para efeito do estudo, a adesividade pode ser considerada sob dois aspectos:

- adesividade ativa: como sendo aquela que propicia um bom envolvimento do agregado pelo ligante;
- adesividade passiva: como sendo a parcela responsável pela resistência ao deslocamento da película de ligante sob a ação da água e de outros agentes.

A adesividade ativa é favorecida por condições que facilitam a molhagem do agregado pelo ligante. Essas condições são:

- viscosidade: uma baixa viscosidade do ligante;
- composição mineralógica do agregado:
 - Agregados ácidos (SiO_2 superior a 66%) são hidrofílicos e dificultam a molhagem por asfalto;
 - Agregados de rocha básica (SiO_2 inferior a 55%), são hidrofóbicos e facilitam a molhagem do agregado pelo ligante;

- Estado da superfície do agregado: a existência de pó ou a presença de umidade na superfície do agregado, dificultarão o envolvimento do ligante.

A adesividade passiva é favorecida por condições que aumentem a resistência ao deslocamento do ligante após o envolvimento do agregado. Essas condições são:

- viscosidade: uma elevada viscosidade favorece a adesividade passiva, dificultando o deslocamento de película de ligante sob ação de água;
- composição mineralógica: as condições favoráveis são as mesmas que se observam para o desenvolvimento de uma adesividade ativa satisfatória;
- textura de superfície : a rugosidade do agregado produz um aumento na área da superfície de contacto o que faz diminuir as pressões na interface para um determinado esforço de deslocamento;
- porosidade: a porosidade de um agregado aumenta também a superfície de contacto; o ligante introduz-se nas pequenas cavidades do agregado, dificultando assim o deslocamento.

Numerosos ensaios de laboratório são usados para avaliar a adesividade do agregado ao ligante. Entre estes destacam-se:

DNER-DPT M 78-63: ensaio de adesividade de agregado graúdo a ligante betuminoso (RRL);

DNER-DPT M 79-63: ensaio de adesividade de agregados miúdos a ligante betuminoso (Riedel-Weber).

Misturas Betuminosas Densas - Camada de Rolamento de Concreto Betuminoso usinados à quente.

1 - Generalidade.

É um tipo de revestimento betuminoso da mais alta qualidade e de custo elevado. Resulta da mistura em usina, à quente, de agregado mineral graduado de grão (pedra ou seixo britado), fino (areia ou pó de pedra), material de enchimento (filler) e betume. O revestimento designado por "Sheet Asphalt" pode ser considerado um concreto asfáltico em cuja composição não entra o agregado grão.

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), recomenda para o filler a seguinte granulometria:

Peneira	mm	Porcentagem mínima passando
nº 40		100
nº 80		95
nº 200		65

Para o material betuminoso, o DNER recomenda cimento asfáltico de penetração: 50/60, 85/100 e 100/120.

2 - Granulometria

O estabelecimento da composição granulométrica do agregado mineral constitui praticamente a primeira etapa do projeto de uma mistura.

À forma da curva granulométrica obtida estão ligadas, à algumas características importantes da mistura, a saber:

- Vazios no agregado mineral;
- Densidade aparente;
- Trabalhabilidade;
- Textura;
- Permeabilidade;

A Figura 1 mostra os problemas que podem surgir quando a granulometria resultante da composição dos agregados se afasta dos limites especificados usualmente para camadas superficiais (segundo T.E. Stanton Jr. e F.N. Hveen).

O número de especificações granulométricas existentes, nos organismos rodoviários é grande, na tabela 1 indicamos algumas recomendadas pelo AASHO e DNER.

I - Sheet-Adphalt (AASHO)

Peneira	% passando em peso	Camada superficial
4		100
18		
10		95-100
40		55-92
80		20-60
200		9-20
betume solução		8.5-12.0

C.A, empregados: 60-70, 70-85 e 85-100.

Exige-se ainda que, a fração retida entre qualquer par de peneiras consecutivas não seja inferior a 4% do total e que pelo menos 2/3 da fração passando na peneira nº 200 deverão ser constituídos por filler mineral.

II - Concreto Asfáltico à Quente

Densamento Graduado-Tipo Agregado Graúdo

Peneira	% passando em peso	
	Granulometria A	Granulometria B
2"	100	-
1.1/2"	95-100	100
1"	75-100	95-100
3/4"	60-90	80-100
3/8"	35-65	45-80
nº 4	25-50	28-60
nº 10	20-40	20-45
nº 40	10-30	10-32
nº 80	5-20	8-20
nº 200	1-8	3-8
Betume solúvel	4.0-7.5	4.5-8.0

C.A, empregados: 60-70, 70-85, 85-100 ou 100-120.

