

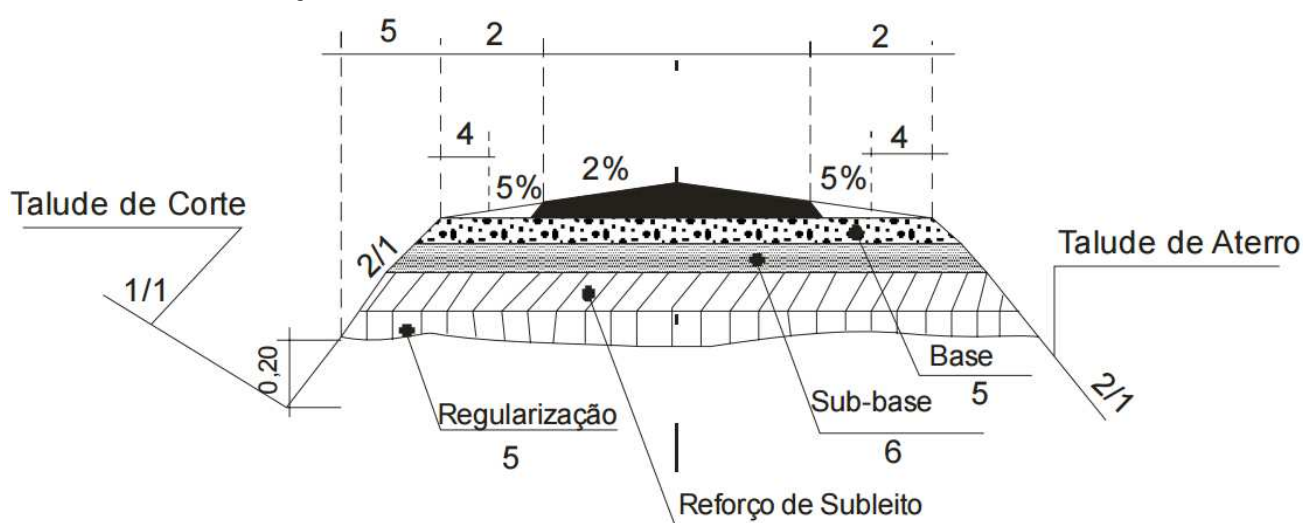
MC2 - Ensaios de Qualidade de Pavimentos

Eng. Marco Antônio B. Traldi
Tecgº. Daniel Menezes Brandão
TCE-GO

Goiânia / maio 2017

Pavimentos Flexíveis

SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA DE UM PAVIMENTO FLEXÍVEL



Relevância do controle tecnológico

- Verificar a adequação técnica
 - Insumos
 - Produção
 - Produto
- Conduzir ao bom desempenho e à durabilidade dos pavimentos
- Subsidiar medições

Requisitos técnicos

- Solos/misturas (p/ camadas de pavimentos)

Corpo de aterro	DNIT-ES 108/2009	ISC≥2% Expansão≤4%
Camada final de aterro	DNIT-ES 108/2009	Preferencialmente ISC≥6% Expansão≤2%
Sub-base estabilizada granulometricamente	DNIT-ES 139/2010	IG = 0 Material retido na peneira nº 10 deve ser constituído de partículas duras ISC≥20% Expansão≤1% Solos lateríticos podem apresentar IG≠0 e Expansão>1%, desde que sua expansibilidade seja inferior a 10%
Base estabilizada granulometricamente	DNIT-ES 141/2010	Granulometria enquadrada em alguma das faixas A, B, C, D, E e F % passante na peneira nº 200 não deve ultrapassar 2/3 da % passante na peneira nº 40 Material passante nº 40: LL≤25%, IP≤6% CBR≥60%, caso N≤5x10 ⁶ CBR≥80%, caso N>5x10 ⁶ Material retido na peneira nº 10: desgaste ≤ 55%

Rotina de controle tecnológico (ensaaios)

- Solos/Misturas



Ensaaios de pavimentos (flexíveis)

