

PAVIMENTAÇÃO

Revestimentos Asfálticos com Função Estrutural

2º. Semestre 2025

Pavimentação

Prof. Dr. Edson de Moura

1

Temas

- a) O que caracteriza um tipo de revestimento ser estrutural
- b) Tipos de misturas asfálticas:
 - i. distribuição granulometria contínua - concreto asfáltico
 - ii. distribuição granulométrica descontínua – mistura asfáltica
- c) Tipo de ligante asfáltico importância no desempenho estrutural
- d) Produção
- e) Aplicação e compactação
- f) Controle tecnológico
- g) Verificação de traço
- h) Dimensionamento de frota de caminhão basculante

Pavimentação

Prof. Dr. Edson de Moura

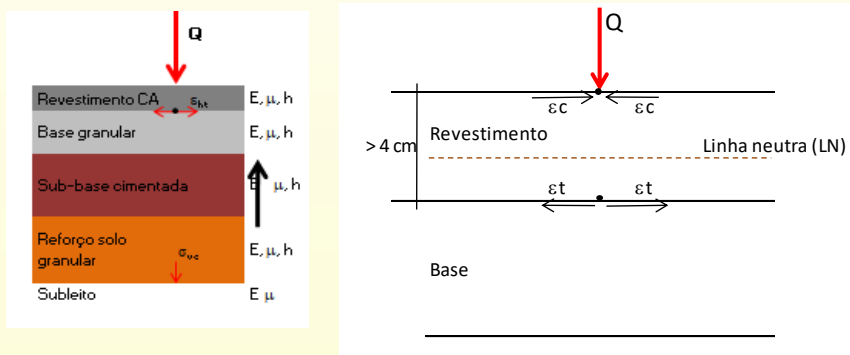
2

O que caracteriza um tipo de revestimento quanto a função estrutural

3

O que caracteriza um tipo de revestimento quanto a ter função estrutural

O que caracteriza um determinado revestimento asfáltico exercer função estrutural é a sua espessura.



4

O que caracteriza um tipo de revestimento quanto a função estrutural

A capacidade estrutural de uma determinada mistura asfáltica está associada:

- a) Distribuição granulométrica
- b) Teor e tipo de ligante asfáltico utilizado, se convencional, modificado por polímero, BPM, etc.
- c) Compatibilidade de superfície entre os agregados e o ligante asfáltico;
- d) Espessura da camada;
- e) Grau de compactação;
- f) Temperatura;
- g) Carga dos veículos - deformação não é linear.
- h) Relação fíler/betume
- i) Outros fatores de menor importância

MISTURAS ASFÁLTICAS DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA CONTÍNUAS E DESCONTÍNUAS

Concreto asfáltico x mistura asfáltica

A diferença entre concreto asfáltico e mistura asfáltica está somente na distribuição granulométrica.

Concreto asfáltico a distribuição granulométrica, necessariamente, deve ser contínua. O termo concreto refere-se ao fato dos agregados de menor dimensão ocupar os espaços deixados pelos agregados de maior dimensão.

Distribuição granulométrica descontínua está associado ao termo mistura asfáltica.

Concreto asfáltico x mistura asfáltica

Todo concreto asfáltico é uma mistura asfáltica mas, nem toda mistura asfáltica é um concreto asfáltico.

Embora essa diferenciação seja sutil, no processo de espalhamento e principalmente, na compactação, o tipo de rolagem diferencia-se muito.

Misturas asfálticas descontínuas tendem a ser o tipo de “tender mix”, ou seja, misturas que não apresentam dificuldades de densificação em campo. Essa facilidade, muitas vezes torna-se um problema. Se for utilizado rolos de pneu, ocorrerá marcas de sulcos dos pneus na superfície e não mais poderá ser reparada, mesmo utilizando rolo liso vibratório.

Concreto asfáltico x mistura asfáltica

Enquanto que para concretos asfálticos, pode-se optar pela início da densificação com rolo chapa sem vibração, seguido de rolo pneumático – esse em duas pressões (90 lbs e 120 lbs) e finaliza com rolo capa vibrando. Esse último é chamado para fechamento ou tombamento dos agregados.

Para as misturas asfálticas descontínuas, utilizam-se somente rolo de chapa, podendo ou não iniciar com vibração.

Com relação as pressões do rolo pneumático, a pressão de 120 lbs propicia uma saliência no meio do pneu permitindo a densificação na parte inferior da camada e com a pressão de 90 lbs a densificação é da parte mais exposta da camada.

Concreto asfáltico x mistura asfáltica

Observe-se que essa facilidade de densificação de concreto asfáltico com rolos chapa depois o rolo de pneus e posteriormente a finalização com rolo chapa vibrando e ao passo que para misturas asfálticas descontínuas utilizam-se somente rolo chapa, essa condição deve-se única e exclusivamente à distribuição granulométrica da mistura.

