



MINISTÉRIO DA
INFRAESTRUTURA

DEPARTAMENTO NACIONAL
DE INFRAESTRUTURA DE
TRANSPORTES

DIRETORIA-GERAL

DIRETORIA DE
PLANEJAMENTO E
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS EM
TRANSPORTES
Setor de Autarquias Norte Q 3
Bloco A - Lote A, Brasília - DF,
CEP 70040-902
Tel: (61) 3315-4831

DEZEMBRO 2020

NORMA DNIT 431/2020 - ME

Pavimentação – Misturas asfálticas – Densidade *in situ* usando densímetro não nuclear – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas em Transportes - IPR

Processo: 50600.010462/2020-04

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 30/12/2020.

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:

Densidade de mistura asfáltica; dispositivo eletrônico de densidade, densímetro não nuclear, densidade *in situ*, massa específica.

Nº total de páginas

8

Resumo

Esta Norma descreve o procedimento para determinar a densidade ou a massa específica aparente *in situ* das misturas asfálticas compactadas, por meio de um dispositivo eletromagnético conhecido como densímetro não nuclear.

Abstract

This test method describes the procedures for determining the density or in-place apparent specific mass of compacted asphalt mixtures, using the non-nuclear density gauge.

Sumário

Prefácio	1
1. Objetivo.....	1
2. Referências normativas	2
3. Definições	2
4. Aplicabilidade	2
5. Interferências	2
6. Aparelhagem.....	3
7. Calibração.....	3
8. Procedimento.....	4
9. Relatório.....	5

10. Recomendações	5
Anexo A (Informativo) – Ilustrações	6
Anexo B (Informativo) – Bibliografia.....	7
Índice geral.....	8

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer o procedimento para determinar a densidade *in situ* das misturas asfálticas compactadas, utilizando o medidor de densidade não nuclear.

Sua criação teve origem nos estudos e pesquisas realizados no âmbito do Termo de Execução Descentralizada – TED nº 682/2014 firmado com a COPPE/UFRJ, para o desenvolvimento de método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimento asfáltico. Este documento está formatado de acordo com a Norma DNIT 001/2009 - PRO.

1. Objetivo

Esta Norma estabelece o método de ensaio não destrutivo para a determinação da densidade ou massa específica aparente *in situ* das misturas asfálticas compactadas, utilizando um densímetro não nuclear.

2. Referências normativas

O documento relacionado a seguir é indispensável à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

- a) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 428 – ME. Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados – Método de ensaio.

3. Definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

3.1. Densidade *in situ*

Razão entre a massa da mistura asfáltica compactada e o volume ocupado por ela, na temperatura de campo quando se realiza a medição com o densímetro não nuclear.

3.2. Massa específica aparente do corpo de prova

Razão entre a massa de um corpo de prova e seu volume, expressa em gramas por centímetro cúbico, à temperatura do ensaio.

3.3. Grau de compactação

Razão entre a massa específica aparente seca da mistura compactada em campo e a massa específica aparente de projeto, expresso em porcentagem.

4. Aplicabilidade

4.1 O método de ensaio descrito é um método rápido e não destrutivo para determinar a densidade *in situ*, utilizando equipamento eletrônico não nuclear. Também pode ser utilizado para determinar o grau de compactação relativo à densidade de projeto (ou à massa específica aparente de projeto) das misturas asfálticas compactadas.

4.2 O ensaio pode ser usado para estabelecer o número de passadas do rolo compactador para atingir a densidade necessária.

4.3 A natureza não destrutiva do ensaio permite várias medições em um único local, podendo ser medido entre as passadas do rolo e em vários locais ao longo da via para monitorar mudanças na densidade durante a etapa construtiva.

4.4 Os resultados da densidade ou da massa específica obtidos por esta norma de ensaio são relativos. A calibração do dispositivo por correlação com outros métodos de ensaio é necessária para ajustar os resultados obtidos usando este método para a densidade real. O item 7 desta norma descreve um método aceitável para obter essa correlação.

5. Interferências

5.1 Campos de força eletromagnéticos, como linhas de alta tensão ou grandes objetos de metal próximos ao equipamento podem interferir com a leitura do dispositivo.

5.2 A composição química do material ensaiado pode afetar significativamente a medição e ajustes podem ser necessários. O dispositivo deve ser calibrado para a mistura asfáltica específica de projeto que está sendo usada no campo.

5.3 O método de ensaio tem influência do espaço de amostragem, sendo o dispositivo mais sensível à densidade do material mais próxima do sensor.

5.4 A textura da superfície do material a ser ensaiado pode influenciar a densidade lida e esta ser menor que a densidade real do material.

5.5 Presença de partículas de agregados muito grandes no contato do sensor podem provocar variações na determinação da densidade.