- Solos/Misturas

— Preparação de amostras para ensaios



Secar ao ar



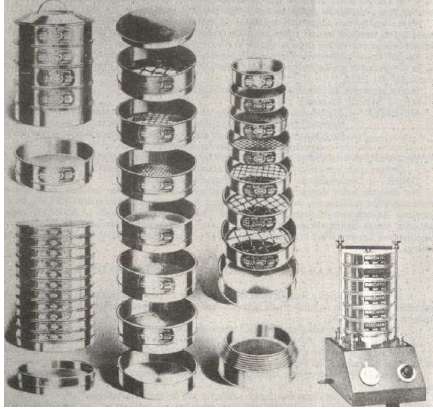
Destorroar



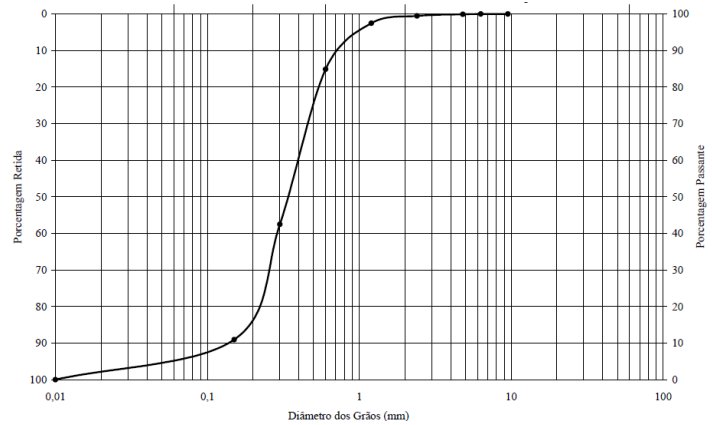
Reduzir material até a massa desejada

Ensaio de pavimentos (flexíveis)

- Solos/Misturas
 - Granulometria



Medir massas retidas



Traçar curva Granulométrica

DNER-ME 080/94

Ensaio de pavimentos (flexíveis)

- Solos/Misturas
 - CBR/Expansão



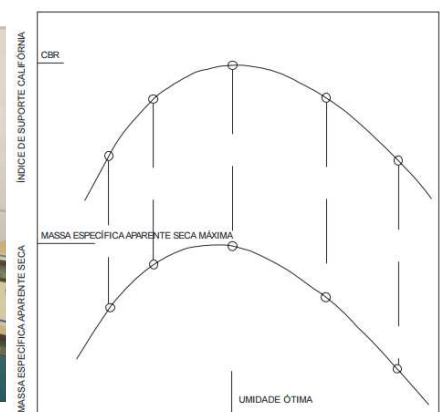
Compactar



Imersão por 96h



Ensaio na prensa



Determinar o ISC

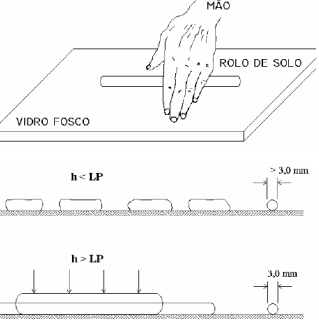
DNIT-ME 172/2016

Ensaio de pavimentos (flexíveis)

- Solos/Misturas
 - Limite de Plasticidade e Liquidez



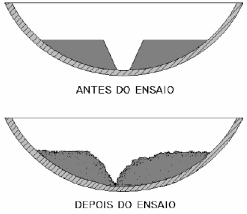
Rolar solo sobre a placa



MÃO
ROLO DE SOLO
VIDRO FOSCO
 $h < LP$
 $h > LP$
3,0 mm
Momento de paralização do ensaio



Preencher cunha e executar friso



ANTES DO ENSAIO
DEPOIS DO ENSAIO
Momento de paralização

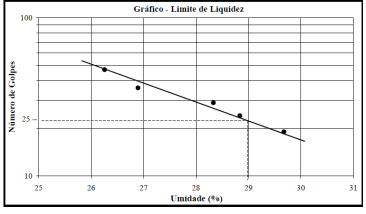


Gráfico - Limite de Liquidez

Umidade (%)	Número de Golpes
26.5	85
27.0	75
28.0	60
29.0	45
30.0	35

DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94

Lab. Móvel TCE-GO

- Solos/Misturas



Ensaio Lab. Móvel TCE

- Principais ensaios realizados
(Solos e misturas)

Ensaio de compactação

Massa específica seca *in situ*

Ensaio Lab. Móvel TCE

- Ensaio – Solos
– Compactação

Preparar amostra



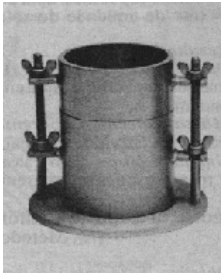
Compactar material



Energias de Compactação		
Proctor	Golpes/ Camada	Nº de Camadas
Método A - Normal	12	5 camadas iguais
Método B Intermediário	26	
Método C Modificado	55	

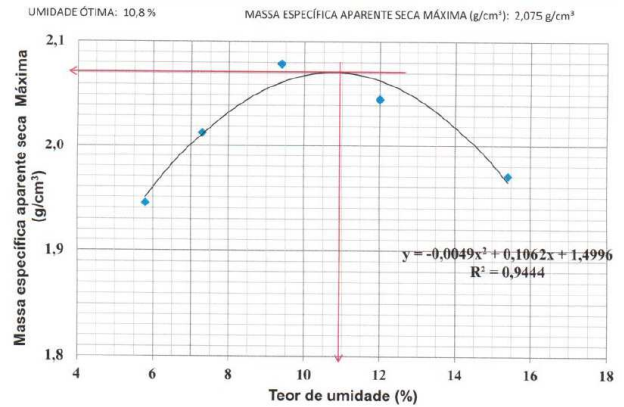
Ensaaios Lab. Móvel TCE

- Ensaaios – Solos
 - Compactação



Moldar 05 CP

$$\begin{aligned} & Mh_1; V_1; W_1 \\ & Mh_2; V_2; W_2 \\ & Mh_3; V_3; W_3 \\ & Mh_4; V_4; W_4 \\ & Mh_5; V_5; W_5 \end{aligned} \quad \rightarrow \quad \rho_{nat} = \frac{M_h}{V_{cil}} \quad \rightarrow \quad \rho_d = \frac{\rho_{nat}}{w}$$



