

RESISTÊNCIA A DANOS POR UMIDADE INDUZIDA DE MISTURAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS

C D T - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Setembro de 2014



DESIGNAÇÃO - ARTERIS T- 283-14

Resistência a Danos por Umidade Induzida de Misturas Asfálticas Compactadas

Designação ARTERIS T 283-14



1 - RESUMO

1.1 - Este método estabelece a preparação de corpos de prova e medições de alterações na resistência à tração por compressão diametral (tensão indireta), resultantes dos efeitos de saturação e condicionamento acelerado à água, em um ciclo de gelo/degelo, de misturas asfálticas compactadas. Os resultados podem ser usados para prever a susceptibilidade ao descolamento de película de misturas asfálticas a longo prazo, e avaliar aditivos líquidos melhoradores de adesividade que são adicionados ao ligante betuminoso ou aos sólidos em pó, tais como cal hidratada ou cimento Portland, acrescentados aos agregados.

1.2 - Os valores informados em unidades do sistema métrico internacional deverão ser usados como padrão.

1.3 - *Esta Norma não entra no âmbito da periculosidade dos materiais, operações e equipamentos nela relacionados. É da responsabilidade de seus usuários estabelecer antecipadamente, os padrões de segurança e prevenção de acidentes necessários, assim como determinar os limites aplicáveis ao seu uso.*

2 - DOCUMENTOS CONSULTADOS

2.1 - NORMAS

- ARTERIS R 47, Redução de amostras de Mistura Asfáltica a Quente para Ensaio de Granulometria.
- ARTERIS T 166, Massa Específica Aparente de Misturas Asfálticas Compactadas Usando Amostras Saturadas – Superfície Seca.
- AASHTO T 167, Compressive Strength of Bituminous Mixtures
- ARTERIS T 209, Massa Específica Teórica Máxima e Densidade de Misturas Asfálticas para Pavimentação.
- AASHTO T 245, Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus
- AASHTO T 247, Preparation of Test Specimens of Bituminous Mixtures by Means of California Kneading Compactor
- ARTERIS T 269, Percentagem de Vazios de Misturas Asfálticas Densas e Abertas Compactadas.

- ARTERIS T 312, Preparação e Determinação da Densidade de Amostras de Mistura Asfáltica Quente (MAQ) pelo Compactador Giratório Superpave.

2.2 - NORMAS ASTM

- D 979, Sampling Bituminous Paving Mixtures
- D 2041, Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures
- D 3387, Compaction and shear Properties of Bituminous Mixtures by Means of the U.S. Corps of Engineers Gyrotory Testing Machine (GTM)
- D 3549, Thickness or Height of Compacted Bituminous Paving Mixtures Specimens

3 – SIGNIFICADO E UTILIZAÇÃO

3.1 - Como descrito no escopo, este método tem a intenção de avaliar os efeitos da saturação e condicionamento acelerado à água, em ciclo de gelo/degelo, de misturas asfálticas compactadas. Este método pode ser usado para testar: (a) misturas asfálticas em teste para projeto (misturado em laboratório, compactado em laboratório), (b) misturas asfálticas produzidas em usinas de asfalto (misturado em campo, compactado em laboratório) e (c) corpos de prova de misturas asfálticas extraídos de pavimento de qualquer idade (misturado em campo, compactado em campo).

3.2 - Os índices numéricos resultantes das propriedades de tração indireta são obtidos com a comparação das propriedades de corpos de prova submetidos à umidade e condições de gelo/degelo, com outros corpos de prova testados a seco.

4 - SUMÁRIO DO MÉTODO

4.1 - São preparados corpos de prova de cada grupo de mistura, como as misturadas com ligante asfáltico comum, ligante asfáltico com DOPE ou com agregado tratado com cal hidratada. Cada conjunto de corpo de prova é dividido em 2 grupos. Um grupo é testado em condição seca em resistência à tração indireta. O outro grupo, antes de ser testado de maneira similar, é submetido à saturação, em vácuo, por água e um ciclo de congelamento, seguido por submersão em água morna. Os índices numéricos resultantes das propriedades de resistência à tração indireta são obtidos pela comparação dos dois grupos: seco e condicionado.

5 - EQUIPAMENTOS DE LABORATÓRIO

- 5.1 - Equipamento para preparação e compactação dos corpos de prova de um dos seguintes: T 167, T 245, T 247, T 312 ou D 3387.
- 5.2 - Equipamento para determinação da massa específica máxima teórica de misturas asfálticas do T 209.
- 5.3 - Balança com dispositivo para pesagem imersa do T 166.
- 5.4 - Banho Maria capaz de manter a temperatura da água em $60 \pm 1^\circ\text{C}$.
- 5.5 - Freezer mantido à temperatura de $(-18) \pm 3$ graus centígrados.