5.6 A quantidade de leituras da amostragem pode variar com o tipo do equipamento e com a densidade do material. Em geral, quanto maior a densidade, menor o volume de amostragem requerido (ver Nota 1).

NOTA 1: O volume de material compactado em campo necessário para representar um ensaio pode ser aumentado, repetindo a leitura em locais adjacentes e calculando a média dos resultados.

6. Aparelhagem

6.1 Medidor de densidade de mistura asfáltica não nuclear

É um dispositivo de contagem eletrônica que em contato com a superfície da camada asfáltica mede as mudanças no campo elétrico a partir de um campo de ondas elétricas que são emitidas na superfície ensaiada.

Este campo elétrico é gerado por uma chapa plana, posicionada na superfície da camada asfáltica, que contém o emissor e o receptor dessas ondas, sendo a densidade determinada a partir da resposta do campo elétrico às variações de impedância da matriz das leituras. Estas variações são função da resistência elétrica específica e da constante dielétrica do material, sendo estas propriedades influenciadas pela sua composição química.

NOTA 2: Este tipo de equipamento não necessita de autorização especial de manuseio, armazenamento e utilização. Se for operado de acordo com as recomendações do fabricante, não há necessidade de medidas especiais de segurança.

O equipamento deve atender os seguintes requisitos:

6.1.1 O dispositivo deve ser acondicionado em um recipiente, projetado e construído de material adequado para medições da densidade *in situ* de misturas asfálticas.

6.1.2 O dispositivo deve funcionar nas temperaturas a que a mistura asfáltica for submetida durante as operações de aplicação, compactação e ao longo do uso.

6.1.3 O dispositivo deve ter circuito interno adequado para exibir as medições individuais dos pontos de amostragem para permitir que os operadores registrem as leituras ou ter sistema de armazenamento de dados.

6.1.4 O dispositivo deve incluir um modo de leitura contínua de operação.

6.1.5 O dispositivo deve empregar circuitos eletrônicos adequados para fornecer energia e condicionamento de sinal ao sensor para atender a função de aquisição e leitura de dados, e permitir calibração da unidade na

faixa de valores esperada das características dos materiais.

NOTA 3: O fabricante do dispositivo pode optar por fornecer um bloco padrão usado para verificar a operação do dispositivo e estabelecer condições antes que as medições no pavimento sejam feitas.

7 Calibração

7.1 Para cada mistura a ser avaliada deve-se calibrar o equipamento antes de executar as medições.

7.2 Para calibrar o aparelho deve ser utilizado o método de correlação com medidas feitas com corpos de prova.

7.3 A calibração deve ser realizada na pista dentro do intervalo de temperaturas que será encontrado durante o ensaio.

7.4 Os procedimentos para a calibração são descritos a seguir:

7.4.1 Identificar uma área homogênea, dentro de uma faixa de 3 metros de comprimento e 1 metro de largura, no trecho recém-compactado. Dividir esta área em cinco segmentos iguais e dentro de cada segmento marcar um círculo com 40 cm de diâmetro, totalizando 5 círculos (Figura A1 - Anexo A).

7.4.2 Para cada local de ensaio escolhido, fazer cinco leituras. Iniciar pelo centro do círculo e registrar a leitura, mover o aparelho para a borda do círculo na direção para cima e para esquerda e registrar a segunda leitura, mover o aparelho na borda do círculo no sentido horário até completar as cinco leituras (Figura A1 - Anexo A). Após o registro individual, fazer o registro da média para cada local.

NOTA 4: Seguir a recomendação do fabricante do equipamento para assentar o dispositivo no pavimento.

NOTA 5: Evitar fazer leitura sobre emendas longitudinais ou transversais.

7.4.3 Para cada local de ensaio, extrair com sonda rotativa um corpo de prova da mistura asfáltica. Fazer o

ensaio dos corpos de provas no laboratório conforme a Norma DNIT 428 - ME.

NOTA 6: O corpo de prova deve ser extraído dentro do núcleo central do círculo delimitado para o local de ensaio.

7.5 Calcular o fator de ajuste (*offset*) da seguinte maneira:

7.5.1 Calcular a diferença entre a massa específica aparente do corpo de prova e a média registrada no densímetro em cada local de teste com resolução de $0,001 \text{ g/cm}^3$. Calcular a diferença média e o desvio padrão das diferenças para todo o conjunto de dados com resolução de $0,001 \text{ g/cm}^3$.

7.5.2 Se o desvio padrão das diferenças for igual ou inferior a $0,04 \text{ g/cm}^3$, o fator de ajuste aplicado à leitura do medidor deve ser a diferença média calculada no item 7.5.1.