DNER-ME 164/2013

Ensaaios Lab. Móvel TCE

- Ensaaios – Solos
 - Massa específica seca *in situ*



M_1



areia deslocada



M_2

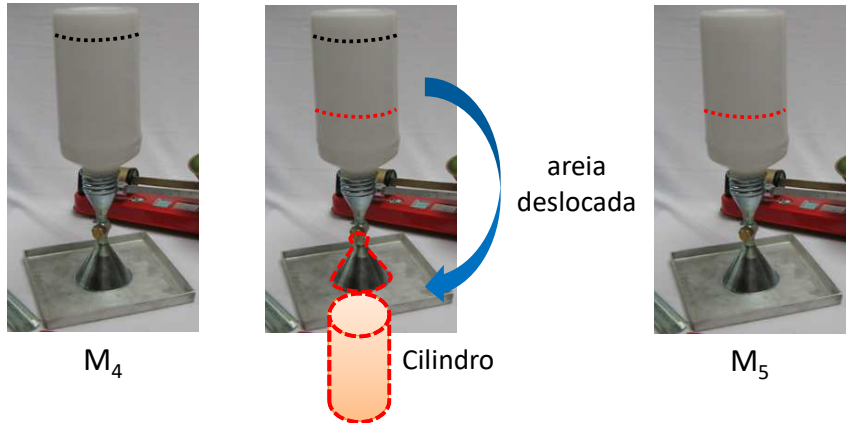
$$M_3 = M_1 - M_2$$

Determinar massa de areia no cone (M_3)

DNER-ME 092/94

Ensaaios Lab. Móvel TCE

- Ensaaios – Solos
 - Massa específica seca *in situ*



areia deslocada

Cilindro

M_4

M_5

$M_6 = M_4 - M_5 - M_3$

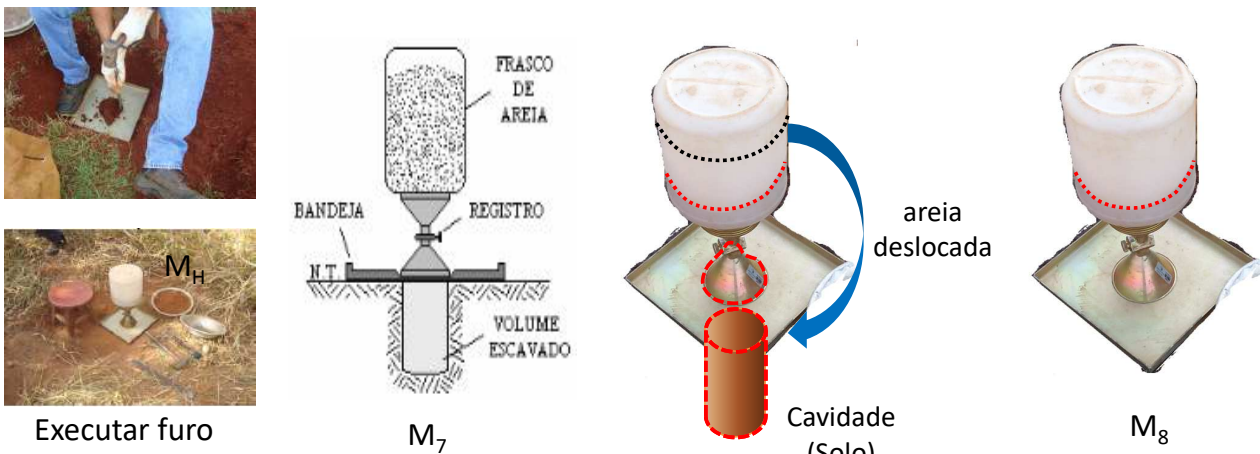
$\rho_{\text{areia}} = \frac{M_6}{V_{\text{cil}}}$

Determinar massa específica da areia (ρ_{areia})

DNER-ME 092/94

Ensaaios Lab. Móvel TCE

- Ensaaios – Solos
 - Massa específica seca *in situ*



FRASCO DE AREIA

BANDEJA

REGISTRO

VOLUME ESCAVADO

M_7

areia deslocada

Cavidade (Solo)