- 5.6 - Filme plástico para envolver o material; saco plástico para as amostras: de alta resistência, impermeável, capaz de conter as amostras saturadas; e fita adesiva.
- 5.7 - Proveta graduada de 10ml.
- 5.8 - Bandeja com área de 48 400 – 129 000 mm² com 25mm de profundidade.
- 5.9 - Estufa com sistema de ar forçado, controlada por termostato, capaz de manter a qualquer temperatura, desde temperatura ambiente até ~176°C variando em ± 3 °C.
- 5.10 - Prensa para rompimento de corpos de prova com anel dinamométrico do T 245, ou uma máquina para ensaios mecânicos ou hidráulicos, da T 167, para o controle acurado da deformação vertical, inclusive para velocidade de rompimento controlada de 50 mm/min.
- 5.11 - Lâminas de aço de superfície côncava e raio de curvatura igual ao raio nominal dos corpos de prova. Para corpos de prova de 100 mm (4”) de diâmetro, a largura deverá ser de 12,7 mm e para os corpos de prova de 150 mm (6”) em diâmetro deverá ter 19,05 mm (0.75”) de largura. O comprimento da base de suporte deve exceder a largura das amostras. Sua extensão deve ser maior que a espessura dos corpos de prova. As pontas das lâminas deverão ser arredondadas, por esmerilhamento, em raio apropriado de curvatura.

6 – PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA MISTURADOS e COMPACTADOS NO LABORATÓRIO

- 6.1 - Faça ao menos 6 (seis) corpos de prova, metade para ser testado a seco e a outra metade para ser testado depois de saturação parcial e condicionamento à umidade em um ciclo de gelo/degelo (Nota 1).
Nota 1- Se recomenda que mais 2 (dois) corpos de prova sejam preparados. Estes corpos de prova poderão ser usados para estabelecer procedimentos de compactação, como descrito no item 6.5 ou 7.4 , e técnica de saturação a vácuo, como descrito no item 10.3
- 6.2- São usualmente usados corpos de prova de, 100mm(4”) de diâmetro por 63,5mm $\pm 2,5$ mm (2.5” ± 0.1 ”) de espessura, ou 150mm (6”) em diâmetro por 95 ± 5 mm (3.75” ± 0.2 ”) de espessura. Corpos de prova de 150mm (6”) em diâmetro por 95 ± 5 mm (3.75” ± 0.2 ”) de largura, deverão ser usados se agregados com diâmetro maior de 25,0mm (1”) são utilizados na mistura.
- 6.3- Prepare a mistura em quantidade suficiente para fazer ao menos 3 (três) corpos de prova ou então, prepare quantidade suficiente para 1 (um) corpo de prova de cada vez. Se for preparado quantidade para mais de um corpo de prova, divida o lote em quantidades menores, de 1 (um) corpo de prova cada, antes de colocar no forno.
- 6.4 - Depois de misturada, a amostra deverá ser colocada em uma bandeja com área de aproximadamente 48400 a 129000 mm² com 25 mm de profundidade, e esfriada à temperatura ambiente, por $2 \pm 0,5$ hrs. Então a mistura deverá ser colocada em uma estufa a 60 ± 3 °C por 16 ± 1 horas, para a cura. Se as prateleiras não forem vazadas, os tabuleiros deverão ser colocados de maneira a permitir a circulação de ar, embaixo e ao redor dos mesmos.
- 6.5 - Depois de curadas e antes de compactar, coloque as bandejas em uma estufa, por 2 hrs e ± 10 min, à temperatura de compactação ± 3 °C. Compacte os corpos de prova de acordo com um dos seguintes métodos: T 167, T 245, T 247, T 312 ou D 3387. A mistura deverá ser compactada até $7,0 \pm 0,5$ % de vazios. Este nível de vazios deverá ser obtido ajustando-se o número de golpes de acordo com a T-245, ajustando a pressão do pé, o número de golpes, nivelando a carga, ou alguma combinação da T 247; ou ajustando o número de giros como na T 312 ou D 3387. Antes de se iniciar a compactação de cada

conjunto de corpos de prova, o número de golpes deverá ser determinado experimentalmente para cada tipo de mistura (Nota 2).