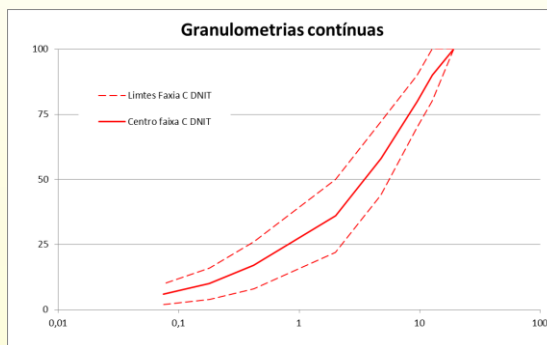
Concreto asfáltico

11

FATEC – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

- Graduação Contínua: Faixa C DNIT 031-2006

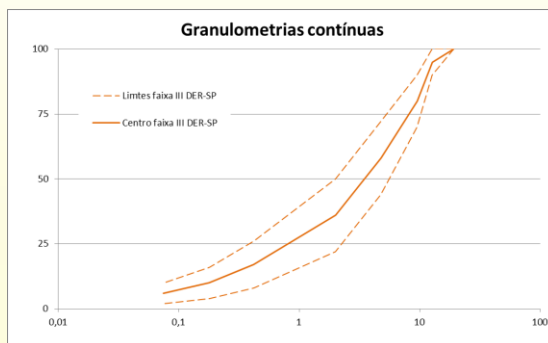
Peneiras		Fx.C		
N.	(mm)	L.Inf.	L.Sup.	Centro
3/4"	19,1	100	100	100
1/2"	12,7	80	100	90
3/8"	9,52	70	90	80
4	4,76	44	72	58
10	2	22	50	36
40	0,42	8	26	17
80	0,18	4	16	10
200	0,075	2	10	6



12

- Graduação Contínua: Faixa III DER SP ET-DE-P00/027

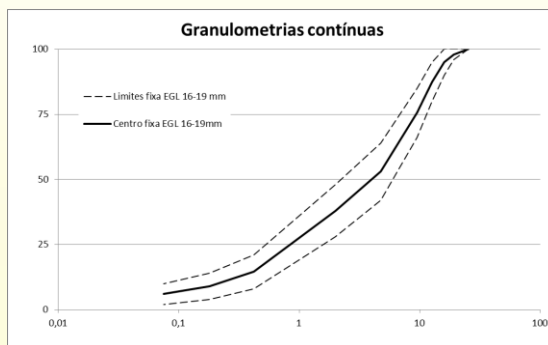
Peneiras		Faixa III DER-SP		
N.	(mm)	L.Inf.	L.Sup.	Centro
3/4"	19,1	100	100	100
1/2"	12,7	90	100	95
3/8"	9,52	70	90	80
4	4,76	44	72	58
10	2	22	50	36
40	0,42	8	26	17
80	0,18	4	16	10
200	0,075	2	10	6



13

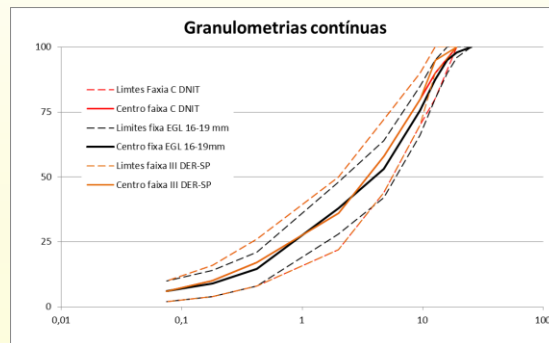
- Graduação Contínua: Faixa EGL 16-19 mm

Peneiras		EGL 16-19 mm		
N.	(mm)	L.Inf.	L.Sup.	Centro
1"	25,4	100	100	100
3/4"	19,1	96	100	98
5/8"	16	90	100	95
1/2"	12,7	80	95	87,5
3/8"	9,52	66	85	75,5
4	4,76	42	64	53
10	2	28	48	38
40	0,42	8	21	14,5
80	0,18	4	14	9
200	0,075	2	10	6



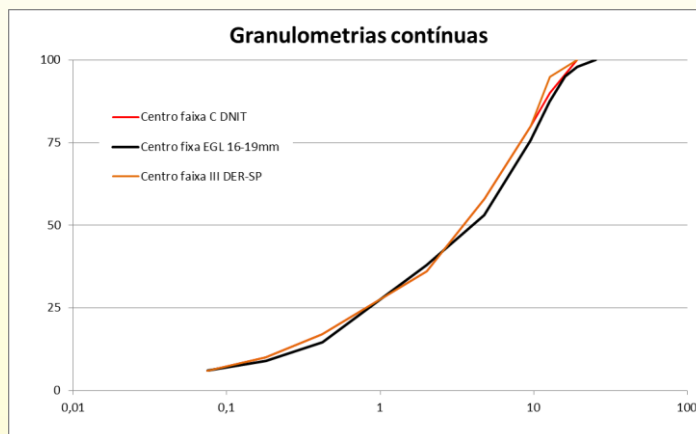
14

- Graduação Contínua: Faixa C DNIT 031-2006, EGL 16-19 mm e Fx III DER-SP



15

- Graduação Faixas Contínuas



16

Concreto asfáltico**Vantagens**

- a) Maior facilidade na dosagem e produção da mistura;
- b) Possibilidade de utilização de ligante asfáltico convencional, portanto, mistura asfáltica de menor custo.

