



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA-GERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS EM
TRANSPORTES
Setor de Autarquias Norte
Quadra 03 Lota A
Ed. Núcleo dos Transportes
Brasília - DF - CEP 70040-902
Tel./fax: (61) 3315-4831

FEVEREIRO 2024

NORMA DNIT 447/2024 – ME

Misturas asfálticas – Ensaio de estabilidade e fluência Marshall – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas em Transportes - IPR

Processo: 50600.039960/2023-73

Origem: Revisão da Norma DNER-ME 043/95

Aprovada pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 06/02/2024.

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:

Misturas asfálticas, Marshall, Estabilidade, Fluência

Nº total de páginas

9

Resumo

Este documento estabelece a metodologia de ensaio para a determinação da estabilidade e da fluência de misturas asfálticas, para uso em pavimentação, com agregado de tamanho máximo de 25,4 mm (1”), por meio da aparelhagem Marshall. Apresenta definições e os procedimentos para a obtenção dos resultados.

Abstract

This document establishes the test methodology for determination of the stability and flow of asphalt mixture for paving, with maximum size aggregate up to 25,4 mm (1”), using Marshall apparatus. It prescribes definitions and procedures to obtaining results.

Sumário

Prefácio.....	1
1 Objetivo	1
2 Referências normativas.....	1
3 Termos e definições.....	2
4 Aparelhagem	2
5 Preparação dos corpos de prova	3
6 Procedimento	3
7 Resultados.....	4
Anexo A (Normativo) – Fator de correção da estabilidade	

Marshall.....	5
Anexo B (Normativo) – Determinação da fluência.....	6
Anexo C (Informativo) – Aparelhagem.....	7
Anexo D (Informativo) – Bibliografia	8
Índice geral.....	9

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR conforme a Instrução Normativa nº 20/DNIT SEDE, de 1º de novembro de 2022 e a norma DNIT 001/2023 – PRO.

Esta publicação cancela e substitui a norma DNER – ME 043/95, a qual foi tecnicamente revisada.

1 Objetivo

Esta Norma estabelece a metodologia de ensaio para a determinação da estabilidade e fluência Marshall de misturas asfálticas.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta Norma. 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 178 – PRO: Pavimentação asfáltica – Preparação de corpos de prova para ensaios mecânicos usando compactador giratório Superpave ou o Marshall – Procedimento.
- b) _____. DNIT 428 – ME: Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados – Método de ensaio.

3 Termos e definições

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

3.1 Estabilidade Marshall

Resistência à compressão radial máxima apresentada pelo corpo de prova ensaiado de acordo com o processo estabelecido neste documento, expressa em kgf (N).

3.2 Fluência Marshall

Deformação total apresentada pelo corpo de prova, desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetro ou centésimos de polegada.

4 Aparelhagem

- a) Molde de compressão composto de dois anéis, inferior e superior, cilíndricos construídos em ferro fundido ou aço, e uma placa base com barras guia laterais.
- b) Prensa eletromecânica, hidráulica ou manual, capaz de aplicar cargas de até 4 tf (39,2 kN), com erro inferior a 2,5 kgf (24,5 N), com prato acoplado a um sistema de elevação, deslocando-se verticalmente com velocidade uniforme de (50 ± 5) mm/min. O sistema de aplicação de carga deve ser associado a um pórtico de reação.
- c) O conjunto de instrumentos utilizados podem ser os seguintes:
- Método A: Anel dinamométrico calibrado para aferição de carregamento e obtenção da

estabilidade, com capacidade mínima de 2 tf (20 kN) e sensibilidade mínima de 5 kgf (50 N), associado a um relógio comparador para aferição da deflexão do anel, com sensibilidade de 0,0025 mm; e relógio comparador ou medidor de fluência, ambos com sensibilidade de 0,25 mm ou inferior, cuja ponteira deve ser posicionada de forma a medir as deformações no corpo de prova e permitir a obtenção do valor de fluência.