M_8

Executar furo no solo

M_H

DNER-ME 092/94

Ensaaios Lab. Móvel TCE

- Ensaaios – Solos

- Massa específica seca *in situ*

- Determinar a massa de areia deslocada (M_9)

$$M_9 = M_7 - M_8$$

- Determinar a massa de areia que preenche a cavidade (M_{10})

$$M_{10} = M_9 - M_3$$

- Calcular a massa específica aparente do solo úmido (ρ_{nat})

$$\rho_{nat} = \rho_{areia} \times \frac{M_H}{M_{10}}$$

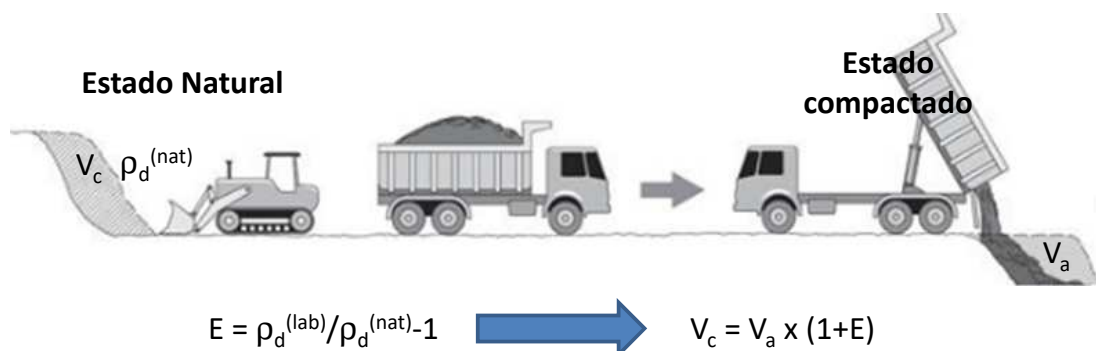
- Calcular a massa específica aparente seca do sol (ρ_d)

$$\rho_d = \rho_{nat} \times \frac{1}{1 + W/100}$$

DNER-ME 092/94

Aplicações no controle externo

Ensaio	Achados de auditoria
SOLOS	
Compactação e Densidade <i>in situ</i>	>Superfaturamento dos serviços de escavação, carga e transporte de solos (terraplenagem e pavimentação)



Requisitos técnicos

- **Revestimentos asfálticos**
 - CAP
 - CAP-30/45, CAP-50/70 e CAP-85/100
 - Agregado Graúdo
 - Desgaste Abrasão Los Angeles $\leq 50\%$
 - Índice de forma $> 0,5$
 - Durabilidade: perda inferior a 12%
 - Agregado Miúdo
 - Equivalente de areia $\geq 55\%$

DNIT-ES 031/2006

Requisitos técnicos

- **Revestimentos asfálticos**
 - Composição da mistura

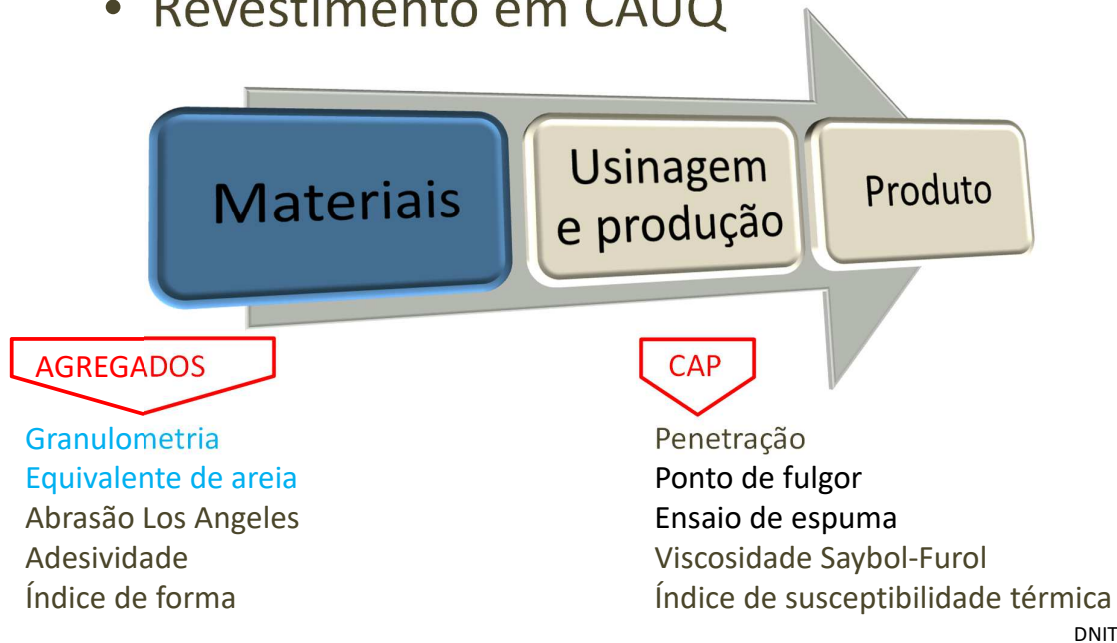
Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série	Abertura	A	B	C	Tolerâncias
ASTM	(mm)				
2"	50,8	100	-	-	-
1 1/2"	38,1	95 - 100	100	-	$\pm 7\%$
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	$\pm 7\%$
3/4"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	$\pm 7\%$
1/2"	12,7	-	-	80 - 100	$\pm 7\%$
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	$\pm 7\%$
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	$\pm 5\%$
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	$\pm 5\%$
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	$\pm 5\%$
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	$\pm 3\%$
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	$\pm 2\%$
Asfalto solúvel no CS2(+) (%)		4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	$\pm 0,3\%$

