

FIBRA DE CELULOSE NO REVESTIMENTO ASFÁLTICO: SMA - TENTATIVA COM BASE NA ESTABILIDADE/FLUÊNCIA

Gabriela Fanck dos Santos

Acadêmica do curso de Engenharia Civil na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, bolsista PET.
gabbi1112@hotmail.com

Diego Menegusso Pires

Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, bolsista CAPES.
diego.msso@gmail.com

Bianca Milena Girardi

Acadêmica do curso de Engenharia Civil na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, bolsista PET.
bianca-girardi@hotmail.com

Alifer Andrei Veber Beier

Acadêmico do curso de Engenharia Civil na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, bolsista PET.
aliferbeier@hotmail.com

José Antônio Santana Echeverria

Engenheiro Civil, professor Mestre do curso de Engenharia Civil na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ.
jose.echeverria@unijui.edu.br

Resumo. *Este artigo baseia-se em projeto de mistura SMA – Stone Matrix Asphalt, enquadrado na faixa I da especificação ET-DE-P00/031 do DER/SP, utilizando ligante modificado por polímero, ordem 60/85. A pesquisa teve por base análise laboratorial das propriedades das misturas asfálticas tipo SMA, enfatizando o ensaio e análise de estabilidade e fluência com teores determinados de fibra de celulose provenientes de madeira, em adequação a uma fração do agregado miúdo. Foram desenvolvidas três diferentes misturas asfálticas designadas como mistura referência, mistura com 0,3% e 1,5% de fibra de celulose, sendo a mistura constituída também de agregados graúdos, agregados miúdos, cal dolomítica e ligante asfáltico pela dosagem Marshall. Por conseguinte, os ensaios de estabilidade apresentaram resultados superiores ao mínimo estipulado pela literatura, além de haver um aumento*

com adição da fibra, entretanto, a fluência se encontrou acima da faixa descrita pela norma DAER/RS-EL 217/01 (DAER, 2001c).

Palavras-chave: SMA. Fibra de celulose. Estabilidade e Fluência.

1. INTRODUÇÃO

Ao final da década dos anos 60, desenvolveu-se a mistura do tipo SMA, a partir do Ministério de Transportes da Alemanha. O objetivo de seu desenvolvimento era reduzir as deformações plásticas e os desgastes superficiais desencadeados por artefatos metálicos acoplados aos pneus no inverno. Por ser constituída com uma granulometria de agregados graúdos elevados, e a uso de ligante modificado por polímero, sua vida útil torna-se mais eficaz. O primeiro revestimento de SMA foi estruturado em

Wilhelmshaven, Alemanha (LANCHAS, 1999).

De acordo com Beligni et al. (2000), a primeira aplicação da mistura SMA no Brasil foi no ano de 2000, no autódromo de Interlagos, São Paulo. Segundo Reis (2002), em vias de tráfego pesado, a via Anchieta teve aplicação desta mistura como um teste. Além disso, em vários outros trechos de rodovias brasileiras existe a aplicação do SMA, sendo acentuada na região sudeste, como, por exemplo, o Corredor tecnológico de Barueri (SP), em 2002, designado a um rigoroso tráfego de caminhões. Os trechos mais recentes, pavimentados com esse tipo de mistura, localizam-se em rodovias dos estados de Minas Gerais e São Paulo, além de ser utilizado em vias urbanas no Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo (BERNUCCI et. al., 2010).

Dentre as várias alternativas utilizadas em misturas asfálticas, a do tipo SMA surge como alternativa no âmbito de melhorar a resistência ao cisalhamento de misturas asfálticas para o revestimento (durabilidade), segundo pesquisas realizadas no exterior e no Brasil (MOURÃO, 2003).

Após todo o exposto, esta pesquisa propõe-se, então, inicialmente a dosar a mistura no laboratório e a investigar o comportamento de misturas SMA com utilização de fibra de celulose, consistindo em avaliação da relação da estabilidade/fluência das misturas de concreto asfáltico tipo SMA, por meio da análise laboratorial de suas propriedades mecânicas e volumétricas para fins de utilizá-la em campo.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, realizou-se um estudo de bibliografias relevantes para o tema, com a finalidade de desenvolver a pesquisa. Posteriormente, apresenta-se as propriedades dos materiais que serão necessários para o

estudo seguido da composição da mistura e, por fim, análises dos ensaios laboratoriais, visando proporcionar o desenvolvimento de revestimento em concreto asfáltico com incorporação de fibra de celulose.