- Método B: Célula de carga conectada a um aquisitor ou leitor de dados, com capacidade mínima de 2 tf (20 kN) e sensibilidade mínima de 5 kgf (50 N), para aferição do carregamento e da estabilidade; e um transdutor de deslocamento variável linear (LVDT), conectado a um aquisitor ou leitor de dados, posicionado adequadamente para aferição das deformações diametrais desenvolvidas ao longo do ensaio, necessárias para a posterior obtenção da fluência. O sistema deve ser capaz de registrar ou disponibilizar em tempo real as medidas de fluência (deformação) do corpo de prova.

Em ambos os métodos, os dispositivos de aferição utilizados devem permitir a obtenção da deformação do corpo de prova colocado no molde de compressão utilizado no ensaio.

NOTA 1: A diferença entre os dois métodos refere-se apenas à forma de obtenção dos valores de estabilidade e deformações. Enquanto o Método A emprega a metodologia tradicional, com o uso de anel dinamométrico e relógio comparador, o Método B utiliza um sistema automatizado, com célula de carga, LVDT e aquisitor de dados.

- d) Banho d'água, com capacidade para 15 corpos de prova, provido de uma prateleira plana e perfurada, 50 mm acima do fundo, para permitir a circulação de água por baixo dos corpos de prova (CPs). O nível d'água deve ficar, no mínimo, 3 cm acima dos corpos de prova. O aquecimento deve ser, preferencialmente, elétrico, com controle automático da temperatura especificada para o banho.

- e) Estufa capaz de manter a temperatura indicada no ensaio ± 1 °C.
- f) Paquímetro para a aferição do diâmetro dos CPs, com resolução de 0,1 mm.
- g) Pinça de aço inoxidável ou de alumínio para colocar e retirar os CPs do banho d'água ou da estufa.
- h) Termômetro graduado em 0,1 °C ou 0,2 °C e com amplitude adequada para a medição da temperatura em banho d'água ou ao ar. Também podem ser utilizados termômetros eletrônicos, desde que atendam as especificações descritas nesta alínea.

5 Preparação dos corpos de prova

- a) Os corpos de prova (CPs) devem ser preparados segundo os procedimentos descritos na norma DNIT 178 – PRO com agregados de tamanho máximo igual a 25,4 mm.
- b) Os teores de ligante utilizados devem ser adotados a partir de um teor inicial estimado de projeto com acréscimo de 0,5 % e 1,0 % do valor inicial e decréscimo de 0,5 % e 1,0 % do valor inicial, totalizando, respectivamente, 5 teores a serem avaliados.
- c) Para cada teor, devem ser preparados ao , 3 corpos de prova.
- d) Após a compactação, os CPs devem ser resfriados à temperatura ambiente, sobre uma superfície lisa e plana, por no mínimo, 12 h.
- e) A espessura de cada CP deve ser verificada, através de quatro medições, em posições diametralmente opostas, com uso de paquímetro, devendo estar no intervalo de $(63,5 \pm 2,5)$ mm. Adota-se como espessura o valor da média aritmética das quatro leituras.
- f) A densidade específica aparente (G_{mb}) dos corpos de prova deve ser determinada segundo a norma DNIT 428 – ME. Para cada um dos cinco teores de ligante, os valores individuais de densidade devem apresentar variação inferior a $\pm 0,020$ da média dos três CPs dentro de cada grupo.