7.5.3 Se o desvio padrão das diferenças for maior que $0,04 \text{ g/cm}^3$ o conjunto de dados com maior diferença da média deve ser eliminado devendo-se refazer o cálculo. Deve-se ter a informação de pelo menos 3 conjuntos de dados.

7.5.4 O resultado obtido para o fator de ajuste será utilizado para calibrar a leitura do dispositivo.

NOTA 7: Para o bom funcionamento do equipamento é importante seguir os requisitos operacionais apresentados pelo fabricante.

8 Procedimento

8.1 O dispositivo deve ser ligado com antecedência suficiente para permitir sua estabilização antes de começar as leituras. Operar o dispositivo usando os procedimentos do fabricante conforme descrito no manual de operação do dispositivo.

8.2 Selecionar os locais de ensaio de acordo com as especificações do controle construtivo ou de projeto.

NOTA 8: Durante a operação registrar com GPS os locais de medição.

8.3 Garantir que nenhuma fonte de interferência eletromagnética, tais como linhas de alta tensão ou grandes objetos de metal, estejam próximos do dispositivo.

8.4 Para a execução das leituras de densidade *in situ* no trecho pavimentado, seguir os procedimentos abaixo:

8.4.1 Selecionar uma superfície lisa e seca. Varrer a superfície, retirando qualquer resíduo que impeça o contato total da superfície inferior do dispositivo e a superfície de ensaio.

8.4.2 Assegurar que o dispositivo esteja calibrado para as condições da mistura asfáltica do local, de acordo com o item 7 desta norma.

8.4.3 Colocar o dispositivo na superfície de ensaio, garantindo o contato máximo dispositivo-material. Se necessário, girar o dispositivo para obter o máximo contato e eliminar qualquer balanço ou pontos altos na área de contato.

8.4.4 Para ensaios múltiplos, calcular a média dos resultados para cada local de ensaio. Visando a obtenção de resultados mais precisos, é recomendável que em cada ponto sejam feitas cinco medidas, conforme padrão ilustrado na Figura A2 do anexo A.

NOTA 9: Não apoie o dispositivo em uma superfície quente, a menos que esteja realizando as medições nesta condição. Temperaturas altas prolongadas podem afetar os componentes eletrônicos do dispositivo. O dispositivo usado numa superfície quente deve ter tempo suficiente para resfriar entre as medições.

8.5 No caso de se utilizar o densímetro para a determinação do número necessário de passadas do rolo compactador, utilizar o seguinte procedimento:

8.5.1 Medir e registrar as leituras da mistura não compactada, saindo da vibroacabadora.

8.5.2 Após cada passagem do rolo compactador, medir novamente e registrar as leituras.

8.5.3 Quando as medições não mais aumentarem ou diminuirão com passadas adicionais, registrar esta leitura e número de passadas do rolo compactador.

8.5.4 Repetir os passos 8.5.1 e 8.5.2 após cada tipo de rolo que for usado na compactação.

9 Relatório

Registrar os seguintes dados:

9.1 Identificação do local de trabalho e os dados de localização dos pontos do ensaio, como número da estação ou estaca, coordenadas, deslocamento em relação ao eixo, etc., de acordo com as convenções estabelecidas a nível local.

9.2 Dados de calibração do dispositivo, conforme especificado no item 7.

9.3 Leituras individuais de densidade ou massa específica em cada ponto medido dentro de um local de ensaio com resolução de $0,001 \text{ g/cm}^3$, junto com o valor da densidade média calculada para o local.

9.4 Dados de densidade correspondentes (se obtidos) a outros métodos para cada local de ensaio com a resolução de $0,001 \text{ g/cm}^3$. Os dados podem ser provenientes de métodos de medição nuclear ou pesagem hidrostática de corpos de prova extraídos da pista.

9.5 Anotar quaisquer observações qualitativas do ensaio ou condições dos materiais que possam afetar a precisão ou interpretação dos resultados do ensaio.

9.6 Anotar a temperatura da mistura asfáltica no momento da leitura, com precisão de $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

9.7 Anotar o nome do operador do ensaio.

10 Recomendações

10.1 O uso do densímetro eletromagnético requer alguns cuidados para que suas medidas sejam adequadas para o monitoramento de compactação de revestimentos asfálticos. A sua calibração é sensível à granulometria dos agregados, ao tipo do agregado e ao tipo de ligante asfáltico, principalmente quando modificado por polímero. A calibração pode ter pequena variação em função do tempo de serviço da pista.

10.2 As comparações, ponto a ponto, da densidade oriunda do densímetro com aquela determinada por pesagem hidrostática devem ser estatísticas, comparando médias. Recomenda-se que a amostragem dos levantamentos com o densímetro seja pelo menos 5 vezes maior do que a normalmente praticada com extração de corpos de prova, considerando tratar-se de um ensaio não-destrutivo e rápido.