Para isso, o estudo evidenciará a incorporação de teores de 0,3% e 1,5% de fibra de celulose, valores mínimo e máximo a serem incorporados na mistura de acordo com a norma ET-DE-P00/031 do DER/SP, 2007, buscando avaliar as propriedades do revestimento quanto à estabilidade e fluência,

2.1 Materiais utilizados

2.1.1 Agregados minerais

Em misturas asfálticas, os agregados são os materiais de maior quantidade a serem utilizados. Os agregados utilizados nesta pesquisa foram os britados, em formatos e tamanhos variáveis.

Para a composição da mistura, os agregados britados analisados são das seguintes granulometrias:

- Brita $\frac{3}{4}$ ", material retido na $\frac{1}{2}$ " e $\frac{5}{16}$ ";
- Brita $\frac{3}{8}$ ", material retido na $\frac{5}{16}$ " e $n^{\circ}4$;
- Pó de pedra, material retido da $n^{\circ}4$, $n^{\circ}10$, $n^{\circ}200$ e fundo.

Os agregados são originados de rocha basáltica, conforme demonstram as Fig. 1, 2, 3 e 4.



Figura 1.(p. $\frac{3}{4}$ " e r. $\frac{1}{2}$ " e (p. $\frac{1}{2}$ " e r. $\frac{5}{16}$ ").



Figura 2. (p. #3/8" e r. #5/16") e (p. #5/16" e r. #n°4).



Figura 3. Pó de pedra, (r. #n°4 e r. #n°10).



Figura 4. Pó de pedra, r. #n°200 e p. #n°200 (fundo).

A coleta desse material, foi realizada na unidade de produção da empresa Carpenedo & Cia LTDA na cidade de Santa Rosa – RS.

2.1.2 Ligante asfáltico

Para a pesquisa, optou-se por fazer uso de um ligante do tipo não convencional, sendo prescrito pela especificação ET-DE-P00/031 do DER/SP, de fevereiro de 2007, classificando-se conforme as propriedades do ligante modificado por polímero, tipo 60/85. O teor utilizado foi de 6,01%, resultado de

dosagem sem fibra para um volume de vazios igual a 4%.

2.1.3 Fibra de celulose

Para inibição do escorrimento da mistura asfáltica, o aditivo empregado foi a fibra de celulose, oriunda de madeira araucária (*araucaria angustifolia*) e eucalipto (*eucalyptus*). A fibra foi produzida pela Madeireira Zambrasul, no município de Ijuí – RS. Em virtude de sua disponibilidade no mercado optou-se pela utilização deste material, o mesmo demonstrado na Figura 5.



Figura 5. Fibra de celulose.

2.1.4 Cal hidratada

Nesta pesquisa, a cal utilizada foi a do tipo dolomítica, incorporando-se 2% à mistura, proveniente da empresa FIDA de Caçapava do Sul – RS. A Fig. 6 ilustra seu aspecto.



Figura 6. Cal dolomítica.

2.2 Metodologia de ensaio

A partir disso, foram aplicados ensaios da metodologia Marshall para se conhecer a estabilidade e fluência das misturas asfálticas nas diferentes composições das misturas, sendo a norma DNER-ME 043/1995 (DNIT, 1995a) utilizada para o ensaio da determinação da estabilidade e fluência através da metodologia Marshall. O equipamento utilizado para realização deste ensaio é ilustrado na Fig. 7.



Figura 7. Equipamento para o ensaio, método Marshall.

Para fins conclusivos, analisou-se os resultados da estabilidade e fluência dos corpos de prova, perfazendo a relação entre eles.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Specht (2004), "o valor de estabilidade mede de maneira indireta a resistência ao cisalhamento, o intertravamento, atrito e coesão entre as partículas. Já a fluência mede, indiretamente, a elasticidade da mistura".

Em camadas de rolamento, segundo a norma DNIT-ES 031/2006 (DNIT, 2006b), os valores de estabilidade devem ter origem de 500kgf e, segundo a norma DAER/RS-EL 217/01 (DAER, 2001c), os valores de fluência devem estar entre 8 à 16/0,01 in. Parâmetros estes, que somente podem ser empregados para os seguintes tipos de cimento asfáltico de petróleo: CAP-30/45, CAP-50/70 e CAP-85/100, não se aplicando ao CAP modificado por polímero.

Para a realização do ensaio foram moldados três corpos de prova por mistura, identificadas como: referência, 0,3% e 1,5% de fibra de celulose, atendendo a quantidade mínima de corpos de prova que a norma exige para a execução do ensaio.