6 Procedimento

- a) Os CPs devem ser preparados para o ensaio assim que atingirem a temperatura ambiente.
- b) O ensaio deve ser finalizado em até 24 h após a compactação dos CPs.
- c) Os CPs devem ser imersos em banho-maria, por um período de 30 min a 40 min, ou colocados em estufa, por um período de 120 min a 130 min, ambos mantidos a temperatura de (60 ± 1) °C.
- d) As barras-guia do molde de compressão devem ser devidamente limpas e lubrificadas, permitindo o livre deslocamento do anel superior.
- e) Os anéis do molde de compressão devem estar a temperatura de 20 °C a 40 °C. Caso seja utilizado banho-maria para realizar o aquecimento, deve-se retirar o excesso de água dos dois anéis.
- f) O corpo de prova deve ser retirado da estufa ou banho-maria (neste caso, o excesso de água do corpo de prova deve ser removido com uma toalha) e colocado no molde de compressão.
- g) O molde de compressão contendo o CP é então posicionado sobre o prato na prensa segundo a geratriz.
- h) A ponteira do dispositivo utilizado para medir a fluência deve ser posicionada sobre o anel superior do molde de compressão, de forma a obter a deformação do corpo de prova. Se utilizado um medidor de fluência, sua luva-guia deve ser firmada com a mão, sobre o anel superior do molde de compressão, diretamente sobre um dos pinos-guia. No momento do rompimento do corpo de prova, a mão deve ser relaxada e deve-se realizar a leitura do valor de fluência.
- i) A prensa deve então ser operada elevando o prato acoplado a uma taxa de deslocamento constante de (50 ± 5) mm/min até que se interrompa o deslocamento do ponteiro do relógio comparador do anel dinamométrico (Método A) ou ao se verificar o decréscimo nos valores registrados na célula de carga (Método B).

- j) O valor máximo de carga lido, em kgf (N), indicando o rompimento do corpo de prova, corresponde à estabilidade Marshall lida (E), que deve ser posteriormente corrigida segundo a espessura do corpo de prova (E'), como descrito na seção 7.
- k) Para ambos os métodos, a fluência é relativa à leitura na qual se verifica o início do decréscimo dos valores de carga (pico de estabilidade).
- l) A fluência Marshall corresponde à projeção horizontal da reta tangente à porção retilínea da curva obtida no ensaio, entre o ponto de intersecção da reta com o eixo das abcissas e o ponto relativo ao pico (estabilidade).
- m) Em alguns casos, a região de pico da curva não fica bem definida, logo, é necessário transladar lateralmente a reta tangente o equivalente a 1,5 mm, como visto na Figura B1 do Anexo B. Nesse caso, ao se optar pelo Método A, são necessários pelo menos dois operadores para o ensaio, de forma a permitir o registro de um conjunto de pontos que viabilizem a plotagem da curva completa.
- n) O tempo entre a retirada do corpo de prova do banho-maria e o fim do ensaio, após a determinação do pico de estabilidade não deve exceder 30 s.

7 Resultados

As espessuras dos corpos de prova moldados em laboratório devem se manter dentro da tolerância especificada ($63,5 \pm 2,5$) mm. Os elementos moldados em laboratório que estiverem dentro dos limites devem ter seus valores de estabilidade corrigidos, multiplicando-os por um fator de correção em função de sua espessura final. Caso os corpos de prova moldados em laboratório apresentem espessuras fora do intervalo de tolerância estabelecido, estes devem ser descartados. Os corpos de prova extraídos *in situ*, que, usualmente, apresentam maior variação em seus valores de espessura, também devem ter seus valores de estabilidade corrigidos. Entretanto, nesse último caso, os valores sujeitos a grandes correções devem ser utilizados com cautela. A

correção é feita segundo a Equação 1:

$$E' = f \times E \quad (1)$$

Onde:

E' é a estabilidade corrigida, expressa em quilograma-força (kgf);

f é o fator de correção, obtido na Tabela A1 ou Figura A1 do Anexo A;

E é a estabilidade obtida no ensaio, expressa em quilograma-força (kgf).

As seguintes informações devem ser apresentadas nos resultados:

- O tipo de amostra deve ser reportado (corpo de prova moldado com mistura asfáltica preparada em laboratório, corpo de prova moldado com mistura asfáltica preparada na usina ou corpo de prova extraído na pista).
- Deve-se registrar também o tipo de mistura asfáltica, faixa granulométrica, tipo de ligante e teor de ligante.
- Valores de espessuras, diâmetros e volumes de todos os corpos de prova.
- Valores individuais e a média dos valores de densidade aparente (G_{mb}) para cada grupo de três corpos de prova.
- Valores individuais e a média dos valores de estabilidade Marshall em kgf, corrigidos e não corrigidos, para cada grupo de três corpos de prova, aproximados para o inteiro mais próximo, assim como o método utilizado para sua determinação (em relação à estabilidade de pico ou translado da curva tangente).
- Valores individuais e a média dos valores de fluência Marshall em mm, para cada grupo de três corpos de prova.
- Temperatura do ensaio, com precisão de 0,2 °C.

