

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTÁGIO SUPERVISIONADO – BR 230



ALUNO : CLÓVIS BEVILÁQUIA FERNANDES SARAIVA

OUTUBRO DE 2000



Biblioteca Setorial do CDSA. Julho de 2021.

Sumé - PB

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Área de Estágio : Pavimentação

Orientador : Ricardo Correia Lima

Co-Orientador : José Afonso Gonçalves de Macêdo

Supervisor : Gentil Felizola Lins de Araújo

Examinador : Raimundo Leidimar Bezerra

Coordenadora : Maria Constância Ventura Crispim Muniz

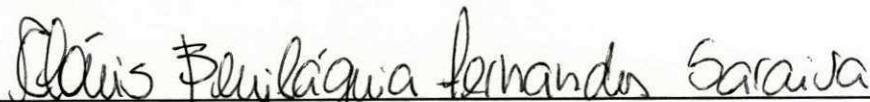
Local de Estágio : Duplicação da Rodovia BR – 230/PB

Entidade concedente : Departamento de Estradas e Rodagem da Paraíba (DER-PB)

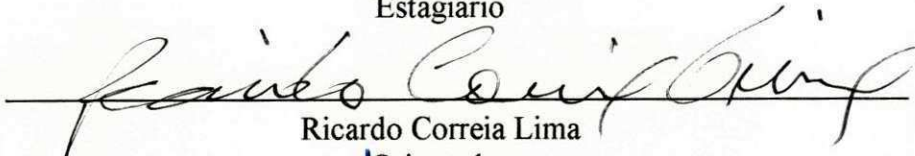
Endereço : Av. José Américo de Almeida, s/n, João Pessoa – Paraíba

Campina Grande
Outubro de 2000

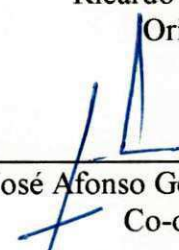
RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

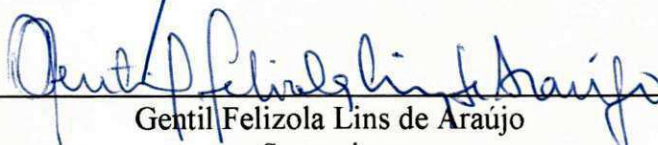


Clóvis Beviláquia Fernandes Saraiva
Estagiário



Ricardo Correia Lima
Orientador


José Afonso Gonçalves de Macedo
Co-orientador



Gentil Felizola Lins de Araújo
Supervisor



Raimundo Leidimar Bezerra
Examinador

Campina Grande
Outubro de 2000

NOTA - 7,3 (sete e 3/10)
Nº de créditos - 12 (doze)
conceito - B

ÍNDICE

I – Apresentação	1
II – Resumo	3
III – Misturas asfálticas	4
1.0 – Conceituação e Classificação.....	4
2.0 – Concreto asfáltico	7
2.1 – Parâmetros aracterísticos da mistura.....	9
2.1.1-Densidade aparente damistura	10
2.1.2-Densidade máxima teórica da mistura	10
2.1.3-Densidade aparente expressa como %	12
2.1.4-Porcentagem de vazios da mistura	12
2.1.5-Porcentagem de vazios do agregado mineral	13
2.1.6-Relação betume-vazios	14
2.2 - Dosagem.....	15
2.2.1-Método de dosagem Marshall.....	15
2.3 – Produção	22
2.4 – Execução e Controle	31
IV – Conclusão	40
V – Bibliografia	41

I - APRESENTAÇÃO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento no estágio supervisionado do aluno Clóvis Beviláquia Fernandes Saraiva, realizado na duplicação da BR-230 e mostra as especificações da obra, bem como todos os trabalhos nela desenvolvidos.

O estágio foi iniciado em 20 de Março e teve seu término no dia 31 de Julho, tendo uma carga horária de 20 horas semanais, totalizando 372 horas.

Sob orientação do professor Ricardo Correia Lima e do professor José Afonso Gonçalves de Macêdo este estágio proporcionou ao graduando um contato direto com a prática e fez com que o estagiário associasse conceitos teóricos desenvolvidos na Faculdade com as práticas cotidianas.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser ele o responsável por todas as dificuldades superadas. À meus pais, por toda abdicação em nome desta minha realização. À meus irmãos por todo amor incondicionalmente me oferecido. Aos professores Ricardo e Afonso por acreditarem neste trabalho e por me darem esta oportunidade. Aos novos amigos conquistados no decorrer da obra, pessoas com humildade e com simplicidade, como Sr. Fideles, Jean, Tavares, Sr. João Bastos, Domingos e muitos outros, que achavam que podiam dar tão pouco, mas que em muito contribuíram na formação deste novo Engenheiro Rodoviário.

Agradeço a Paulinho, que mais que um amigo é um irmão que ganhei para todo sempre e que muito trará saudade. E a todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta, não só para a realização deste estágio, mas também para minha formação acadêmica em Engenharia, que hoje me motiva a seguir em frente, sempre unindo tecnologia e economia.

II - RESUMO

A duplicação da BR-230 é uma das grande obra de Engenharia Rodoviária que se desenvolve no País. A obra irá unir as duas maiores cidades da Paraíba (João Pessoa e Campina Grande).

Realizado com investimentos do Governo Federal em parceria com o Governo do Estado da Paraíba, a presente obra está orçada para um valor inicial de R\$ 98.0000.000,00 , podendo este valor se elevar em 15%, a título de aditivos.

A firma responsável por construir os 138Km desta rodovia é a VIA ENGENHARIA S/A, a qual foi vencedora de uma concorrência pública. A fiscalização é efetuada pelo DER-PB (Departamento Estadual de Estradas e Rodagem da Paraíba), órgão estadual que faz cumprir todas as exigências técnicas almejadas pela obra.

Visando um melhor desenvolvimento da obra, foram divididos quatro lotes de trabalho: O lote 1, compreendido entre o trevo de Várzea Nova, município de Santa Rita, e o acesso a Sapé através da PB073, em Café do Vento. O lote 2, é composto da restauração da pista existente de Várzea Nova até Campina Grande. O lote 3, refere-se a duplicação do trecho compreendido entre o acesso a Ingá (PBT-405) até Campina Grande. Neste lote está incluído um binário no Riachão, com a subida feita através da estrada atual e a descida (Campina Grande – Litoral) através de uma variante em implantação. O lote 4 constitui a construção do viaduto, localizado na confluência da BR- 101 com a BR – 230 no bairro Oitizeiro em João Pessoa. Desse convênio consta também a iluminação do trecho entre Oitizeiro e Cabedelo (28 km) e a construção de duas passarelas em Várzea Nova e duas passarelas nas proximidades de Campina Grande.

Deve-se levar em consideração que a rodovia não será somente duplicada . Ficou estabelecido no contrato que toda a pista já existente sofrerá uma aplicação de CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente), o que aumentará ainda mais não só a durabilidade da pista, como também o conforto e segurança dos seus usuários.

III – MISTURAS ASFÁLTICAS

1.0 Conceituação & Classificação

Os revestimentos asfálticos podem apresentar diversas constituições, que resumidas se classificam da seguinte maneira :

Revestimentos Asfálticos	Por penetração	Macadame asfáltico Tratamento Superficial
	Por Mistura	Misturas Asfálticas

Nosso trabalho no entanto ficará restrito aos revestimentos asfálticos obtidos por mistura, visto que na duplicação da BR 230 somente este tipo de aplicação foi realizado .

As misturas asfálticas para revestimento podem apresentar diversas constituições, resumidas na classificação seguinte :

Misturas Asfálticas	Misturas a quente (usina fixa)	Concreto Asfáltico Pré-misturado a quente Areia-asfalto a quente
	Misturas a frio	Pré-misturado a frio Lama asfáltica

As misturas a quente são aquelas em que se usa o *cimento asfáltico de petróleo* (CAP), produto semi-sólido, tendo pois de serem fortemente aquecidas para a mistura, o espalhamento e a compactação .

Misturas a frio são aquelas em que se usa o asfalto liqüefeito (asfalto diluído – AD ou emulsão asfáltica – EA), podendo serem misturadas na temperatura ambiente ou com leve aquecimento , em torno de 60°C, e que devem ser espalhadas e compactadas na temperatura ambiente.

Uma classificação geral das misturas asfálticas de acordo com os principais organismos internacionais é praticamente impossível, tal a confusão de nomes e até de conceitos .

Uma das mais tradicionais classificações é aquela que distingue as misturas a quente e as misturas a frio.

As misturas à quente são realizadas com cimentos asfálticos de petróleo (CAPs) ou naturais (“asfalto trinidad” ou “ rochas asfálticas trituradas “), que são produtos semi-sólidos na temperatura ambiente, necessitando pois serem confeccionadas, espalhadas e compactadas em temperatura bem acima da ambiente ($T > 90^{\circ}\text{C}$) .

As misturas a frio são realizadas com asfaltos liqüefeitos, geralmente emulsões asfálticas catiônicas (EACs) e mais raramente com asfaltos diluídos(AD's). Geralmente se aquece um pouco o asfalto liqüefeito ($T=50^{\circ}\text{C}$) e muito raramente o agregado. O que caracteriza uma mistura a frio é que elas são sempre espalhadas, e compactadas em temperatura ambiente .

Uma outra classificação leva em conta a estrutura interna da mistura asfáltica. Distinguem-se as misturas com esqueleto mineral onde as partículas do agregado se tocam, deixando vazios no agregado mineral, das sem esqueleto mineral que não possuem vazios

O esqueleto mineral pode ser constituído por um agregado miúdo e/ou por um agregado graúdo .

As misturas asfálticas constituídas por agregado miúdo são chamadas de argamassas asfálticas e as constituídas por agregado graúdo e argamassa asfáltica são denominadas no Brasil de pré-misturados .

Na realidade as misturas asfálticas, encaradas de uma maneira mais geral , abrangem o solo-asfalto (para base) , a estabilização asfáltica para base (funcionando como revestimento para tráfego leve) e a lama asfáltica (argamassa asfáltica colocada na pista por via aquosa) .

Os pré-misturados à quente preparados com as mais exigentes especificações têm recebido usualmente o nome de concreto asfáltico (agregado graúdo obrigatoriamente britado , baixo teor de vazios – por exemplo 3 a 5% para camada de rolamento e de 4 a 6% para a camada de binder) . O DNER (Departamento Nacional de Estradas e Rodagem) tem chamado oficialmente o concreto asfáltico de – Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

O pré-misturado a quente (PMQ) é um concreto asfáltico (CA) com características menos nobres . Entretanto, não se deve confundir um CA mal executado com um PMQ .