Bernucci et. al. (2008) enfatiza que em relação a temperatura de compactação do ligante não pode estar menor que 107°C nem acima de 177°C. Já a temperatura dos agregados deve estar em torno de 10 a 15°C acima da temperatura do ligante, porém, sem ultrapassar 177°C. Já, segundo a certificação da empresa Stratura Asfaltos (2018), a temperatura de compactação deve estar entre 153,4°C e 164,6°C. As amostras são misturadas com o ligante asfáltico após as temperaturas serem atingidas.

A compactação foi realizada com 50 golpes por face de CP, de acordo com a norma ET-DE-P00/031. A adição da fibra de celulose nas misturas foi feita por meio do processo seco, logo, colocada em conjunto dos agregados para homogeneização com o ligante asfáltico.

A fibra de celulose foi peneirada nas peneiras de abertura 2 e 0,08mm para ser utilizada. Logo, o que foi passante na peneira de 2 mm e retido na de 0,08mm permitiu se ter uma uniformidade do material.

Depois de serem moldados, os corpos de prova perduraram o tempo de, aproximadamente, 24 horas em temperatura ambiente antes de serem desmoldados.

Segue abaixo, na Tabela 1, os resultados encontrados referentes a Estabilidade e Fluência.

Tabela 1. Estabilidade, Fluência, Relação Estabilidade/Fluência.

Mistura	Estabilidade (kgf)	Fluência (0.01 in)	Est/Flu (kg/0,01 in)
Referência	3220	19,4	165,98
	3235	15,7	206,05
	3230	16,3	198,16
0,3% fibra	3520	17,6	200
	3270	17,4	187,93
	3450	18,0	191,66
1,5% fibra	3575	16,4	218
	3450	20,9	165,07
	3430	15,6	219,9

Na Figura 8, referente à estabilidade média, todas as misturas apresentaram valores acima do especificado pela norma, ou seja, 500 kgf, bem como os resultados de Räder (2018) e Silva (2017).

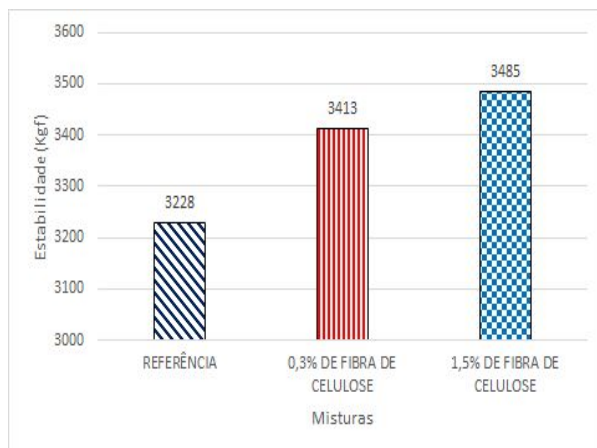


Figura 8. Demonstrativo de Estabilidade média.

Para as misturas SMA com fibra, ambas ficaram acima da mistura referência e com valores aproximados, diferentemente de Räder (2018), onde a mistura referência ficou acima das demais misturas.

Com isso, pode-se concluir que a rigidez das misturas modificadas aumentou, se comparadas ao valor da mistura referência.

Os valores da fluência são demonstrados na Fig. 9.

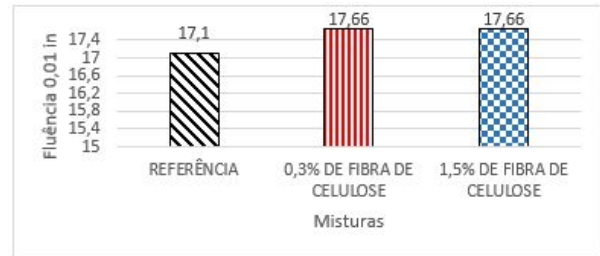


Figura 9. Demonstrativo da Fluência média.

Em conformidade com os valores encontrados para fluência média, todas as misturas apresentaram valores ligeiramente superiores ao aconselhado, entre 8 e 16/0.01 in. Já em Räder (2018) e Silva (2017), a grande maioria dos resultados se apresentou dentro do limite indicado pela norma.

Ressalta-se que, apesar dos valores apresentarem-se superiores ao estabelecido pela norma, as misturas com fibra apresentaram possíveis melhorias em sua capacidade elástica.