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)
Porcentagem de vazios, %	DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6
Relação betume/vazios	DNER-ME 043	75 - 82	65 - 72
Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes)	DNER-ME 043	500	500
Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa	DNER-ME 138	0,65	0,65

DNIT-ES 031/2006

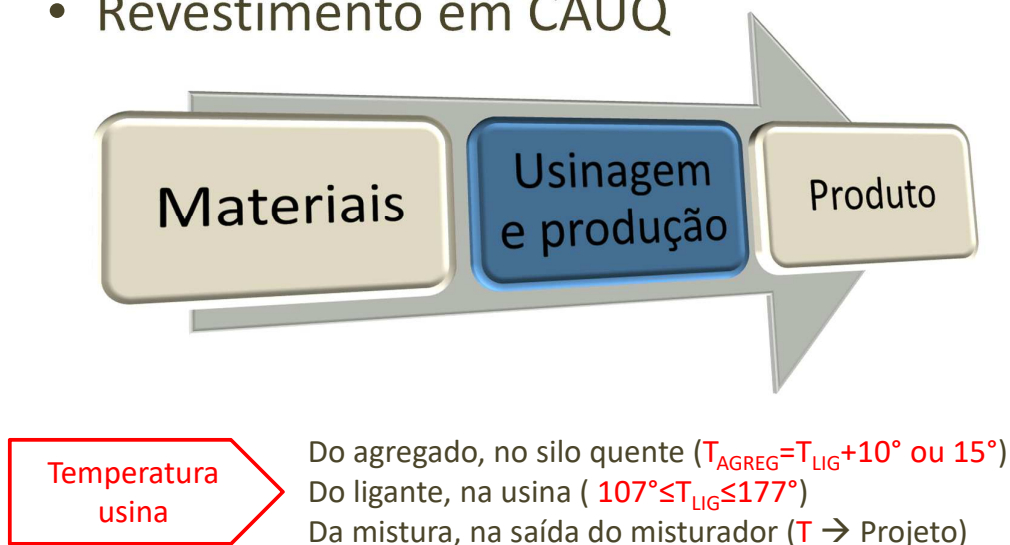
Rotina de controle tecnológico (ensaaios)

- Revestimento em CAUQ



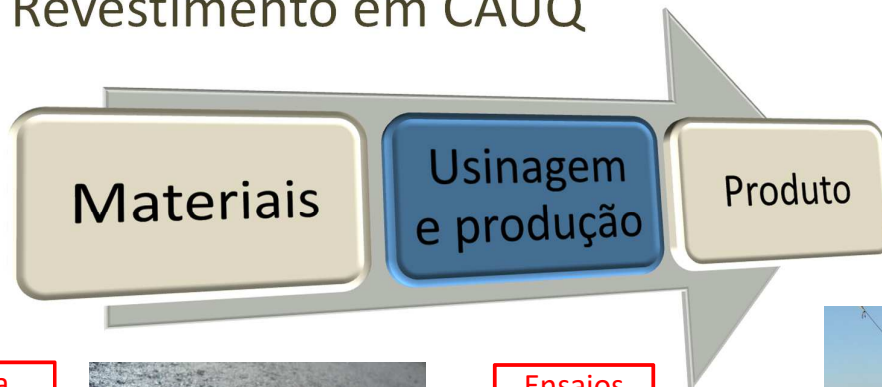
Rotina de controle tecnológico (ensaaios)

- Revestimento em CAUQ



Rotina de controle tecnológico (ensaaios)