Anexo A (Normativo) – Fator de correção da estabilidade Marshall

Tabela A1 – Correção da estabilidade em função da espessura do corpo de prova

Espessura do corpo de prova (mm)	Fator de correção (f)	Espessura do corpo de prova (mm)	Fator de correção (f)	Espessura do corpo de prova (mm)	Fator de correção (f)
50,8	1,47	56,3	1,22	64,3	0,98
51,0	1,45	56,6	1,21	64,7	0,97
51,2	1,44	56,8	1,20	65,1	0,96
51,6	1,43	57,2	1,19	65,6	0,95
51,8	1,42	57,4	1,18	66,1	0,94
52,0	1,41	57,7	1,18	66,7	0,93
52,2	1,40	58,1	1,16	67,1	0,92
52,4	1,39	58,4	1,15	67,5	0,91
52,6	1,38	58,7	1,14	67,9	0,90
52,9	1,37	59,0	1,13	68,3	0,89
53,1	1,36	59,3	1,12	68,8	0,88
53,3	1,35	59,7	1,11	69,3	0,87
53,5	1,34	60,0	1,10	69,9	0,86
53,8	1,33	60,3	1,09	70,3	0,85
54,0	1,32	60,6	1,08	70,8	0,84
54,2	1,31	60,9	1,07	71,4	0,83
54,5	1,30	61,1	1,06	72,2	0,82
54,7	1,29	61,4	1,05	73,0	0,81
54,9	1,28	61,9	1,04	73,5	0,80
55,1	1,27	62,3	1,03	74,0	0,79
55,4	1,26	62,7	1,02	74,6	0,78
55,6	1,25	63,1	1,01	75,4	0,77
55,8	1,24	63,5	1,00	76,2	0,76
56,1	1,23	63,9	0,99		