Por fim, relacionando a estabilidade média e fluência média das misturas, a Dirección Nacional de Vialidad (1998) estabelece valores parametrizados entre 53,37 a 101,6 kg/0,01 in. Observa-se na Figura 10 que todas as misturas asfálticas ficaram fora do intervalo pré-estabelecido. Assim como em Räder (2018), onde apenas uma mistura se manteve dentro do intervalo.

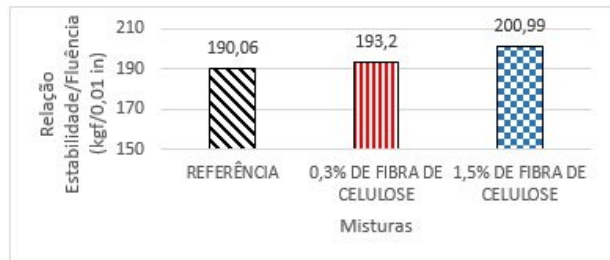


Figura 10. Demonstrativo da relação estabilidade/fluência.

4. CONCLUSÃO

Como forma de concluir as análises referentes aos parâmetros de estabilidade e fluência Marshall, pode ser observado que ambas as misturas com adição de fibra apresentaram valores elevados perante a referência. Porém, percebe-se que todas as misturas apresentam valores de estabilidade superiores ao especificado de 500 kgf, bem como os resultados de Räder (2018) e Silva (2017).

Contudo, pode-se notar que para a fluência, as misturas tiveram maior desenvoltura em relação a referência, apesar de todas resultarem em valores maiores que o limite máximo do intervalo especificado (entre 8 a 16/0,01 in). Destacando-se que Räder (2108) e Silva (2017) obtiveram valores dentro do aconselhado. Além disso, a quantidade de fibra de celulose adicionada entre as duas misturas, não interferiu nos valores dentre as mesmas.

Perante a especificação da Dirección Nacional de Vialidad (1998), todas as misturas ficaram com os valores fora do intervalo de 53,37 a 101,6kg/0,01 in, levando em consideração que Räder (2018) obteve apenas uma mistura dentro do mesmo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao LEC - Laboratório de Engenharia Civil da Unijuí, ao professor José pelo apoio e orientações e ao

MEC/SESu pela oportunidade de participação no grupo PET - Programa de Educação Tutorial.

5. REFERÊNCIAS

BELIGNI, M.; VILLIBOR, D. F.; CINCERRE, J. R. (2000). **Mistura Asfáltica do Tipo SMA (Stone Matrix ASphalt): Solução para Revestimentos de Pavimentos de Rodovias e Vias Urbanas**. In: Reunião Anual de Pavimentação, 32., Anais..., Brasília, DF; 2000.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 1ª ed. (3ª reimpr.) Rio de Janeiro: PETROBRÁS, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO, 2008 (reimpr. 2010), 504 p.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM DAER RS. DAER/RS-EL 217/01; **Manual de Ensaio Volume II**. Ensaio Marshall para misturas betuminosas, 2001, Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/upload/arquivos/201607/27154706-manual-de-ensaios-vol-ii.pdf>> Acesso em fev. 2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Concreto Asfáltico tipo SMA**. ET-DE-P00/031. Rev. A. 41 p. São Paulo, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 043: Misturas betuminosas a quente - Ensaio Marshall - Método de ensaio**, 1995, Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me043-95.pdf>> Acesso em out. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **DNIT 031-ES: Pavimentos flexíveis** - Concreto asfáltico – Especificação de serviço, Rio de Janeiro – RJ, 2006. Disponível em <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/DNIT031_2006_ES.pdf>, Acesso em: fev. 2019.

DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD. **Bases y carpetas de mezclas preparadas en caliente** - Pliego de especificaciones técnicas, Buenos Aires, 1998.

LANCHAS, S. **Características del Stone Mastic Asphalt SMA**. In: Congresso Iberolatinoamericano del asfalto, 10., 1999, Sevilla, Espanha.

MOURÃO, F.A. L.; **Misturas Asfálticas de Alto Desempenho Tipo SMA**. Dissertação de Mestrado – COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2003.

RÄDER, A. R. S. **Estudo da adição de resíduos de garrafas pet pós-consumo em misturas asfálticas à quente**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2018.

REIS, R. M. M. **Revestimento Asfáltico Tipo SMA para Alto Desempenho em Vias de Tráfego Pesado**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 110 p. 2002.

SILVA, G. P. da. **Pavimentação com Borracha de pneu: alternativa ambiental ou técnica?** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2017.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de Pneus**, 2004. 279 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2004.

STRATURA, E. Disponível em <<http://www.stratura.com.br>>. Acesso em jan. 2019.