Nota 2 – Certifique-se de que cada corpo de prova esteja frio e estável antes de remove-los da forma, devido ao elevado número de vazios e à instabilidade potencial dos corpos de prova.

6.6 - Posteriormente, depois de extraídos dos moldes, os corpos de prova moldados deverão permanecer em repouso em temperatura ambiente por volta de 24 ± 3 horas.

7 – PREPARAÇÃO DE CORPOS DE PROVA COM AMOSTRAS USINADAS E COMPACTADAS EM LABORATÓRIO

7.1 - Faça pelo menos 6 (seis) corpos de prova para cada ensaio, metade para ser testado a seco e a outra metade para ser testado depois de saturação parcial e condicionamento à umidade com um ciclo de gelo/degelo (Nota 1).

7.2 - São usados corpos de prova de 100mm(4") de diâmetro por $63,5\text{mm} \pm 2,5\text{mm}$ ($2.5'' \pm 0.1''$) de espessura, ou 150mm (6") em diâmetro por $95 \pm 5\text{mm}$ ($3.75'' \pm 0.2''$) de espessura. Corpos de prova de 150mm (6") em diâmetro por $95 \pm 5\text{mm}$ ($3.75'' \pm 0.2''$) de espessura deverão ser usados, se estão presentes na mistura se agregados com diâmetro maior de 25,0mm (1").

7.3 - Misturas preparadas em campo deverão ser amostradas pela D 979.

7.4 - Não será feito cura como descrito no item 6.4. para os corpos de prova preparados com mistura produzida em campo. Após a amostragem, divida a amostra para obter o tamanho desejado de acordo com R 47. Em seguida coloque a mistura em uma estufa até que atinja temperatura de compactação $\pm 3^\circ\text{C}$. Então compacte os corpos de prova de acordo com um dos seguintes métodos: T 167, T 245, T 247, T 312 ou D 3387. A mistura deverá ser compactada até $7,0 \pm 0,5$ % de vazios. Este nível de vazios deve ser obtido, ajustando-se o número de golpes de acordo com a AASHTO T-245, ajustando a pressão do pé, o número de golpes, nivelando a carga, ou alguma combinação da T 247 ou ainda ajustando o número de giros em T 312 ou D 3387. O exato número de golpes deve ser determinado experimentalmente, para cada tipo de mistura, antes de se iniciar a compactação de cada conjunto de corpos de prova (Nota 2).

7.5 - Depois de extraídos dos moldes, os corpos de prova moldados deverão permanecer em repouso por 24 ± 3 horas à temperatura ambiente.

8 – PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA MISTURADOS E COMPACTADOS EM CAMPO (EXTRAÍDOS DA PISTA)

8.1 - Selecione locais para amostragem no pavimento terminado, e obtenha as amostras. Quando são testadas camadas do pavimento com espessura menor ou igual a 63,5mm use corpos de prova de 100mm de diâmetro. Caso contrário, use diâmetros de 100 ou 150mm. O número de amostras deverá ser de ao menos 6 (seis) para cada tipo de mistura.

8.2 - Separe as camadas dos corpos de prova como necessário, serrando ou de outra forma cabível, e armazene os corpos de prova a serem testados, em temperatura ambiente, até que estejam secos.

8.3 - Nenhuma cura de mistura solta (item 6.4), ou cura de mistura compactada (item 6.6), será feita nos corpos de prova misturados e compactados em campo.

9 – AVALIAÇÃO E DEFINIÇÃO DOS GRUPOS DE CORPOS DE PROVA

- 9.1 - Depois de curar, aquecer, ou secar as amostras, determine a Massa Específica Máxima Teórica (G_{mm}), teste como descrito no item 6.4 e 6.5, no item 7.4, ou item 8.2 se for apropriado, determine a (G_{mm}) dessas amostras pela T 209.
- 9.2 - Determine a Espessura (t) de cada corpo de prova, pela ASTM D-3549.
- 9.3 - Registre o Diâmetro (D) de cada corpo de prova, como definido no item 6.2, 7.2, ou 8.1 como apropriado.
- 9.4 - Determine cada Massa Específica Aparente (G_{mb}) pelo método A da T-166. Registre o Volume (E) da amostra, ou a Massa Saturada Superfície Seca menos a Massa Submersa, em cm^3 .
- 9.5 - Calcule a porcentagem de vazios de ar (P_a), pela T-269.
- 9.6 - Divida os corpos de prova em 2 subgrupos de três, de maneira que, a Média da porcentagem de vazios seja aproximadamente igual.