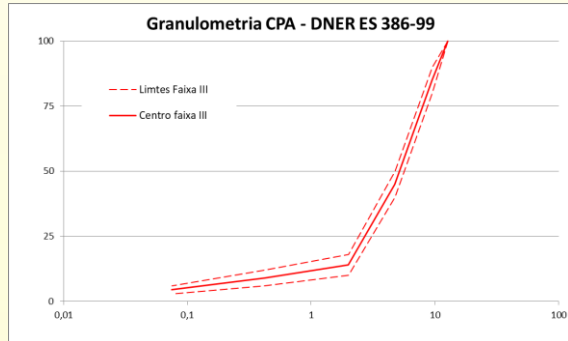
Desvantagens

- a) Textura superficial menos favorável a segurança do usuário em dias chuvosos;
- b) Desempenho estrutural inferior para DP, principalmente, quando emprego de ligante asfáltico convencional;
- c) Vida de fadiga sofrível

Misturas asfálticas - descontínuas

- **Graduação Descontínua:** DNIT ES 386-99 – Pavimentação – Pré mistura a quente com polímero – Camada porosa de atrito

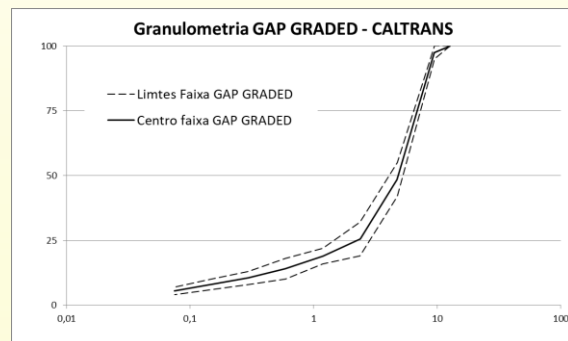
Peneiras		Faixa III DER-SP		
N.	(mm)	L.Inf.	L.Sup.	Centro
1/2"	12,7	100	100	100
3/8"	9,52	80	90	85
4	4,76	40	50	45
10	2	10	18	14
40	0,42	6	12	9
200	0,075	3	6	4,5



19

- **Graduação Descontínua:** Gap graded – Caltrans - USA

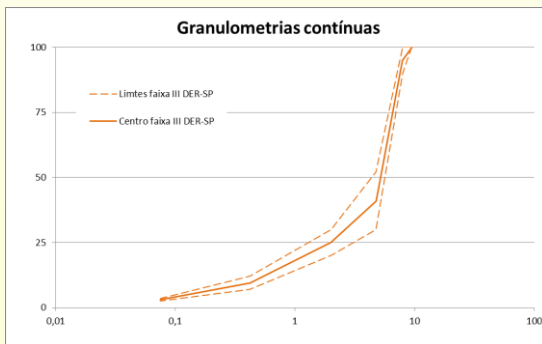
Peneiras		Faixa III DER-SP		
N.	(mm)	L.Inf.	L.Sup.	Centro
1/2"	12,7	100	100	100
3/8"	9,52	95	100	97,5
4	4,76	42	55	48,5
8	2,38	19	32	25,5
16	1,19	16	22	19
30	0,59	10	18	14
50	0,297	8	13	10,5
100	0,149	6	10	8
200	0,075	4	7	5,5



20

- Graduação Descontínua: SMA – faixa III – DER-SP

Peneiras	N.	(mm)	Faixa III DER-SP		
			L.Inf.	L.Sup.	Centro
3/8"	9,52		100	100	100
5/16"	7,93		90	100	95
4	4,76		30	52	41
10	2		20	30	25
40	0,42		7	12	9,5
200	0,075		2,5	3,5	3



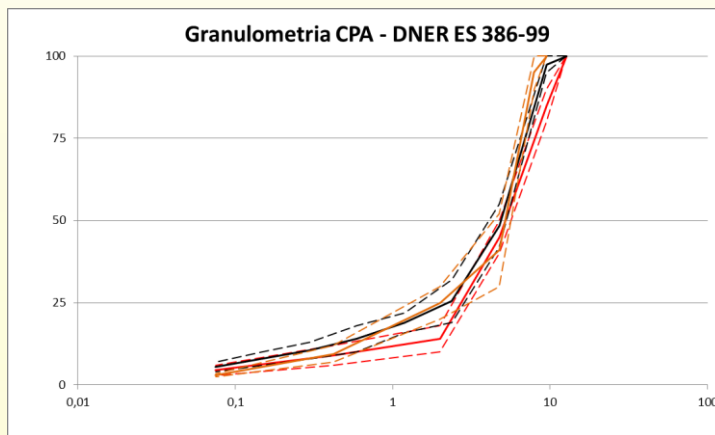
21

- Graduação Descontínua:

CPA – DNER ES 386-99

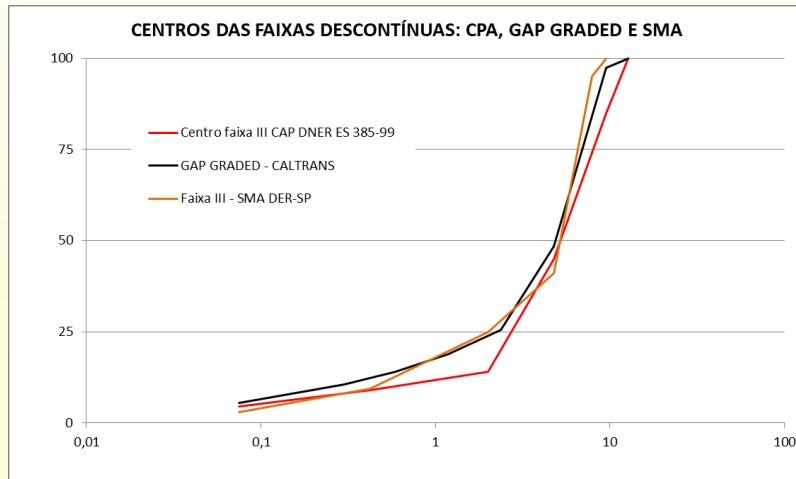
GAP GRADED - CALTRANS

SMA – Faixa III – DER-SP



22

• GRADUAÇÃO DESCONTÍNUAS



23

Misturas asfálticas descontínuas

Vantagens

- a) Textura superficial mais favorável a segurança do usuário em dias chuvosos, melhor aderência pneu/pavimento.
- b) Espessuras delgadas
- c) SMA – textura rugosa e elevada capacidade frente a DP
- d) CPA diminuição do spray e também do ruído pneu/pavimento.

Desvantagens

- a) Utilização, somente, de ligante asfáltico modificado, portanto, mistura asfáltica de maior custo
- b) Durabilidade inferior a misturas asfálticas contínuas;
- c) Maior dificuldade na dosagem, produção da mistura e aplicação da mistura;
- d) Misturas asfálticas mais sensível a não conformidades, principalmente, do agregado;
- e) Dosagem Marshall com adaptações

24

Efeito do tipo de ligante asfáltico no desempenho das misturas asfálticas

Concreto asfáltico

Passíveis de se utilizar tanto ligante asfáltico modificados por polímeros ou BPM e também CAP

Mistura asfáltica descontínua

Normalmente, tem utilizado ligante asfáltico modificados

Sabe-se que no esqueleto pétreo está a maior parte da responsabilidade da resistência à DP. Quando a distribuição granulométrica é falha, o tipo de ligante asfáltico passa a ter um papel de oferecer resistência a deformação

Já a resistência à vida de fadiga, o ligante asfáltico exerce grande influência. Ligante asfáltico modificados por polímero SBS tendem a oferecer maior vida de fadiga às misturas.

Composição / Produção

Composição

Materiais, normalmente empregados em misturas asfálticas com distribuição granulométrica contínuas e descontínuas

Material	Concreto asfáltico	Mistura asfáltica descontínuas			
		SMA	CPA	Gap Graded	BBTM
Brita 1	X	X	X	X	
Brita 1/2		X	X	X	
Pedrisco	X	X	X	X	X
pó de pedra	X	X	X	X	X
Cal	X	X	X	X	X
Fibra		X	X		
CAP	X				
Lig. Mod SBS	X	X	X	X	X
Lig. BPM	X			X	

Produção de mistura asfáltica – t/h

O tempo de mistura das misturas asfálticas descontínuas são maiores devido:

- Ligantes asfálticos modificados apresentam maior viscosidade e para que os agregados sejam envolvidos o tempo de mistura deve ser majorado em relação as misturas usinadas com CAP.
- Ao número de frações de agregados e também da cal e fibra, em alguns tipos de mistura, é necessário adição de silos extras ou elevadores de caneca adicional na planta da usina;
- No caso específico da mistura asfáltica SMA, a fibra de celulose (em formato de grânulo) deve ser adicionada à mistura seca para que seja “ativada”, e nesse sentido, deve-se ter um tempo maior de mistura seca.

Usinas que tem produção nominal de 100 a 120 t/h para um tipo de mistura asfáltica de condições normais, para misturas “especiais” a produção diminui.

Produção de mistura asfáltica – t/h

Usina gravimétrica de produção média de 120 t/h

Tempo de mistura de cada batelada de 45 s

Numa hora = $3600 \text{ s} / 45 \text{ s} = 80$ bateladasCada batelada = $120 / 80 = 1,5 \text{ t}$

Adição de fibra de celulose à mistura, torna necessário uma adição de cerca de 5 s no tempo de mistura seca para propiciar a “ativação da fibra”

Numa hora = $3600 \text{ s} / 50 \text{ s} = 72$ bateladas**A produção passa a ser: $72 * 1,5 \text{ t} = 108 \text{ t/h}$ redução de 12 t/h (-10%)****Produção de mistura asfáltica – t/h**

Carga legal com tolerância de 7,5% (t)	6,5	18,3
Eixo vazio (t)	3,0	6,0
Carga útil (t)	3,5	12,3
Carga útil total (t)	16,0	

Densidade da mistura**asfáltica condição: solta** **1,65 a 1,70 t/m³**

Variações dessa densidade é função da massa específica aparente do agregado, basalto tem $\gamma_d > 3,0 \text{ g/cm}^3$ - granito na ordem de $2,7 \text{ g/cm}^3$.
A distribuição granulométrica também influi consideravelmente.