Tem-se ainda os pré-misturados a frio (PMFs) e, na ausência do agregado graúdo, as areias asfálticas a frio (AAFs).

Uma outra classificação de misturas asfálticas é aquela que leva em conta seu teor de vazios ($\%V_v$). As misturas asfálticas podem ser classificadas em :

Misturas Asfálticas	<ul style="list-style-type: none"> - Aberta - Semi-densa - Densa
---------------------	---

Não há concordância internacional nos valores de $\%V_v$ atribuídos às três categorias, variando-se bastante da mistura a quente para a mistura a frio; sendo assim encontra-se:

	A Quente	A Frio
Mistura Densa	$V_v < 8\%$	$V_v < 15\%$
Mistura Semi-Densa	$V_v : 8 - 12\%$	$V_v : 15 - 22\%$
Mistura Aberta	$V_v > 12\%$	$V_v > 22\%$

Tabela 1 – Classificação por índice de vazios

Os valores mais altos das $\%V_v$, adotados na citada classificação, para misturas a frio são devidos a dois fatos :

- a) as misturas a frio exigem mais vazios que as misturas a quente, pois há a necessidade de evaporação, após a compactação, de solvente (asfaltos diluídos) e de água com ou sem solvente (emulsões asfálticas);
- b) na fase de consolidação pelo tráfego há uma menor diminuição dos $\%V_v$ nas misturas a frio que nas misturas a quente, e os valores apresentados referem-se aos valores obtidos no laboratório.

Resumindo e finalizando esta classificação geral, pode-se dizer que as misturas asfálticas podem ser qualificadas por três critérios distintos, sendo eles :

- a) temperatura de espalhamento e compactação;
- b) presença ou não de esqueleto mineral ;
- c) porcentagem de vazios ($\%V_v$).

Misturas Asfálticas	<ul style="list-style-type: none"> - a Quente - a Frio
---------------------	--

Misturas Asfálticas	- Abertas - Semi-Densa - Densa
Misturas Asfálticas	- Com esqueleto mineral - Sem esqueleto mineral

2.0-Concreto asfáltico

O tipo de concreto asfáltico utilizado na obra foi uma mistura à quente chamada CBUQ (concreto betuminoso usinado à quente) que nada mais é do que uma mistura executada em usina apropriada, com características específicas compostas de agregado mineral graduado, material de enchimento (filler) e ligante betuminoso, espalhada e comprimida à quente. O concreto betuminoso pode ser empregado como base, revestimento ou regularização. Na BR-230 ele foi utilizado como revestimento, sendo do tipo duplo , pois é distribuído em duas camadas: uma com maior índice de vazios, que é chamada binder, a outra mais externa é o revestimento propriamente dito.

O trabalho com CBUQ não é executado em dias de chuva e deve ser fabricado, transportado e aplicado em temperaturas ambientes superiores a 10°C .Veremos mais adiante, e mais detalhadamente como se dá o controle tecnológico e geométrico das etapas de execução do concreto betuminoso.

Os materiais constituintes do concreto betuminoso são : agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento (“filler”) e ligante betuminoso, os quais devem atender às especificações aprovadas pelo DNER que estão abaixo relacionadas.

Ligante betuminoso

Podem ser empregados os seguintes ligantes betuminosos :

- a) cimento asfáltico de petróleo , CAP - 30/45, CAP - 50/60, CAP - 85/100, CAP - 150/200, (classificação por penetração) , CAP - 7, CAP - 20, CAP - 40,(classificação por viscosidade);
- b)alcatrões tipos AP-12;
- c) podem ser usados, também, ligantes betuminosos modificados, quando indicados no projeto.

Na duplicação da Rodovia BR - 230 está sendo utilizado o Cap-50/60 que é fornecido pela Petrobras.

Agregados

Agregados graúdos

O agregado graúdo pode ser pedra, escória, seixo rolado, ou outro material indicado em especificações complementares . O agregado graúdo deve se constituir de fragmentos sãos, duráveis, livres de torrões de argila e substâncias nocivas, além de apresentar as seguintes características :

- a)desgaste Los Angeles igual ou inferior a 40% (DNER-ME 035); admitindo-se agregados com valores maiores, no caso de terem apresentados desempenhos satisfatórios em utilização anterior;
- b)índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086);
- c)durabilidade, perda inferior a 12% (DNER-ME 89).

Após especificar-se os tipos de materiais utilizados fazer-se-há uma comparação com os tipos vistos em campo e na usina de asfalto da Via Engenharia, que foi implantada para viabilizar as necessidades de duplicação da BR-230.

Agregado miúdo

O agregado miúdo pode ser areia, pó de pedra ou mistura de ambos . Suas partículas individuais deverão ser resistentes, apresentar moderada angulosidade, estando livres de torrões de argila e substâncias nocivas . Deverá apresentar equivalente em areia igual ou superior a 55% (DNER-ME 054).

Material de enchimento

Devem ser constituídos por materiais finamente divididos, tais como cimento portland, cal extinta, pós calcários, cinza volante, etc., e que atendam a seguinte granulometria (DNER-ME 083):

<u>Peneira</u>	<u>% mínima passando</u>
Nº 40	100
Nº 80	95
Nº 200	65

Composição do silo quente

Na duplicação da rodovia BR-230 utilizou-se como agregado graúdo uma mistura graduada de britas, sendo elas a brita 2 (32mm), brita 1(19 mm) e brita 0 (9mm), e como agregado miúdo uma mistura de areia e pó de brita. Estas britas são originárias de uma pedreira localizada dentro do canteiro central, sendo o beneficiamento feito em um britador localizado no mesmo canteiro.

2.1- Parâmetros característicos da mistura

Análise das condições de densidade e vazios de uma mistura

1- Representação esquemática de densidade e vazios em uma mistura compactada

A representação esquemática de um corpo de prova compactado de uma mistura asfáltica poderia ser feita como indica a figura abaixo :

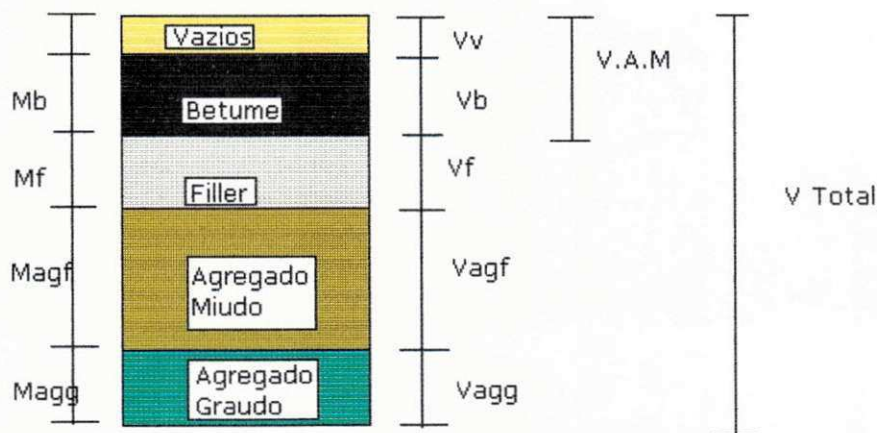


Fig 1- Corpo de prova de uma mistura asfáltica compactado

Onde: Mb = massa de betuma existente no corpo de prova ;

MT = massa de filler existente no corpo de prova;

Mgf = massa de egrgado fino no corpo de prova ;

Maga = massa de agregado graúdo existente no corpo de prova

Mt = massa total do corpo de prova;

Vv = volume ocupado pelos vazios existentes no corpo de prova;

Vf = volume ocupado pelo filler existente no corpo de prova;

Vb = volume ocupado pelo betume existente no corpo de prova;

Vagf = volume ocupado pelo agregado fino existente no corpo de prova;

Vagg = volume ocupado pelo agregado graúdo existente no corpo de prova;

Vt = volume total no corpo de prova;

Obs. : Deve-se considerar as grandezas citadas referidas a 25° C

2.1.1 Densidade aparente da mistura (d)

A massa específica aparente da mistura seria, por definição, o quociente da massa total da mistura (Mt) pelo volume total ocupado pela mesma (Vt), considerada a água a 25° C.

A determinação de \underline{d} é feita empregando-se uma balança hidrostática . Sendo :

Mt = Mar - massa do corpo de prova determinada ao ar (pesada ao ar);

Mh - massa do corpo de prova determinada na água (pesada na água).

\underline{d} será calculada pela expressão :

$$\underline{d} = \text{Mar} / (\text{Mar} - \text{Mh}) \quad (1)$$

2.1.2 Densidade máxima teórica da mistura (D)

A densidade máxima teórica da mistura seria, por definição, o quociente da massa total da mistura (Mt) pelo volume ocupado pelos “cheios” da massa (Vc = Vt - Vv) considerada a água a 25° C.

Assim :

$$\mu = \text{Mt} / (\text{Vt} - \text{Vv})$$

poder-se-ia escrever que :

$$\mu = \text{Mt} / (\text{Vagg} + \text{Vagf} + \text{Vf} + \text{Vb}) \quad (2)$$

Por outro lado , tem-se que :

$$\mu_{\text{agg}} = \text{Magg} / \text{Vagg} \quad \Rightarrow \quad \text{Vagg} = \text{Magg} / \mu_{\text{agg}}$$

$$\mu_{\text{agf}} = \text{Magf} / \text{Vagf} \quad \Rightarrow \quad \text{Vagf} = \text{Magf} / \mu_{\text{agf}}$$

$$\mu_{\text{f}} = \text{Mf} / \text{Vf} \quad \Rightarrow \quad \text{Vf} = \text{Mf} / \mu_{\text{f}}$$

$$\mu_{\text{b}} = \text{Mb} / \text{Vb} \quad \Rightarrow \quad \text{Vb} = \text{Mb} / \mu_{\text{b}}$$

sendo:

μ_{agg} = massa específica real do agregado graúdo referida a 25°C .

μ_{agf} = massa específica real do agregado fino referida a 25°C .

μ_f = massa específica real do filler referida a 25°C .

μ_b = massa específica real do betume referida a 25°C .