LIMITES ESTABELECIDOS PARA GRANULOMETRIA DE AGREGADO, QUE DÃO BOAS MISTURAS BETUMINOSAS

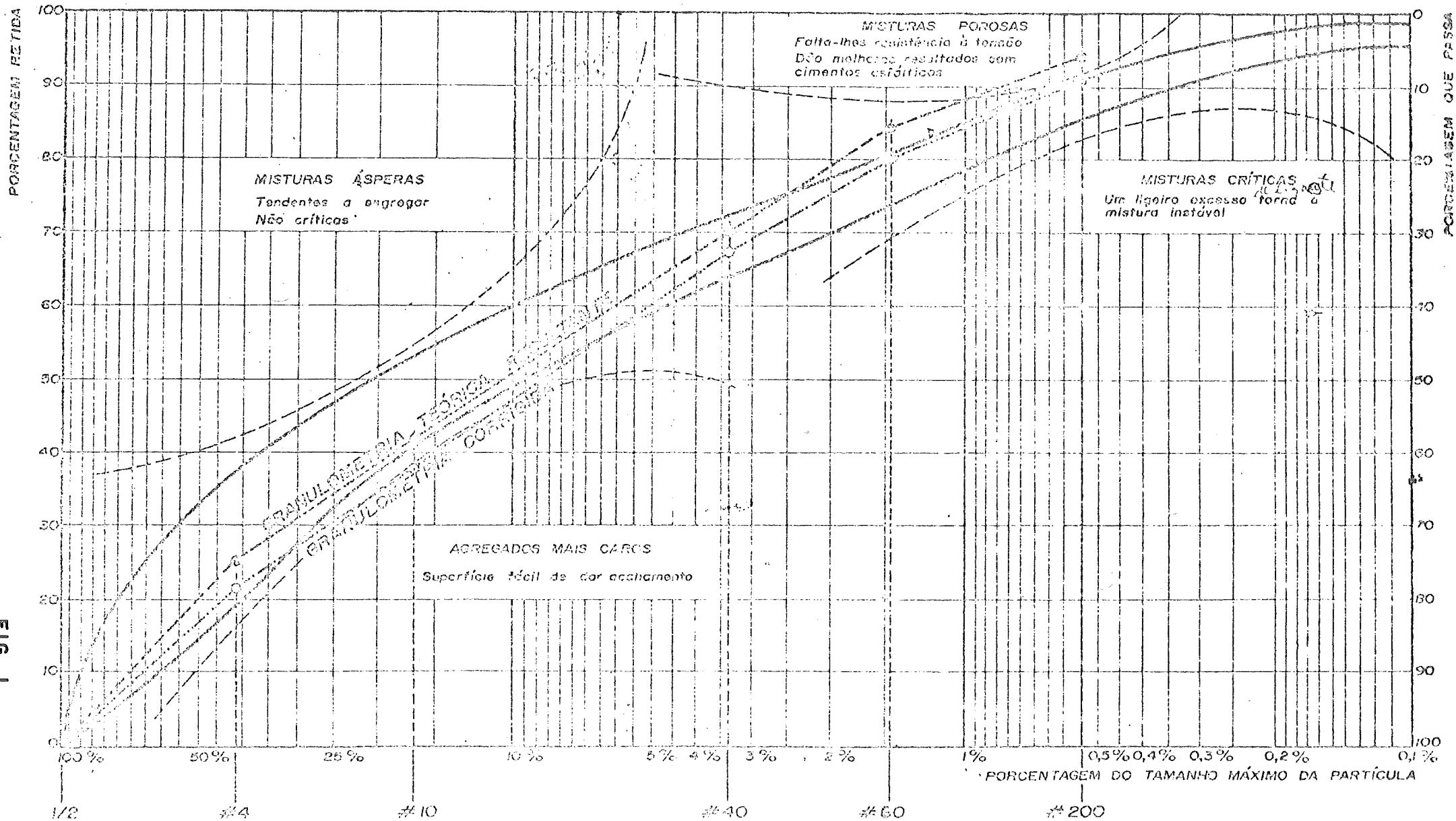


FIG. 1

III - Concreto Asfáltico à Quente
 Densamento Graduado-Tipo Agregado Fino

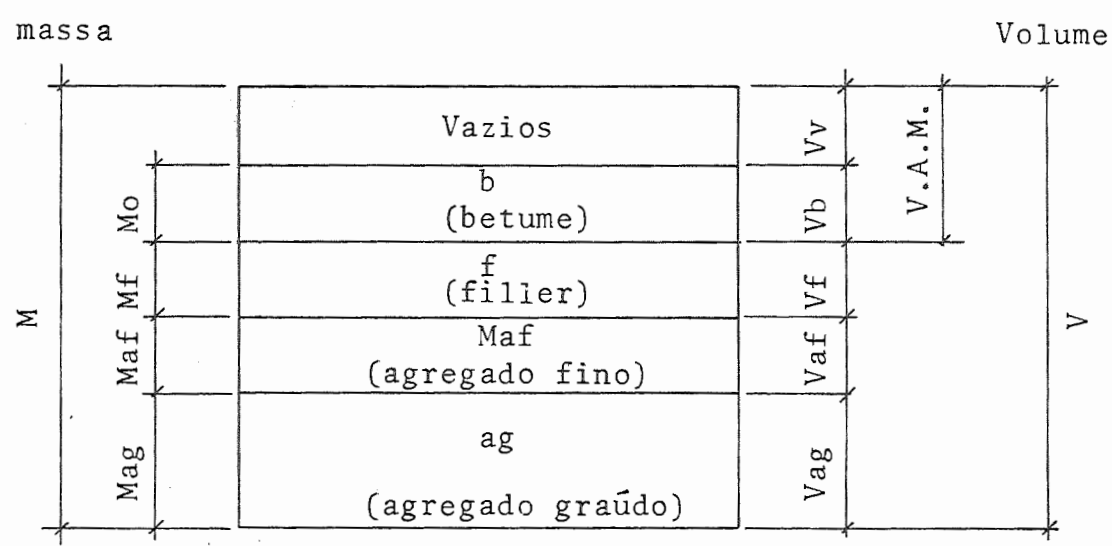
Peneira	% passando em pêso	
	Granulometria C	Granulometria D
3/4"	100	-
1/2"	85-100	100
3/8"	75-100	90-100
nº 4	50-85	70-100
nº 10	30-75	60-90
nº 40	15-40	30-70
nº 80	8-30	10-40
nº 200	5-10	5-12
Betume solúvel em CS ₂	4.0-10.0	4.5-11.0
	-	-

C.A, empregados: 60-70, 70-85, 85-100 ou 100-120.

A fração retida entre qualquer par de peneiras não deverá ser inferior à 4% do total. Pelo menos a metade da fração que passa na peneira nº 200 deverá ser constituída por filler mineral.

3 - Análise das condições de densidade e vazios e estabilidade em uma mistura compactada.

Representação esquemática de um corpo de prova compactado de uma mistura asfáltica:



Os valores da densidade real do betume (db), do filler (df) agregado (daf) podem ser obtidos pelo método do picnômetro, enquanto a densidade real do agregado graúdo (dag) pelo método da balança hidrostática.

Os parâmetros a estudar são:

- 1 - Densidade aparente da mistura (d);
- 2 - Densidade máxima teórica da mistura (D);
- 3 - Porcentagem de vazios da mistura (% Vv);
- 4 - Porcentagem de vazios do agregado mineral (% V.A.M.);
- 5 - Relação betume - vazios (R.B.V. %);
- 6 - Estabilidade da mistura.

1 - Densidade aparente da mistura (d):

A densidade aparente da mistura asfáltica compactada para pavimentos é determinada pelos seguintes motivos:

a - Amostras compactadas em laboratório para:

a.1 - Prover uma base para o cálculo da porcentagem de vazios de ar e vazios no agregado mineral nas misturas compactadas, exigência de alguns procedimentos de projeto de mistura asfáltica.

a.2 - Prover indicação da porcentagem ótima de asfalto em algumas misturas, conforme procedimentos de projeto.

a.3 - Estabelecer uma base para controle de compactação durante a construção de pavimentos asfálticos.

a.4 - Prover uma base de cálculo para a destruição requerida para dar uma determinada espessura no pavimento.

b - Sobre as amostras obtidas no pavimento:

b.1 - Checar a densidade do pavimento e o efeito das operações de rolagem.

- Cálculos:

$$d = \frac{Mar}{Mar - Ma} \quad (1) \text{ onde}$$

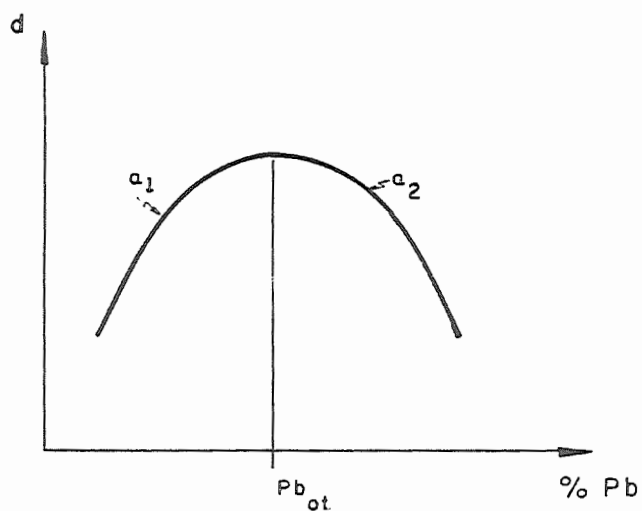
- Mar = massa do corpo de prova determinada.

- Ma = massa do corpo de prova na água.

A expressão (1) é aplicada quando a amostra apresenta textura impermeável à água, quando não, é necessário envolver com parafina sua superfície e para obter a densidade aparente da mistura deverá ser descontado o peso e o volume do revestimento de parafina. O denominador da equação (1) equivale ao volume total da amostra e que pode ser obtido diretamente por medidas. (Método imprescito).

- Variação da densidade aparente (d) com a porcentagem de betume (% Pb):

- A curva d x Pb tem a mesma forma das curvas d x h (umidade) para misturas de solos com agregado. Temos portanto, um acréscimo de densidade (parte a₁ da curva) até uma D_{max} com uma Pb ótima para após decrescer (parte a₂ da curva).



2 - Densidade máxima teórica da mistura (D).

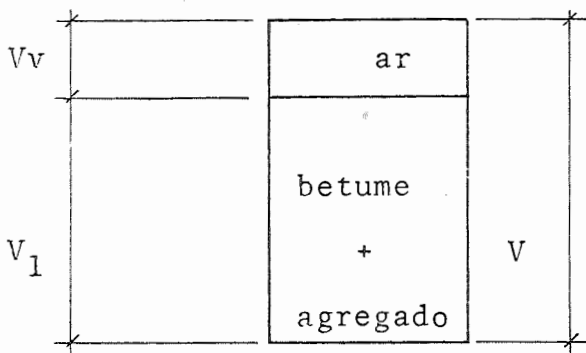
$$D = \frac{100}{\frac{\% ag}{d_{ag}} + \frac{\% af}{d_{af}} + \frac{\% f}{d_f} + \frac{\% b}{d_b}}$$

% ag, %af, % f e % b são as porcentagens que cada componente entra na mistura.

É a densidade da mistura suposta sem vazios, ou seja, é a relação da massa total da mistura (tomada como 100%) e a massa - d'água corresponde ao volume de cheios da mistura (VC) (determinações referidas à 25°C).

3 - Porcentagem de vazios da mistura.

Definida como o volume de vazios existentes na mistura (Vv) expresso como % do volume total da mistura (V).



$$V = 100\% \quad \therefore \%Vv = \frac{Vv}{V} \times 100$$

$$V_1 = \frac{P}{D} \quad V = \frac{P}{d}$$

$$Vv = \frac{P}{D} - \frac{P}{d}$$

$$\text{portanto } \% Vv = \frac{D - d}{D} \times 100$$

Com a porcentagem de vazios da mistura está ligado a durabilidade dos revestimentos. Numa mistura com porcentagem excessiva de vazios, apresentará uma permeabilidade alta (à água e ao ar) - produzindo a oxidação do ligante betuminoso diminuindo a durabilidade do revestimento.

A oxidação do asfalto se caracteriza pelo seu endurecimento (diminui sua penetração) e pode ser avaliado pelo ensaio de penetração do asfalto recuperado do revestimento. Essa oxidação é bastante influenciada pela % de vazios da mistura.

Segundo PFEIFFER é válido para as condições de execução do revestimento e do clima com que se situa o trecho em estudo:

Penetração original = 65	
Observações após 15 anos de serviço	
% de vazios na mistura asfáltica	Penetração do asfalto recuperação do revestimento
2	43
4	26
6	16
8	9

A penetração do asfalto recuperado também está ligada à* falhas nos revestimentos asfálticos devido à presença de fissuras. Para efeito de ilustração, apresentamos dados obtidos HUBBARD e GOLLOMB válidos para as condições de execução e clima da região em que foi, realizado o estudo.

Penetração do asfalto recuperado	Estado do Revestimento (fissuras)
20 ou menor	bem fissurado
20 - 30	pode haver ou não fissuras
maior de 30	sem fissuras

Na prática no entretanto é necessário manter uma % Vv mínima para não acarretar problemas tais como "exudações e instabilidade na camada de rolamento.