Produção de mistura asfáltica – t/h

Dimensões do caminhão basculante de canto redondo



Comprimento (m) = 4,2

Largura (m) = 2,20

Altura (m) = 0,6

Volume útil de 5,4 m³

Prolongamento da altura da caçamba com aba de madeira de 0,3 m

Volume útil = 8,1 m³



Normalmente, a carga recebe um adicional além da borda superior da aba de 10 cm - denominado de carga coroadada

**Volume útil
9,2 m³**

31

Produção de mistura asfáltica – t/h

O caminhão tem volume útil de 9,2 m³



Massa específica aparente da mistura
asfáltica solta

1,65 a 1,70 t/m³

Considerando uma massa específica aparente média de 1,7 t/m³

O caminhão transporta em média 15,6 t

A carga útil legal de transporte é de 16 t

32

Produção de mistura asfáltica x carregamento

Uma usina de produção nominal de 100 a 120 t/h de mistura asfáltica.

Caminhões basculante com capacidade de carga de 17,5 t

Para uma produção de 110 t/h tem-se : $110 / 17,5 = 6,3$ caminhões/h

Somado o tempo de manobra do caminhão pode-se considerar

6 caminhões por hora - Um caminhão a cada 10 minutos

Procedimento de carregamento de misturas asfálticas com caminhão basculante

Carregamento da mistura asfáltica em usina

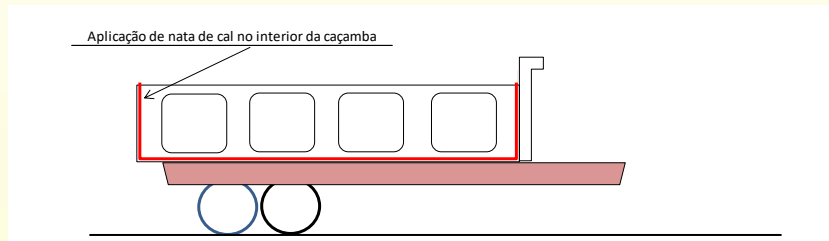
Os caminhões utilizados no carregamento da mistura asfáltica recém fabricadas na usina, devem possuir as seguintes características:

- caçamba sem nenhuma saliência que possa de forma a evitar o descarregamento da mistura asfáltica ;
- A caçamba antes do carregamento, deve ser aplicado óleo ou uma calda de nata de cal, para propiciar a não aderência da mistura à caçamba;
- Ter lona impermeável e retrátil em dimensões compatíveis com o tamanho da caçamba. O recobrimento deve ser imediatamente após carregamento e a regularização dos picos de massa. Assim, evita-se o resfriamento a mistura durante o transporte e também molhar em caso de eventual chuva;
- Após o carregamento o caminhão é pesado e a carga de mistura deve constar na NF, inclusive com a hora de saída da usina e os dados do caminhão;

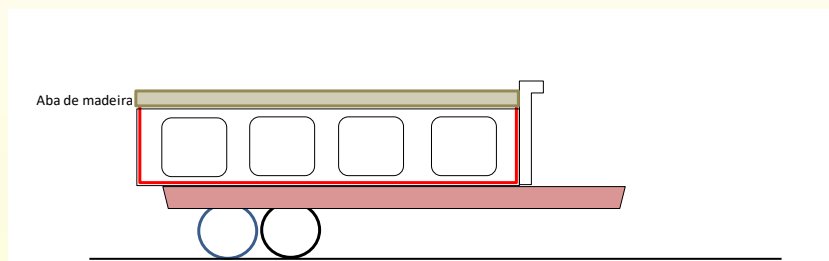
Carregamento da mistura asfáltica em usina

Aptidões dos motoristas dos caminhões de transporte de mistura asfáltica, deve permitir o posicionamento adequado da caçamba embaixo da boca do silo. Esse procedimento diminuirá ou praticamente, irá zerar, problemas de segregação de massa no carregamento:

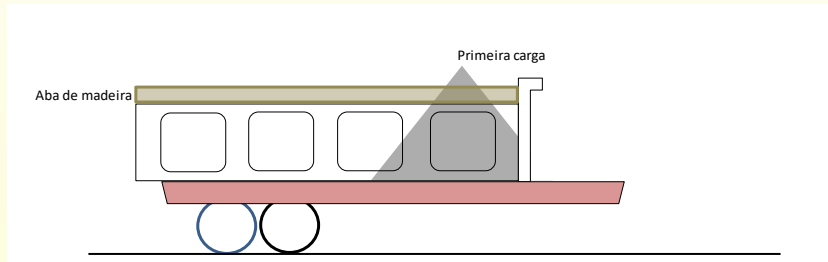
- O motorista deve ser treinado para as operações de: carregamento / transporte e descarregamento;
- Na operação de carregamento o motorista deve posicionar, o primeiro terço da caçamba (próximo a cabine) embaixo da boca do silo e após receber a primeira carga de mistura, posicionar o último terço e em seguida o terço do meio. Dependendo da carga, que função da capacidade de carregamento do silo e também do tipo de mistura asfáltica, procede-se com o carregamento parcial dos vãos intermediários.

Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina

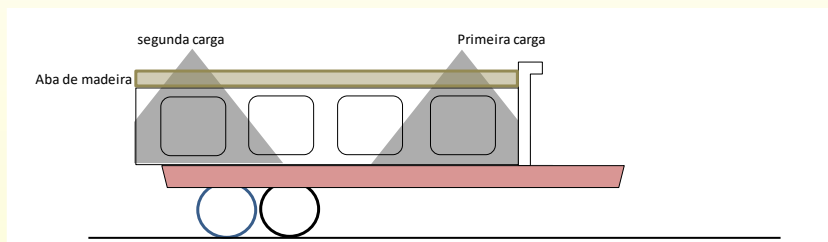
37

Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina

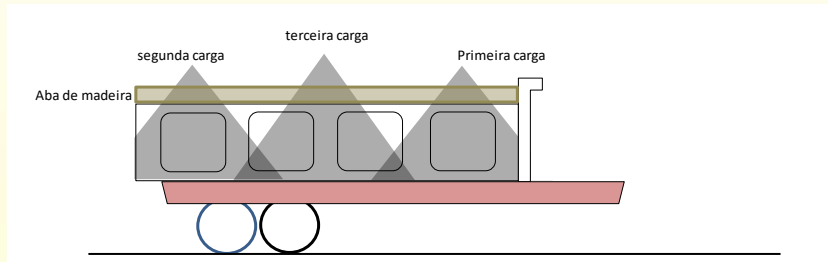
38

Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina

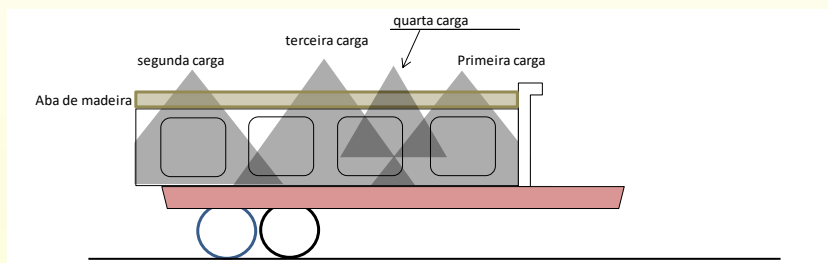
39

Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina

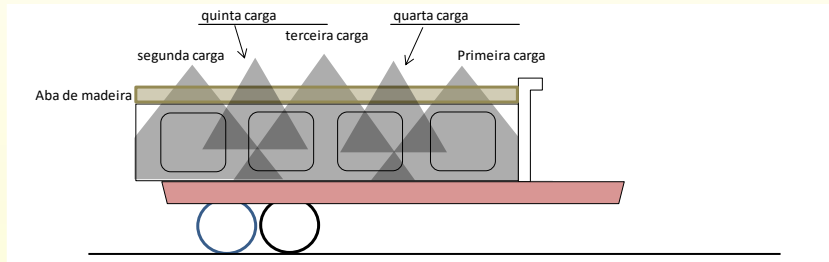
40

Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina

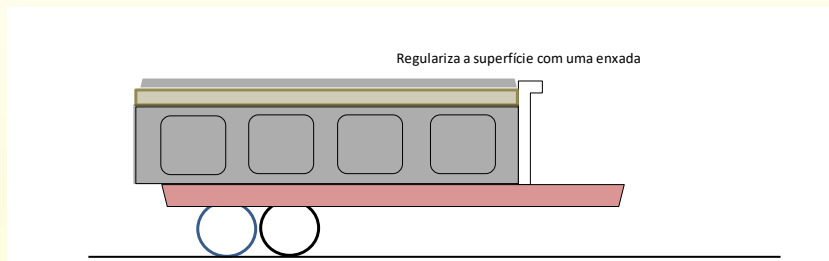
41

Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina

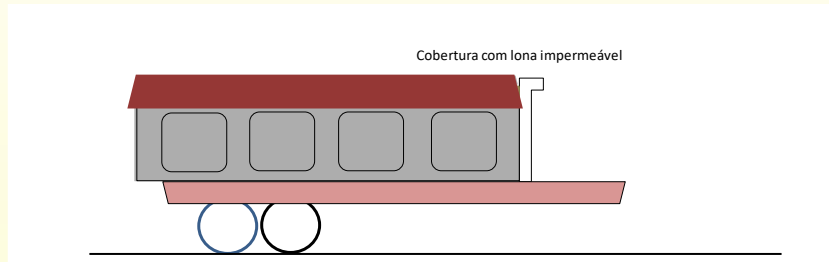
42

Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina

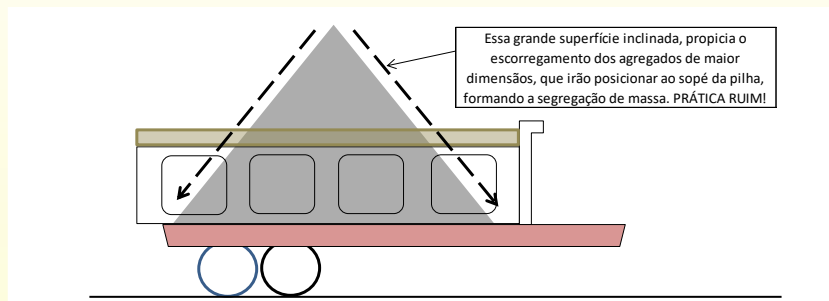
43

Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina

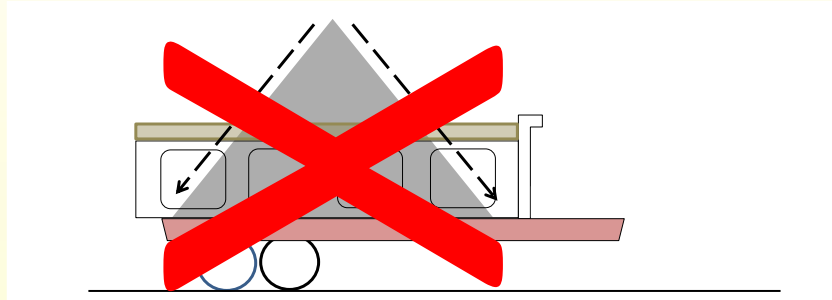
44

Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina

45

Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina

46

Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina**Procedimento de carregamento de mistura asfáltica no silo da usina**

Após o carregamento, lona-se o caminhão, a carga é pesada e juntamente com a identificação do caminhão emite-se a NF.

O controle tecnológico do laboratório de usina, faz a coleta de amostra da mistura e também mede a temperatura da massa.

Esses procedimentos de controle fazem parte da rastreabilidade da mistura asfáltica.

Através de amostragem estatísticas (a cada determinado número de caminhões), são conduzidos ensaios de teor de ligante asfáltico e também distribuição granulométrica da massa. Essa operação não pode demorar, o resultado deve sair antes da aplicação da mistura asfáltica em campo. Qq não conformidade, dependendo, o(s) caminhão(ões) é(são) descartado(s)!

Espalhamento e Compactação de mistura asfáltica

49

Procedimento de controle de recebimento do caminhão na obra e espalhamento da mistura asfáltica

