

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 104/2021
Análise da Estabilidade, Fluência e Resistência à
Tração de Camadas de Concretos Asfálticos para
Fins de Auditoria

Edição válida a partir de:

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto à avaliação da estabilidade, fluência e resistência à tração de camadas de concretos asfálticos.

A determinação desses parâmetros servirá de subsídio para a avaliação:

- a) da qualidade do concreto asfáltico executado (PROC-IBR-ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria); e
- b) da compatibilidade entre o concreto asfáltico efetivamente executado e o traço apresentado (PROC-IBR-ROD 107/2018 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria).

A importância dessa aferição está na possibilidade de ocorrência de sobrepreço ou superfaturamento por qualidade pela execução de camadas de concreto asfáltico de qualidade inferior àquela especificada em projeto, assim como na possibilidade de redução do desempenho e da vida útil da camada asfáltica, com conseqüente desperdício de dinheiro público e necessidade de intervenções precoces na via.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

- Prensa para os ensaios Marshall, preferencialmente digital microprocessada (automatizada);
- Medidores de deslocamento, com capacidade de registrar os deslocamentos do corpo de prova durante todo o carregamento com precisão de 0,05 mm, caso esta informação seja necessária para a avaliação dos ensaios;
- Moldes para compressão Marshall (placa de ruptura) e para tração indireta (pórtico de Lottman);
- Paquímetro ou régua milimetrada;
- Banho-maria para amostras Marshall;
- Estufa com controle de temperatura;
- Sistema de climatização que permita manter a temperatura ambiente em 25°C;
- Moldes de compactação, com base, corpo e colar, com encaixes perfeitos;
- Extrator de corpo de prova de aço em forma de disco;
- Base para compactação instalada em nível, estável, livre de vibração e trepidação;
- Soquete de compactação ou compactador, com peso e altura de queda padronizados;
- Balança com capacidade mínima de 5000 g, sensível a 0,1g, preferencialmente eletrônica.

3. PROCEDIMENTO

Este procedimento abordará a aferição dos parâmetros de estabilidade, fluência e resistência à tração de camadas de concreto asfáltico por meio das seguintes formas de amostragem: moldagem de corpos de prova utilizando insumos e/ou massa asfáltica coletados na obra; extração de amostras por extratora rotativa, conforme PROC-IBR-ROD 101/2020 - Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria; e moldagem de corpos de prova, conforme PROC-IBR-ROD 109/2018 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria.

Para a realização dos ensaios de auditoria da estabilidade e fluência, preferencialmente, moldam-se os corpos de prova a partir da mistura asfáltica obtida em campo ou a partir da reprodução em laboratório da mistura com os materiais obtidos na obra.

Já para a realização dos ensaios de resistência à tração, conforme a situação fática de auditoria, os corpos de prova podem ser moldados ou retirados da pista.

Se oportuno, os corpos de prova também poderão ser preparados a partir da moldagem de corpos de prova indicada no PROC-IBR-ROD 109/2018 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria.

No caso de amostras retiradas do pavimento com sondas rotativas, os resultados desses ensaios devem ser avaliados em conjunto com os ensaios de compactação Marshall.

Além disso, no caso da estabilidade e a fluência, os corpos de prova extraídos da pista que eventualmente tenham as faces a serem carregadas no ensaio visualmente rugosas e/ou com forma significativamente diferente da cilíndrica não devem ser considerados nessa análise.

Se possível, para realização dos ensaios, a Equipe de Auditoria deve utilizar Prensa Marshall digital microprocessada (automatizada), para permitir o controle automático da velocidade do ensaio, da carga de rompimento do corpo de prova e da deformação correspondente.

A Equipe de Auditoria, de posse das especificações do Projeto Básico e/ou Executivo de Pavimentação, deve, primeiramente, tomar nota dos valores de estabilidade, fluência e resistência à tração da camada de concreto asfáltico especificada.

Devem também ser observados os ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora. A análise da Equipe de Auditoria pode também levar em conta os demais dados disponíveis sobre a execução da obra.

Como os ensaios são destrutivos, a Equipe de Auditoria deve programar a quantidade de corpos de prova que serão utilizados para os ensaios de estabilidade e fluência e de resistência à tração, considerando que não é possível fazer os dois ensaios em um mesmo corpo de prova.

A espessura e o diâmetro a serem considerados para cada corpo de prova serão determinados pela média aritmética simples de quatro medidas equidistantes para a espessura e de quatro posições distintas para o diâmetro, por meio da utilização de paquímetro ou régua milimetrada, resultando nos seguintes valores médios: h , em milímetros para o ensaio de estabilidade e fluência; H e D , em centímetros para o ensaio de resistência à tração.

3.1. ESTABILIDADE E FLUÊNCIA

A Equipe de Auditoria deve determinar a estabilidade e fluência das camadas de concretos asfálticos conforme a Norma DNER – 043/95 – ME – Misturas Betuminosas à Quente – Ensaio Marshall ou outra norma pertinente ao caso concreto.