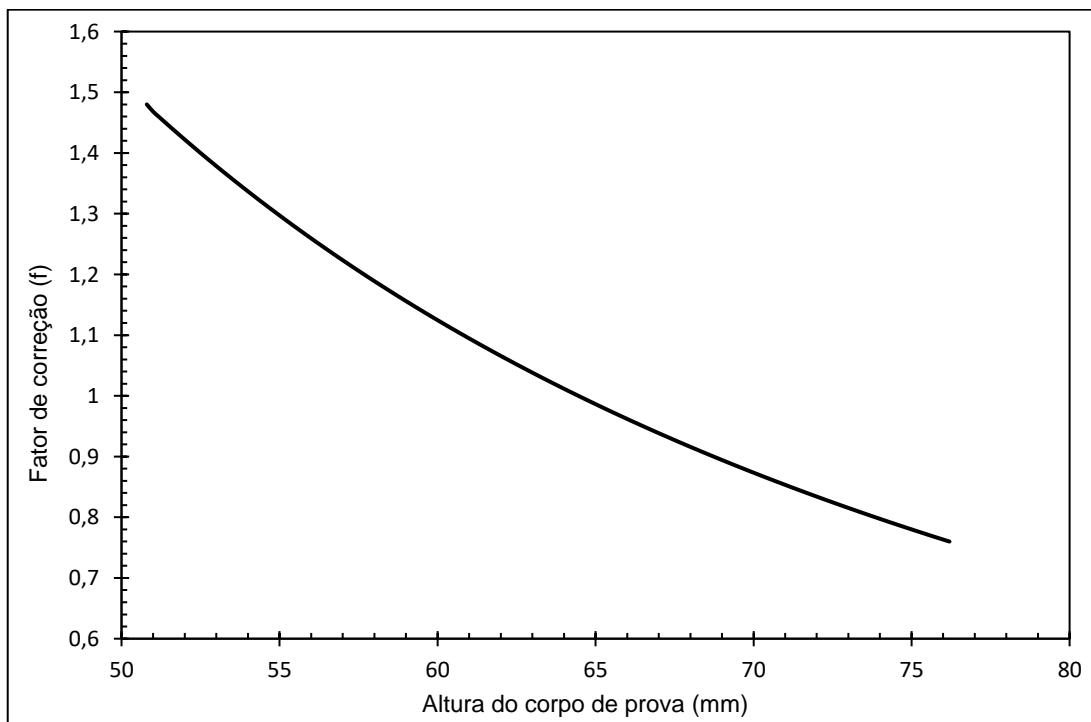


Figura A1 – Correção da estabilidade em função da espessura do corpo de prova (Gráfico)