Para as amostras a serem submetidas a saturação à vácuo, por água, ao ciclo de congelamento e ao ciclo de banho em água morna, calcule o Volume de Vazios (V_a) em cm^3 usando a seguinte equação:

$$V_a = \frac{P_a E}{100} \quad (1)$$

onde:

V_a = volume de vazios (cm^3)

P_a = vazios (%)

E = volume do Corpo de Prova (cm^3)

Nota 3- Um formulário conveniente para este método de teste é mostrado como Tabela 1.

10 - PRECONDICIONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA PARA TESTES

- 10.1 - Um subgrupo será testado seco, e o outro será parcialmente saturado, à vácuo, em água, passando por congelamento, e submerso em água morna, antes do início do ensaio.
- 10.2 - O subgrupo de corpos de prova a ser testado seco, deverá ser mantido em temperatura ambiente, como descrito nos itens 6.6 ou 7.5. Ao final do período de cura, os corpos de prova deverão ser colocados em sacos plásticos reforçados e impermeáveis. Os corpos de prova são colocados num banho-maria a $25 \pm 0,5^\circ C$, por, no mínimo, 2hrs \pm 10min e posteriormente testados conforme descrito na seção 11.
- 10.3 - O outro subgrupo deverá ser condicionado como exposto a seguir:
- 10.3.1 - Coloque os corpos de prova dentro de um recipiente submetido à vácuo, sobre um espaçador vazado, que deixe, no mínimo, 25mm entre estes e o fundo do recipiente. Encha o recipiente com água potável à temperatura ambiente até que os corpos de prova tenham, pelo menos, 2,5 cm de água acima da sua superfície superior. Aplique uma pressão absoluta a vácuo entre 13 a 67 KPa por um curto período de tempo (aproximadamente de 5 a 10 minutos). Remova o vácuo e deixe o corpo de prova submerso em água por volta de 5 a 10 minutos.

Nota 4 – O tempo necessário para alguns corpos de prova atingirem o grau de saturação correto (entre 70 e 80 por cento) pode ser inferior a 5 minutos. Além disso, alguns corpos de prova podem exigir o uso de uma pressão absoluta superior a 67 KPa ou inferior a 13 KPa.

10.3.2 - Determine a massa dos corpos de prova saturados, com a superfície seca (Massa SSS), depois da saturação parcial de acordo com a T-166.

10.3.3 - Calcule o volume de água absorvida (J') cm^3 pelo uso da seguinte equação:

$$J' = B' - A \quad (2)$$

onde:

J' = Volume de água absorvida, cm^3

B' = massa de amostra saturada, depois de saturação de água à vácuo

A = massa da amostra seca ao ar (item 9.4).

10.3.4 - Determine o grau de saturação (S') comparando o volume de água absorvida (J') com o volume de vazios (Va) determinado no item 9.6, usando a seguinte equação:

$$S' = \frac{100J'}{Va} \quad (3)$$

onde:

S' = grau de saturação (%)

10.3.5 - Se o grau de saturação estiver entre 70% e 80% , prossiga para a seção 10.3.7.

10.3.6 - Se o grau de saturação for menor que 70% do teor de vazios, repita o procedimento começando na seção 10.3.1 usando mais vácuo e/ou mais tempo. Se o grau de saturação for maior que 80%, o corpo de prova está danificado e deve ser descartado. Neste caso repita o procedimento com novo corpo de prova, começando na seção 10.3.1 usando menos vácuo e/ou menos tempo.

10.3.7 - Envolver firmemente cada corpo de prova saturado com um filme plástico. Coloque cada corpo de prova em um saco plástico contendo $10 \pm 0,5\text{ml}$ de água e vede o saco. Coloque o saco plástico com o CP no freezer, a uma temperatura de $-18 \pm 3^\circ\text{C}$ por, no mínimo, 16 horas. Remova as amostras do freezer.

10.3.8 - Coloque os corpos de prova em um banho-maria de água potável, a $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, por $24 \pm 1\text{hrs}$. As amostras deverão ter um mínimo de 25mm de água, acima da sua superfície. Logo que possível, depois de colocar os corpos de prova em banho-maria, retire o saco plástico e o filme de cada amostra.

10.3.9 - Após as $24 \pm 1\text{hrs}$ de imersão, a $60 \pm 1^\circ\text{C}$, os corpos de prova deverão ser removidos para outro banho-maria, a $25^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$, por 2 ± 10 minutos. As amostras deverão ter um mínimo de 25mm de água, acima da sua superfície. Se necessário use gelo para controlar a temperatura, evitando que suba acima de 25°C . Não mais de 15 minutos, deverão ser gastos, para que a água atinja $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Remova os corpos de prova do banho-maria, e teste conforme descrito no item 11.

