

ANÁLISE DO USO DA FIBRA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM MISTURA ASFÁLTICA DO TIPO SMA

Tayná Macêdo Rito de Santana
Larissa Chagas Cordeiro
Kelly Santos Sousa
João Victor Melo Coutinho
Erinaldo Hilário Cavalcante
Victor Manuel de Queiroz Lourenço
Universidade Federal de Sergipe
Departamento de Engenharia Civil

RESUMO

A mistura asfáltica do tipo SMA é considerada uma alternativa técnica interessante para os revestimentos rodoviários brasileiros. Esse tipo de mistura se caracteriza por apresentar uma matriz pétreia de granulometria descontínua, com cerca de 70% de agregados graúdos, envolvidos por ligante asfáltico, filer e fibra de celulose. O ligante e os agregados finos, incluindo as fibras, desempenham o papel de aumentar o contato grão a grão, reduzindo o volume dos vazios, o escorrimento e o envelhecimento da mistura. Neste contexto, esta pesquisa propõe o uso da fibra de cana-de-açúcar em substituição às fibras de celulose convencionalmente empregadas nas misturas SMA. Para isso, foram utilizados dois tipos de ligantes asfálticos, o CAP 50/70 e o AMP 55/75, com os quais foram realizadas dosagens e moldados corpos de prova para ensaios mecânicos. Concluiu-se que a fibra do bagaço de cana-de-açúcar apresentou-se como uma alternativa viável para uso em misturas do tipo SMA.

ABSTRACT

The SMA type asphalt mixture is considered an interesting technical alternative for Brazilian road pavement. This type of mixture is characterized by a discontinuous granulometry stone matrix, with about 70% of the coarse aggregates, surrounded by asphaltic binder, filler and cellulose fiber. The asphalt and fine aggregates play the role in increasing the contact between the aggregates, reducing air voids, mix draindown, and aging of the mixture. In this context, this research proposes the use of sugar-cane fiber bagasse instead of the cellulose fibers conventionally used in the asphalt mixture SMA. Two types of asphalt binder, the CAP 50/70 and the AMP 55/75, were used for this purpose, with which dosages and molded samples were carried out for mechanical tests. It was concluded that sugar-cane fiber bagasse presented as a viable alternative for use in asphalt mixtures of SMA type.

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da atualidade brasileira na malha rodoviária é a duração da vida útil do pavimento. Nesse contexto a mistura do tipo *Stone Matrix Asphalt* (SMA) surge como uma fonte alternativa por ser uma mistura de maior durabilidade, garantindo, assim, uma maior vida útil e resistência ao pavimento.

A mistura SMA é considerada de alto desempenho e estabilidade, o que faz com que ela se posicione como uma excelente opção para a garantia do bom desempenho do pavimento. É oportuno ressaltar que esse tipo de mistura asfáltica utiliza fibras, geralmente de celulose, com a finalidade de reduzir o escorrimento do ligante, visto que ela possui elevado percentual de vazios preenchidos com CAP.

Apesar de apresentar boa resistência, a fibra de celulose tem um custo elevado devido ao fato de ser importada, o que encarece a mistura asfáltica. Com isso, a presente pesquisa propõe a substituição das fibras de celulose pelas de bagaço de cana-de-açúcar, considerada um subproduto gerado após a produção do açúcar e do álcool. De acordo com Canilha (2007),

apesar da maior parte do bagaço de cana ser queimado na produção de açúcar e álcool, existe ainda um grande excedente sem destinação, que ocasiona problemas ambientais de estocagem.

Dessa forma, no contexto do cenário atual brasileiro e, mais especificamente, no Estado de Sergipe, verifica-se a necessidade de se avaliar o uso da fibra do bagaço de cana-de-açúcar em misturas do tipo SMA, em substituição à fibra de celulose, com o intuito de se reduzir os custos da confecção da mistura, e além disso, reduzir o acúmulo de resíduos ao se dá uma destinação ao bagaço de cana, podendo, inclusive, agregar valor a esse passivo ambiental.

1.1 Breve referencial teórico

Com o crescimento da população, da produção industrial e a permanente expansão do modal rodoviário do país, o número de veículos nas rodovias têm aumentado de forma frequente com o passar dos anos. Os dados divulgados tem revelado que a quantidade de veículos é inversamente proporcional à porcentagem de rodovias pavimentadas no Brasil. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2017) dados estatísticos mostram que da malha rodoviária analisada (103.259 km), 48,3% dos trechos possuem classificação regular, ruim ou péssima, ao passo que 51,7% restantes apresentam algum tipo de deficiência no pavimento.

