

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 108/2018
**Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas
de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria**

Primeira edição válida a partir de: ___/___/_____

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar o cálculo da densidade máxima teórica e da densidade máxima medida do concreto asfáltico executado.

A determinação desses parâmetros servirá de subsídio para a avaliação:

- a) da compatibilidade entre o concreto executado e o traço apresentado (PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria);
- b) do grau de compactação (PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria); e
- c) do percentual de vazios (PROC-IBR-ROD 111/2018 – Análise de Percentual de Vazios de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria).

A importância dessa aferição está também na possibilidade de identificar trechos homogêneos em relação ao traço da camada de concreto asfáltico em auditoria.

Este procedimento abordará a aferição da densidade máxima teórica e da densidade máxima medida de camadas de concreto asfáltico, seja pela coleta dos insumos na usina, seja pela coleta de concreto asfáltico na usina ou na acabadora, seja pela utilização do material proveniente dos corpos de prova extraídos conforme o PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

Para a determinação da densidade máxima teórica, os equipamentos e instrumentos necessários são:

- Balança com resolução máxima de 20.000 g, sensível a 1 g e com dispositivo (gancho) que permita pesagem hidrostática;
- Balança com resolução máxima de 2.000 g, sensível a 0,01 g;
- Estufa com capacidade de manter a temperatura entre 105 e 110°C;
- Placa aquecedora ou outra fonte de calor ou bomba de vácuo;
- Frasco de Le Chatelier;
- Picnômetro com capacidade de 500 ml;
- Cesto de pesagem hidrostática;
- Termômetro capaz de medir a temperatura da água do banho térmico entre 20 e 30°C, com resolução de 0,1°C;
- Recipiente para controle térmico; e
- Água destilada.

Para a determinação da densidade máxima medida, os equipamentos e instrumentos necessários são:

- Balança com resolução máxima de 10.000 g, sensível a 0,1 g e com dispositivo (gancho) que permita pesagem hidrostática;
- Termômetro capaz de medir a temperatura da água do banho térmico entre 20 e 30°C, com resolução de 0,1°C;
- Estufa com capacidade de aquecimento de até 200°C e de manutenção da temperatura na faixa de $\pm 3^\circ\text{C}$; e
- RICE TEST, composto de:
 - o Bomba de vácuo capaz de aplicar uma pressão residual de 4,0 kPa (30 mm de Hg) ou menos;

- Frasco de vidro ou metálico tipo Kitazato ou recipiente cilíndrico metálico com capacidade de pelo menos 4.000 ml, resistente à pressão de vácuo, com tampão de borracha e conexão para a linha de vácuo;
- Mesa de agitação orbital de bancada com controlador de velocidade e garras de fixação;
- Recipiente para controle térmico;
- Placa de vidro com dimensões suficientes para cobrir inteiramente a abertura do recipiente ou tampa (opcional).

3. PROCEDIMENTO

A Equipe de Auditoria deve, primeiramente, avaliar qual o parâmetro foi utilizado no traço que teria sido elaborado para o concreto asfáltico executado, se a densidade máxima teórica (*DMT*) ou a densidade máxima medida (*DMM*). No caso de ter sido utilizada a *DMT*, a Equipe de Auditoria deve tomar nota das densidades e das proporções dos materiais constituintes da massa asfáltica.

Caso a Equipe de Auditoria não opte pelo mesmo método adotado na definição do traço, deve ser verificado, por meio de ensaios laboratoriais, eventual fator de correção entre as medidas *DMT* e *DMM* aplicável ao traço em análise.

Devem ser observados os relatórios de controle tecnológico emitidos pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra, com a especificação dos parâmetros de referência considerados.

A análise da Equipe de Auditoria pode também levar em conta os demais dados disponíveis sobre a execução da obra.