Considerando-se a massa total da mistura (Mt) como 100 % e expressando-se as massas de cada um dos elementos integrantes como % do Mt , ter-se-á :

$$\mu = 100 / (\% \text{ agg} / \mu_{agg} + \% \text{ agf} / \mu_{agf} + \% \text{ f} / \mu_f + \% \text{ b} / \mu_b) \quad (3)$$

Por outro lado , sabe-se que :

$$\mu_{agg} = d_{agg} \times \mu_{a25}$$

$$\mu_{agf} = d_{agf} \times \mu_{a25}$$

$$\mu_f = d_f \times \mu_{a25}$$

$$\mu_b = d_b \times \mu_{a25}$$

sendo :

d_{agg} = densidade do agregado graúdo a 25 °C;

d_{agf} = densidade do agregado fino a 25 °C;

d_f = densidade do filler graúdo a 25 °C;

d_b = densidade do betume a 25 °C.

Substituindo-se no denominador de (3) as massas específicas reais pelos valores correspondentes :

$$\mu = 100 / (\% \text{ agg} / d_{agg} \times \mu_{a25} + \% \text{ agf} / d_{agf} \times \mu_{a25} + \% \text{ f} / d_f \times \mu_{a25} + \% \text{ b} / d_b \times \mu_{a25})$$

Dividindo ambos os membros da expressão anterior por μ_{a25} tem-se a expressão que permite calcular a densidade máxima teórica da mistura (D):

$$D = 100 / (\% \text{ agg} / d_{agg} + \% \text{ agf} / d_{agf} + \% \text{ f} / d_f + \% \text{ b} / d_b) \quad (4)$$

ou ainda :

$$D = 100 / ((100 - \% \text{ b}) / d_M + \% \text{ b} / d_b) \quad (4 ')$$

sendo : d_M = densidade média da mistura de agregados

A densidade máxima teórica da mistura corresponde à densidade da mistura suposta sem vazios, ou seja, é a relação entre a massa total da mistura e a massa de água correspondente ao volume ocupado pelos "cheios" da massa da mistura (determinações referidas a 25 ° C)

2.1.3-Densidade aparente expressa como % da densidade máxima teórica (d %)

Obtém-se a expressão :

$$d (\%) = (d / D) \times 100 (5)$$

2.1.4 Porcentagem de vazios da mistura (% Vv)

É , por definição , o volume de vazios existentes na mistura (Vv) expresso como porcentagem do volume total da mistura (Vt).

$$\begin{array}{l} V_t \text{ ---- } 100 \\ V_v \text{ ----- } \% V_v \end{array}$$

Logo :

$$\% V_v = 100 \cdot V_v / V_t \quad (6)$$

Viu-se anteriormente que :

$$\mu = M_t / (V_t - V_v) \Rightarrow V_v = V_t - (M_t / \mu)$$

Substituindo-se em (6) Vv , pelo valor obtido :

$$\% V_v = (100 V_t - (100 M_t / \mu)) / V_t$$

Dividindo-se o numerador e o denominador por Vt :

$$\% V_v = 100 - (100 M_t / \mu V_t)$$

Mas :

$$M_t / V_t = \mu_{ap}$$

Logo :

$$\% V_v = 100 - (100 \mu_{ap} / \mu)$$

Mas :

$$\begin{array}{l} \mu_{ap} = d \times \mu_{at} \\ \mu = D \times \mu_{at} \end{array}$$

Consequentemente :

$$\% V = 100 - 100 (d / D)$$

Ou :

$$\% V_v = 100 \times (D - d) / D \quad (7)$$

Ou :

$$\% V_v = 100 - (\% d) \quad (7')$$

2.1.5 - Porcentagem de vazios no agregado mineral (% V.A.M.)

É , por definição, a soma da porcentagens de vazios na mistura com o volume ocupado pelo betume que a mesma encerra, expresso como porcentagem do volume total (%Vb).

Assim :

$$\% V.A.M. = \% V_v + \% V_b \quad (8)$$

Mas :

$$V_b = M_b / w_b$$

Por outro lado :

$$V_b \text{ ----- } V_t \quad \Rightarrow \quad \% V_b = (100 V_b / V_t)$$

Substituindo-se Vb pelo seu valor :

$$\% V_b = (100 X (M_b / \mu_b)) / V_t = (100 X M_b) / (\mu_b X V_t)$$

Dividindo-se o numerador e o denominador da fração obtida por Mt :

$$\% V_b = (100 X (M_b / M_t)) / (\mu_b (V_t / M_t))$$

Logo :

$$\% V_b = \% b / (\mu_b / \mu_{ap}) = (\mu_{ap} X \% b) / \mu_b$$

Mas como :

$$\begin{aligned} \mu_{ap} &= d X \mu_{a25} \\ \mu_b &= d_b X \mu_{a25} \end{aligned}$$

Tem-se :

$$\%v_b = (d X \% b) / d_b \quad (9)$$

Substituindo-se em (8) % V e Vb pelos valores respectivos (ver expressões (7) e (9)), tem-se :

$$\% V.A.M = 100 \times \left(\frac{D - d}{D} \right) + \left(\frac{d \times \% b}{db} \right) \quad (10)$$

Ou ainda :

$$\% V.A.M = 100 - (d - dm) \times (100 - \%b) \quad (10')$$

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

Por definição, é o quociente do volume ocupado pelo betume, expresso em porcentagem do volume total da mistura, pela porcentagem de vazios do agregado mineral, ou seja, (V.A.M.).

Assim :

$$R.B.V (\%) = \% V_b / \% V.A.M$$

Ou :

$$R.B.V (\%) = \left(\frac{d \times \% b}{db} \right) / \% V.A.M \quad (11)$$

Ou ainda :

$$R.B.V (\%) = \left(\% V.A.M - \% V_t \right) / \left(\% V.A.M \right) \times 100 \quad (11')$$

Desde que se tenha um agregado determinado, os vazios existentes na mistura (V.A.M) estarão, dentro de certas limitações , evidentemente em função do esforço empregado na compactação do mesmo. Em outras palavras, o volume de vazios existentes entre as partículas será função da energia de compactação empregada.

Numa mistura asfáltica o ligante deverá preencher, até certo ponto, os vazios existentes no agregado, deixando, porém, uma certa parcela destes vazios ocupada pelo ar . Em virtude do que foi exposto, pode-se concluir que uma energia de compactação forte, corresponderá uma menor quantidade de ligante capaz de preencher os vazios existentes no na mistura do que aquela que seria necessário caso a energia de compactação fosse menor .

Um revestimento betuminoso, na prática, sofre sempre um efeito posterior de compactação ocasionado pela ação de cargas de tráfego. Nestas condições, caso o teor de ligante existente na mistura por ocasião da construção seja por si só suficiente para preencher todos os vazios entre os agregados minerais, o revestimento, como consequência da ação consolidadora do tráfego, terá acrescida as suas características de plasticidade, de vez que o teor de ligante, que por ocasião da construção preenchia na medida os vazios do agregado, passa a ser excessiva em face da redução sofrida pelos mesmos vazios.

2.2 – Dosagem

2.2.1- Métodos de Dosagem Marshall

Apresentaremos , para este item , o Ensaio de Marshall.

Existem outros métodos , porém selecionamos este em função de :

- custo do equipamento ;
- acessibilidade de sua realização pelo pessoal técnico de nível médio (Laboratoristas);
- praticabilidade e rapidez de sua execução em laboratórios centrais e de campo (na obra) .

Os textos complementares descrevem, com bastante minúcias a realização e interpretação, e dar-se-á uma súmula do mesmo. O ensaio consiste em se moldar corpos de prova com 4'' de diâmetro e 2,5'' de altura nas condições do método , para o tipo de tráfego que irá receber, e testá-los, também nas condições do método.

1- Aquecem-se os agregados, misturados nas proporções do projeto granulométrico, com exceção do filler, se este for material de origem calcária (até uma temperatura máxima de 163°C), até uma temperatura 5°C a 10°C acima da temperatura de aquecimento do cimento asfáltico .

Este aquecimento é feito em recipientes metálicos apoiados sobre tripés metálicos sobre a chama de um bico de gás (bico de Bunsen).

2- Aquece-se o cimento asfáltico até uma temperatura na qual sua viscosidade seja 85 segundos Saybolt Furol.

3- O corpo de prova terá, aproximadamente, um peso de 1100 gramas - força.

Pesa-se então, no próprio recipiente de aquecimento de mistura dos agregado, as quantidades (previamente calculadas, para corpos de prova com 4% - 4,5% - 5% - 5,5% - 6% - 6,5% - 7% - 7,5% de cimento asfáltico) para confeccionar 5 corpos de prova de cada teor de asfalto.

No recipiente de aquecimento de mistura de agregados coloca-se o peso da mistura do agregado (com exceção do filler) necessário para confeccionar 5 corpos de prova de 1100 gramas cada um, para teor de 4% de asfalto.

Alcançada a temperatura desejada para mistura dos agregados , adicionamos a quantidade projetada de filler e de asfalto (na temperatura especificada) ; mexe-se energicamente os componentes, com uma espátula metálica até obter uma mistura perfeita, homogênea e com agregados perfeitamente recobertos de asfalto .

Esta mistura é feita sem remover o recipiente metálico de cima da chama de aquecimento.

4-Os equipamentos (soquete e moldes) são aquecidos numa estufa, previamente, para evitar o resfriamento da mistura, ao seu contato durante a moldagem dos corpos e prova.

5- Pesa-se aproximadamente 1100 gramas de mistura e a transfere-se para o molde metálico, montado com colar superior. Regulariza-se a superfície do material e aplica-se rapidamente, com soquete de ensaio (evitando que haja um “repique” em cada golpe):

- 75 golpes para tráfego pesado
- 50 golpes para tráfego médio

Retiramos o colar e removemos o anel, com o material compactado, da placa de base do molde (cuidando para que o corpo de prova já semi-compactado não caia do interior do molde), invertemos o anel e montamos novamente na base; aplicamos, imediatamente, o mesmo número de golpes, nesta face do corpo de prova, que foi aplicado na outra face. Retiramos o anel, com o corpo de prova, para esfriar e repousar imerso em água à temperatura ambiente.

6-Molda-se os outros 4 corpos de prova da mesma maneira .

7-Reinicia-se todo o processo para moldar corpos de prova com 4,5% de cimento asfáltico, e assim por diante.

8-Os corpos de prova, após esfriarem, são extraídos de dentro dos moldes, por meio de um extrator dotado de macaco hidráulico, e os identificamos por meios apropriados (numeração com giz ou tinta branca).

9-Prontos, todos os corpos de prova, identificados e completamente repousados (esfriados) são submetidos aos procedimentos dos ensaios.