Além disso, o tempo de vida útil do pavimento tem reduzido significativamente devido a diversos fatores, entre eles estão o mau dimensionamento, o uso de técnicas inadequadas, e também pelo fato de não ter sido realizado qualquer planejamento para encarar os desafios do crescimento da frota de veículos no Brasil nos últimos anos. Tem-se, então, um grande estado de degradação das rodovias atrelado à ausência de manutenção do pavimento. Com isso, observa-se a necessidade de se utilizar técnicas que possam prover a melhoria do pavimento, garantido um desempenho satisfatório da camada de rolamento.

O SMA é um revestimento asfáltico, usinado a quente, concebido para maximizar o contato entre os agregados graúdos e aumentar a interação grão a grão. Esse tipo de mistura possui uma elevada porcentagem de agregados graúdos, e os seus vazios são preenchidos pelos agregados miúdos juntamente com o fíler, o ligante e eventuais fibras (Bernucci *et al.*, 2008). A Figura 1 mostra uma comparação entre a granulometria da mistura SMA e da mistura CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado à Quente).

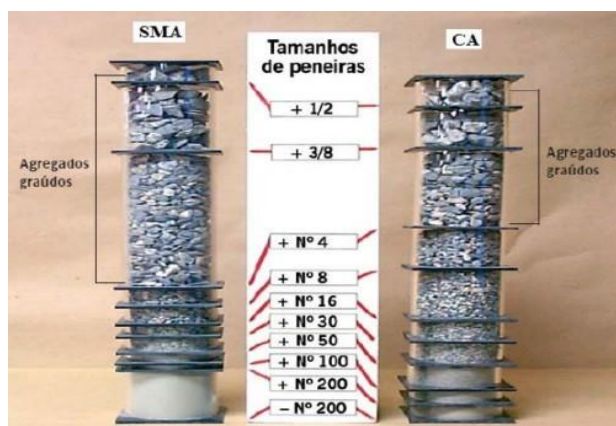


Figura 1: Composições granulométricas comparativas entre um SMA e um CAUQ (Horst Erdlen - JRS, Alemanha, *apud* Bernucci *et al.*, 2008).

Denominada matriz pétreasfáltica, em português, a mistura SMA foi desenvolvida na Alemanha, em 1968, com o objetivo de retardar a deformação permanente e a reflexão de trincas presentes em misturas asfálticas convencionais. A SMA contém uma fração elevada de agregado graúdo, o que reforça o esqueleto mineral, resultando, dessa forma, numa maior resistência mecânica da mistura. Além disso, ocorre também um aumento na aderência pneu-pavimento, aspecto técnico indispensável em dias de chuva (Bernucci *et al.*, 2008). Cabe destacar que esse tipo de mistura é rica em ligante asfáltico, geralmente com teores variando entre 6,0 e 8,5%, que por se tratar do material mais susceptível à temperatura, pode escorrer quando os materiais são submetidas à temperatura de trabalho. Uma das soluções empregadas para se evitar o escorrimento é o uso de fibras, geralmente de celulose. Os teores elevados de ligante referentes a esse tipo de mistura devem-se ao fato da mistura SMA ter uma grande quantidade de fíler, o que resulta numa maior superfície específica, e, portanto, a maior absorção de ligante.

Para se reduzir o considerável volume de vazios da mistura, utilizam-se materiais de enchimento, como o fíler. Além disso, para melhorar o desempenho da mistura, faz-se a adição da fibra de celulose, especialmente com o objetivo de estabilizar a mistura para ajudar a reduzir o seu escorrimento. Segundo Hagos (2008), as fibras também são utilizadas com o intuito de promover uma maior resistência ao envelhecimento, resistência à exsudação e diminuição dos afundamentos nas trilhas de roda. Com base em resultados de ensaios termogravimétricos (TGA/DTGA), os autores do presente trabalho podem afirmar que o tipo de fibra utilizado nesta pesquisa não altera a composição química do ligante asfáltico.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

Os agregados utilizados nesta pesquisa foram o graúdo, miúdo e o fíler, cujo tamanho nominal máximo adotado na mistura foi 9,5mm. Os materiais foram coletados na Usina de Asfalto da EMURB, localizada no município de São Cristóvão, Estado de Sergipe, proveniente de uma pedreira da região, cujos agregados são oriundos de rocha gnaisse. Como material de enchimento utilizou-se a cal hidratada. Os ligantes asfálticos utilizados foram de dois tipos: o tradicional CAP 50/70; e o modificado, classificado como AMP 55/75, no qual o tipo de modificador foi o SBS, ambos fornecidos pela Brasquímica.