11 – ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA

11.1 - Determine a resistência à tração indireta dos 2 (dois) grupos, a $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

11.2 - Retire o corpo de prova do banho-maria de $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ e determine a sua espessura (t) pela D 3549. Coloque o corpo de prova entre as lâminas de aço e posicione cuidadosamente entre os 2 pratos da prensa. O posicionamento deverá ser cuidadoso para garantir que a carga aplicada seja igual por todo o diâmetro do corpo de prova. Aplique a carga no corpo de prova através de um movimento constante da prensa, de 50 mm por minuto.

11.3 - Anote a tensão máxima registrada pela prensa e continue a aplicar a carga até que uma trinca vertical apareça. Remova o corpo de prova da prensa e o abra na face trincada. Inspeção a superfície interior para verificar o descolamento do filme de asfalto; visualmente estime o grau aproximado de dano, provocado pela umidade, em uma escala de “0” a “5” (sendo “5” o grau de maior desgaste) e registre as observações na Tabela 1.

TABELA 1

PROJETO:	
Aditivo:	Dosagem:
Mét. de Compactação:	Esforço:
Data:	Resp.:

Nº de ident. das Amostras:							
Diâmetro (mm)	<i>D</i>						
Espessura (mm)	<i>t</i>						
Massa seca ao ar (g)	<i>A</i>						
Massa SSS (g)	<i>B</i>						
Massa Submersa (g)	<i>C</i>						
Vol. (B=C) (cm ³)	<i>E</i>						
Massa Espec. Apar. (A/E)	<i>Gmb</i>						
Massa Espec. Máx.	<i>Gmm</i>						
Teor. Vazios (%) [100(Gmm-Gmb)/Gmm]	<i>Pa</i>						
Vol. Vazios (cm ³) (PaE/100)	<i>Va</i>						
Carga (N)	<i>P</i>						
Saturado	min @	kPa ou	mm Hg				
Espessura (mm)	<i>t'</i>						
Massa SSS (g)	<i>B'</i>						
Vol. água absorv. (cm ³) (B'-A)	<i>J'</i>						
Saturação (%) (100J'/Va)	<i>S'</i>						
Carga (DaN)	<i>P'</i>						
Resistência seco (DaPa) (2P'/πtD)	<i>St₁</i>						
Resistência Saturado (DaPa) (2P'/πt'D)	<i>St₂</i>						
Dano Visual à Umidade (0 a 5)							
Agregado rachou/rompeu ?							
RRT (<i>St₂/St₁</i>)							

12 - CÁLCULOS

12.1 - Calcule a resistência à tração de cada corpo de prova de 100 mm (4") de diâmetro como indicado abaixo:

Sistema Internacional:

$$St = \frac{2000P}{\pi D} \quad (4)$$

Onde:

St = Resistência à tração (kPa)

P = Carga máxima (N)

t = Espessura do corpo de prova (mm)

D = diâmetro da amostra (mm)

ou no Sistema Americano:

$$St = \frac{2P}{\pi D} \quad (5)$$

Onde:

St = Resistência à tração (psi)

P = Carga máxima (lbs)

t = Espessura do corpo de prova (polegadas)

D = Diâmetro do corpo de prova (polegadas)

12.2 - Expresse o índice numérico de resistência da mistura asfáltica ao efeito danoso da água, como a razão da tensão original do corpo de prova saturado e condicionado ao gelo/degelo. Calcule a razão da tensão, com 2 casas decimais, de acordo com o indicado abaixo:

$$\text{Razão da Resistência à Tração} - RRT = \frac{St_2}{St_1} \quad (6)$$

Onde:

St_1 = Média da resistência à tração indireta do subgrupo de corpos de prova seco, (kPa) e

St_2 = Média da resistência à tração indireta do subgrupo de corpos de prova saturados (kPa).

13 RELATÓRIO

13.1 - Registre as seguintes informações:

13.1.1 - Número de amostras em cada subgrupo;

13.1.2 - Vazio médio de cada subgrupo;

13.1.3 Resistência à tração de cada amostra em cada subgrupo;

- 13.1.4 Razão da resistência à tração;
- 13.1.5 Resultado estimado visualmente do dano provocado por umidade, quando a amostra racha;
- 13.1.6 Resultado das observações do agregado rachado ou quebrado.