10-Pesa-se cada corpo de prova ao ar e imerso dentro da água (após permanecer imerso nesta água pelo menos 30 minutos a 25°C) dentro de uma cesta de tela metálica (tarada) suspensa na parte inferior do prato de uma balança hidrostática; cuidar para que não fiquem retidas bolhas de ar, nem na cesta nem no corpo de prova; anota-se estes pesos para cálculo das densidades e demais relações volumétricas.

11-Mede-se a altura de cada corpo de prova.

12-A seguir os corpos de prova são imersos em água a 60°C, por 20 minutos, colocados nos moldes de rupturas e rompidos na prensa de ensaio (que submete o corpo de prova a uma tensão axial), com um acréscimo de carga correspondente a um avanço do pistão da prensa a uma velocidade de ascensão de 2 polegadas (± 5 cm) por minuto

.Anota-se a leitura do defletômetro do anel dinamométrico aferido (para obter uma carga correspondente) no momento da ruptura do corpo de prova, bem como do defletômetro auxiliar que mede a deformação axial do corpo de prova com unidades de 0,01''.

13-Com as leituras do defletômetro do anel dinamométrico vai-se ao gráfico de aferição do mesmo, e obtém-se a carga de ruptura em quilos.

14-Obtida esta carga faz-se a aferição da mesma, em função da altura de cada corpo de prova, corrigindo-a pelo fator respectivo, obtido na tabela própria, existente no método para este fim.

15-Calculam-se todos os dados necessários e analisa-se: tira-se a média, para cada característica e para cada teor de asfalto, e despreza-se valores muito erráticos, tirando novamente a média .

Ou seja, por exemplo :

Tira-se a média da estabilidade corrigida (em libras) para os 5 corpos de prova com 4% de asfalto; despreza-se os valores muito erráticos e tira-se a nova média e anota-se. O mesmo faze-se com os corpos de prova de 4,5% de asfalto, etc.

Igual procedimento repete-se para as demais características dos corpos de prova.

16-Traça-se as curvas (em gráficos cartesianos ou ortogonais) de cada característica, característica X teor de asfalto.

Procura-se o teor de asfalto que corresponde ao valor ideal para cada característica e tira-se a média destes teores.

17-Volta-se aos gráficos e verifica-se se a média satisfaz as exigências das especificações para cada característica; em caso positivo, adota-se esta média e o teor ótimo de asfalto. Caso contrário, examinando-se as curvas, para mais ou menos no teor ideal de asfalto.

18-Obtido o teor ótimo calcula-se o restante da composição da mistura.

19-Este procedimento todo deve ser feito com os agregados dos silos frios e, repetido para confirmação, com os agregados dos silos quentes obtidos na usina que vai produzir mistura asfáltica.

20-Para confirmação e precaução adicional, faz-se a extração do betume de porções de cada corpo de prova, para determinação e comprovação do real teor de asfalto contido em cada um deles.

EXEMPLO: Cálculo da composição de uma mistura, tipo concreto asfáltico, para camada de rolamento, com agregado de $\frac{3}{4}$ '' de diâmetro máximo.

1- Especificações :

- Estabilidade Marshall, mínima, E, kg----- E=750 kg
- Fluência em polegadas, máxima----- F=0,20''
- Vazios totais da mistura----- Vv= 3 a 5%
- Vazios só do agregado mineral, mínimo----- VAM= 15%
- Relação betume/vazios(ou vazios preenchidos em asfalto)RBV----- 75 a 85%

2- Mistura de agregados (do exemplo de projeto granulométrico):

- Agregado 1 – 10%
- Agregado 2 – 35%
- Agregado 3 – 10%
- Agregado 4 – 45%

3- Teores de asfalto encontrados pelo ensaio de extração, feito para comprovação:

- 4,2% de asfalto
- 4,7% de asfalto
- 5,2% de asfalto
- 5,7% de asfalto
- 6,2% de asfalto

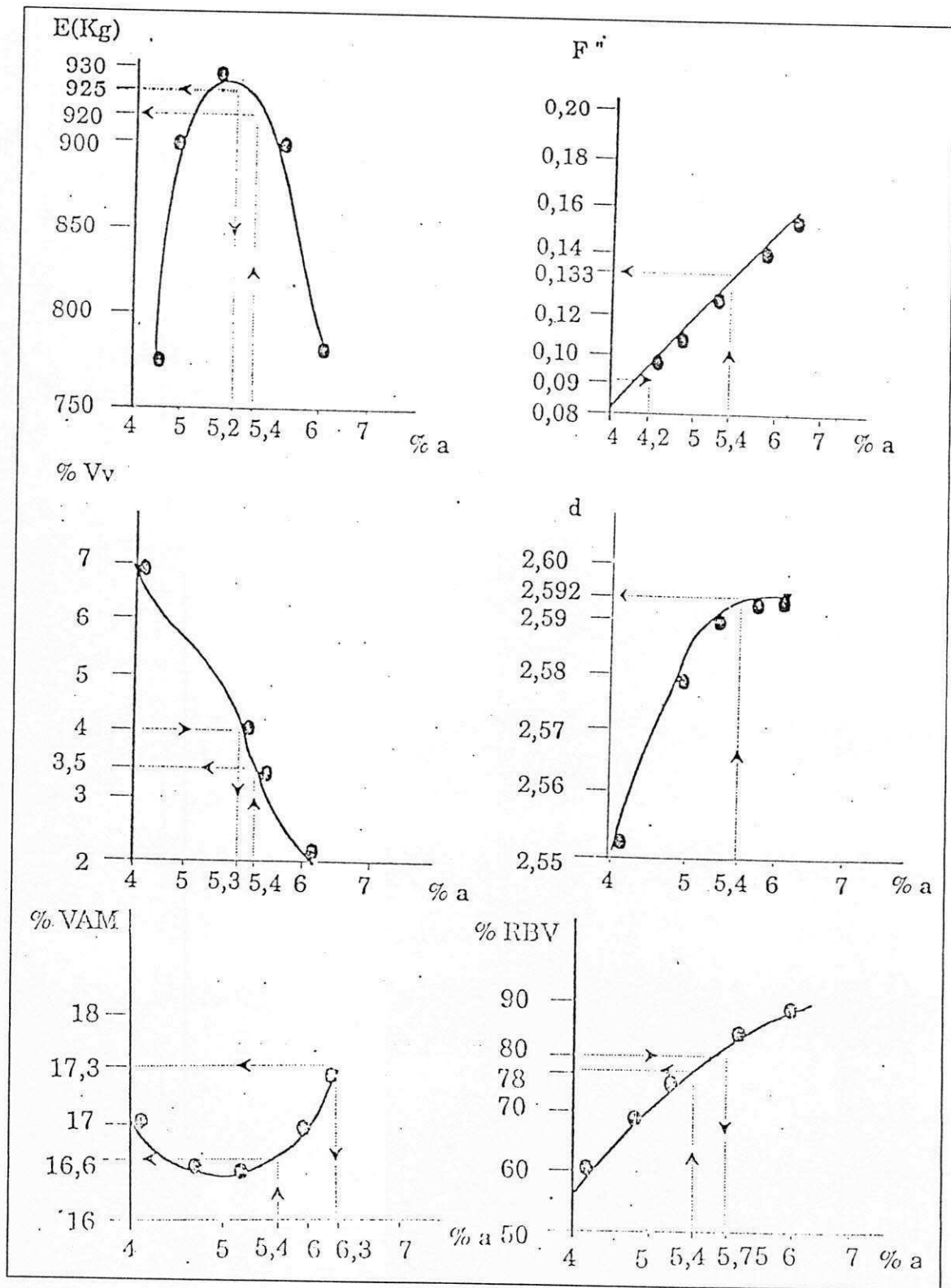
4- as características obtidas pelos ensaios da mistura total (corpos de prova – valores da média de 5 corpos de prova para cada teor de asfalto) constam do quadro a seguir:

Características obtidas, em ensaios da mistura total

Teor de asfalto %a	Vazio da mistura total %Vv	Vazios só do agregado mineral %VAM	Estabilidade Marshall Kg	Densidade aparente dg/cm ³	Relação betume/vazios u vazios preenchidos com asfalto %RBV	Fluência
4,2	6,8	16,8	776	2,553	58,4	9
4,7	5,7	16,5	895	2,557	67,9	11
5,2	3,8	16,5	925	2,590	75,8	12
5,7	3,0	16,8	902	2,594	82,1	14
6,2	2,3	17,3	790	2,591	86,9	17

Tabela 1 – Características obtidas no ensaio marshall.

5- Utiliza-se os resultados dos ensaios, constantes do quadro do item anterior, traçam-se as 6 curvas Marshall da mistura em projeto.



6-Para obter teores de asfaltos correspondentes a cada uma das 5 características (exceto densidade que não entra no cálculo), entra-se nas curvas com os valores desejados para as características, com base nas especificações (item 1) como segue :

- Estabilidade (E): a maior possível, acima de 750 kg
- Fluência (F) : a maior possível , abaixo de 0,20''
- Vazios totais da mistura (Vv) : o valor médio, ou seja 4 %
- Vazios totais da mistura (VAM) : maior possível, acima de 15%
- Relação betume/vazios (RBV) : o valor médio, ou seja 80%

7-Entra-se nas curvas, nas ordenadas, atendendo as indicações do item anterior, encontra-se :

- E:925 kg resultando em 5,2% de asfalto
- F:0,09 resultando em 4,2% de asfalto
- Vv:4% resultando em 5,3 % de asfalto
- VAM: 17,3%resultando em 6,3% de asfalto
- RBV:80% resultando em 5,75%de asfalto

8- tira-se a média dos teores encontrados :

$$(5,2 + 4,2 + 5,3 + 6,3 + 5,75) / 5 = 5,35$$

Ou sejam 5,4% de asfalto.

9- Volta-se às curvas, colocando-se 5,4 nas abscissas, e encontra-se nas ordenadas :

- E:920 kg
- F:0,133''
- Vv:3,5%
- VAM:16,6%
- RBV:78%

Estes valores são satisfatórios em relação às exigências das especificações, portanto a mistura em projeto deverá conter 5,4%de cimento asfáltico.