O bagaço de cana-de-açúcar utilizado neste estudo é proveniente da Fazenda Junco Novo, localizada no município de Capela-SE. O bagaço foi colocado para secar ao ar livre e utilizou-se a fração passante na peneira de nº. 16. Além disso, a norma da AASHTO M 325 – 08 (2012) não especifica a porcentagem de fibra que deve ser utilizada, mas de acordo com Pank (1995), deve-se utilizar um percentual de 0,3 – 0,5%. Para a presente pesquisa adotou-se o valor médio da faixa sugerida, ou seja, 0,4% de fibra do bagaço de cana-de-açúcar.

2.2 Métodos

O procedimento utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa contemplou a dosagem das misturas asfálticas, de acordo com os procedimentos da norma AASHTO R 46-08 (2012), aplicada ao estudo da mistura asfáltica tipo SMA. Foi empregado o método de dosagem *Marshall*, na preparação de amostras para ensaios mecânicos, e, por fim, foi procedida a análise dos resultados obtidos dos ensaios realizados com as misturas confeccionadas.

Foram preparadas misturas asfálticas enquadradas numa faixa da AASHTO M 325-08 (2012), utilizando-se os ligantes asfálticos especificados no item 2.1. A norma AASHTO R 46-08 (2012) dita que deve ser feita a escolha de uma granulometria considerada como ótima. Para se chegar a essa granulometria foram testadas três faixas com diferentes granulometrias: i) uma faixa próxima ao limite superior; ii) uma próxima ao limite inferior; e iii) outra próxima situada entre os dois limites. A Figura 2 apresenta os limites da faixa granulométrica com três graduações, de acordo com o especificado na norma. A curva granulométrica adotada nesta pesquisa tem tamanho nominal máximo igual a 9,5 mm.

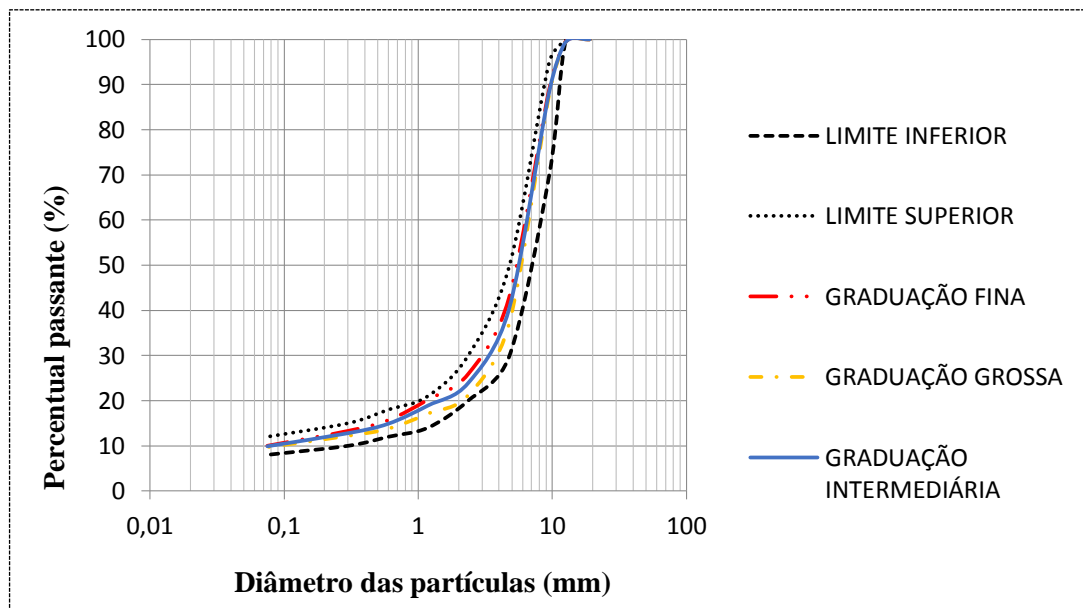


Figura 2: Granulometrias dos materiais empregados na mistura SMA

As dosagens realizadas forneceram os seguintes teores de ligantes de projeto: 8,5% para o CAP 50/70, e 8,3% para o AMP 55/75. Com os teores de ligantes obtidos, foram preparados corpos de prova com os dois tipos de ligantes. A análise mecânica foi realizada com base nos seguintes ensaios: estabilidade Marshall, resistência à tração por compressão diametral (RTCD), módulo de resiliência (MR), desgaste Cântabro e *creep* estático. Realizou-se, também, a avaliação de vida de fadiga da mistura. Para os ensaios de *creep* estático, foram analisadas misturas asfálticas do tipo SMA contendo CAP 50/70 sob carregamentos de 0,1 MPa e 0,4 MPa, bem como mistura contendo AMP 55/75 sob carregamento de 0,4 MPa. Esses ensaios foram realizados na prensa do ensaio de adensamento de solos, do laboratório de Geotecnia e Pavimentação do DEC/UFS.