- Revestimento em CAUQ



Temperatura
pista

Após a passagem da
acabadora:
 $(T = T_{PROJ} \pm 5^\circ)$



Ensaaios

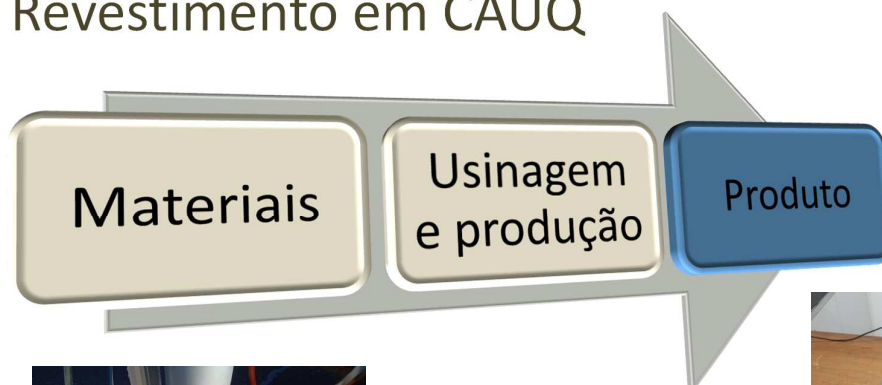
% de ligante da mistura
Granulometria
Ensaio Marshall
 $R_{Tração}$ por compressão
diametral



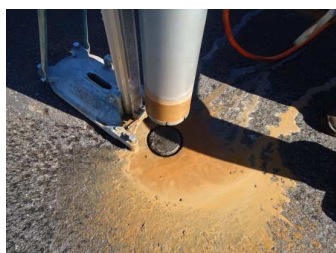
DNIT-ES 031/2006

Rotina de controle tecnológico (ensaaios)

- Revestimento em CAUQ



Espessura



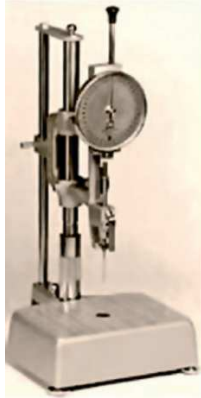
Grau de
compactação



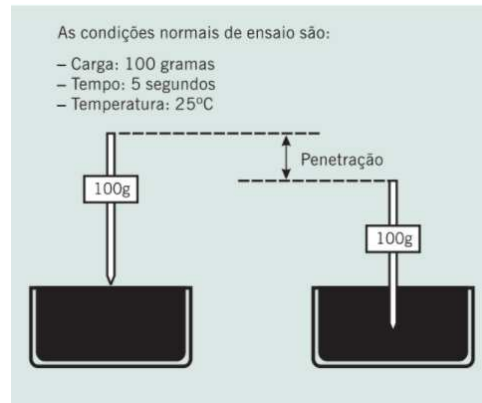
DNIT-ES 031/2006

Ensaaios de pavimentos (flexíveis)

- Revestimentos asfálticos
 - CAP (penetração)



Equipamento



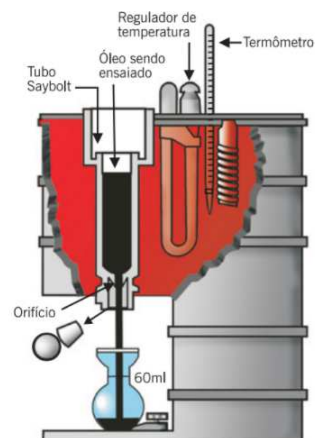
Esquema de ensaio

Ensaaios de pavimentos (flexíveis)

- Revestimentos asfálticos
 - CAP (viscosidade)



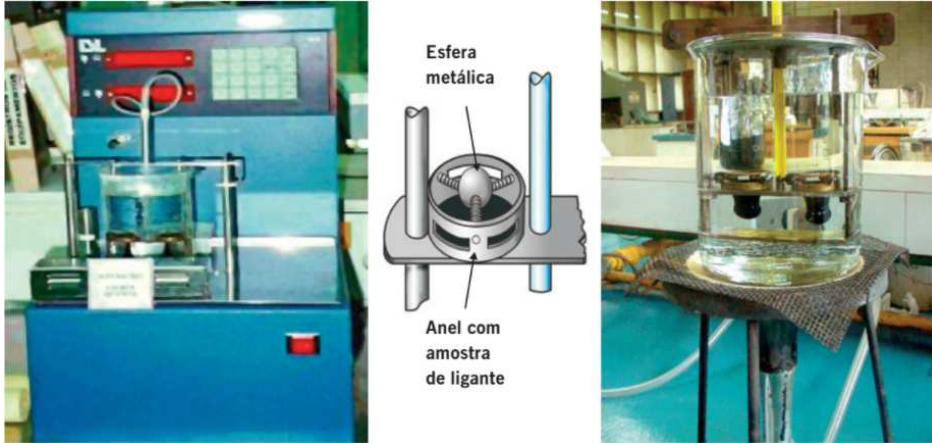
Equipamento



Esquema de ensaio

Ensaio de pavimentos (flexíveis)

- Revestimentos asfálticos
 - CAP (ponto de amolecimento)



Esquema de ensaio

Ensaio de pavimentos (flexíveis)

- Revestimentos asfálticos
 - Agregados (abrasão Los Angeles)