10-Calcula-se, agora, a composição da mistura total de agregados:

- Agregados = 100% - 5,4% = 94,6%
- Teor de cada agregado será a % do agregado (na mistura de agregados) x 0,946;

$$\text{Agregado 1} = 10\% \times 0,946 = 9,46 = 9,5 \%$$

$$\text{Agregado 2} = 35\% \times 0,946 = 33,11 = 33,1\%$$

$$\text{Agregado 3} = 10\% \times 0,946 = 9,46 = 9,5 \%$$

$$\text{Agregado 4} = 45\% \times 0,946 = 42,57 = 42,6 \%$$

11- Obtém-se, assim, a seguinte mistura completa:

- Cimento asfáltico-----5,4%
 - Agregado 1 -----9,5 %
 - Agregado 2 -----33,1%
 - Agregado 3 -----9,5 %
 - Agregado 4 -----42,6 %
- 100%

2.3 Produção

Tipos de usina

O concreto betuminoso é produzido em usinas apropriadas com várias capacidades de produção (em termos de toneladas / horas) – existindo dois tipos básicos a saber :

- Usinas descontínuas – que apresentam produção descontínua ; gravimétricas ,
- Usinas contínuas – que apresentam produção contínua ; as volumétricas e as TSM – Tambor – Secador – Misturador (Drum-Mixer)

A seguir pode-se observar uma fotografia da usina de asfalto da duplicação da Rodovia Br-230; esta usina é de grande porte e atende perfeitamente às necessidades da obra. É uma usina de produção descontínua , visto que sua produção pode ser interrompida a qualquer momento , devido a algum problema técnico , de calibragem ou climatológico .

Partes Constituintes

a) Silos frios

Os silos frios são construídos com chapas metálicas em forma de tronco de pirâmide invertidos . Destinam-se a receber agregados naturais ou artificiais que vão ser utilizados no preparo do concreto asfáltico.

Na parte inferior destes silos localizam-se os chamados alimentadores frios , que permitem regular o fluxo do agregado , na quantidade definida para a mistura.

O alimentador poderá ser constituído , ou de uma chapa com movimento horizontal de elongação constante , ou de calhas vibratórias por ações eletromecânicas instaladas na boca inferior de cada silo. No caso da chapa , o número de elongações é o mesmo para todos os alimentadores. O material , em ambos os casos , é lançado em uma correia transportadora situada abaixo dos alimentadores e que circula por todo o silo frio .

Assim sendo , admitindo-se um conjunto de três silos, nos quais serão depositados , em cada um , tipos distintos de agregados , o cálculo do valor de abertura de cada um dos portões é feito a partir dos parâmetros definidos e na forma que se segue :

Silo	Produção horária requerida (t)	Massa específica do agreg. (t/m ³)	Quantitativos de agregados lançados na correia no tempo (t)		Relação entre a massa específica do agregado e a quantidade requerida
			(Volume)	(Massa)	
	X	μ ₁	V ₁	M ₁ = μ ₁ V ₁	V = μ ₁ / X
	Y	μ ₂	V ₂	M ₂ = μ ₂ V ₂	V = μ ₂ / Y
	Z	μ ₃	V ₃	M ₃ = μ ₃ V ₃	V = μ ₃ / Z

Tabela 2 – Parâmetros para cálculo da abertura dos portões.

Para o tempo de alimentação , tem-se então :

$$M_1/X = M_2/Y = M_3/Z \quad \text{ou} \quad \mu_1 V_1/X = \mu_2 V_2/Y = \mu_3 V_3/Z$$

Pode-se observar ainda que , de acordo com a Figura 2 que representa o alimentador frio , o volume de material lançado na correia corresponde a uma elongação e equivale a um paralelepípedo com as seguintes dimensões :

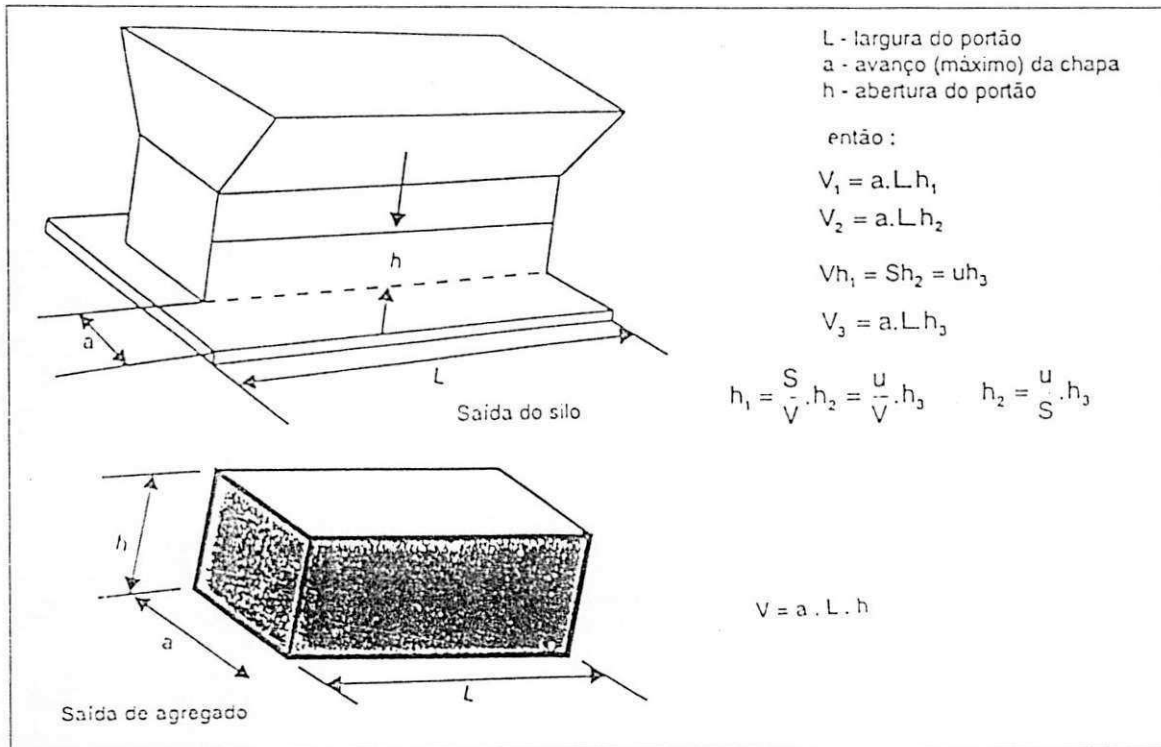


Figura 2

As expressões acima colocadas, definem a relação entre as aberturas h , a fim de ser atendida a proporção de massa fixada para a alimentação dos agregados.

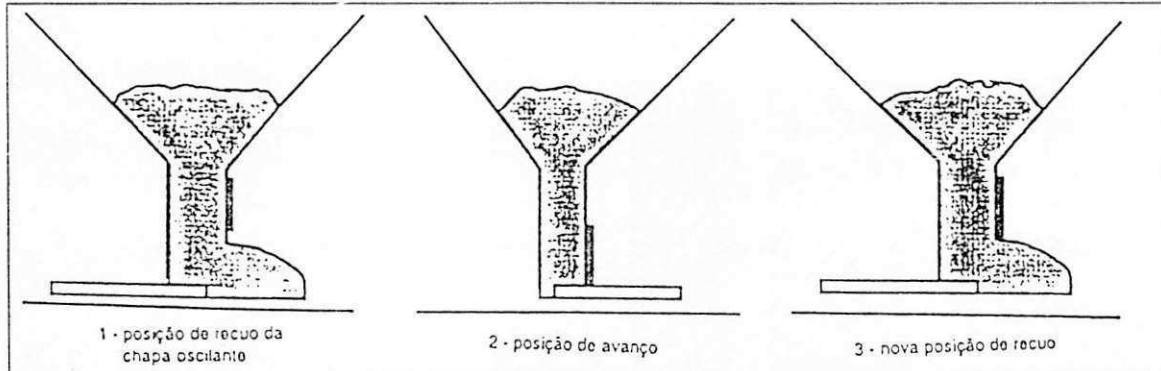


Figura 3

Para a fixação das aberturas dos portões dos alimentadores o procedimento é o seguinte :

- recolher e pesar, adotando valores crescentes de h , as quantidades de agregado correspondentes um tempo de alimentação igual a t . Considerando que em geral os agregados contêm umidade, há necessidade de se efetivar as necessárias correções, no sentido de se obter os pesos secos dos agregados;
- desenhar para cada agregado, o diagrama representativo dos pesos secos, p , referidos nas ordenadas, obtidos com diversos valores nas aberturas, h , referidos nas abcissas (gráfico $p \times h$).

- entrar , nos diagramas citados , com ordenadas proporcionais a X , Y e Z , respectivamente , e determinar as abscissas correspondentes que são os valores de h , as aberturas dos portões dos silos .

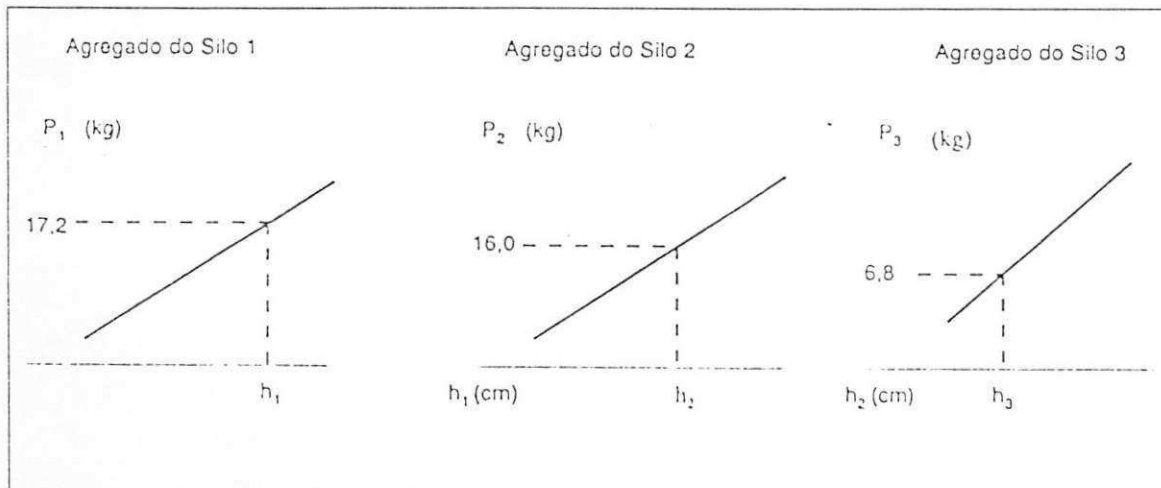


Figura 4

A seguir detalhar-se-á um exemplo para se determinar a relação massa/tempo em cada silo , especificando a composição granulométrica e a produção total esperada .