Os ensaios de fadiga foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na Paraíba, onde também foram realizados os ensaios de resistência à tração por compressão diametral, em quatro corpos-de-prova para cada mistura. Os corpos-de-prova cilíndricos foram posicionados na prensa Marshall diametralmente na direção da compressão. Em seguida, eles foram apoiados ao longo de duas geratrizes por dispositivos de apoio, denominados frisos de carga, sendo um na parte superior da prensa e outro na parte inferior. Na sequência, foram aplicados carregamentos correspondentes a diferentes percentuais relativos à carga de resistência à

tração. Para finalizar, elaborou-se um gráfico relacionando o número de repetições de carga à tensão aplicada no corpo-de-prova, obtendo, assim, o resultado final do ensaio.

A resistência quanto à deformação total de misturas asfálticas do tipo SMA com adição do bagaço da cana-de-açúcar como aditivo estabilizante foi avaliada com base nos ensaios de *creep* estático. Os ensaios foram realizados sob tensões constantes, representando situações em que as deformações se dão na faixa de viscosidade linear, ou seja, 0,1 MPa, e representando níveis de tensão média encontrada no meio do revestimento asfáltico sob condições de serviço, ou seja, da ordem de 0,4 MPa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise do escorrimento das misturas asfálticas

Este item apresenta os resultados e análises do ensaio de escorrimento das misturas I e II. De acordo com a norma da AASHTO T 305/97, é possível se determinar a sensibilidade ao escorrimento. O ensaio foi realizado com as misturas contendo o CAP 50/70 e o AMP 55/75, e seus respectivos teores de projeto. O objetivo é estabelecer o quanto de material foi escorrido da mistura asfáltica quente não compactada.

A Figura 3 apresenta o cesto contendo a mistura não compactada para o ensaio de escorrimento, enquanto que nas Figuras 4 (a;b) está apresentado o papel filtro contendo o escorrimento ocorrido após a realização do ensaio com os dois ligantes, na temperatura de 155°C, valor próximo da temperatura de mistura do ligante CAP 50/70. Na Tabela 1 são apresentados os valores dos escorrimentos obtidos para as misturas I e II.



Figura 3: Cesto contendo a mistura para o ensaio de escorrimento

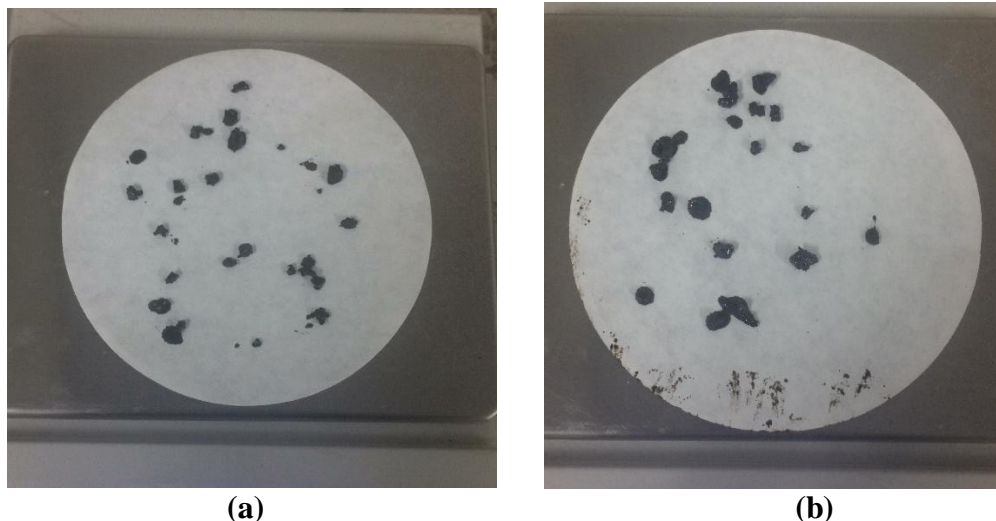


Figura 4: Escorrimentos utilizando (a) CAP 50/70 com teor de 8,5%; e (b) AMP 55/75 com teor de 8,3%