A carga, em N(kgf), necessária para produzir o rompimento do corpo de prova deve ser anotada como “estabilidade lida”. No caso de prensas cuja aplicação de carga é realizada por meio de anel dinamométrico, deve-se atentar para que essa medida seja multiplicada pela constante de aferição da prensa. Em seguida, o valor calculado deve ser corrigido de acordo com a espessura do corpo de prova ensaiado (h) a partir da sua multiplicação pelo fator correspondente (f), conforme fórmulas indicadas a seguir:

Espessura Média (h)	Fórmula do fator de correção (f)
$25,4 \text{ mm} \leq h \leq 34,9 \text{ mm}$	$f = 1010,6 \times h^{-1,61}$
$34,9 \text{ mm} < h \leq 44,4 \text{ mm}$	$f = 14904 \times h^{-2,361}$
$44,4 \text{ mm} < h \leq 54 \text{ mm}$	$f = 2597,7 \times h^{-1,903}$
$54 \text{ mm} < h \leq 63,5 \text{ mm}$	$f = 1094,6 \times h^{-1,686}$
$63,5 \text{ mm} < h \leq 76,2 \text{ mm}$	$f = 515,81 \times h^{-1,506}$

Caso haja corpos de prova extraídos na pista com espessura média (h) maior que 76,2 mm, é possível cortá-los, conforme as recomendações constantes do PROC-IBR-ROD 101/2020 - Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

3.1.1. Análise dos dados

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados da estabilidade e fluência dos corpos de prova, deverá reavaliar os trechos homogêneos considerados no plano de amostragem, e, se for o caso, dividir novamente a via em diferentes trechos. Para cada trecho homogêneo, a Equipe de Auditoria deverá calcular as médias da estabilidade e da fluência dos corpos de prova daquele trecho homogêneo, denominada Estabilidade e Fluência Médias Auditadas em Campo (e_C e f_C).

Os valores médios desses parâmetros poderão ser comparados diretamente com os informados no controle tecnológico, sem necessidade de levar em conta os ensaios de compactação Marshall, quando ambos foram oriundos de moldagem de corpos de prova. Nesse caso, comparam-se os valores de e_C e f_C com aqueles obtidos do controle tecnológico realizado pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra para se avaliar qual medida será adotada pela Equipe de Auditoria (e_A e f_A).

A estabilidade e a fluência adotadas (e_A e f_A) serão, em regra, as obtidas do controle tecnológico caso não pesem dúvidas sobre as suas validades material e documental, conforme o PROC-IBR-ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico para Fins de Auditoria, e desde que a variação entre as médias de campo e as médias do controle tecnológico não superem, respectivamente, $\pm 20\%$ da estabilidade e da fluência médias auditadas em campo (e_C e f_C). Esse percentual de tolerância pode ser minorado ou majorado, a depender do caso concreto.

Para fins de definição de e_A e f_A , a validação dos dados do controle tecnológico, levando em conta a amostra da auditoria, também pode ser feita por meio de outros testes estatísticos selecionados a critério da Equipe de Auditoria.

Nos casos em que a auditoria utilizou corpos de prova extraídos da pista, a comparação de médias entre as amostras de campo e as do controle tecnológico pode ser feita como indicado no caso anterior, mas levando em conta os dados dos ensaios de compactação Marshall. Isto porque é preciso observar uma eventual influência dos vazios nos corpos de prova de concreto asfáltico, uma vez que, por exemplo, é possível que amostras retiradas da pista submetidas ao tráfego apresentem valores de estabilidade superiores aos dos corpos de prova moldados em laboratório.

Para os valores de e_A e f_A deve ser efetuado o tratamento estatístico previsto no item 7.5 na Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço ou outro critério definido em norma pertinente ao caso concreto.

Se e_A e f_A forem decorrentes das medições em campo (e_C e f_C), esses valores podem, a depender do caso concreto, serem diretamente comparados com os valores especificados, sem tratamento estatístico, ou seja, considerar, de maneira conservadora, $ks = 0$, onde s é o desvio padrão da amostra e k , o coeficiente tabelado em função do número de determinações.

São considerados não-conformes os trechos que possuam valores de $e_A \pm ks$ e $f_A \pm ks$ fora das faixas estabelecidas em contrato e na norma pertinente ao caso concreto.

3.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

A Equipe de Auditoria deverá determinar a resistência à tração por compressão diametral das camadas de concretos asfálticos conforme previsto na Norma DNIT 136/2018 – Pavimentação asfáltica –

Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio ou outra norma pertinente ao caso concreto.