A Equipe de Auditoria pode extrair e preparar os corpos de prova conforme PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

Caso a densidade máxima seja obtida por meio do RICE TEST, a Equipe de Auditoria deve tomar o cuidado de preservar a amostra, realizando esse ensaio antes da elaboração dos procedimentos PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise da Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A seguir são detalhados os processos de obtenção da *DMT* por meio do método teórico e da *DMM* por meio do RICE TEST.

3.1. MÉTODO TEÓRICO

Caso a opção seja pela *DMT*, a densidade máxima pode ser obtida agrupando-se o material de corpos de prova, preferencialmente sequenciais, que caracterizem trechos homogêneos em relação ao traço, dada a análise das fichas técnicas provenientes do PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e do PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise da Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, desde que não haja evidências de diferenças de origem dos agregados que serão agrupados. Na impossibilidade desse agrupamento, os parâmetros serão obtidos para cada corpo de prova.

Neste método, a *DMT* é determinada pela ponderação entre as massas específicas de todos os elementos constituintes da mistura asfáltica (agregados e ligante), conforme indicado na fórmula a seguir:

$$DMT = \frac{100}{\frac{\% a}{G_a} + \frac{\% A_g}{G_{Ag}} + \frac{\% A_m}{G_{Am}} + \frac{\% f}{G_f}}$$

Onde:

$\% a$ é o teor de ligante asfáltico, expresso em relação à massa total da mistura asfáltica;

$\% A_g$, $\% A_m$ e $\% f$ são as porcentagens do agregado graúdo (retido acumulado na peneira nº 4, ou seja, material com diâmetro maior que 4,8 mm), do agregado miúdo (retido acumulado passando na peneira nº 4 até a peneira nº 200, ou seja, material com diâmetro menor que 4,8 mm e superior a 0,075 mm) e do *filler* (passando na peneira nº 200, ou seja, material com diâmetro menor que 0,075 mm), respectivamente, expressas em relação à massa total da mistura asfáltica; e

G_a , G_{Ag} , G_{Am} e G_f são as massas específicas reais do ligante asfáltico, do agregado graúdo, do agregado miúdo e do *filler* mineral, respectivamente.

O teor de ligante ($\% a$) é o registrado nas fichas de aferição dos teores de ligante de cada corpo de prova, conforme PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, ou a média dos teores dos corpos de prova, em caso de agrupamento.

Em relação aos percentuais dos agregados ($\% A_g$ e $\% A_m$) de cada corpo de prova, os parâmetros de cálculo são obtidos das fichas de ensaios do PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, quanto às massas retidas em cada peneira, e do PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, quanto à massa de cada corpo de prova (M_{cp}). A M_{cp} é a subtração do Peso Bruto Inicial (P_{bi}) pela tara do recipiente côncavo do rotarex (T) ou é proveniente do relatório do forno NCAT.

Em caso de agrupamento, as massas retidas em cada peneira, obtidas das fichas de ensaios mencionadas no parágrafo anterior, são somadas e o M_{cp} passa a ser a soma das massas de cada corpo de prova agrupado.

O $\% A_g$ é a divisão da soma das massas retidas até a peneira nº 4 por M_{cp} . Já o $\% A_m$ é a divisão da soma das massas que passam na peneira nº 4 e ficam retidas na peneira nº 200 por M_{cp} .

Para o cálculo do $\% f$, utiliza-se a fórmula a seguir:

$$\% f = 100\% - (\% A_g + \% A_m + \% a)$$

A massa específica real do ligante asfáltico (G_a) pode ser obtida por meio da ficha técnica referente à aquisição deste insumo ou pela realização do ensaio do material ligante obtido *in loco* durante a execução da obra, conforme a Norma ABNT NBR 6296/2012 – Produtos betuminosos semissólidos – determinação da massa específica e densidade relativa.

Os ensaios para determinação das massas específicas reais dos agregados (G_{Ag} , G_{Am} e G_f) seguem como referência as Normas DNER-ME 81/98 – Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo, DNER-ME 84/95 – Agregado Miúdo – determinação da densidade real e DNER-ME 85/94 – Material Finamente Pulverizado – determinação da massa específica real, com as adaptações ao caso concreto.