Anexo B (Normativo) – Determinação da estabilidade e fluência

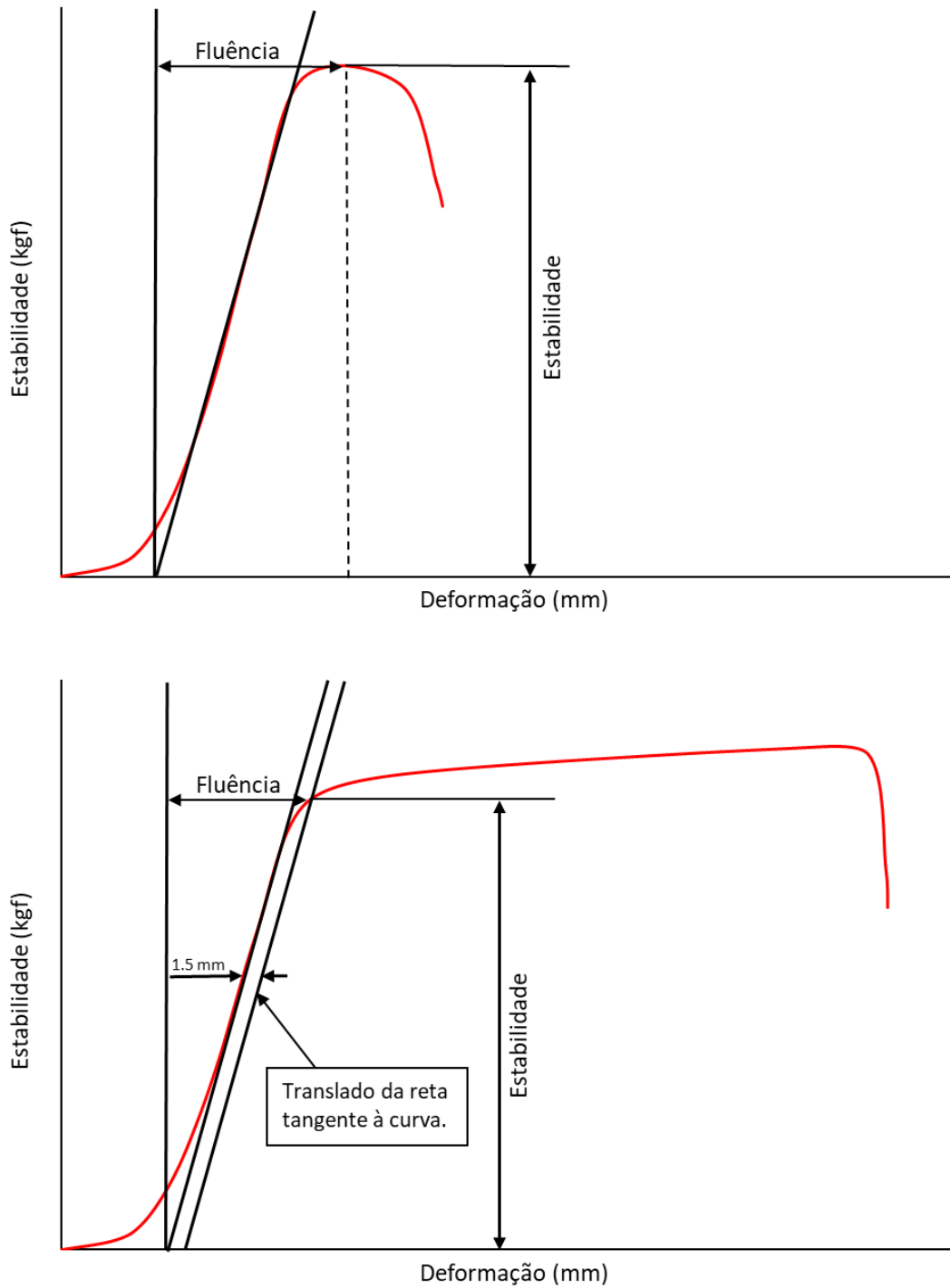


Figura B1 – Metodologia para a determinação da estabilidade e fluência em dois tipos de curvas

Anexo C (Informativo) – Aparelhagem



(a)



(b)

Figura C1 – Prensa para o Ensaio de Estabilidade Marshall: (a) Método A e (b) Método B

Fonte: Garcia, 2014.



(a)



(b)

Figura C2 – Detalhe da aparelhagem utilizada: (a) Corpos de prova no banho-maria e (b) Molde de compressão

Fonte: Garcia, 2014.

Anexo D (Informativo) – Bibliografia

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T 245 – 97; Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus, 2008.
- b) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D6927 – 22, Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures, 2022.
- c) ASPHALT INSTITUTE. MS-2; Asphalt Mix Design Methods – 7th edition, 2014.
- d) BORGES, P.R. Estudo do comportamento mecânico de misturas asfálticas a quente analisadas pelos métodos de dosagem marshall e superpave. Tese de Doutorado, UFV, 2019.
- e) CHO, B.H.; AN, J.; YOUN, H.; NAM, B.H. An Optimized Data Interpretation for Marshall Flow and Stability Test. Solving Pavement and Construction Materials Problems with Innovative and Cutting-edge Technologies – 5th GeoChina International Conference, Elsevier, 2018.
- f) DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. DAER/RS – EL 217/01. Ensaio Marshall para misturas betuminosas, 2001.
- g) FADHIL, T.H.; IBRAHIM, R.K.; FATHULLAH, H.S. The Influence of Curing Methods on Marshall Stability and Flow. 3rd International Conference on Engineering Sciences, 2020.
- h) GARCIA, E.S.H. Avaliação laboratorial da utilização do resíduo (areias) de fundição no concreto asfáltico convencional. Trabalho de Conclusão de Curso. Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2014.
- i) JASNI, N.E.; MASRI, K.A.; JAYA, R.P.; ABDULLAH, M.M.A.; RAZAK, R.A.; NABIALEK, M. BLOCH, K.; SLIWA, A. Marshall stability of porous asphalt mixture incorporating kenaf fiber. Polish Academy of Sciences, 2022.
- j) LOUISIANA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT. DOTD TR 305M/305-03, the stability and flow of asphaltic concrete mixtures – marshall method.
- k) ROCHA, B.O.; PACHECO, R.F.R. Estudo do comportamento de misturas asfálticas modificadas com adição de borracha moída de pneus. Revista Ifes Ciência, v.7, n.1:1-17, 2021.
- l) WEBB, R.F.; BURATI JR, J.L; HILL JR, H.S. Effect of Specimen Thickness on Marshall Test Results. Transportation Research Record, 1985.

Índice geral

Abstract.....	1	Fluência Marshall.....	3.2.....	2
Anexo A (Normativo) – Fator de correção da estabilidade Marshall	5	Índice geral.....	9	
Anexo B (Normativo) – Determinação da fluência.....	6	Objetivo	1.....	1
Anexo C (Informativo) – Aparelhagem	7	Prefácio.....	1	
Anexo D (informativo) – Bibliografia	8	Preparação dos corpos de prova	5.....	3
Aparelhagem.....	4.....	Procedimento	6.....	3
Termos e definições	3.....	Referências normativas	2.....	1
Estabilidade Marshall.....	3.1.....	Resultados	7.....	4
Sumário.....	1	Resumo.....	1	