As espessuras do corpo de prova (H) devem estar entre 3,5 e 6,5 cm, o que, da mesma forma do mencionado para o ensaio de estabilidade e fluência, pode ser adequado a partir do corte das amostras para posterior ensaio, conforme as recomendações para o corte constantes do PROC-IBR-ROD 101/2020 – Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

De posse dos corpos de prova e anotadas suas respectivas espessuras (H) e diâmetros (D), a Equipe de Auditoria deverá processar o ensaio conforme a já mencionada Norma DNIT 136/2018, adotando-se a temperatura de ensaio de 25°C, de modo a possibilitar a comparação com os critérios da Norma DNIT 031/2006.

Para cada corpo de prova, deverá ser anotada a resistência à tração diametral correspondente (σ_R), em MPa, mediante a utilização da seguinte equação:

$$\sigma_R = \frac{2 (9,81 F)}{100 \pi D H}$$

Onde F é a carga de ruptura em Kgf, D é o diâmetro em centímetros e H é a espessura também em centímetros.

No caso de prensas cuja aplicação de carga é realizada por meio de anel dinamométrico, deve-se atentar para que a leitura da carga seja multiplicada pela constante de aferição da prensa.

3.2.1. Análise dos dados

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados de resistência à tração dos corpos de prova, deverá reavaliar os trechos homogêneos considerados no plano de amostragem, e, se for o caso, dividir novamente a via em diferentes trechos homogêneos. Para cada trecho homogêneo, a Equipe de Auditoria deverá calcular a média da resistência à tração dos corpos de prova daquele trecho homogêneo, denominada de Resistência à Tração Média Auditada em Campo (R_C).

Os valores médios de resistência à tração poderão ser comparados diretamente com os informados no controle tecnológico, sem necessidade de levar em conta os ensaios de compactação Marshall, quando ambos foram oriundos de moldagem de corpos de prova. Nesse caso, comparam-se os valores de R_C com aqueles obtidos do controle tecnológico realizado pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra para se avaliar qual medida será adotada pela Equipe de Auditoria (R_A).

A resistência à tração (R_A) será, em regra, a obtida do controle tecnológico caso não pesem dúvidas sobre as suas validades material e documental, conforme o PROC-IBR-ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico para Fins de Auditoria, e desde que a variação entre a média de campo e a média do controle tecnológico não supere $\pm 20\%$ da Resistência à Tração Média Auditada em Campo (R_C). Esse percentual de tolerância pode ser minorado ou majorado, a depender do caso concreto.

Para fins de definição de R_A , a validação dos dados do controle tecnológico, levando em conta a amostra da auditoria, também pode ser feita por meio de outros testes estatísticos selecionados a critério da Equipe de Auditoria.

Nos casos em que a auditoria utilizou corpos de prova extraídos da pista, a comparação de médias entre as amostras de campo e as do controle tecnológico pode ser feita como indicado no caso anterior, mas levando em conta os dados dos ensaios de compactação Marshall. Isto porque é preciso observar

uma eventual influência dos vazios nos corpos de prova de concreto asfáltico, uma vez que, por exemplo, é possível que amostras retiradas da pista submetidas ao tráfego apresentem valores de resistência à tração superiores aos dos corpos de prova moldados em laboratório.

Para os valores de R_A deve ser efetuado o tratamento estatístico previsto no item 7.5 na Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço ou outro critério definido em norma pertinente ao caso concreto.

Se R_A for decorrente das medições em campo (R_C), esse valor pode, a depender do caso concreto, ser diretamente comparado com o valor especificado, sem tratamento estatístico, ou seja, considerar, de maneira conservadora, $ks = 0$, onde s é o desvio padrão da amostra e k , o coeficiente tabelado em função do número de determinações.

São considerados não-conformes os trechos que possuam valores de $R_A \pm ks$ fora das faixas estabelecidas em contrato e na norma pertinente ao caso concreto.

A constatação de resultados dos ensaios no que tange aos elementos tratados neste procedimento discrepantes em relação aos parâmetros informados no traço apresentado pode impactar a conclusão acerca da confiabilidade do traço, o que merece avaliação no âmbito do procedimento PROC-IBR-ROD 107/2018 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A não-conformidade também pode impactar a qualidade do pavimento, o que merece avaliação no âmbito do procedimento PROC-IBR-ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de 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) Camada de concreto asfáltico com estabilidade, fluência e/ou resistência à tração não-conforme em relação ao contrato e/ou às normas técnicas, em afronta ao disposto nos artigos 66 e 76 da Lei nº 8.666/93.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações do Projeto de Pavimentação e traço apresentado;
- b) Fichas de aferição dos ensaios de estabilidade, fluência e resistência à tração;
- c) Controle tecnológico contendo os ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora.

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:

- Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- Norma DNER – 043/95 – ME – Misturas Betuminosas à Quente – Ensaio Marshall;

- Norma DNIT 136/2018 – Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio;
- PROC-IBR-ROD 101/2020 – Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 107/2018 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 109/2018 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria;
- PROC-PROC-IBR-ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.