Tabela 1: Resultado do ensaio de escorrimento

Ligante asfáltico	Escorrimento (%)
CAP 50/70	0,20
AMP 55/75	0,18

Observa-se na Tabela 1 que a Mistura I, em que foi empregado o CAP 50/70, o valor do escorrimento obtido foi 0,20%. O valor obtido para a Mistura II (usando o ligante AMP 55/75) foi 0,18%. De acordo com as especificações da norma AASHTO M 325-08 (2012), o valor máximo estipulado para o escorrimento é 0,3%, o que significa dizer que as misturas apresentaram escorrimento de acordo com a norma.

Tendo-se como referência os valores encontrados na literatura, os dados obtidos nesta pesquisa corroboram, por exemplo, com Leal (2013), o qual obteve escorrimento da ordem de 0,11%, usando o CAPFLEX B, enquanto que Cavalcante *et al.* (2008) obteve 0,24%, usando o CAP modificado Stylink®. Vale ressaltar que ambos utilizaram um teor de fibra de bagaço de cana-de-açúcar igual a 0,3%, visto que na presente pesquisa adotou-se um teor de 0,4% com o intuito de testar a viabilidade com este diferente teor. A variação encontrada entre os valores pode ser aceitável, uma vez que a norma não especifica variação máxima para esse parâmetro, e sim, apenas um valor máximo.

3.2 Análise dos ensaios mecânicos realizados com as misturas asfálticas

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios mecânicos, quais sejam, Estabilidade Marshall, Resistência à Tração, Módulo de Resiliência e desgaste Cântabro.

Tabela 2: Análise mecânica das misturas SMA confeccionadas com o bagaço de cana-de-açúcar

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	MÉTODOS DE ENSAIOS	MISTURA I (CAP 50/70)	MISTURA II (AMP 55/75)
Estabilidade Marshall (kgf)	DNER – ME 043/95	575,64	785,21
Resistência à Tração (MPa)	DNIT – ME 136/2010	0,68	0,78
Módulo de Resiliência (MPa)	ASTM D4123-82	2960,75	2149,25
Desgaste Cântabro (%)	DNER – ME 383/99	0,96	0,68

A Tabela 2 mostra que a mistura preparada com o asfalto modificado, empregando a fibra de bagaço de cana-de-açúcar apresentou valor de Estabilidade Marshall superior à mistura I, usando o CAP 50/70. Analisando-se os dados obtidos nesta pesquisa, é possível avaliar que os valores de Estabilidade Marshall foram relativamente baixos (entre 575 kgf e 785 kgf) quando comparados com os valores encontrados por outros autores já mencionados nesta pesquisa (Leal, 2013; Cavalcante *et al.*, 2008), muito embora suas grandezas tenham superado o valor mínimo estipulado pela especificação do DNIT 031/2006 – ES, ou seja, 500 kgf. Cabe lembrar que enquanto o valor da estabilidade obtido para a mistura com a utilização de fibras do bagaço da cana-de-açúcar e ligante modificado tenha sido 785,21 kgf, Leal (2013) obteve estabilidade igual a 1136,78 kgf, ao passo que Cavalcante *et al.* (2008) obteve valor um pouco inferior, da ordem de 981 kgf.

Conforme se pode observar na segunda linha da tabela, embora tenham sido obtidos valores relativamente baixos de resistência à tração, na faixa de 0,70 MPa a 0,8 MPa, observa-se que em ambas as misturas os valores de RT superaram o valor mínimo exigido pelo DNIT – ME 031/2006-ES, que é igual a 0,60 MPa.

Vale ressaltar que Leal (2013), quando utilizou fibras do bagaço da cana-de-açúcar obteve valor médio de resistência à tração da ordem de 1,3 MPa. Por sua vez, quando o autor utilizou fibras de celulose, os valores de RT obtidos foram ligeiramente menores, em torno de 1,2 MPa. Neves Filho (2004) também havia obtido valores de RT utilizando as fibras convencionais de celulose, até duas vezes maiores do que os obtidos na presente pesquisa, empregando CAP puro (CAP 50/70) e CAP modificado (AMP 55/75). As diferenças observadas entre os valores obtidos na presente pesquisa e os demais autores podem estar relacionadas ao tipo de rocha da qual foram originados os agregados utilizados em cada pesquisa, como também à lamelaridade das partículas, entre outros aspectos físicos. Outro fator que também pode ser responsável por essas diferenças pode ser a faixa granulométrica dos agregados utilizada em cada pesquisa, visto que a faixa adotada no presente trabalho foi a de diâmetro nominal máximo igual a 9,5 mm, diferente da granulometria usada pelos demais autores, geralmente com 12,5 mm de diâmetro nominal máximo.