4 - Porcentagem de vazios do agregado mineral (%VAM).

Definido como:

$$\% \text{ V.A.M.} = \% \text{ Vv} + \% \text{ Vb} \quad \text{ou}$$

$$\% \text{ V.A.M.} = \frac{D - d}{D} \times 100 + \frac{d \% b}{db}$$

COMPOSIÇÃO DA MISTURA

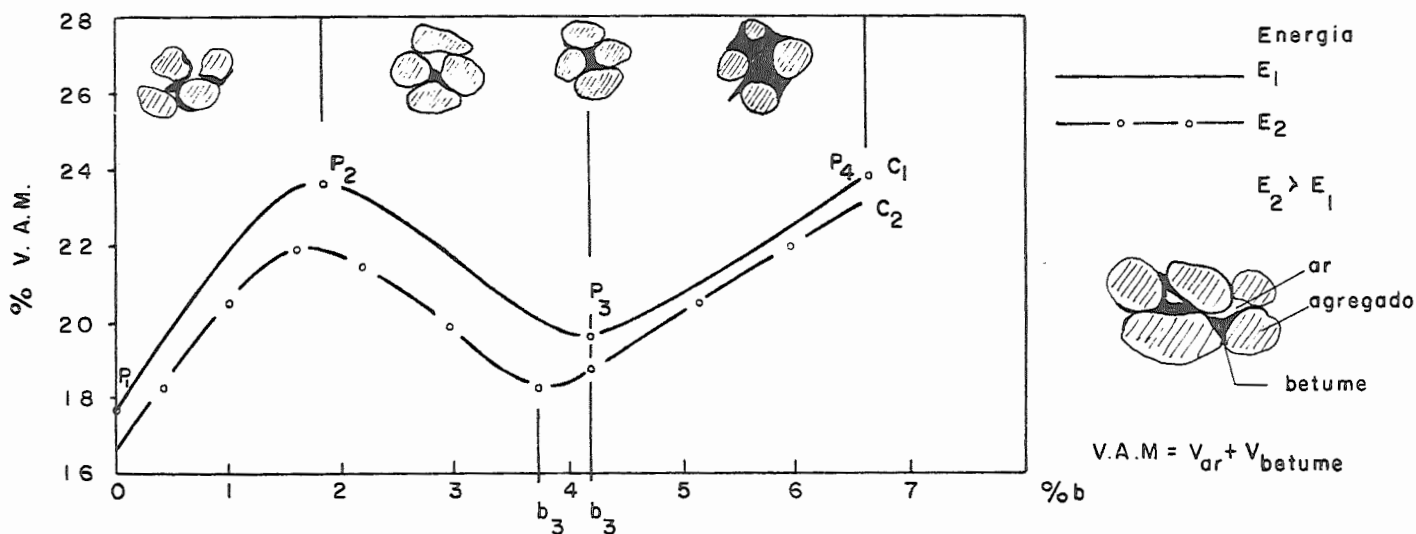
Tipo	1 1/2 in.	1 in.	3/4 in.	1/2 in.	3/8 in.	#4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200	(peso) Porcentagem de asfalto
IV a				100	80-100	55-75	35-50		18-29	13-23	8-16	4-10	3.5-7.0
IV b			100	80-100	70-90	50-70	35-50		18-29	13-23	8-16	4-10	3.5-7.0
IV c		100	80-100		60-80	48-65	35-50		19-30	13-23	7-15	0-8	3.5-7.0
IV d	100	80-100	70-90		55-75	45-62	35-50		19-30	13-23	7-15	0-8	3.5-7.0
V a				100	85-100	65-80	50-65	37-52	25-40	18-30	10-20	3-10	4.0-7.5
V b			100	85-100		65-80	50-65	37-52	25-40	18-30	10-20	3-10	4.0-7.5
VI a				100	85-100		65-78	50-70	35-60	25-48	15-30	6-12	4.5-8.5
VI b			100		85-100		65-80	47-68	30-55	20-40	10-25	3-8	4.5-8.5
VII a					100	85-100	80-95	70-89	55-80	30-60	10-35	4-14	7.0-11.0
VIII a						100	95-100	85-98	70-95	40-75	20-40	8-16	7.5-12.0

Tipo de Mistura

- IV - Graduação Densa
- V - Graduação Fina
- VI - Sheet de pedra
- VII - Sheet de areia (areia asfalto)
- VIII - Sheet fino (Sheet Asfalto)

Variação do agregado mineral (VAM) com a porcentagem de betume (% Pb)

Com um mesmo agregado, consideremos a moldagem de corpos de prova em duas energias de compactação E_1 e E_2 ($E_2 > E_1$) em função da porcentagem de betume. As curvas obtidas estão representadas abaixo.



Em uma mistura asfáltica o ligante irá preencher parte dos vazios ocupados pelo ar. A grandeza dos vazios existentes no agregado mineral, além de constituir função da energia de compactação empregada, está intimamente correlacionada com a granulometria do agregado.

A curva C_1 e C_2 por exemplo, nos indicam que para um mesmo agregado e para a energia de compactação E_2 (maior que E_1), a porcentagem de betume (% Pb) capaz de preencher os vazios existen-

tes no agregado mineral (% b_3') é menor que aquela (% b_3) caso fosse utilizado, a energia de compactação menor E_1 .

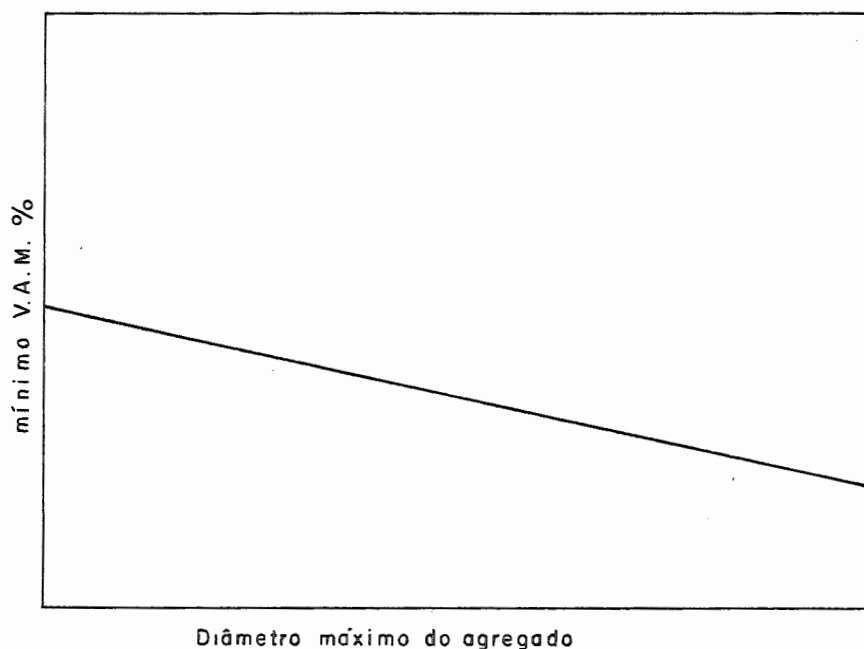
Também nota-se que as misturas compactadas com a energia E_2 tem um maior entrosamento entre as partículas do agregado resultando um V.A.M. menor que aquele obtido com a Energia E_1 , e conseqüentemente a quantidade de ligante requerido para a estabilização da mistura é menor, resultando em benefícios econômicos e numa estrutura de qualidade superior.

Pelas razões apresentadas pode-se concluir acerca da necessidade de fixação de um valor para Energia de Compactação, - tal que faculte a obtenção de um teor de ligante que leve a resultados práticos satisfatórios.

Análise da curva C_1 - Energia E_1

- P_1 - Maior entrosamento dos grãos de agregado. Ponto de Mínimo V.A.M. % Pb = 0.
- $P_1 - P_2$ - Parte da curva em que a superfície das partículas vão sendo cobertas por películas de betume e tendem a separá-las V.A.M. aumenta.
- $P_2 - P_3$ - Espessura das películas são suficientes para funcionar como lubrificantes: V.A.M. diminue.
- P_3 - Vazios preenchidos com betume.
- $P_3 - P_4$ - Separação das partículas por betume V.A.M. aumenta.

Um revestimento asfáltico em serviço, pode sofrer - um efeito posterior de consolidação ocasionado pelo tráfego. Caso a porcentagem de ligante existente na mistura por ocasião da construção, preencha todos os vazios do agregado mineral, o revestimento como consequência dessa consolidação terá acrescidas as suas características de plasticidade, e a Porcentagem de ligante, que inicialmente preenchia os vazios de agregado, passa a ser excessiva em face da redução sofrida pelo volume vazios. Esse acréscimo de plasticidade - poderá ocasionar deformações, deslocamentos e rutura no revestimento. Para evitar portanto a situação descrita, o "ASPHALT INSTITUTE" sugere na publicação Construction Specifications for Asphalt Concrete and Other Plaut-Mix types (4.^a edição - novembro 1969); o diagrama a seguir para fixação do mínimo V.A.M. em função do diâmetro máximo do agregado da mistura.