10.3 O aparelho deve ser equipado com duas sondas integradas para medir a temperatura e a umidade da superfície, sendo estes valores utilizados para a correção das medidas de densidade.

10.4 Para confiabilidade das medições realizadas com o densímetro, realizar a cada 1.000 m^3 ou a cada 10 dias de serviços trabalhados por frente de serviço os ensaios comparativos entre as densidades in situ obtidas com o densímetro e as obtidas em laboratório por meio dos corpos de prova extraídos da pista.

_____/Anexo A

Anexo A (Informativo) – Ilustrações

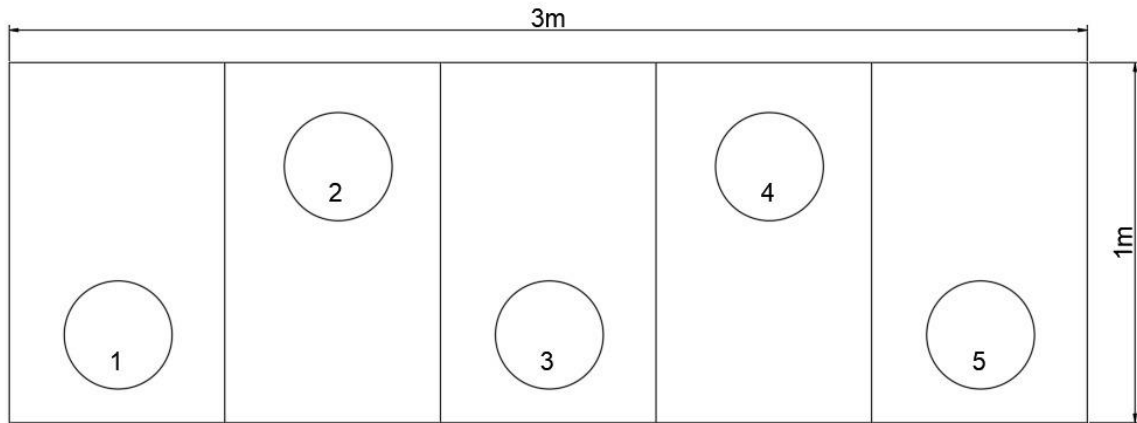


Figura A1 – Esquema para marcação dos locais de ensaio

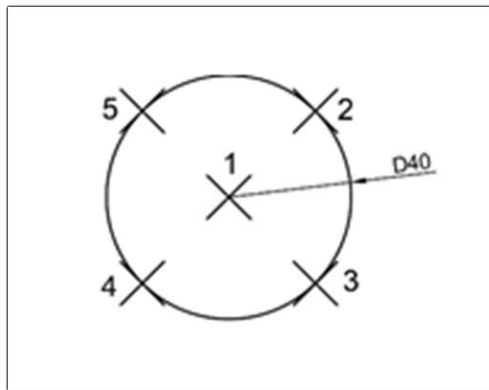


Figura A2 – Layout para as cinco leituras no local de ensaio



Figura A3 – Densímetro não nuclear de mistura asfáltica

Anexo B (Informativo) – Bibliografia

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T 343-12. Standard Method of Test for Density of In-Place Hot Mix Asphalt (HMA) Pavement by Electronic Surface Contact Devices.
- b) AMERICAN SOCIETY FOR TEST AND MATERIALS. ASTM D7113/D7113M-10 (Reapproved 2016). Standard Test Method for Density of Bituminous Paving Mixtures in Place by the Electromagnetic Surface Contact Methods.
- c) ARTERIS-T-100- REV4. Determinação da densidade de pavimentos asfálticos com o densímetro elétrico, 2020.
- d) IDAHO TRANSPORTATION DEPARTMENT RESEARCH PROGRAM. (2015). Review of Non-Nuclear Density Gauges as Possible Replacements for ITD's Nuclear Density Gauges. Idaho, EUA, 2015.
- e) WILIAMS. (2008). MBTC 2075 Final Report. Non-Nuclear Methods for HMA Density Measurements. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Arkansas. Fayetteville, Arkansas, EUA, 2008.

_____/Índice geral

Índice geral

Abstract.....	1	Interferências.....	5.....	2
Anexo A (Informativo) – Ilustrações	6	Massa Específica <i>in situ</i>	3.2.....	2
Anexo B (informativo) – Bibliografia	7	Objetivo	1	2
Aparelhagem.....	6	Prefácio	1
Aplicabilidade	4	Procedimento	8	4
Calibração	7	Recomendações.....	10.....	5
Definições	3	Referências Normativas.....	2	2
Densidade <i>in situ</i>	3.1	Relatório	9	5
Grau de Compactação	3.3.....	Resumo	1
Índice geral.....	8	Sumário	1