Observa-se também da Tabela 2 que para ambas as misturas, em termos de comportamento resiliente, os valores de módulo de resiliência obtidos das amostras com CAP puro foram mais que 27% superiores quando comparado com as amostras utilizando CAP modificado com polímero, o que já era de se esperar, tendo-se em vista as alterações promovidas na elasticidade da mistura pelo polímero.

A comparação com dados publicados na literatura revela que os valores de MR obtidos nesta pesquisa estão em concordância com os obtidos por outros autores, para misturas asfálticas do tipo SMA, a 25°C, utilizando tanto fibra de celulose, quanto fibra do bagaço da cana-de-açúcar. Leal (2013), por exemplo, utilizando o método de ensaio do DNIT e uma faixa granulométrica acima da utilizada neste trabalho, obteve MR igual a 2252 MPa, empregando-se com fibras de celulose, e 2468 MPa, com uso de fibras de bagaço da cana-de-açúcar. Os valores obtidos no presente trabalho foram de MR da ordem de 3000 MPa e 2150 MPa para as misturas usando CAP e AMP, respectivamente, cujos valores não se afastam significativamente dos obtidos pelo mencionado autor. O fato da mistura usando a fibra alternativa de bagaço de cana-de-açúcar ter produzido uma mistura menos rígida usando asfalto modificado pode ser vista como um aspecto positivo, do ponto de vista das deformações recuperáveis, o que significa um revestimento mais flexível.

Comparando-se os valores de MR obtidos neste trabalho com os encontrados por, foi possível observar uma grande diferença entre os valores de MR, que pode ser justificada pelos menores teores de fibra e de ligante adotados por Neves Filho (2004), assim como devido à faixa granulométrica utilizada pelo mencionado autor, significativamente diferente da usada nesta pesquisa.

Com relação à avaliação do desgaste Cântabro realizado com as amostras, os valores obtidos podem ser considerados satisfatórios, uma vez que foram inferiores a 1%. O cotejo do referencial teórico publicado aponta, por exemplo, resultados com valores de desgaste bem maiores, como os obtidos por Leal (2013), que também realizou esta modalidade de ensaio em sua pesquisa, obtendo 4,8% de desgaste Cântabro utilizando fibras de celulose, enquanto que com fibras de cana-de-açúcar, o desgaste foi praticamente da ordem, ou seja, 5%. A considerável diferença de valores observados nesta pesquisa, quando comparados com os valores obtidos por Leal (2013) pode ser justificada pelo tipo de agregado utilizado neste trabalho, que apresentou desgaste inferior no aparelho de abrasão “Los Angeles”, bem como o uso de um maior teor de ligante de projeto, ocasionando maior adesão entre as partículas.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de creep estático.

Tabela 3: Valores de ensaio de *creep* estático com mistura SMA e com mistura CAUQ

AMOSTRAS	CARREGAMENTO (MPa)	DESLOCAMENTO (mm)	TAXA DE RECUPERAÇÃO (%)	DEFORMAÇÃO PERMANENTE (%)
Mistura I (CAP 50/70)	0,1	0,66	31,6	1,03
Mistura I (CAP 50/70)	0,4	1,00	32,3	1,56
Mistura II (AMP 55/75)	0,4	0,72	48,9	1,13

Pode-se observar na Tabela 3 que para a amostra contendo CAP 50/70, apesar do carregamento de 0,4 MPa proporcionar uma maior deformação, a taxa de recuperação dessa mistura, que ficou em 32,3%, foi aproximadamente equivalente ao valor obtido quando submetida uma carga inferior, valor igual a 31,6%. Além disso, comparando os resultados das

duas amostras quando submetidas ao mesmo carregamento, de 0,4 MPa, foi possível observar que a deformação permanente sofrida pela mistura utilizando o asfalto modificado AMP 55/75 foi inferior à deformação experimentada pela mistura em que foi empregado o CAP 50/70, que também produziu a maior taxa de recuperação (48,9%), após a retirada do carregamento, revelando a grande flexibilidade do material. Isso se deveu, muito provavelmente, à ação do agente modificador, no caso, o polímero.