O primeiro controle é a medição da temperatura da mistura asfáltica ainda dentro da caçamba. Minutos antes do descarregamento, remove-se a lona expondo toda a área da caçamba e mede-se a temperatura da mistura asfáltica em vários pontos. Nessa ocasião também se faz a coleta de amostra da mistura para o controle tecnológico posterior.



Importante que a temperatura da massa esteja dentro dos parâmetros de controle tecnológico.

Não se pode considerar essa temperatura corresponde a temperatura de compactação da mistura asfáltica. Trata-se da temperatura de espalhamento da mistura! A temperatura de compactação (rolagem) é bem inferior!

50

Procedimento de controle de recebimento do caminhão na obra e espalhamento da mistura asfáltica

Por questão de rastreabilidade, deve-se identificar com a placa do caminhão e o local () a mistura foi depositada.



Posiciona-se a vibro acabadora no início de trecho



O caminhão desloca-se em marcha e encosta a os pneus na vibro

Procedimento de controle de recebimento do caminhão na obra e espalhamento da mistura asfáltica

Na operação de deslocamento do caminhão, quando estiver em um processo contínuo, ou seja com a mesa em movimento espalhando a mistura, deve-se evitar ao máximo o choque dos pneus do caminhão com a vibro acabadora. Esse choque causa o abaixamento das mesa comprimindo a massa e causando um dente (degrau na massa) mesmo após a compactação .



Caminhão sendo posicionado para descarregamento



Caminhão conectado à vibro

Procedimento de controle de recebimento do caminhão na obra e espalhamento da mistura asfáltica

Após a conexão, O motorista bascula a mistura para dentro da vibro, o caminhão permanece ligado e desengatado e permite que a vibro o empurre. Conforme a massa vai sendo consumida, o caminhão abastece a vibro em movimento.



Procedimento de controle de recebimento do caminhão na obra e espalhamento da mistura asfáltica



Procedimento de compactação da mistura asfáltica - Rolagem



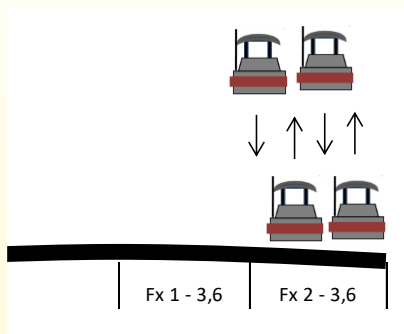
Procedimento de controle de recebimento do caminhão na obra e espalhamento da mistura asfáltica