Equipamento

$$LA = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

M_i – Massa seca inicial

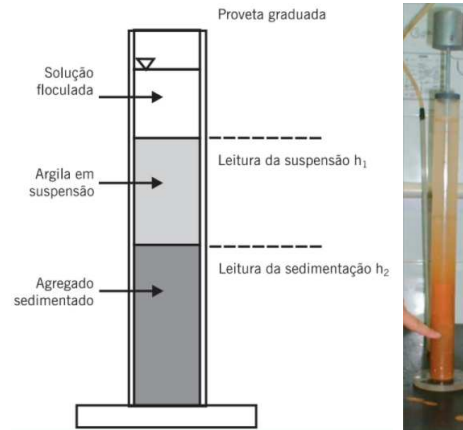
M_f – Massa retida na peneira de 1,7 mm

Ensaio de pavimentos (flexíveis)

- Revestimentos asfálticos
 - Agregados (equivalente de areia)



Equipamento



Esquema de ensaio

Lab. Móvel TCE-GO

- Revestimentos asfálticos



Ensaio Lab. Móvel TCE

- Principais ensaios realizados
(Revestimento asfáltico)

Espessura

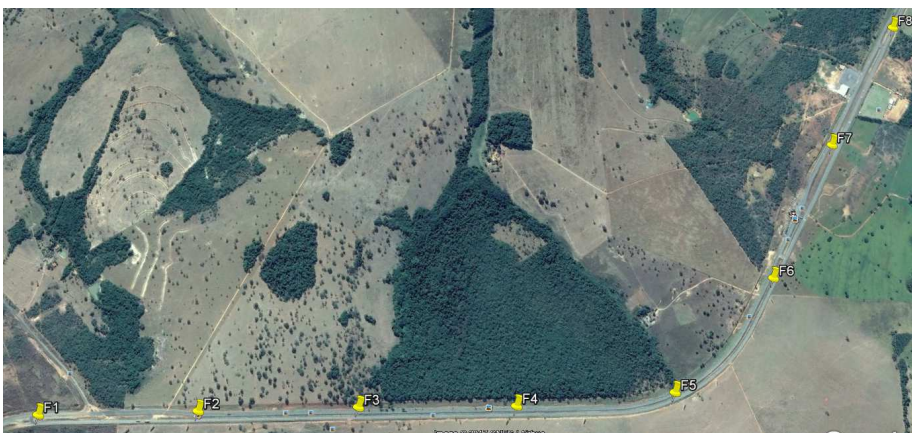
Densidade aparente

Teor de ligante

Granulometria de agregados

Ensaio Lab. Móvel TCE

- Ensaio – Revestimento Asfáltico
— Espessura de camadas



Planejar

DNIT-ES 031/2006



$$N^{\circ}_{\text{furos}} = 1 / 700 \text{ m}^2$$

PROC-IBR-ROD
101/2016



$$N^{\circ}_{\text{furos}} = 1 / 7.000 \text{ m}^2$$

Ensaio Lab. Móvel TCE

- Ensaio – Revestimento Asfáltico
 - Espessura de camadas



Extrair CP



Limpar



Marcar



$$Esp = (\sum_{i=1}^4 Esp_i) / 4$$

Aferir a espessura

DNIT-ES 031/2006 e PROC-IBR-ROD 101/2016

Ensaio Lab. Móvel TCE

- Ensaio – Revestimento Asfáltico
 - Densidade aparente de corpos de prova asfálticos



Determinar (M_{ar})



Determinar (M_i)

$$d = \frac{M_{ar}}{M_{ar} - M_i}$$

Calcular a densidade

Ensaio Lab. Móvel TCE

- Ensaio – Revestimento Asfáltico
 - Teor de ligante



Aquecer amostra



Desmanchar grumos

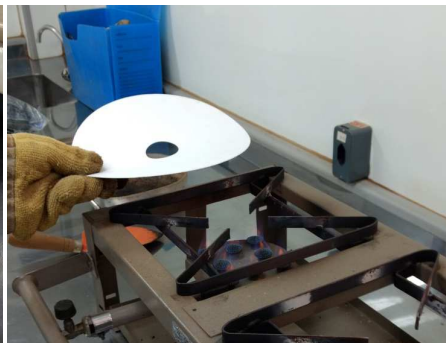
DNER-ME 053/94 e PROC-IBR-ROD 105/2016

Ensaio Lab. Móvel TCE

- Ensaio – Revestimento Asfáltico
 - Teor de ligante



Tara_p



(M_{fa})



(M_{bi})

Determinar massas (antes da extração)

DNER-ME 053/94 e PROC-IBR-ROD 105/2016

Ensaaios Lab. Móvel TCE

- Ensaaios – Revestimento Asfáltico
 - Teor de ligante



Proceder com a extração do ligante

DNER-ME 053/94 e PROC-IBR-ROD 105/2016

Ensaaios Lab. Móvel TCE

- Ensaaios – Revestimento Asfáltico
 - Teor de ligante



Aquecer conjunto



(M_{bf})