EXEMPLO :

Produção = 40 t/h
 Material X = 43 %
 Material Y = 40 %
 Material Z = 17 %

O rendimento de cada silo é dado por :

Silo 1 : $40 \times 0,43 = 17,2 \text{ t}/(h - h_1)$
 Silo 2 : $40 \times 0,40 = 16,0 \text{ t}/(h - h_2)$
 Silo 3 : $40 \times 0,17 = 6,8 \text{ t}/(h - h_3)$

Os silos frios devem ter depósitos para três tipos de materiais no mínimo .

Os agregados são descarregados nos silos frios , por meio de pás carregadeiras ou diretamente em caminhões basculantes . É conveniente , por outro lado , que durante a operação , os níveis de agregados nos silos sejam mantidos , sempre que possível, constantes , a fim de que as

condições de densidade dos agregados no fundo do silo se mantenham uniforme durante a operação da usina .

A qualidade da mistura e a uniformidade da produção dependem grandemente da alimentação dos silos e do isolamento de cada agregado no depósito .

b) Correias transportadoras

A função da correia transportadora é conduzir os agregados provenientes dos alimentadores , para a base do elevador frio.

c) Elevador frio

É normalmente constituído por transportador de correia ou de caçamba e tem por finalidade elevar a mistura de agregados transportada pela correia de silos frios ao secador.

d) Secador

A função do secador é , através do aquecimento dos agregados até a temperatura especificada para a mistura , promover a remoção da água contida neles.

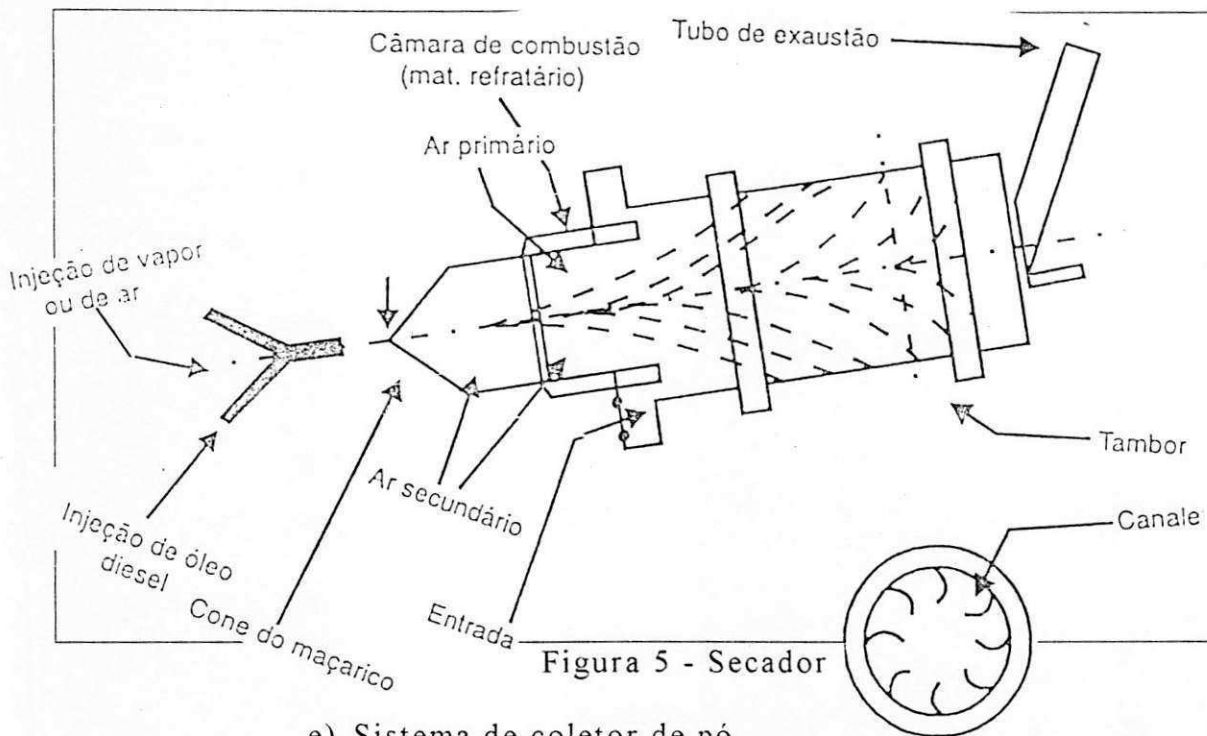
Consiste o secador de um longo cilindro de aço assente sobre roletes , através de dois anéis metálicos externos .Os roletes , acoplados a redutores acionados por motores elétricos e montados em um chassi , imprimem ao cilindro um movimento de rotação. É revestido , internamente , com material refratário na zona de combustão do queimador , e tem um conjunto de aletas dispostas ao longo da circunferência interna do secador , que faz com que a mistura de agregados caia obrigatoriamente através do fluxo de gases quentes , provenientes da chama do queimador. A produção do secador é função do comprimento do tambor , da área da seção transversal e da velocidade do gás do tambor.

O tempo em que o material atravessa o secador é constante. Dentro deste tempo os materiais deverão atingir a temperatura da mistura. O queimador de atomização a ar tem regulagem na sua chama. Alguns fatores influem no menor consumo de combustível do queimador e na capacidade de elevação da temperatura dos materiais

Para um dado volume o mais importante deles é o teor de umidade que os agregados encerram .Há óbvia vantagem de se introduzir nos silos frios , agregados com baixos teores de umidade. Daí , principalmente em regiões sujeitas a grandes precipitações pluviométricas , a necessidade de se construir coberturas para a proteção dos agregados estocados no pátio da usina. Outros fatores são a temperatura ambiente , o correto dimensionamento do secador quanto ao diâmetro e o comprimento , a quantidade de calorías do combustível usado no queimador e a velocidade do gás no tambor.

A mistura de agregados deve deixar o secador com um teor de umidade inferior a 1,0 % . Na prática , obtêm-se agregados com teores de umidade de 0,5 % , pois a remoção da água restante é extremamente difícil .Quando a temperatura especificada para a mistura não é atingida , após a regulagem do maçarico , impõe-se diminuir o fluxo de agregados , o que se consegue por intermédio de uma redução proporcional das aberturas dos portões dos alimentadores frios. Em certas usinas , é possível conseguir efeito análogo, promovendo uma diminuição na velocidade do conjunto de alimentação. De qualquer forma , uma redução do fluxo de agregados ocasiona decréscimo de produção.

Na figura seguinte , pode-se observar quais as partes constituintes de um secador propriamente dito :



e) Sistema de coletor de pó

São instalados sistemas coletores de pó na usina , a fim de reduzir os inconvenientes que resultariam do lançamento do pó na atmosfera , bem como para possibilitar a retirada dos finos que se acumulam no secador .O sistema coletor é constituído fundamentalmente por uma tubulação no qual são instalados , pela ordem , uma ventoinha e um ciclone. A mistura de gases mais pó succionada no interior do secador por intermédio da ventoinha , é encaminhada para o ciclone , onde os finos são separados por gases de força centrífuga .Em certos tipos de usina , a fração de pó recuperada no ciclone retorna ao fluxo do agregado geralmente na base do elevador quente. Em outras usinas tal não ocorre , havendo , porém , a possibilidade de estocar-se , à parte , a parcela de finos recuperada. Os gases são expelidos pela chaminé . Se há uma perfeita combustão no maçarico os gases terão cor cinza clara. Se tiverem cor variando de cor cinza escuro para preta , a combustão é

incompleta e há contaminação dos agregados pelo combustível . A usina deve ser parada.

Por causa de problemas ambientais e controle de poluição , em determinadas localizações da usina , é exigida a implantação do controle da poluição provocada pela emissão de gases. Esse controle pode ser feito por dois processos , quais sejam , o a seco , ou com lavadores de gases . O primeiro , opera com filtros de manga e assim como no processo da usinagem, os filtros são retidos na filtragem. O segundo é feito através da passagem dos gases em tanques com água onde há decantação dos finos; neste caso , não há recuperação deles . Na duplicação da BR - 230 a usina de asfalto possui um sistema de controle ambiental do primeiro tipo , ou seja , a seco , embora os filtros sejam de outro material.

f) Elevador quente

O elevador quente é constituído por caçambas acopladas e correntes para elevação da mistura quente dos agregados saídos do secador. É recoberto por uma estrutura metálica de seção retangular a qual se conecta com a estrutura da peneira e dos silos . É conveniente , instalar-se um pirômetro na estrutura do elevador do material quente para poder , melhor e mais rapidamente , regular a chama do maçarico .

g) Dispositivo de peneiramento

Os agregados aquecidos , provenientes do secador e transportados pelo elevador quente , são introduzidos num dispositivo de peneiramento onde são separadas por duas ou mais frações granulométricas . Não é recomendável a utilização de usinas que não possuam , sequer dispositivo de peneiramento , sendo o agregado aquecido e armazenado num único silo. É fácil conceber as desvantagens que resultam de tal constituição , uma vez que a composição granulométrica da mistura será norteadada exclusivamente pela alimentação fria, não apresentando nenhuma possibilidade posterior de correção . Outro inconveniente é o constituído pela maior possibilidade de segregação do agregado , quando armazenado num único silo quente.

Os dispositivos de peneiramento empregados são do tipo vibratório.

A seleção das malhas que constituirão as peneiras deverá ser feita em função da análise conjunta de vários fatores , tais como : diâmetro máximo do agregado , granulometria de mistura dos agregados , números de silos quentes disponíveis , capacidade de peneiramento dos dispositivos , etc. Os agregados retidos na tela superior são recolhidos num compartimento e descarregados por uma calha no solo .

h) Silos quentes

Os silos quentes , como sugere a própria denominação , são destinados a receber agregados aquecidos provenientes do peneiramento ,

em usinas descontínuas . O número de silos quentes que a usina dispõe condiciona o número de frações que será dividida a mistura dos agregados . Devem ter capacidade total de , no mínimo , três vezes a capacidade do misturador .