5 - Relação Betume-Vazios - (R.B.V. (%)) -

Por definição é o quociente do volume ocupado pelo betume expresso como % do volume total da mistura pela porcentagem - de vazios do agregado mineral, ou seja:

$$\text{R.B.V. (\%)} = \frac{\% V_b}{\% \text{ V.A.M.}}$$

Quanto à curva RBV x Pb, com a variação da Pb temos um crescimento acentuado no ramo c_1 , passando por um valor máximo c_2 para após decrescer muito pouco c_3 .

6 - Estabilidade da Mistura

É principalmente função de:

1 - Características do agregado:

- Maior estabilidade com redução do V.A.M.
- Agregados britados fornecem melhores características de estabilidade do que os não britados, pois proporcionam maior resistência de

atrito interno na mistura que é o principal fator da estabilidade.

2 - Porcentagem de ligante na mistura.

A adição de ligante às partículas do agregado promove o aparecimento da coesão que, dentro de certos limites, para o aumento da estabilidade. Essa coesão oferece grande resistência às cargas de pequena duração dinâmica, mas praticamente nenhuma às cargas estáticas. O valor da coesão cresce com o teor de ligante até que as partículas estejam bem recobertas, daí em diante as variações em seu valor são pequenas.

Os ensaios para o estudo da estabilidade de misturas betuminosas são na sua maior parte empíricos. Entre os ensaios destinados a avaliar as características de estabilidade temos:

- Compressão diâmetral (ensaio Marshall);
- Estabilômetro (ensaio Hveem);
- Extrusão (ensaio Hubbard-Field);

7 - Métodos de Dosagem

Os mais usuais preconizados para misturas asfálticas para pavimentação, de acordo com o "Asphalt Institute" são:

- Marshall
- Hubbard Field
- Hveem

7.1. Ensaio Marshall

O ensaio Marshall para misturas asfálticas para pavimentos podem ser usadas para projetos de laboratório e controle de campo de misturas, que contém cimento asfáltico e agregados que não excedem a uma polegada no seu tamanho máximo.

Os principais aspectos do ensaio são análise de densidade-vazios e estabilidade-fluência sobre amostras de misturas compactadas para pavimentos asfálticos.

As amostras para ensaios possuem uma altura de 2 1/2 polegada e 4 de diâmetro e são preparadas por procedimentos predeterminados e compactadas pelo método de compactação por soquete.

A densidade e vazios das amostras compactadas são calculadas e então a amostra é aquecida para 60°C para o ensaio de estabilidade e fluência de Marshall. A amostra é colocada numa prensa de rutura para esse ensaio conforme ilustração na fig. 3-12.

A carga é aplicada na amostra e a uma relação de duas polegadas por minuto. A carga máxima registrada durante o ensaio, em libras, é designada como estabilidade Marshall da amostra.

A quantidade de deslocamento ocorrido entre a carga zero e carga máxima em unidades 0,01 polegadas é o valor de fluência da amostra. As amostras são preparadas com teores variáveis de asfalto abaixo e acima do valor ótimo estimado e testadas pelos procedimentos descritos. Usualmente as amostras com cada teor de asfalto são executadas em triplicata.

Os dados obtidos são usados para estabelecer a porcentagem ótima de asfalto da mistura e para determinar certas características físicas da mistura.

Equipamentos e métodos para estes ensaios são descritos detalhadamente no Manual Séria nº 2 publicados pelo Asphalt Institute, no Método de Projeto de Misturas para Concreto Asfáltico e outros tipos de misturas à quente.

Os critérios sugeridos para avaliação, de misturas para pavimentos são também incluídas nessa publicação.

Equipamentos e procedimentos para o ensaio Marshall são também apresentados na ASTM métodos de teste D 15-59.

- Limites sugeridos para resultados de ensaio.

MARSHALL	Tráfego pesado e muito pesado		Tráfego médio		Tráfego leve	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Número de golpes em cada face do corpo de prova.	75		50		35	
Estabilidade em libras.	750		500		500	
Fluência em 0,01'	8	16	8	10	8	20
Vazios na mistura - %.	3	5	3	5	3	5
Vazios do agregado cheios com asfalto - %.	75	82	75	85	75	85

7.2. Método de Hubbard-Field

O Método de Hubbard-Field é um procedimento empregado para projeto de laboratório de misturas asfálticas para pavimento.

O procedimento foi desenvolvido originalmente para projeto com areia e "mistura tipo Sheet Asfalto" para pavimentos com cimento asfáltico, em que todos os agregados passam pela peneira nº 4 e pelo menos 65% passa na peneira 10.

As características principais do teste são análise de densidade; vazios e teste de estabilidade.

As amostras de mistura asfáltica para pavimentos tem duas (2) polegadas de diâmetro e uma (1) de altura são preparadas por processos de compactação específica.

A densidade e vazios das amostras compactadas são determinadas e a amostra é então submetida do teste de estabilidade Hubbard-Field. Como o ilustrado na figura III-16. Nesse teste a amostra é primeiramente aquecida a 60°C e colocada no molde de teste.

A carga aplicada como indicado à razão de 2,4 pol. - por minuto.

A amostra de duas polegadas de diâmetro é forçada através de um orifício restrito de 1,75 polegadas de diâmetro.

A carga máxima em libra desse modo obtida, por essa sistemática, é a estabilidade Hubbard-Field.

Duas ou três dessas amostras são preparadas e testadas em cada um dos muitos conteúdos asfálticos, usualmente em 1/2% - dos incrementos estimados acima e abaixo do teor ótimo de asfalto.

Os valores médios para cada porcentagem de asfalto são plotados em gráficos e usados para estabelecer a porcentagem ótima da mistura.

Esses dados são também usados para determinar se a mistura na porcentagem ótima de asfalto se encontra dentro do critério estabelecido (ver tabela abaixo).

Os equipamentos e procedimentos para o Método HF são descritos detalhadamente no Método de Projeto de Misturas para Concreto Asfáltico e outros tipos de misturas quentes, Manual, série II, publicação do Instituto de Asfalto.

Sugestões e critérios para avaliação das misturas asfálticas para pavimentos são incluídas nessa publicação.

Os equipamentos e procedimentos para realização desses ensaios são também prescritos no Método AASHO T 169 e Método ASTM D 1138.

HUBBARD FIELD	Tráfego pesado e muito pesado		Tráfego médio		Tráfego leve	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
<u>Método Original</u>						
Estabilidade em libras.	2000		1200	2000	1200	2000
Vazios na mistura	2	5	2	5	2	5
<u>Método Modificado</u>						
Estabilidade em libras.	3500	6000	2500	6000	2500	6000
Vazios na mistura-%	2	5	2	5	2	5

7.3. Método de Hveem

O método de Hveem de projeto e ensaios de mistura e asfáltica envolve três principais ensaios a seguir:

- 1 - Ensaio de Estabilômetro
- 2 - Ensaio de Coesímetro
- 3 - Ensaio equivalente centrífugo de querosene

Todos são usados para projetos de misturas em laboratório. O CKE é também usado como ensaio de campo.

Os ensaios de estabilômetro e coesímetro são convenientes para misturas que contêm ou cimento asfáltico ou asfalto líquido e agregados não excedentes a uma polegada no tamanho máximo.

As amostras de mistura asfáltica de 2 1/2 polegadas de altura e 4 de diâmetro são compactadas por procedimentos específicos num compactador como mostrado na fig. III-13. A densidade e vazios das amostras compactadas são estabelecidas e então a amostra aquecida a 60°C e testada no estabilômetro de Hveem que é um ensaio tipo triaxial no qual as cargas são aplicadas e resultam pressões laterais em muitos acréscimos da carga vertical. O teste está ilustrado na fig. III-14.

As amostras são revestidas por uma membrana de borracha envolvida por um líquido que transmite a pressão lateral desenvolvida durante o ensaio. Os valores derivados dos ensaios, na realidade são relativos.

A escala tem sido estabelecida com base em que, se a amostra for um líquido, a pressão lateral poderá ser igual à vertical e, para este caso, a estabilidade relativa é considerada zero. No outro extremo da escala a amostra é um sólido incompreensível que não transmite nenhuma pressão lateral, tendo um valor de estabilidade relativa de 90.

Ensaio para misturas de pavimentos asfálticos no campo apresentam valores 0 - 90. A estabilidade relativa das amostras são calculadas por uma fórmula estabelecida.

Um ensaio de coesímetro é usualmente feito sobre a amostra de teste na conclusão do ensaio de estabilômetro. É um tipo de ensaio de flexura (flexão curva) no qual a amostra cai em tensão como ilustrada na figura III-15.

Nesse ensaio, a amostra também é adequada a 60°C e mantida nessa temperatura durante o período de teste num gabinete de temperatura controlada.