Determinar massas (após a extração)



(M_{fd})

DNER-ME 053/94 e PROC-IBR-ROD 105/2016

Ensaio Lab. Móvel TCE

- Ensaio – Revestimento Asfáltico
 - Teor de ligante

$$Teor_L = \frac{M_{bi} - [M_{bf} + (M_{fd} - M_{fa})]}{M_{bi} - Tara_p} \times 100$$

Determinar o teor de ligante



DNER-ME 053/94 e PROC-IBR-ROD 105/2016

Ensaio Lab. Móvel TCE

- Ensaio – Revestimento Asfáltico
 - Análise granulométrica



Determinar M_T
(agregado)

Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C
2"	50,8	100	-	-
1 1/2"	38,1	95 - 100	100	-
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-
3/4"	19,1	60 - 90	80 - 100	100
1/2"	12,7	-	-	80 - 100
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10

Selecionar série de peneiras



Peneirar material

DNER-ME 083/98 e PROC-IBR-ROD 106/2016

Ensaio Lab. Móvel TCE

- Ensaio – Revestimento Asfáltico
 - Análise granulométrica

$$\%_{\text{ret_simp}}^{(i)} = \frac{M_{\text{ret}}^{(i)}}{M_T} \times 100$$

$$\%_{\text{pass_acum}}^{(i)} = 100\% - \%_{\text{ret_acum}}^{(i)}$$

Ensaio de granulometria - DNER-ME 083/98						
Faixa	C		M _T (g)	345,3		
ASTM	Abertura (mm)	M _{ret} (g)	M _{ret-acum} (g)	% _{ret-simp}	% _{ret-acum}	% _{pass-acum}
1/2"	12,7	0	0,0	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	38	38,0	11,00	11,00	89,00
Nº 4	4,8	80,9	118,9	23,43	34,43	65,57
Nº 10	2	84,7	203,6	24,53	58,96	41,04
Nº 40	0,42	75,5	279,1	21,87	80,83	19,17
Nº 80	0,18	24,4	303,5	7,07	87,89	12,11
Nº 200	0,075	22,8	326,3	6,60	94,50	5,50
Fundo		16,6	342,9	4,81	99,30	0,70

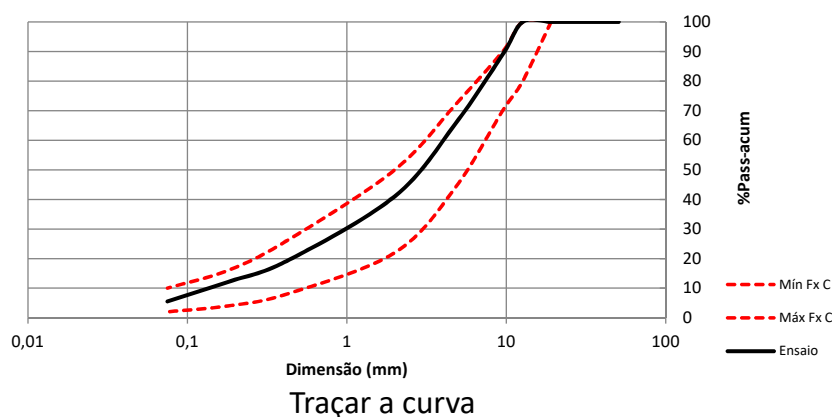
Realizar cálculos

DNER-ME 083/98 e PROC-IBR-ROD 106/2016

Ensaio Lab. Móvel TCE

- Ensaio – Revestimento Asfáltico
 - Análise granulométrica

Curva granulométrica



DNER-ME 083/98 e PROC-IBR-ROD 106/2016

Aplicações no controle externo

Ensaio	Achados de auditoria
REVESTIMENTO ASFÁLTICO	
Espessura	>Camada de concreto asfáltico com espessura desconforme >Medição de espessura desconforme
Massa específica aparente	>Medição contratual com densidade aparente não conforme em relação à de campo
Teor de ligante	>Camada de concreto asfáltico com teor de ligante não conforme em relação ao estabelecido no projeto >Medição contratual com teor de ligante não conforme em relação ao de campo
Granulometria dos agregados	>Aceitação do concreto asfáltico executado com granulometria fora da faixa indicada no traço

OBRIGADO PELA ATENÇÃO!

REFERÊNCIAS

- BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, 2008.
- JÚNIOR, E.P. **Manual de obras rodoviárias e pavimentação urbana: execução e fiscalização**. São Paulo, 2014.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações – Fundamentos (volume 1)**. Rio de Janeiro, 1991.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações – Mecânica das rochas - Fundações – obras de terra (volume 2)**. Rio de Janeiro, 1989.
- DNIT. Normas e Manuais. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/coletanea-de-normas>. Acesso em maio de 2017.

Notas