Pavimentadora AP1055F

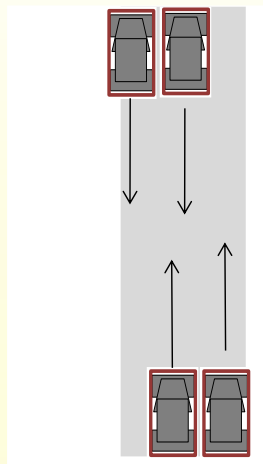


Peso Operacional - Com SE60 VT XW	21815 kg
Faixa Padrão de Pavimentação	3 a 6 m (9 pés 10 pol a 19 pés 6 pol)
Velocidade Máxima de Pavimentação - Com Mesa Vibratória	64 m/min
Capacidade do Funil - Entrada Padrão	7.6 m³

Velocidade Máxima de Pavimentação - Com Mesa com Barra Tamper	25 m/min
Largura Máxima de Pavimentação - Mesa SE60 V	7.65 m
Capacidade do Funil - Funil de Entrada Inferior	8.1 m³
Máxima Capacidade Produtiva	1602 t/hr

Conceito de cobertura - fecha

Quando ocorre a passagem do rolo com uma sobreposição de meio rolo em toda a largura da plataforma, diz-se que ocorreu uma cobertura ou uma fecha.

**Controle pós aplicação da mistura asfáltica**

O controle após a aplicação da mistura asfáltica se faz com a extração de corpos de prova de 4" de diâmetro e são realizados os seguintes ensaios em laboratório:

- Verificação da espessura da camada asfáltica aplicada;
- Medição do volume de vazios através da pesagem hidrostática e comparação com DMT (rice ou massa específica aparente seca dos agregados + massa esp. do ligante asfáltico);
- Determinação do teor de ligante asfáltico com a extração do ligante asfáltico dos corpos de prova;
- Determinação da distribuição granulométrica da mistura asfáltica – dos agregados resultante da extração do ligante asfáltico;

Controle pós aplicação da mistura asfáltica

Caso tenha ocorrido uma não conformidade que pode acarretar em problemas de desempenho da mistura asfáltica aplicada, pode-se fazer uma verificação de traço, que constitui os seguintes procedimentos:

- Extração de placas do revestimento da pista onde foi observado o problema;
- Verificação da espessura e também do volume de vazios da mistura;
- Destorroamento da mistura e determinação do DMT (rice);
- Determinação do teor de ligante asfáltico e também da distribuição granulométrica;
- Recuperação do ligante asfáltico pelo método de Abson e realização dos ensaios de caracterização do ligante asfáltico.

Dimensionamento de produção de mistura asfáltica / número de caminhões para transporte e compactação

Dados:

Em um trecho de 3,5 km de extensão, será aplicada mistura asfáltica, com largura da plataforma de 3,6 m e espessura de massa de 5 cm. A mistura asfáltica tem massa específica aparente compactada de 2,56 t/m³. A usina tem capacidade de produção de 120 t/h. Cada caminhão tem capacidade de transporte de 17,5 t.

O tempo de ciclo do caminhão é formado por:	carregamento	18	minutos
	viagem de ida	40	minutos
	espera no trecho	15	minutos
	viagem de volta	30	minutos

Pede-se: A frota (número) de caminhões necessários para atender a demanda da obra
O tempo necessário para a conclusão do serviço

Usina	120	t/h	17,5 / caminhão	120/17,5	6,86	cam./h
	8	h/dia	Produção	120*8	960,00	t/dia
Caminhão	17,5	t				
distância de transporte =	18	km				
Tempo de carregamento =	18	min.				
Tempo de viagem de ida	40	min.				
tempo de espera	15	min.				
Tempo de viagem de volta	30	min.				
			tempo total de ciclo do caminhão	18+40+15 6+30	104	1,73 h
			Total de caminhões na frota		11,86286	12 caminhões

Dimensionamento de produção de mistura asfáltica / número de caminhões para transporte e compactação

Usina	120	t/h	17,5 / caminhão	120/17,5	6,86	cam./h
	8	h/dia	Produção	120*8	960,00	t/dia
Vibro	250	t/h	Ela só inicia o trabalho após a chegada de 4 caminhões			
8 h / dia			Nesse caso são necessários 4 caminhões extras ou diminuir a produção.			
Trecho						
Comprimento	3,5	km	Volume de			Serão necessários 1,68 dias 1 dia + 5:24 h
largura	3,6	m	massa	630	m³	
espessura	5	cm	compactada			
Densidade compactada =	2,56	t/m³	Massa aplicada total	12,8 t		

61

Resolver exercício

Dados ex. 1:

Em um trecho de 3,5 km de extensão, será aplicada mistura asfáltica, com largura da plataforma de 3,6 m e espessura de massa de 5 cm. A mistura asfáltica tem massa específica aparente compactada de 2,64 t/m³. A usina tem capacidade de produção de 100 t/h. Cada caminhão tem capacidade de transporte de 16 t.

O tempo de ciclo do caminhão é formado por:	carregamento	18	minutos
	viagem de ida	01:45	h
	espera no trecho	20	minutos
	viagem de volta	01:28	h

Pede-se: A frota (número) de caminhões necessários para atender a demanda da obra
O tempo necessário para a conclusão do serviço

62