Vale observar que os percentuais de agregados miúdos e graúdos podem não corresponder aos percentuais individuais dos agregados que compõem o traço que teria sido elaborado para o concreto asfáltico executado.

3.2. RICE TEST

Caso a opção seja pela *DMM*, a densidade máxima será obtida para cada corpo de prova, podendo a Equipe de Auditoria agrupar o material de corpos de prova, preferencialmente sequenciais, que caracterizem trechos homogêneos em relação ao traço, caso não pesem, inicialmente, dúvidas sobre a validade material e documental das informações sobre o traço que teria sido elaborado para o concreto asfáltico executado.

Aplica-se a este ensaio a Norma ABNT NBR 15619/2016 – Misturas asfálticas – Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas ou a Norma ASTM D2041-03 – *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures*, com as adaptações necessárias ao caso concreto.

No caso de pesagem ao ar, a *DMM* é calculada em conformidade com a seguinte fórmula:

$$DMM = \frac{A}{A + B - C}$$

Onde:

A é a massa da amostra seca ao ar;

B é a massa da tampa ou vidro somada ao recipiente com água destilada a 25°C; e

C é a massa da tampa ou vidro somada ao recipiente com água destilada a 25°C e com a amostra.

No caso de pesagem submersa, a *DMM* é calculada em conformidade com a seguinte fórmula:

$$DMM = \frac{A}{A - (E - D)}$$

Onde:

A é a massa da amostra seca ao ar;

D é a massa do recipiente submerso em água a 25°C; e

E é a massa do recipiente com a amostra, submersos em água a 25°C.

A opção por um ou outro tipo de ensaio do RICE TEST dependerá dos equipamentos disponíveis.

Vale ressaltar que, após a realização do ensaio, a Equipe de Auditoria deve tomar o cuidado de passar a amostra com a água na peneira nº 200 de forma a não perder o material fino dos agregados, necessário para a realização dos procedimentos PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

3.3. ANÁLISE DOS DADOS

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados das densidades máximas obtidas, deverá reavaliar os trechos homogêneos em relação ao traço que teria sido executado. Para cada trecho, deverá ser obtida a **média** das densidades, denominada de Densidade Máxima Teórica Auditada em Campo (*DMT_C*) ou Densidade Máxima Medida Auditada em Campo (*DMM_C*).

A densidade máxima a ser adotada (*DMT_A* ou *DMM_A*) pela Equipe de Auditoria será, em regra, a obtida no traço que teria sido elaborado para o concreto asfáltico executado ou dos resultados obtidos dos ensaios de controle da mistura realizado pela equipe de fiscalização ou supervisão da obra, caso não pesem dúvidas sobre a sua validade material e documental, desde que esta medida não seja superior ou inferior a 0,5% das *DMT_C* ou *DMM_C*.

A tolerância de 0,5% pode ser majorada ou minorada a depender da quantidade e precisão dos dados obtidos pela Equipe de Auditoria no caso concreto.

A adoção pela Equipe de Auditoria da DMT_C ou da DMM_C indica que o traço informado não corresponde ao executado, já caracterizando a sua não confiabilidade, situação também tratada no procedimento PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

- a) Traço informado não corresponde ao concreto asfáltico executado, contrariando o artigo 66 da Lei n.º 8.666/1993.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações do Projeto de Pavimentação e traço informado;
- b) Fichas de aferição das densidades máximas.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- ABNT NBR 6296/2012 – Produtos betuminosos semissólidos – determinação da massa específica e densidade relativa;
- DNER-ME 81/98 – Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo;
- DNER-ME 84/95 – Agregado Miúdo – determinação da densidade real;
- DNER-ME 85/94 – Material Finamente Pulverizado – determinação da massa específica real;
- ABNT NBR 15619/2016 – Misturas asfálticas – Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas;
- ASTM D2041-03 – *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures*;
- PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;

- PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;

- PROC-IBR-ROD 111/2018 – Análise de Percentual de Vazios de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.