A amostra é presa no aparelho de ensaio, como se mostra na fig. III-15 e a carga é aplicada de forma rápida na extremidade do braço da alavanca. Quando a extremidade do braço da alavanca tiver se deslocado um polegada e meia, o fluxo da carga usado para carga aplicada é automaticamente registrada e seu peso é determinado.

O valor do coesímetro é determinado por uma fórmula estabelecida.

Outra característica do método de Hveem, algumas vezes empregado é a determinação do teor ótimo de asfalto estimado que a mistura contém por um procedimento conhecido como Teste Equivalente Centrífugo de Querosene. (CKE).

A porção de agregado da mistura que passa na peneira 4 é saturada com querosene e então centrífugada. Para os agregados entre 3/8" e #4 são considerados para representar a porção de agregado grosso da mistura, que é saturado de óleo lubrificante e colocado a drenar por 15 minutos a 60°C.

Os pesos do querosene e óleo retidos por esses agregados são usados no procedimento prescrito para calcular e estimar o asfalto ótimo que a mistura contém.

Normalmente os ensaios de estabilômetro e coesímetro chegarão ao conteúdo de asfalto indicado pelo teste CKE e ao maior e menor conteúdos de asfalto, para estabelecer o conteúdo de asfalto ótimo e determinar certas outras características físicas da mistura compactada.

Os critérios sugeridos (ver quadro IV-12) para avaliação de misturas de pavimentos de auto-estradas estão incluídas - nessa publicação.

Os equipamentos e procedimentos para os testes resumidos acima estão descritos detalhadamente nos métodos de Projeto de Mistura para Concreto Asfáltico e outros tipos de mistura a quente, Manual de série 2, publicado pelo Instituto de Asfalto.

Os equipamentos e procedimentos para preparar as amostras do teste com "kneading compactor" estão também detalhados no método do ASTM do teste D 1561.

IVEEM	Tráfego pesado e muito pesado		Tráfego médio		Tráfego leve	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Valor do estabilômetro.	35		35		30	
Inchamento em pol.		0,03		0,03		0,03
Vazios da mistura - %.	4		4		4	

2.2. Método de dosagem e misturas betuminosas densas usinadas à quente

O que pretendemos é que uma mistura bem dosada apresente um bom comportamento quando submetida aos esforços do tráfego, consubstanciado nas seguintes propriedades físicas principais:

- Estabilidade
- Densidade
- Durabilidade
- Flexibilidade

O método de dosagem Marshall é amplamente empregado no Brasil e foi desenvolvido pelo corpo de Engenheiros do Exército Americano e sua aplicabilidade é em projetos de misturas betuminosas para camadas de Pavimentos, tanto em estradas como aeroportos.

Para se obter essas propriedades nas misturas betuminosas executadas, o método de Marshall admite os parâmetros abaixo de dosagem e que devem estar compreendidos em faixas especificadas empiricamente.

- Densidade (d)
- Estabilidade Marshall (E)
- Deformação Plástica (Fluência) (F)
- Vazios não preenchidos (Vv)
- Relação betume vazios (RBV)

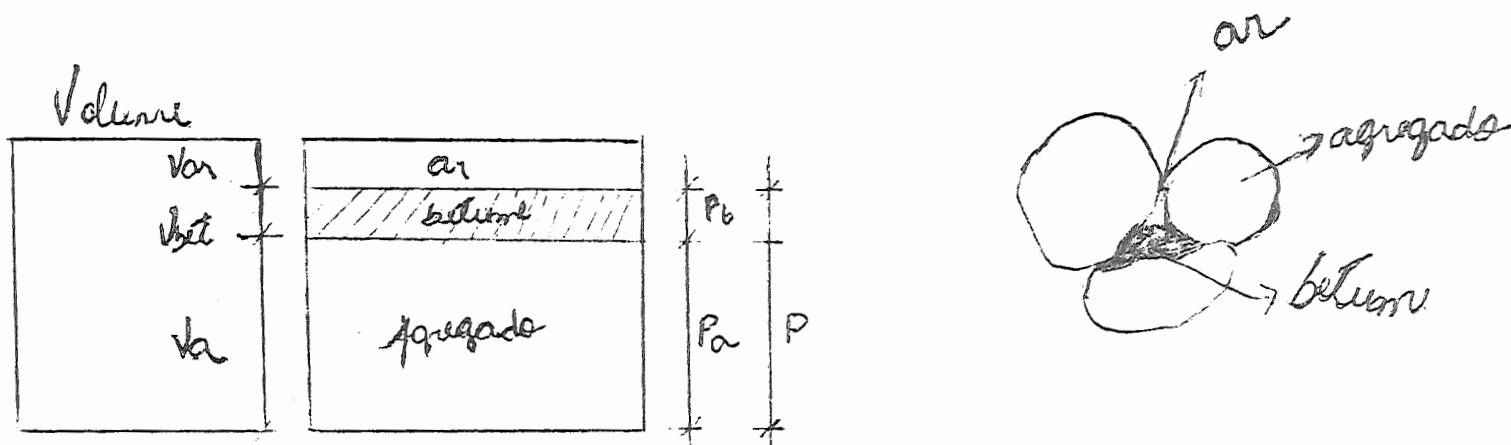
Os agregados são selecionados tendo em vista especificações e os materiais disponíveis. O diâmetro máximo do agregado é geralmente controlado pela espessura da camada a ser construída. A fração fina passando na peneira de malha quadrada 200 (0,074 mm) é designado de filler e pode constituir-se de cal hidratado, cimento portland ou outro material de granulação fina.

Os materiais betuminosos utilizados usualmente são os cimentos asfálticos de Petróleo (CAP) de penetração 50-60, 85-100 ou 100-120.

A estabilidade da mistura está correlacionada com água, pode ser definida como resistência aos esforços de cisalhamento (resistência ao deslocamento) produzidos pelo tráfego. A maioria dos projetistas considera essa propriedade como qualidade prioritária na mistura betuminosa.

A densidade deverá ser tal que nos conduza à valores admissíveis para a estabilidade e para a % vazios da mistura.

Obtenção dos Parâmetros de Dosagem



a) - Densidade aparente do corpo de prova

$$D_a = \frac{P}{V}$$

Da = densidade aparente do corpo de prova;

P = peso do corpo de prova;

V = volume do corpo de prova;

b) - Vazios não preenchidos Vv:

Densidade teórica máxima Dt, pela fórmula seguinte:

$$D_t = \frac{100}{\frac{P_p}{D_h} + \frac{P_a}{D_{am}}}$$

em que:

D_t = densidade teórica máxima.

D_b = densidade real do material betuminoso empregado.

D_{am} = densidade aparente média dos grãos ou fragmentos.

P_b = porcentagem de material betuminoso empregado, expressa em relação ao peso total da mistura betuminosa.

P_a = porcentagem do agregado empregado, expressa em relação ao peso total da mistura betuminosa (igual a $100 - P_b$).

Vazios não preenchidos:-

$$V_v = \frac{(D_t - D_a) \times 100}{D_t}$$

$$= 100 \left(1 - \frac{D_a}{D_t}\right)$$

em que:

V_v = vazios não preenchidos da mistura compactada; expresso em porcentagem do volume aparente do corpo de prova.

c) - Vazios Preenchidos de Betume (V_p) ou Relação Betume Vazios (RBV).

$$V_a = V_b + V_v$$

$$V_b = \frac{P_b}{D_b} \times D_a$$

$$RBV = V_p = 100 \times \frac{V_b}{V_a}$$

V_a = vazios do agregado, expresso em porcentagem

V_b = volume aparente porcentual do material betuminoso, do corpo de prova.

$RBV = V_p$ = vazios preenchidos de material betuminoso, expresso em porcentagem dos vazios do agregado do corpo de prova.

DETERMINAÇÕES	CRITÉRIOS - PRESSÃO DOS PNEUS	
	7 Kg/cm ²	14 Kg/cm ²
Estabilidade Marshall-kg.....	225	450
Deformação plástica-0,01 polegada	20	16
% de Vazios não preenchidos (Vv).		
a) concreto asfáltico.....	3 - 5	3 - 5
b) areia - asfalto.....	5 - 7	6 - 8
c) binder.....	4 - 6	5 - 7
% de Vazios preenchidos de material betuminoso (V_p).....		
a) concreto asfáltico.....	75 - 85	75 - 82
b) areia - asfalto.....	65 - 75	65 - 72
c) binder.....	65 - 75	65 - 72

Exemplo de uma dosagem do pré-misturado à quente para recapeamento

Estrada: SP. 310

Trecho : km 277+700 ao 292+135 - 9º Trecho

DOSAGEM MARSHALL

Fixada uma faixa granulométrica a ser atendida e com a granulometria dos materiais disponíveis, é calculada a % que cada agregado entrará na mistura.

Obtida a curva granulométrica da mistura de agregados é conveniente, antes de iniciar a dosagem Marshall, obter a dosagem da Porcentagem de betume (Pb) através do Método da Superfície Específica.

O agregado da mistura e porcentagens variadas de betume são misturados e compactados em laboratório. Por exemplo consideraremos que pela dosagem da Superfície Específica obtivemos $Pb=5\%$, poderemos considerar para a execução da dosagem Marshall os teores de asfalto de 4,0%; 4,5%; 5,0%; 5,5%, e 6%. Os materiais serão misturados a $180^{\circ}C$ e betume a $140^{\circ}C$, e serão compactados com um reforço que será em função da condição da carga (pressão de pneus) que será submetida a camada de rolamento.

Para rodovias e ruas utilizadas por veículos com baixa pressão nos pneus (7 Kg/cm^2), os materiais são compactados nas duas faces com 50 golpes de soquete de 4,45 Kg com altura de queda $H=45,7 \text{ cm}$. Para altas pressões nos pneus (14 Kg/cm^2), por exemplo para camadas de rolamento de aeroportos ou rodovias com tráfego muito pesado, é utilizado 75 golpes por face.

Os corpos de prova serão levados ao banho-maria à $60^{\circ}C$ durante 1 hora e submetidos a ruptura, conforme padronização do ensaio, obtendo-se os valores da deformação plástica (fluência) que é a deformação do corpo de prova em 0,01 e a estabilidade é medida em Kg. Os valores de densidade aparente dos corpos de prova são obtidos antes do Ensaio de Estabilidade e os parâmetros % de vazios não preenchidos e a % de vazios preenchidos com betume (RBV) são calculados.

As curvas típicas obtidas são indicadas na figura 1.

Análise de variação dos parâmetros D, Vv, RBV, E e F em função da variação do teor de betume:

A curva $d \times Pb$ tem a mesma forma das curvas dxw (umidade) para misturas de solos com agregado. Temos, portanto, um acréscimo de densidade (parte a_1 da curva) até uma D_{max} com uma Pb ótima para após decrescer (parte a_2 da curva).

A curva $E \times Pd$ (d) apresenta no ramo d_1 pouca sensibilidade com a variação da Pb , crescendo pouco E em função da Pb . Nesse estado há bastante influência do atrito interno entre os grãos de agregado e o asfalto da mistura é suficiente para somente revestir os grãos. No pico da curva, ponto d_2 , os vazios entre os grãos de agregado estão quase totalmente cheios de asfalto e é o ponto máximo da estabilidade da mistura. Já no ramo d_3 temos o agregado separado pelo asfalto, nesse caso a curva decresce rapidamente, pois a resistência o conjunto é bastante afetada pela diminuição do atrito intenso entre os grãos com o aumento da Pb .

Quanto à curva $RBV \times Pb$, com a variação da Pb temos um crescimento acentuado no ramo c_1 , passando por um valor máximo c_2 para após decrescer muito pouco c_3 .

1.0 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 - Trabalhos referentes a dosagem exclusiva para o pré-misturado à quente conforme a graduação C' da I34-56t do DER-SP.

1.2 - Determinação granulométrica de cada componente separadamente e disponível, bem como posterior composição para obtenção da distribuição adequada, ao cumprimento do projeto.

1.3 - Os trabalhos, resumem nos seguintes dados:

- a) dosagem dos agregados, sem acrescentar na composição, de areia e cava;
- b) dosagem de asfalto para a referida distribuição, pelo M-120-57 - (método Marshall), apresentado em anexo.

2.0 - EXECUÇÃO

2.1 - A execução foi precedida de quarteamentos sucessivos, para obtenção da distribuição granulométrica representativa dos agregados disponíveis.

2.2 - Obteve-se a distribuição desejada conforme o gráfico nº 1, anexo, pelo método tentativo de Rothfuchs.

3.0 - RESULTADOS

3.1 - O Quadro Nº 1 representa a granulometria parcial de cada componente.

QUADRO Nº 1

Abertura da peneira (mm)	GRANULOMETRIA DAS AMOSTRAS			% PASSANDO
	pedra 1	Pedrisco	Po	Solo
19,1	100	-	-	-
12,7	59	-	-	-
9,52	30	100	100	-
4,76	1,6	84	88	-
0,59	0,7	14	30	100
0,297	0,7	8	22	91
0,149	0,7	5	15	40
0,074	0,6	3	12	16

3.2 - O Quadro Nº 2, representa a dosagem obtida pelo método do parágrafo 2 ítem 2.2.

QUADRO Nº 2

abertura das pedras (mm)	% DA GRANULOMETRIA DAS AMOSTRAS					% PASSANDO
	Pedra 1 35%	Pedrisco 20%	Pó 30%	Solo 15%	Soma	Limites I-34-56t-C'
19,1	35	20	30	15	100	100
12,7	20,6	20	30	15	86	80 - 100
9,52	10,5	20	30	15	76	70 - 90
4,76	0,6	16,8	26,4	15	59	50 - 70
0,59	0,2	2,8	9,0	15	27	20 - 30
0,297	0,2	1,6	6,6	13,6	22	15 - 25
0,149	0,2	1,0	4,5	6	12	10 - 15
0,074	0,2	0,6	3,6	2,4	7	6 - 10

3.3 - Para determinação do teor de asfalto pelo método da superfície específica, e posterior sequência ao Método de Marshall foi escolhida para o módulo de riqueza de asfalto, o valor 3,75 entre os limites tomado como valor médio do pavimento flexível e rígido. Com o valor o teor ótimo de asfalto obtido foi de 5,8% para o Marshall de 50 golpes.

3.4.- A folha resumo nº 1 e gráfico nº 3 em anexo, representa os ensaios de dosagem pelo método de Marshall, sendo fixado neste o ponto ideal a ser dosado o asfalto para composição do Quadro Nº 2, enquanto que o Quadro Nº 3, indica os valores obtidos seguindo orientação do ensaio Marshall:

QUADRO Nº 3

ENSAIO MARSHALL - 50 GOLPES				
Teor de asfalto (%)	5,0	5,5	6,0	6,5
Estabilidade (kg)	1.492	1.611	1.611	1.520
Fluência (mm)	3,55	3,55	3,29	4,06
Vazios não preenchidos (Vv%)	6,63	4,56	3,20	2,90
Vazios preenchidos (RBV%)	63,0	73,4	81,2	83,1
Densidade aparente DAS (g/cm ³)	2,333	2,367	2,383	2,373

4.0 - CONCLUSÃO

4.1 - Pelos valores obtidos na moldagem dos corpos de prova Marshall, concluimos que a mistura ideal é a seguinte:

PARA 50 GOLPES

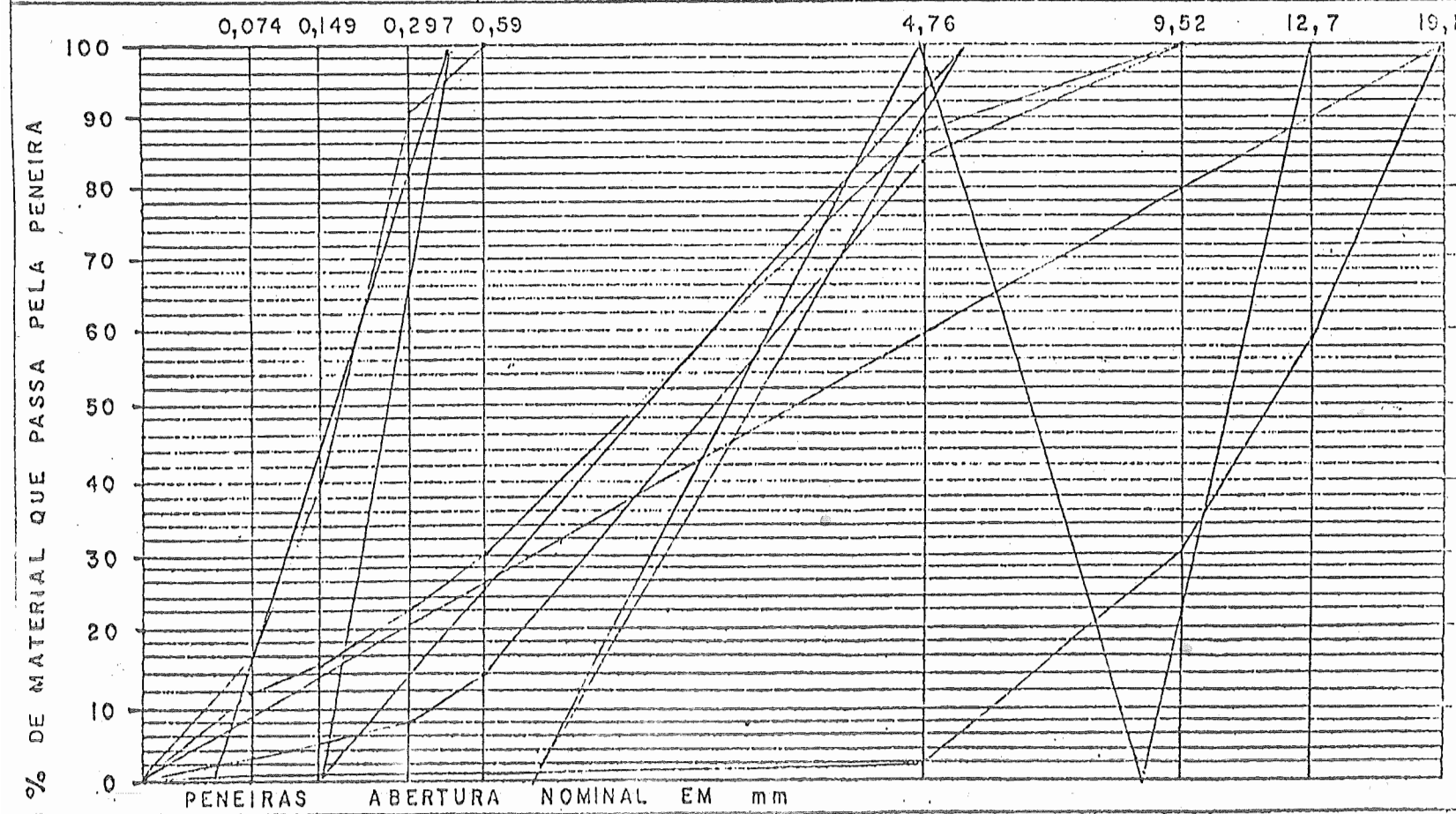
Asfalto - 85/10	5,8%
Pedra M ^o 1	35%
Pedrisco	20%
Pó	30%
Solo	15%

4.2 - Conclusão:

Fica estabelecido que para obtenção do pré-misturado a quente nas condições da I-34-56t graduação C', deve ser dosado em peso 94,2% da composição dos agregados e 5,8% de asfalto para o Marshall de 50 golpes.

DOSAGEM DE MISTURAS ESTABILIZADAS GRANULOMETRICAMENTE

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	ESPECIFICAÇÃO		C O M P O N E N T E S					M I S T U R A				
	LIMITES	MÉDIA	% QUE PASSA					35%	20%	30%	15%	Total
			Pedra 1	Pedrisco	Po	Solo	Pedra 1	Pedrisco	Po	Solo		
19,1	100	100	100	-	-	-	35	20	30	15	100	
12,7	80-100	90	59	-	-	-	20,6	20	30	15	86	
9,52	70- 90	80	30	100	100	-	10,5	20	30	15	76	
4,76	50 -70	60	1,6	84	88	-	0,6	16,8	26,4	15	59	
0,59	20 -30	25	0,7	14	30	100	0,2	3,8	9,0	15	27	
0,297	15 - 25	20	0,7	8	22	91	0,2	1,6	6,6	13,6	22	
0,149	10 - 15	12,5	0,7	5	15	40	0,2	1,0	4,5	6	12	
0,074	6 - 10	8	0,6	3	12	16	0,2	0,6	3,6	2,4	7	
L ₁												
I _p												



CÁLCULO DO ÍNDICE DE PLASTICIDADE DA MISTURA

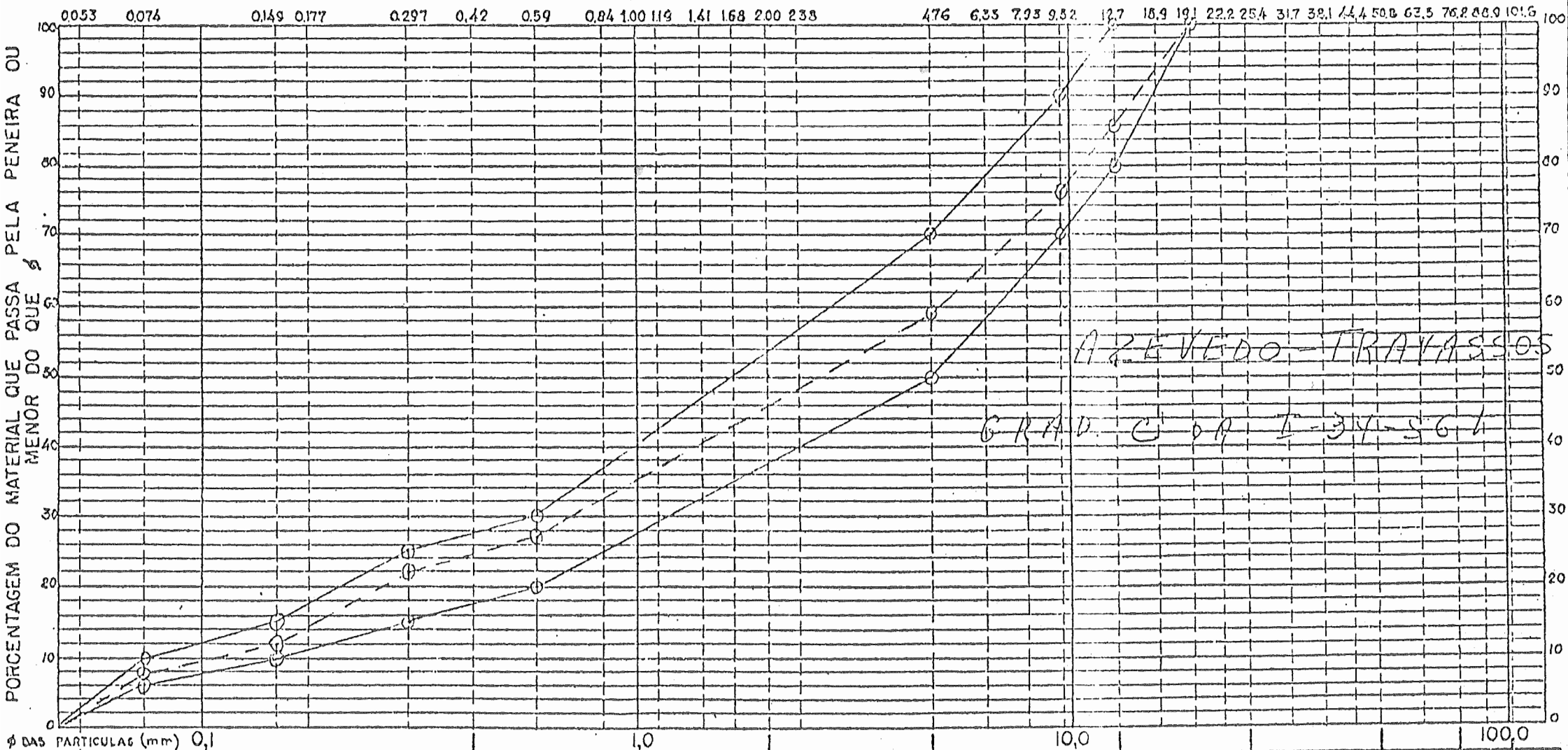
$$I_{pm} = \frac{AF_A I_A + BF_B I_B + \dots + NF_N I_N}{AF_A + BF_B + \dots + NF_N}$$

Azevedo Travassos
trecho 9º

I_{pm} =

TB	OP:
INICIO 26.5.78	FIM
OBS.	

COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO GRANULOMETRICAS DE MATERIAIS DE PEDRA



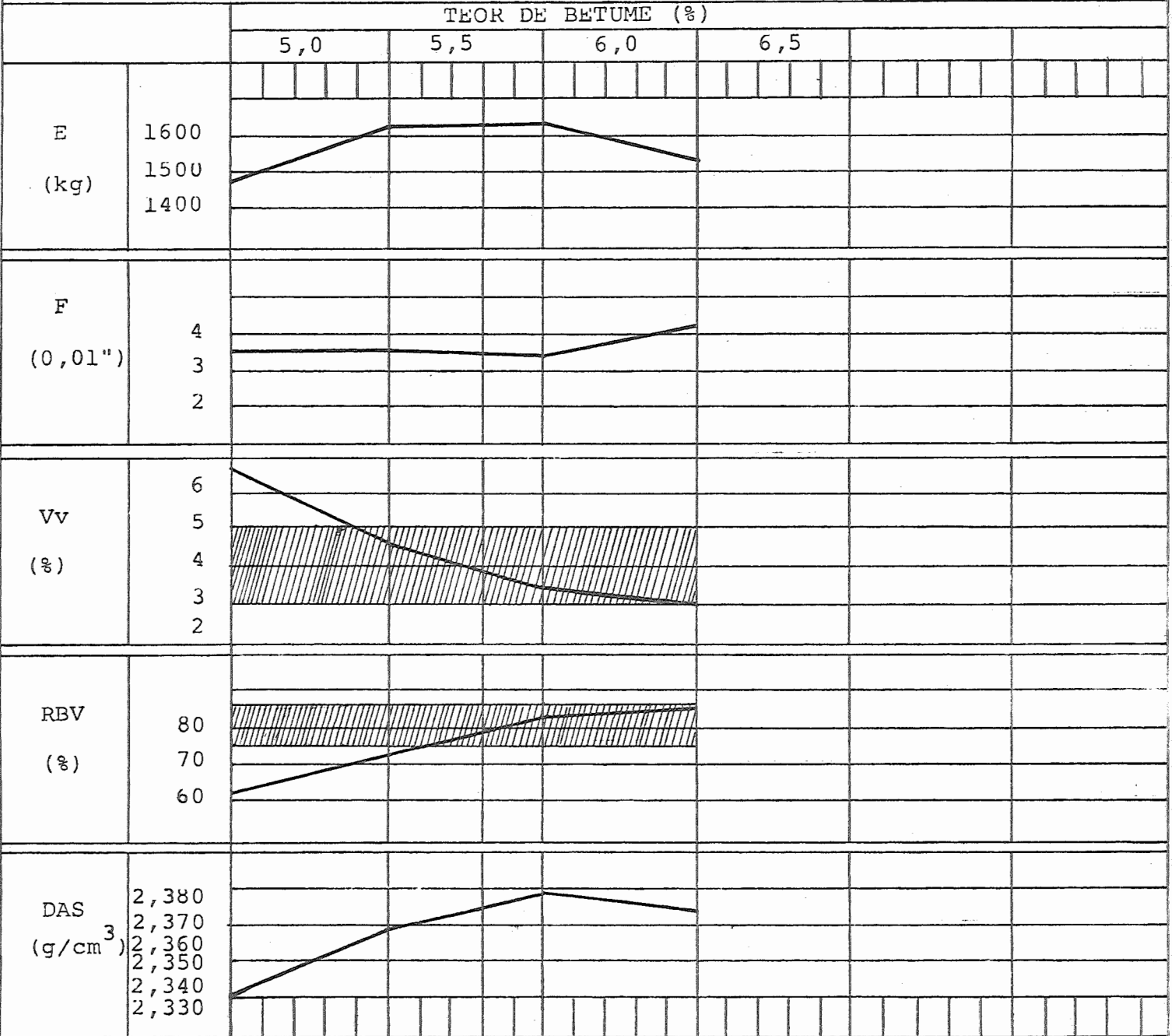
MATERIAL CONSTITUENTE: PEDRISCO FINO, PEDRISCO MEDIO, PEDRA BRITADA ou BRITA BLOCO

Composição Granulometrica %	FILER	P E D R I S C O					P E D R A B R I T A D A ou B R I T A					BLOCO	INICIO. / /		A-																			
		Fino		Medio	Grosso	1	2	3	4	5	FIM. / /		F-																					
Distribuição Granulometrica %	mm	0.053	0.074	0.149	0.177	0.297	0.42	0.59	0.84	1.00	1.19	1.41		1.68	2.00	2.30	4.76	6.35	7.93	9.52	12.7	16.9	19.1	22.2	25.4	31.7	38.1	44.4	50.8	62.5	76.2	88.9	101.6	OPERADOR. a)

ENSAIO MARSHALL

INTERESSADO: Azevedo Travassos						EXIGIDO PELA ESPECIFI CAÇÃO.
MISTURA PARA: Prê-Misturado a Quente Grad. C' da I-34-56t						
TEOR DE BETUME (%)						
RESULTADOS		5,0	5,5	6,0	6,5	
ESTABILIDADE	E (kg)	1.294	1.611	1.611	1.520	≥ 750 kg
FLUÊNCIA	F(0,01")	3,55	3,55	3,29	4,06	3 a 5 mm
VAZIOS NÃO PREENCHIDOS	Vv(%)	6,63	4,56	3,20	2,90	3% a 5%
VAZIOS PREENCHIDOS	RBV(%)	63,0	73,4	81,2	83,1	75% a 85%
DENSIDADE APARENTE	DASg/cm ³)	2,333	2,367	2,383	2.373	≥ 95%

ESCALA 1:125



CONCLUSÃO: Teor de Betume Recomendado = 5,8%

DATA: 26/05/1978

OBSERVAÇÃO: Moldados com 50 golpes.

OPERADOR: Gobatto

Cálculo de Vv, RBV, DAS em anexo.

Moldagem			CAPA DE ROLAMENTO DE PRÉ-MISTURADO A QUENTE (conf. I-34-56T)										Constante do anel		
C. P.	TEOR ASFALTO	MASSA AO AR	MASSA IMERSO	VOLUME (g/cm ³)	DENSIDADE (g/cm ³)	DENSIDADE MÉDIA (g/cm ³)	LEITURA (0,01")	CARGA	FLUÊNCIA mm	VALOR DE CORREÇÃO	VALOR CORRIGIDO	V. V.	V. P.	ESTACA	AMOSTRA
1	5,0	1296,00	740,00	556,0	2,330		0,60	1690,20	3,55	0,89	1,504				
2	"	1296,70	742,00	554,7	2,337	2,333	0,59	1662,00	3,55	0,89	1,479	6,663	63,0		
3	5,5	1295,10	748,00	547,10	2,367		0,61	1718,37	3,55	0,93	1,598				
4	"	1295,50	748,00	547,50	2,366	2,367	0,62	1746,54	3,55	0,93	1624	4,56	73,4		
5	6,0	1287,30	747,00	540,30	2,382		0,60	1690,20	2,03	0,93	1,572				
6	"	1296,80	753,00	543,80	2,384	2,383	0,63	1774,71	3,55	0,93	1,650	3,20	81,2		
7	6,5	1289,80	746,00	543,80	2,371		0,56	1577,52	4,06	0,93	1,467				
8	"	1288,60	746,00	542,60	2,374	2,373	0,60	1690,20	4,06	0,93	1,572	2,90	83,1		
					OBS: AZEVEDO TRAVASSOS					EXECUTADO POR:					
					9º Trecho					GOBATTO					

ESCOLA DE ENGENHARIA DE S. CARLOS																			
	DETERMINAÇÃO DOS DIVERSOS ÍNDICES	MÉTODO DE MARSHAL																	
COMPOSIÇÃO DO AGREGADO	<table style="width:100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 10%;">A-</td> <td style="width: 10%;">:</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">%</td> <td style="width: 10%;">A-</td> <td style="width: 10%;">:</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">%</td> </tr> <tr> <td>A-</td> <td>:</td> <td></td> <td>%</td> <td>A-</td> <td>:</td> <td></td> <td>%</td> </tr> </table>	A-	:		%	A-	:		%	A-	:		%	A-	:		%		
A-	:		%	A-	:		%												
A-	:		%	A-	:		%												
RESULTADOS MÉDIOS CORRESP. A DOSAGEM DE MATER. BETUM. DE:			%																
DENSIDADE REAL MÉDIA DESTA DOSAGEM	= DAS =		g/cm ³																
ESTABILIDADE MARSHAL MÉDIA DESTA DOSAGEM	=		kg																
DEFORMAÇÃO PLÁSTICA MÉDIA DESTA DOSAGEM	=		0,01"																
$D_{max} = \frac{100}{\frac{Pa}{da} + \frac{Pb}{db}} = \text{g/cm}^3$		$V_b = \frac{x}{\frac{100 \times RBV}{V_a + V_b}} = \%$																	
$V_v = \frac{100 (D_{max} - d_{rm})}{D_{max}}$		$V_a = V_b + V_v$																	
DATA: / / 19	OPERADOR:																		

ESCOLA DE ENGENHARIA DE S. CARLOS																			
	DETERMINAÇÃO DOS DIVERSOS ÍNDICES	MÉTODO DE MARSHAL																	
COMPOSIÇÃO DO AGREGADO	<table style="width:100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 10%;">A-</td> <td style="width: 10%;">:</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">%</td> <td style="width: 10%;">A-</td> <td style="width: 10%;">:</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">%</td> </tr> <tr> <td>A-</td> <td>:</td> <td></td> <td>%</td> <td>A-</td> <td>:</td> <td></td> <td>%</td> </tr> </table>	A-	:		%	A-	:		%	A-	:		%	A-	:		%		
A-	:		%	A-	:		%												
A-	:		%	A-	:		%												
RESULTADOS MÉDIOS CORRESP. A DOSAGEM DE MATER. BETUM. DE:			6 %																
DENSIDADE REAL MÉDIA DESTA DOSAGEM	= DAS =	2,383	g/cm ³																
ESTABILIDADE MARSHAL MÉDIA DESTA DOSAGEM	=		kg																
DEFORMAÇÃO PLÁSTICA MÉDIA DESTA DOSAGEM	=		0,01"																
$D_{max} = \frac{100}{\frac{6,0}{1,032} + \frac{94,0}{2,70}} = 2,46 \text{ g/cm}^3$		$V_b = \frac{2,383 \times 6,0}{1,032 \times 13,85} = 13,85 \%$																	
$V_v = \frac{100 (2,461 - 2,383)}{2,461} = 3,20 \%$		$V_a = 3,20 + 13,85 = 17,05 \%$																	
$D_{max} = \frac{100}{\frac{Pa}{da} + \frac{Pb}{db}}$		$V_a = V_b + V_v$																	
DATA: 26 / 05 / 19 78	OPERADOR: Gobatto																		