Quanto à deformação permanente, observa-se na Tabela 3 o aumento na deformabilidade à medida que se aumentou a taxa de carregamento de 0,1 MPa para 0,4 MPa. Comparando-se as duas misturas, observa-se que a mistura II, usando o asfalto modificado experimentou a menor deformação, da ordem de 1,13%. Souza (2010) obteve valor de deformação permanente com mistura CAUQ densa, sob taxa de carregamento de 0,1 MPa praticamente igual ao valor obtido nesta pesquisa, 1,03%. Embora fosse esperada deformação permanente menor para misturas SMA, em comparação às misturas tipo CAUQ, deve-se considerar que a presente pesquisa utilizou a faixa granulométrica de 9,5 mm de tamanho nominal máximo.

Na Figura 5 são mostrados os resultados dos ensaios de fadiga, cujas curvas de tendência foram elaboradas a partir dos valores de carga aplicada e os respectivos números de ciclos.

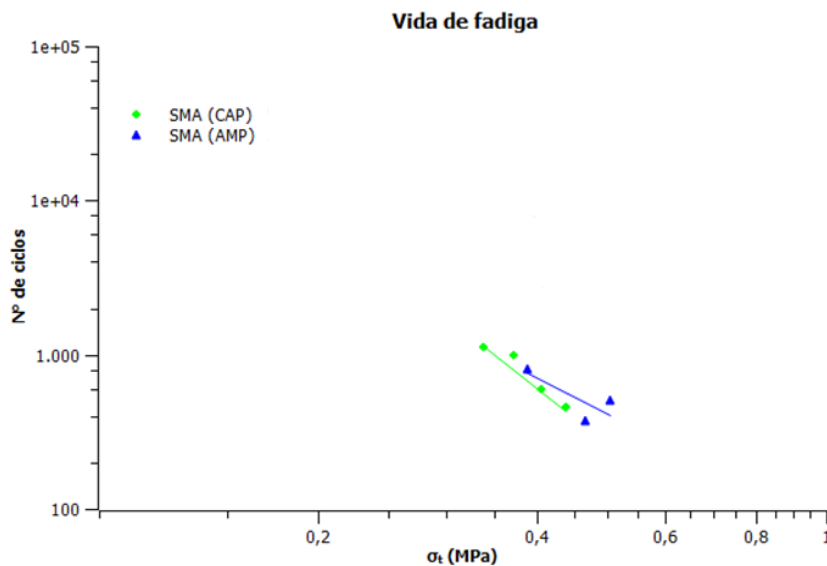


Figura 5: Curvas de fadiga das misturas SMA

Analisando-se os gráficos de vida de fadiga, conforme a Figura 5, observa-se que as misturas SMA com asfalto convencional (CAP), confeccionadas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar, apresentaram uma vida de fadiga inferior à das misturas confeccionadas com AMP. Do exposto, conclui-se que o uso de fibra de bagaço de cana-de-açúcar se apresenta promissora como alternativa ao uso da fibra de celulose, pelo fato do bagaço da cana mostrar tendência de aumento da vida útil da mistura. Vale salientar que mais ensaios deverão ser realizados com outras misturas asfálticas, preferencialmente utilizando granulometrias diferentes, visando-se com isso comprovar os resultados obtidos nesta pesquisa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou resultados de uma pesquisa empregando fibras do bagaço da cana-de-açúcar em substituição às fibras de celulose aplicadas a uma mistura asfáltica do tipo SMA.

A análise dos resultados dos ensaios realizados com as misturas tipo SMA confeccionadas com fibra não convencional de bagaço de cana-de-açúcar revelou a viabilidade do uso da fibra alternativa, conforme as principais conclusões elencadas a seguir.

Os valores de escorrimento obtidos para as duas misturas testadas com o emprego da fibra de bagaço de cana-de-açúcar ficaram na faixa de 0,18% a 0,20%, respectivamente, valores considerados aceitáveis, de acordo com as especificações da norma AASHTO M 325-08 (2012), cujo valor máximo é 0,3%.

Os valores obtidos para a resistência à tração das duas misturas foram 0,70 MPa e 0,8 MPa, respectivamente, que embora relativamente baixos, ainda superaram o valor mínimo exigido pelo DNIT – ME 031/2004-ES, fixado em, no mínimo 0,60 MPa.