Cada um dos silos quente deve ser equipado , na sua parte inferior, com dispositivos destinados à determinação correta da temperatura dos agregados armazenados (termômetros ou pirômetros constituídos por pares termelétricos). Os silos em questão possuem , na parte superior , ladrões , que servem para evitar o transbordamento do agregado de um silo para o outro.

i) Introdução do filler

O filler é o único material componente da mistura asfáltica que não é aquecido. Ele é estocado em galpões perto do misturador , e pesado à parte , sendo transportado por um elevador e descarregado diretamente no misturador por intermédio de um parafuso sem fim , seja para as usinas contínuas ou descontínuas.

j) Balança

Nas usinas descontínuas , o estágio final de dosagem dos agregados é efetuado sob forma de pesadas cumulativas sobre uma balança . Sobre esta , acham-se localizadas diretamente , como já referido anteriormente, as comportas dos silos quentes.

Outro tipo de balança existente na usina de asfalto da obra em questão não está diretamente colocada sobre a usina propriamente dita. Acompanhou-se a implantação de uma balança próxima à saída de caçambas mas até o término do deste estágio, esta obra não havia sido finalizada .

k) Misturador – Introdução do ligante

Os agregados aquecidos e convenientemente proporcionados na balança , no caso de usinas descontínuas , ou provenientes dos silos quentes , no caso de usinas contínuas , são introduzidos no misturador.

O misturador consiste essencialmente de uma caixa térmica de fundo curvo , com comporta para descarga operada pneumaticamente , com dois eixos horizontais , paralelos , providos de braços com paredes reversíveis e substituíveis, e animados de movimentos de rotação quando em operação. Estes movimentos têm sentidos opostos , de forma a promover a ascensão do material localizado entre eles , e , em seguida , lançá-lo de encontro à parede do misturador. A capacidade do misturador é dada pelo volume do sólido formado pelo plano que passa na seção média dos eixos e do seu fundo, em função deste volume , da densidade dos materiais e do tempo da mistura , não menor que quarenta segundos , tem-se a capacidade da usina.

Nas usinas descontínuas , o agregado e filler são , inicialmente, misturados sem ligante . O intervalo de tempo que decorre entre a abertura da comporta da balança e o início da injeção do ligante através da barra distribuidora é denominada “tempo de mistura seca“ . Este intervalo deve ser fixado de forma que se possa processar uma homogeneização perfeita entres os agregados e o filler .O “tempo de misturação úmida“ será , por sua vez, o intervalo decorrido entre o término da injeção do ligante e o momento da abertura da comporta do misturador . A delimitação de “tempo de misturação úmida“ deve ser feita de forma que , ao cabo do mesmo , todas as partículas da mistura do agregado mais filler estejam recobertas uniformemente pelo ligante. Obviamente , a fixação dos “tempos de misturação” estará condicionada tanto a ordem de grandeza do “traço” , como as características da própria massa produzida. No entanto , o tempo de misturação úmida não poderá ser menor que 20 segundos . A redução deste tempo implicara numa mistura inadequada . A soma dos “tempos” de mistura seca e a úmida não poderá ser menor que 40 segundos .

Diante disto , a produção horária de uma usina será o produto da capacidade do misturador em toneladas por 80 (número de misturas feitas , no intervalo de 45 segundos , em uma hora).

Um contador mecânico de traços deverá ser colocado como parte do equipamento de controle de tempo, e deverá registrar apenas a descarga do recipiente de asfalto e evitar o registro de quaisquer traços secos.

1) Depósitos

Os depósitos dos ligantes são tanques que deverão ser capazes de aquecê-los , sob controle , às temperaturas determinadas nas especificações. O aquecimento deverá ser feito por meio de serpentina e vapor , eletricidade ou outro meio , desde que não haja contato da chama com o tanque .Até uma fornalha de abóbada de tijolo refratário pode ser utilizada .

Um sistema de bombas para circulação do ligante , deve ser instalado. Todas as tubulações e acessórios deverão ser revestidas com camisas de vapor ou isolamento térmico , de modo a evitar perdas de calor.

A capacidade dos depósitos devem ser suficientes para três dias ou mais de serviço , em função da distância dos depósitos das distribuidoras de ligantes ao canteiro da obra.

Para evitar a interrupção do funcionamento da usina , debaixo das comportas do misturador , e numa altura que possibilite o esvaziamento sobre a caçamba basculante , equipam-se as usinas com um pré-silo para estocar por pouco tempo a mistura quente .Este pré-silo tem um alçapão que é aberto automaticamente , descarregando na caçamba a mistura que nela está estocada.



Figura 6 – Usina de asfalto



Figura 7 – Usina de asfalto

2.4 – Execução e Controle

Transporte

Para que a massa asfáltica produzida seja levada à pista, é necessário que a superfície que irá recebê-la apresente-se limpa, isenta de pó ou outras substâncias prejudiciais.

A eventual ocorrência de defeitos (caso de pavimentos a serem restaurados) deverá ser objeto de cuidadosa reparação.

A massa asfáltica só poderá ser distribuída se a pintura asfáltica previamente aplicada sobre a superfície, apresentar-se “viva”, ou seja: com efetivo poder ligante. Caso isto não ocorra, nova pintura de ligação deverá ser aplicada, “a priori” da distribuição da massa.

Quando se executam camadas de concreto asfáltico espessas , com desdobramentos em duas ou mais camadas , a pintura de ligação poderá ser dispensada , se a execução da camada ocorrer logo após a execução da camada inferior. O ideal é que nova camada seja aplicada quando a temperatura da camada anterior apresentar-se acima de 60° C .

O transporte da mistura asfáltica , da usina para a pista , é feito normalmente por caminhões basculantes de caçambas metálicas.

Além de apresentar condições mecânicas satisfatórias , o veículo de transporte não deve exibir vazamentos de óleos significativos , que prejudicam a superfície dos pavimentos já executados.

A aderência de massa asfáltica às paredes da caçamba pode ser evitada através da aspersão prévia de uma solução de água contendo até 5 % de óleo .

Há toda a conveniência em que os veículos de transporte sejam equipados com lonas impermeáveis , destinadas a proteger a massa asfáltica, durante o transporte , contra os seguintes problemas :

- a) perda de temperatura , especialmente para distâncias de transporte elevadas ;
- b) ação da chuva e da umidade no ambiente;
- c) contaminação por poeira.

Espalhamento

A distribuição da mistura somente será permitida quando a temperatura ambiente for superior a 10°C , e o tempo não estiver chuvoso.

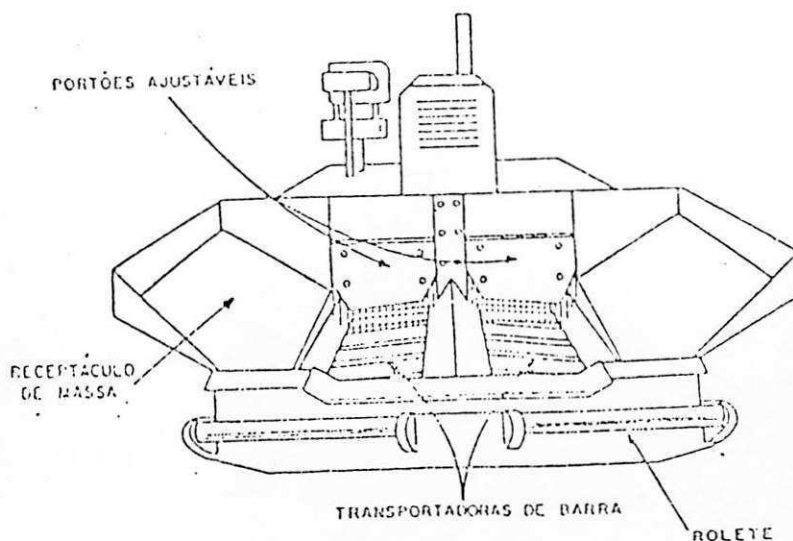
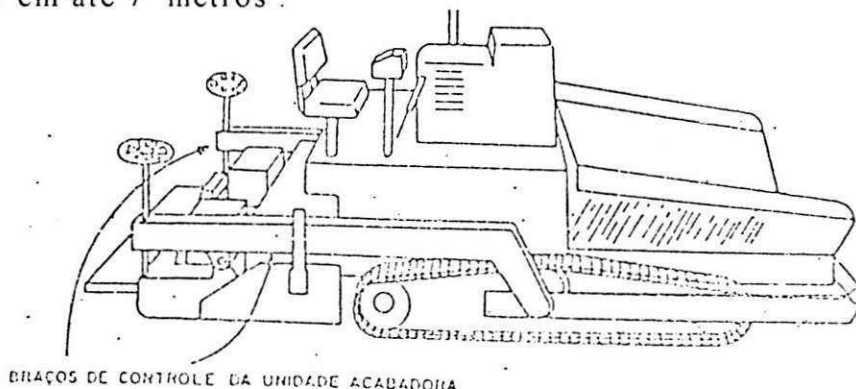
A temperatura mínima de distribuição da massa recomendada pelo DER-PB nesta obra de duplicação da rodovia BR-230 é 120°C . Este é um valor desejável , a respeito do qual a Fiscalização poderá ser flexível , desde que as condições especificadas desta obra o justifique , e principalmente , se o processo de distribuição e compactação produzir o efeito esperado .

	Saída da Usina	Espalhamento na Pista
°C	160 - 145	107-147

Tabela 3 - Temperatura

As misturas asfálticas usinadas à quente são , usualmente , distribuídas através de acabadoras automotrizes , as quais , além de promoverem o espalhamento da massa de acordo com a geometria desejada , executam , ainda boa parte do trabalho de compactação .

Nas figuras apresentadas abaixo, ilustram-se os principais elementos constituintes de uma acabadora. Mais adiante vê-se a fotografia de uma acabadora moderna que é capaz de efetuar a distribuição da mistura sobre as duas pistas de rolamento, isto é, ela pode se abrir em até 7 metros.



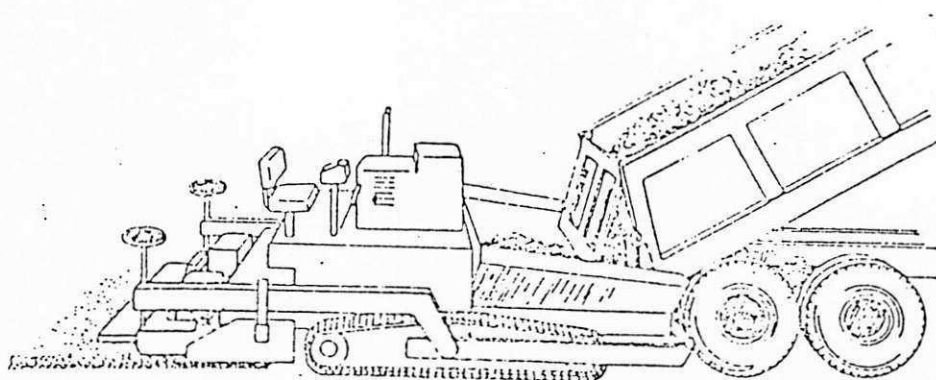
Duas unidades fundamentais compõem uma acabadora convencional: a unidade tratora e a unidade de acabamento.