Os valores de MR obtidos no presente trabalho foram da ordem de 3000 MPa e 2150 MPa para as misturas usando CAP e AMP, respectivamente, cujos valores não se afastam significativamente dos publicados na literatura por outros autores. O fato da mistura usando a fibra alternativa de bagaço de cana-de-açúcar ter produzido uma mistura asfáltica menos rígida usando asfalto modificado pode ser vista como um aspecto positivo, o que significa um revestimento mais flexível.

Observou-se que a deformação permanente sofrida pela mistura que empregou a fibra de bagaço de cana-de-açúcar e asfalto modificado AMP 55/75 foi inferior à deformação sofrida pela mistura na qual se utilizou o CAP 50/70.

Conclui-se, dessa forma, com base nos dados apresentados e discutidos nesta pesquisa que o uso de fibras do bagaço da cana-de-açúcar em substituição às fibras convencionais de celulose é promissor em misturas asfálticas do tipo SMA, e seu emprego deve ser incentivado. Igualmente, outras misturas asfálticas devem ser testadas empregando-se a fibra alternativa analisada neste trabalho, visando-se ampliar as análises e o banco de dados existente.

Agradecimentos

Aos técnicos e professores do Laboratório de Geotecnia e Pavimentação da Universidade Federal de Sergipe por toda contribuição e ensinamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO M 325-08. *Standard Specification for Stone Matrix Asphalt*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, 2012.
- AASHTO R 46-08. *Standard Practice for Stone Matrix Asphalt*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, 2012.
- AASHTO T 305. *Standard Method of Test for Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, 1997.
- ABNT. *NBR 6465: Agregados – Determinação da abrasão “Los Angeles”*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.
- ABNT. *NBR 7181: Agregado – análise granulométrica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998.

- ABNT. *NBR 15184: Materiais betuminosos -Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.
- ABNT. *NBR 11341: Derivados de petróleo -Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.
- ABNT. *NBR 15140: Misturas asfálticas — Determinação da perda de massa por abrasão Cântabro*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.
- BERNUCCI, L. B., CERATTI, J. A. P., MOTTA, L. M. G., SOARES, J. B. *Pavimentação Asfáltica –Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro: PETROBRAS & ABEDA, 2008.
- CANILHA ET AL., L.. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar in natura, extraído com etanol ou ciclohexano/etanol. Congresso Brasileiro de Química, 47., 2007. Associação Brasileira de Química. Natal, 2007.
- CAVALCANTE, R.L., MARQUES, J.R.F., FERNANDES JÚNIOR, J. L. e SUÁREZ, D. A. A. *Mistura asfáltica do tipo SMA produzida com adição de fibras do bagaço de cana-de-açúcar*. Revista Pavimentação, ed. 39, 2008.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES, SERVIÇO NACIONAL, SERVIÇO SOCIAL DO TRANSPORTE, SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM DO TRANSPORTE. Boletim Estatístico 2017. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br.html>>. Acesso em dez. 2017.
- DNER - *ME 043/95: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens, 1995.
- DNER – *ME 133/94: Misturas betuminosas – determinação do módulo de resiliência*. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, 1994.
- DNER – *ME 136/2010: Misturas betuminosas – determinação da resistência à tração por compressão diametral*. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, 2010.
- DNER – *ME 383/99: Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero – Ensaio Cantabro*. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, 1999.
- DNER - *ME 054/97: Equivalente de areia*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens, 1997.
- DNIT *031/2006 – ES: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.
- HAGOS, E. T. *The Effect of Aging on Binder Properties of Porous Asphalt Concrete*. Delft, 2008. Dissertation (Master of Science in Road and Transportation Engineering). Technische Universiteit Delft. Delft, 2008.
- LEAL, C. L. D. *Aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar em misturas asfálticas*. Rio de Janeiro: Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, 2013.
- NEVES FILHO, C. L. D. *Avaliação laboratorial de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha*. São Carlos: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, 2004.
- PANK, H. (1995). *Finnish Asphalt Specifications*. Finnish Pavement Technology Advisory Council.

Tayná Macêdo Rito de Santana (taynamacedorito@gmail.com)
Larissa Chagas Cordeiro (larichagas.95@ hotmail.com)
Kelly Santos Sousa (k.ellysantos@hotmail.com)
João Victor Melo Coutinho (eng.joaovictorcoutinho@gmail.com)
Erinaldo Hilário Cavalcante (erinaldo@ufs.br)
Victor Manuel de Queiroz Lourenço (victorqlourenco@gmail.com)
Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe
Av. Marechal Rondon, S/N, Jardim Rosa Elze – São Cristóvão, SE, Brasil