A unidade tratora proporciona, idealmente através de esteiras metálicas, o deslocamento do conjunto sobre a superfície a receber a mistura asfáltica. Esta unidade inclui: o receptáculo da massa, os parafusos sem fim para o espalhamento, o motor, as transmissões, os controles e o assento do operador.

A descrição do procedimento padrão de funcionamento de uma acabadora e eventual distribuição da mistura asfáltica:

- a acabadora é posicionada, com o sistema de aquecimento de mesa alisadora em temperatura de trabalho, o caminhão basculante, proveniente da usina e carregado de massa asfáltica, recua em marcha ré e estaciona a cerca de 15 cm dos roletes da acabadora, sem no entanto tocá-la;
- a acabadora avança lentamente até que os roletes façam firme contato com as rodas traseiras do caminhão;

- a caçamba do caminhão é gradualmente levantada , fazendo com que a massa asfáltica flua até o receptáculo da acabadora;
- a massa contida no receptáculo é levada através dos alimentadores , passando pelos portões de controle de fluxo , até os parafusos sem fim ;
- os parafusos sem fim distribuem a massa transversalmente , de forma uniforme , em toda largura a pavimentar , em frente à mesa alisadora. A mesa alisadora apóia-se diretamente na superfície da massa acabada. Disso resulta que a superfície obtida não reproduz irregularidades existentes na superfície revestida . Os vibradores efetuam grande parte da compactação , fixando a espessura da camada de espalhamento; a mesa alisadora , imediatamente após , completa o alisamento da massa , selando a sua superfície .



- à medida que a acabadora avança , empurrando o caminhão basculante , a descarga deste prossegue gradualmente , até a caçamba se esvaziar por completo , quando o veículo de transporte é então liberado ;
- a acabadora deverá se deslocar a uma velocidade , dentro da faixa indicada por seu fabricante , que permita a distribuição da mistura de maneira contínua e uniforme, reduzindo ao mínimo o número e o tempo de paradas ;
- a acabadora prossegue consumindo a massa contida no receptáculo , enquanto a massa alisadora e os vibradores conformam e asseguram a pré-compressão à mistura asfáltica .

Abaixo vê-se uma fotografia da acabadora utilizada na duplicação da rodovia BR-230 :



Figura 8 – Acabadora utilizada na BR 230

Caso ocorram irregularidades na superfície da camada acabada , estas deverão ser sanadas de imediato pela adição manual de massa , sendo o espalhamento desta efetuado por meio de rodos metálicos. Esta alternativa , deverá ser , no entanto minimizada , já que o excesso de acabamento manual é nocivo à qualidade do serviço.

É essencial à qualidade do serviço que exista uma adequada coordenação entre a ação dos alimentadores da acabadora , a regulagem dos portões de controle de fluxo de massa e os parafusos sem fim, mantendo-se uma distribuição uniforme em frente a esses últimos .

Compressão

Temperatura da massa para o início da compressão .

Uma preocupação básica a ser definida logo no início dos serviços é a de definir a temperatura de rolagem , a qual está convencionada , particularmente, à natureza da massa e às características do equipamento utilizado. A regra geral é de que deva ser adotada , para início da compressão , a temperatura mais elevada que a mistura asfáltica possa suportar.

Quando a rolagem é iniciada com a temperatura da massa muito elevada, além de ocorrerem ondulações e "rastejamentos" da massa, surgem fissuras na superfície. Fissuramento ocorre, também, com a compressão realizada a baixas temperaturas, normalmente não sendo possível obter as densidades desejadas.

Nos casos correntes, a compressão é operada com temperaturas que variam entre 60°C e 150°C.

Técnicas de compressão convencionais :

Usualmente as compressões de misturas asfálticas densamente graduada é efetuada pela aplicação combinada de rolos lisos e tandem de rodas metálicas e rolos pneumáticos, embora outros equipamentos possam ser empregados com sucesso.

O padrão mais freqüentemente utilizado na duplicação da rodovia BR-230 pode ser assim constituído :

- a compressão é iniciada com rolos pneumáticos, passando 8 vezes sobre a pista de rolamento a ser compactada, em baixa pressão;
- com a sucessão das passadas proporcionadas a massa ganha resistência, o que permite o incremento gradual da pressão interna dos pneumáticos do rolo;
- a compressão final que deve assegurar o adequado acabamento da superfície, é operada com o emprego de rolos do tipo liso tandem;
- o rolo passa 6 vezes na pista de rolamento, sendo que as quatro primeiras são do tipo vibratória, e as duas últimas do tipo de aplainamento.

Controle geométrico e Controle tecnológico

Controle de qualidade do material

Todos os materiais deverão ser examinados em laboratório, obedecendo a metodologia indicada pelo DNER, e satisfazer as especificações em vigor.

- Ligante Betuminoso

O controle de qualidade do ligante consta de:

a) para cimentos asfálticos

01 ensaio de viscosidade absoluta a 60°C (ABNT MB-827) quando o asfalto for classificado por viscosidade ou 01 ensaio de penetração

(DNER ME-003) quando o asfalto for especificado por penetração para todo carregamento que chegar a obra ;

01 ensaio de ponto de fulgor , para todo carregamento que chegar a obra (DNER ME-148);

01 ensaio de suscetibilidade térmica para cada 100t determinado pelos ensaios DNER ME-003 e ABNT NBR 6560 ;

01 ensaio de espuma para todo carregamento que chegar a obra ;

01 ensaio "Saybolt-Furol" (DNER ME-004) para todo carregamento que chegar a obra;

01 ensaio "Saybolt-Furol" (DNER ME-004) a diferentes temperaturas para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura.

b) para alcatrão

01 ensaio de flutuação (ASTM-D 139) para todo carregamento que chegar a obra;

01 ensaio de destilação , para cada 500t (ASTM-D 139);

01 ensaio de viscosidade "Engler" (ASTM-D 1665) para o estabelecimento da curva temperatura x viscosidade .

- Agregados

O controle de qualidade dos agregados constará de:

02 ensaios de granulometria dos agregados , de cada silo quente , por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 083);

01 ensaio de desgaste Los Angeles , por mês , ou quando houver variação da natureza do material (DNER-ME 035);

01 ensaio de índice de fôrma , para cada 900m³ (DNER-ME 086);

01 ensaio de equivalente de areia do agregado miúdo , por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 054);

01 ensaio de granulometria do material de enchimento(filler) , por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 083);

Controle da Execução

O Controle da execução será exercido através de coletas de amostras , ensaios e determinações feitas de maneira aleatória .

Controle da Usinagem do Concreto Betuminoso

- Controle da Quantidade de Ligante da Mistura

Devem ser efetuadas extrações de betume , de amostras coletadas na saída do misturador (DNER-ME 053) . A porcentagem de ligante poderá variar , no máximo , $\pm 0,3 \%$, da fixada no projeto.

- Controle da Graduação da Mistura dos Agregados

Será procedido o ensaio de granulometria (DNER-ME 083) das misturas dos agregados resultantes das extrações citadas no item anterior. A curva granulométrica deve manter-se contínua , enquadrando-se dentro das tolerâncias , especificadas no projeto.

- Controle de Temperatura

Serão efetuadas medidas de temperatura , durante jornadas de 8 horas de trabalho , em cada um dos itens abaixo discriminados :

- a) do agregado , no silo quente da usina ;
- b) do ligante , na usina ;
- c) da mistura , no momento , da saída do misturador.

- Controle das Características da Mistura

Deverão ser realizados ensaios *Marshall* com três corpos de prova de cada mistura , por cada jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 043) .

Os valores de estabilidade e da fluência deverão satisfazer ao especificado no item proposto . As amostras devem ser retiradas na saída do misturador.

- Controle no Espalhamento e Compressão na Pista

Temperatura de compressão

Deverão ser efetuadas mediadas de temperatura durante o espalhamento da massa imediatamente , antes se iniciada a compressão .

Controle do Grau de Compressão

Na duplicação da rodovia BR-230 o controle do grau de compressão - GC da mistura betuminosa foi efetuado medindo-se a densidade aparente de corpos de prova extraídos da mistura espalhada e comprimidos na pista, por meio de brocas rotativas. Abaixo podemos observar uma sonda do tipo rotativa que é empregada na obra.



Figura 9 – Sonda rotativa

IV - CONCLUSÃO

Pode-se afirmar que as especificações aqui descritas são atendidas na obra. Assim como o DER-PB, a Via Engenharia possui funcionários altamente qualificados que hoje colocam todo o seu esforço em um único objetivo: construir uma Rodovia mais segura e confortável para os atuais usuários da Rodovia BR-230.

O estágio aqui desenvolvido, não foi só proveitoso, foi essencial, pois mostrou qual o caminho que se deve seguir, mesmo em pequenas obras. Caminho este que une segurança, tecnologia e economia.

A busca pela execução das especificações descritas na Norma foi amplamente perseguida. Com isso, gerou-se uma produtividade maior, visto que, apesar de alguns problemas corriqueiros, a duplicação acontece de forma rápida e segura. Se a composição da usina de asfalto atende às especificações, O CBUQ é produzido com índice de vazios correto, o BGS está dentro da composição granulométrica descrita, o desenvolvimento da obra transcorre normalmente.

Por se ter acompanhado boa parte da terraplanagem, introdução do BGS(brita graduada simples), e a introdução do Binder em alguns pontos isolados da pista pode-se dizer que a rodovia está sendo considerada dentro dos padrões nacionais.

V - BIBLIOGRAFIA

Santana, H (1992) – Manual de pré-misturados a frio – IBP : Instituto Brasileiro de Petróleo, p 7 -11.

Baptista, C N (1978) – Pavimentação Tomo I : Ensaio Fundamentais para pavimentação. Editora Globo, p 112 .

Senço, W – Manual e técnicas de pavimentação – Ed Pini, p 318-330.

DNER (1995) - Curso AM 8 – Asfaltos e Misturas asfálticas, volume 1 - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) – Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Divisão de Capacitação Tecnológica, Programa Emergencial para capacitação de Pessoal do DNER.

DNER (1997) Especificações Gerais para Obras Rodoviárias – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER), Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR).