

Eixo Temático ET-11-014 – Outros

USO DE LÃ DE VIDRO NA PRODUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS SMA

Luiz Carlos Brocca Blasius¹, Joe Arnaldo Villena Del Carpio²,
Vanessa Marie Salm³

¹Universidade do Extremo Sul Catarinense, Curso de Engenharia Civil, SC;
²Universidade Federal do Paraná, Departamento de Transportes, PR; ³Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Governança Pública, PR.

RESUMO

As misturas asfálticas tipo Stone Matrix Asphalt – SMA apresentam granulometria descontínua e uso de fibras com a finalidade de estabilizar as misturas frente ao fenômeno de escorrimento. Atualmente, o aditivo estabilizante mais utilizado é a fibra de celulose; no entanto, não é descartada a possibilidade de uso de outro tipo de fibras para esta finalidade. A presente pesquisa consiste no estudo da viabilidade do uso de lã de vidro, resíduo da construção civil, como aditivo estabilizante nas misturas tipo SMA. Para tal, foram moldadas misturas tipo SMA com adição de 0,3, 0,5 e 0,7% de fibra de lã de vidro e fibra de celulose. O ensaio de escorrimento Schellenberg foi utilizado para definir o teor ótimo de fibra a ser utilizado nas misturas de modo que o escorrimento no final do ensaio fosse menor a 0,3%, definido por Norma. Os resultados deste ensaio mostraram que o teor ótimo de adição de fibra de lã de vidro e de fibra de celulose para o mesmo tipo de mistura SMA foi de 0,40 e 0,44% respectivamente. A partir destes resultados, pode se afirmar que a lã de vidro se apresenta como uma ótima alternativa ao uso de fibra de celulose como aditivo estabilizante de misturas asfálticas tipo SMA. Adicionalmente, um benefício ambiental pode ser atingido devido à possibilidade de uso deste tipo de fibras, as quais representam um subproduto da indústria da construção civil e que, geralmente, não tem uma política adequada de descarte e gestão.

Palavras-chave: Misturas asfálticas; SMA; Lã de vidro; Fibra de celulose, Escorrimento.

INTRODUÇÃO

O conceito denominado *construção sustentável* propõe repensar a cadeia produtiva em todos os seus aspectos: extração de matérias-primas, processos de produção, saúde dos trabalhadores, qualidade e custo das construções (CORRÊA, BUTTLER, RAMALHO, 2009). É de grande importância que esse conceito seja adotado na indústria da construção civil, já que ela consome entre 20% e 50% dos recursos naturais extraídos no planeta (SENAI, 2005).

É inevitável que, no setor da construção civil, ocorra um determinado volume de perdas. Porém, a fração das perdas que excede ao limite mínimo característico da tecnologia empregada é considerada desperdício. Os limites entre perda inevitável e o desperdício são difíceis de estabelecer e para uma mesma tecnologia variam com características regionais e no tempo. Os resíduos gerados, provenientes das perdas ocorridas durante o processo de construção ou de demolições, são responsáveis por aumentar ainda mais o impacto ambiental provocado por este setor (SENAI, 2005).

Os resíduos de construção e demolição (RCD) estão constituídos por: restos de brita, argamassas, concretos cerâmicos, areia, gesso, madeira, metais, papéis, plásticos, pedras, tijolos, tintas, resinas, tubos, fios, etc. Estima-se que sejam gerados mundialmente cerca de 900 milhões de toneladas por ano de RCD, 7% apenas nos EUA, sendo que grande parte desse volume de resíduos não é reciclado. No Brasil, por exemplo, o setor de construção civil gera de 41% a 70% da massa de resíduos urbanos, o que equivale a valores entre 23 a 760 kg/hab/ano (dados de 2006) (CORRÊA, BUTTLER, RAMALHO, 2009).

A lã de vidro é um isolante térmico e acústico, resistente ao fogo, muito utilizado na construção civil. Este material está composto de areia de quartzo, dolomita, calcário, materiais adesivos e óleos repelentes de água os quais formam fibras de vidro entrelaçadas e flexíveis. A função da lã de vidro é a de encapsular o ar, resultando em um material de baixa densidade muito utilizado no interior de painéis, tetos, condutos, tubulações, etc. A apresentação comum da lã de vidro é na forma de rolo ou placas com diferentes propriedades térmicas e mecânicas (UTOCHKINA, 2014).

Ao respeito do seu tratamento após uso, o site da empresa ISOVER, uma das maiores produtoras deste produto, indica que os resíduos de lã de vidro, inclusive aqueles gerados por sobras de obras, são classificados como Classe II A - não perigoso e não inerte, conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004a). Não podem ser descartados em terrenos baldios, em sistemas de esgoto ou próximos a cursos d'água e que a melhor opção para destinar os resíduos de lã de vidro são os aterros industriais Classe II (ISOVER, 2016).

A malha rodoviária brasileira possui um total de 1.720.643,20 km de rodovias das quais 210.618,80 são pavimentadas, sendo que esse modal tem a participação de 61,10% de toda a movimentação anual de cargas e passageiros (CNT, 2015). Com essa grande fatia de participação, torna-se cada vez mais importante que um pavimento atenda aos requisitos de alta durabilidade, alta segurança em pista molhada e conforto aos usuários.

Conforme Silva (2005), com as técnicas utilizadas atualmente, os pavimentos das rodovias brasileiras não têm atendido aos requisitos de alta resistência e alta durabilidade, no caso de pavimentos para alto volume de tráfego, apresentando problemas como trincas por fadiga, afundamentos nas trilhas de rodas e desagregação do revestimento de forma precoce. Uma alternativa aos problemas apresentados nos pavimentos das rodovias do Brasil são as misturas tipo Stone Matrix Asphalt - SMA.

A mistura SMA é uma mistura asfáltica usinada a quente com distribuição granulométrica descontínua, composta por uma grande quantidade de agregados graúdos (entre 70% e 80% retido na peneira #10), sendo os vazios preenchidos por uma argamassa (também chamada de mástique) formada por ligante, fração de areia, filer e aditivo estabilizante (fibras).

O aditivo estabilizante tem a função de evitar a segregação da mistura e evitar o escorrimento do ligante asfáltico, sendo que a fibra de celulose pura tem maior poder de absorção para evitar escorrimento do ligante. Além da fibra de celulose, vários outros tipos de fibras (minerais e orgânicas) têm sido testadas nas misturas SMA, como, por exemplo, fibra de coco (VALE, 2005) e bagaço de cana de açúcar (LEAL, 2012). Um outro produto que poderia ser utilizado como aditivo estabilizante para as misturas SMA é a lã de vidro. Devido à sua natureza fibrosa, este material poderia ser utilizado como aditivo substituto para as fibras comumente utilizadas, mencionadas anteriormente. Adicionalmente ao benefício técnico e econômico, um benefício

ambiental pode ser alcançado pela reutilização de um resíduo da construção civil que não terá maior finalidade do que a de compor aterros industriais.

OBJETIVO

O objetivo da pesquisa foi avaliar a efetividade do uso de lã de vidro como aditivo estabilizante nas misturas asfálticas tipo SMA. Esta verificação será satisfatória caso as misturas dosadas com lã de vidro consigam atender aos requisitos de aceitação citados na Especificação Técnica ET-DE-P00/031 do Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (SÃO PAULO, 2007)

METODOLOGIA

A metodologia da presente pesquisa consiste na dosagem de misturas asfálticas SMA com ligante asfáltico CAP 50/70, agregados pétreos e dois tipos de fibras a serem utilizadas como aditivos estabilizantes: fibra de celulose e lã de vidro. Os resultados da dosagem das misturas com adição de fibra de celulose e com adição de lã de vidro serão comparados entre si e com outros tipos de adições a fim de verificar a efetividade técnica do uso da última como aditivo estabilizante de misturas SMA.

Materiais

Agregados

Os agregados pétreos utilizados na pesquisa são de origem basáltica, provenientes da pedra Cedro, localizada no município de Maracajá, SC, às margens da BR-101, no km 401. A Figura 1 apresenta os agregados utilizados na mistura ensaiada: brita 3/4", pó de pedra e cal hidratada.

Figura 24: Agregados utilizados na pesquisa: brita 3/4", pó de pedra e cal hidratada.



Fonte: Do Autor (2016)

Fibra de celulose

A fibra empregada na pesquisa foi a TOPCEL, fornecida pela empresa Betunel. A fibra é fornecida pura, na forma de *pellets*. Na Tabela 1 são mostradas as características da fibra utilizada determinadas em laboratório. A Figura 2 apresenta a fibra de celulose utilizada na pesquisa.

Tabela 9: Características físicas da fibra TOPCEL.

Características da fibra de celulose	Resultados obtidos
Comprimento médio dos pellets	2-8mm
Diâmetro médio dos pellets	4 ± 1mm

Fonte: Do Autor (2016)

Figura 25: Fibra de celulose em forma de pellets.



Fonte: Do Autor (2016)

Lã de vidro

A lã de vidro (Figura 3) empregada na pesquisa é proveniente de resíduos da construção civil. A lã é da marca ISOVER, sendo que foi feita uma análise visual para verificação de impurezas e a seguir foi feito o peneiramento afim de desagregação dos fios, utilizando a peneira #5.

Figura 26: Lã de vidro.



Fonte: Do Autor (2016)

Legenda: a) Lã de vidro na forma “bruta”.

b) Lã de vidro desagregada.

Ligante asfáltico

Na pesquisa foi utilizado o ligante asfáltico CAP 50/70 o qual foi fornecido pela Greca Asfaltos, empresa localizada em Esteio - RS. A Figura 4 mostra o ligante asfáltico utilizado na pesquisa.

Figura 27 - Ligante Asfáltico CAP 50/70



Fonte: Do Autor (2016)

Métodos

Dosagem da mistura asfáltica

Por ser um tipo de mistura asfáltica muito utilizada em diversas partes do globo, o SMA possui diversas especificações. No Brasil o Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo, tem publicada a especificação técnica ET-DE-P00/031 (SÃO PAULO, 2007), que baseada nas normas argentina e alemã, apresenta as principais diretrizes para a dosagem das misturas. A dosagem da mistura asfáltica foi realizada em laboratório e não será detalhada no presente artigo. Segue um breve resumo do processo de dosagem realizado:

- Definição da curva granulométrica: Após análise de diversos estudos já publicados, optou-se por utilizar a Faixa II da ET-DE-P00/031(SÃO PAULO, 2007), visando a comparação de resultados com outros estudos realizados sobre o comportamento de fibras como agentes estabilizantes nas misturas SMA.
- Determinação do teor ótimo de ligante das misturas: Realizada por meio da metodologia Marshall, conforme NBR 12891 (ABNT, 1993), utilizando 50 golpes por face. Para tal foram moldados três corpos de prova para cada teor, sendo que foram adotados teores de 6,0; 6,5; 7,0; 7,5 e 8,0% de CAP 50/70. Afim de simular uma mistura SMA convencional, foi adicionada em cada mistura uma fração de 0,3% em massa de fibra de celulose. O teor ótimo de ligante foi obtido com base na especificação técnica do DER-SP onde a mesma indica um percentual de vazios totais de 4% e percentual de vazios do agregado mineral (VAM) maior ou igual a 17%.
- Resistência à tração por compressão diametral: Após a determinação do teor ótimo de ligante, foram moldados três corpos de prova afim de obter o valor de resistência a tração da mistura. O ensaio foi realizado conforme a NBR 15087 (ABNT, 2004b), sendo que o valor mínimo de resistência exigido pelo DER-SP é 0,6 MPa.

Ensaio de Escorrimento Schellenberg

Com o procedimento Marshall devidamente finalizado, passou-se para a etapa de definição do teor ótimo de fibras na mistura. A Especificação Técnica do DER-SP especifica três tipos de ensaios para determinação do escorrimento do ligante asfáltico e

consequente determinação do percentual de fibras: ASTM D 9690, AASHTO T 305 ou Ensaio de Schellenberg.

Para essa pesquisa foi adotado o Ensaio de Schellenberg indicado na norma europeia EN 12697-18 (CEN, 2004), que consiste na inserção de 1000g da mistura asfáltica em um Becker previamente tarado. O conjunto é colocado em uma estufa pelo período de uma hora a temperatura de compactação. Transcorrido esse intervalo de tempo o Becker é virado com a base para cima por um tempo de dez segundos. O Becker é então pesado novamente juntamente com o material que ficou retido em suas paredes.

Após a pesagem final do Becker o mesmo foi submetido a lavagem com percloroetileno e as partículas de agregados que ficaram retidas no Becker juntamente com o ligante foram descontadas, quando necessário, conforme estabelece a norma europeia EN 12697-18 (CEN, 2004). As porcentagens de material escorrido (E) e de material retido (R) são obtidas através da Equação 1 e da Equação 2.

$$E = 100 * \frac{(m_1 - m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)}$$

Equação 1

$$R = 100 * \frac{m_4}{(m_2 - m_1)}$$

Equação 2

Onde: E é a porcentagem de material escorrido no Becker (%);

R é a porcentagem de agregado retido após a lavagem (%);

m_1 é o valor da massa inicial do Becker (g);

m_2 é o valor da massa inicial do Becker mais a amostra de mistura (g);

m_3 é o valor da massa inicial do Becker mais o material retido após virar o Becker (g);

m_4 é o valor da massa do material seco retido na peneira após a lavagem (g).

O ensaio de escorrimento foi realizado para porcentagens de fibra de 0,3; 0,5 e 0,7% em massa, sendo que para cada teor foram feitos dois testes e o resultado do escorrimento é a média aritmética dos ensaios. Tais porcentagens foram adotadas tomando como base trabalhos já publicados onde a mesma Faixa granulométrica foi utilizada.

Devido ao pequeno volume de amostra para realização do ensaio de escorrimento, indicada na norma, optou-se por desagregar tanto a fibra de celulose quanto a lã de vidro afim de promover uma melhor distribuição do material na amostra. A fibra de celulose foi misturada em duas etapas, de forma manual, durante o processo de moldagem da mistura asfáltica. A lã de vidro por ter certa tendência a formar grumos, foi peneirada sobre o recipiente de mistura, para assim, como a celulose, promover uma melhor distribuição na mistura. A Figura 5 mostra as fibras desagregadas e o processo de adição da lã de vidro a mistura. Após a mistura, as amostras foram submetidas ao ensaio de escorrimento conforme detalhado anteriormente. A Figura 6 mostra o procedimento de ensaio.

Figura 28: Preparação das amostras para ensaio de escorrimento.



Fonte: Do Autor (2016)

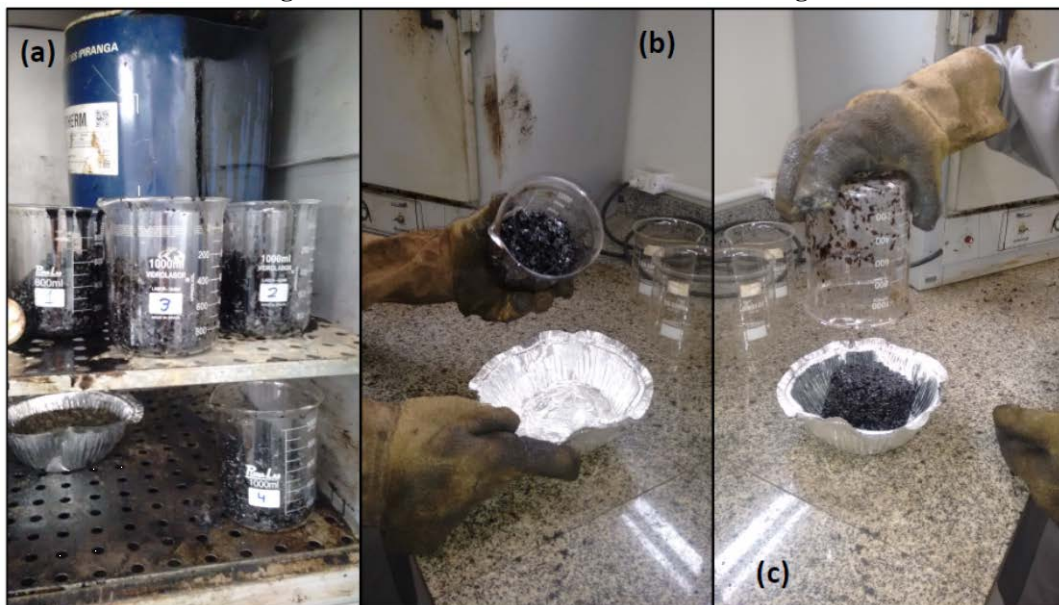
Legenda: a) Fibra de celulose antes e depois da desagregação.

b) Lã de vidro desagregada.

c) Peneiramento de lã de vidro sobre a mistura asfáltica.

d) Lã de vidro peneirada sobre a mistura asfáltica.

Figura 29: Ensaio de Escorrimento Schellenberg.



Fonte: Do Autor (2016)

Legenda: a) Amostra na estufa.

b) Becker logo após retirada da estufa.

c) Becker com a base para cima durante o ensaio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dosagem das misturas asfálticas

A Tabela 2 mostra as principais características da mistura asfáltica SMA dosada em laboratório.

Tabela 10: Principais características da mistura asfáltica SMA.

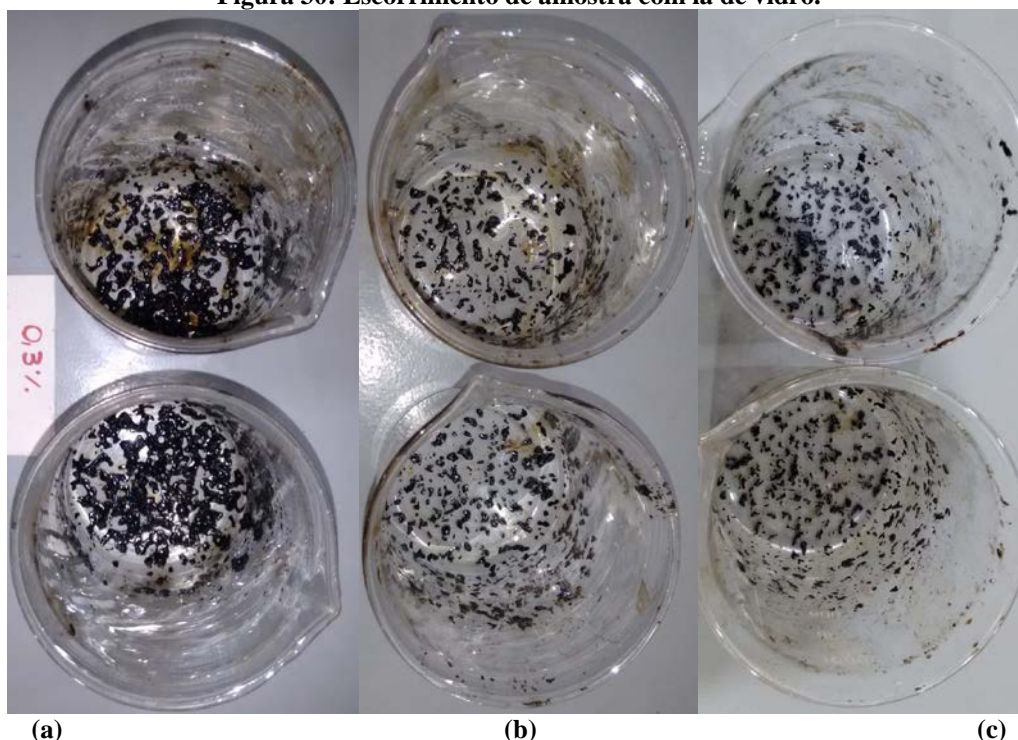
Peneira	Abertura (mm)	Porcentagem passante acumulada			Curva de projeto
		Faixa II			
		Limite superior	Limite inferior	Tolerância	
3/4"	19,0	100	100		100
1/2"	12,5	100	100	± 7%	100
3/8"	9,5	100	100	± 7%	100
5/16"	7,93	100	90	± 5%	93
#4	4,80	45	30	± 5%	45
#10	2,00	27	20	± 5%	21
#200	0,075	13	9	± 2%	9
Teor ótimo de ligante (%)					8,0
Resistência à tração (MPa)					0,91

Fonte: Do Autor (2016)

Ensaio de escorrimento Schellenberg

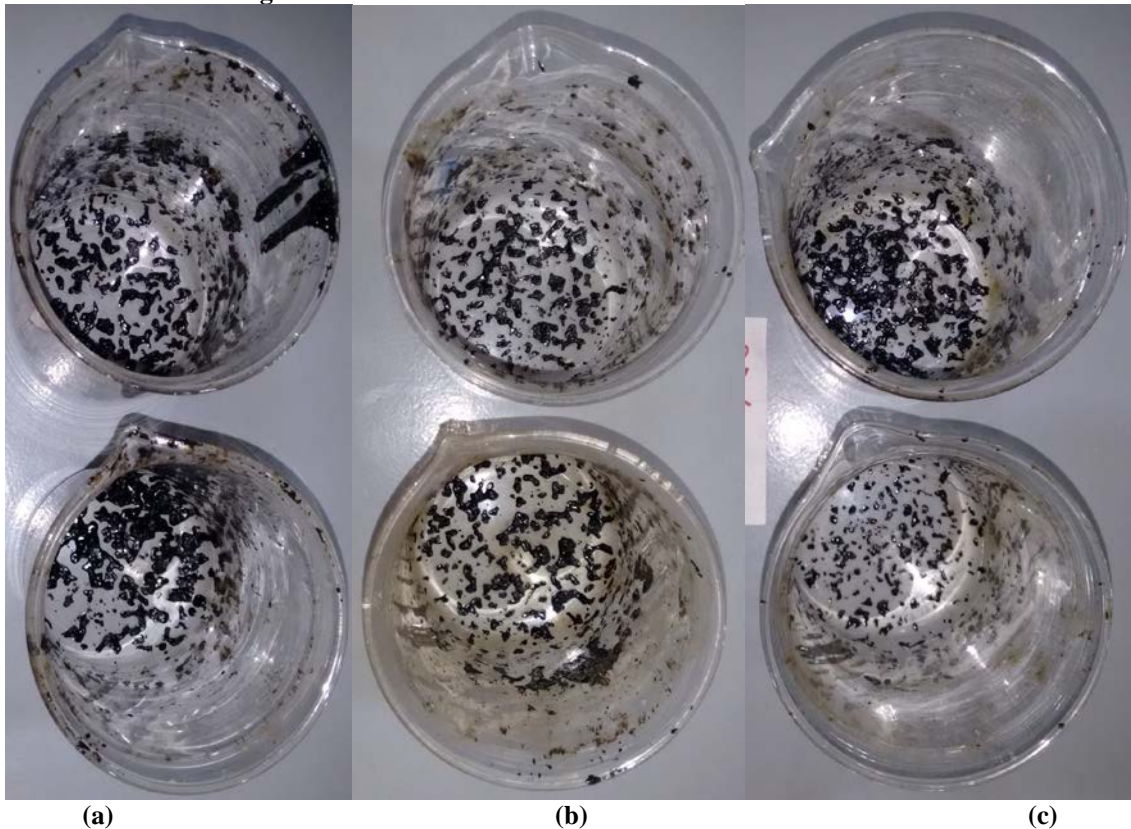
Após a definição do traço e resistência à tração por compressão diametral da mistura asfáltica, foram realizados os ensaios de escorrimento. Para este ensaio foram utilizados teores de 0,3; 0,5 e 0,7% de lã de vidro e fibra de celulose, utilizadas como aditivo estabilizante. Adicionalmente foi realizado o mesmo ensaio em misturas sem adição de nenhuma fibra. Os resultados visuais podem ser verificados na, Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

Figura 30: Escorrimento de amostra com lã de vidro.



Legenda: a) Amostra com 0,3% de lã de vidro. b) Amostra com 0,5% de lã de vidro.
c) Amostra com 0,7% de lã de vidro.

Figura 31: Escorrimento de amostra com fibra de celulose.



Fonte: O autor (2015)

Legenda: a) Amostra com 0,3% de fibra de celulose.

b) Amostra com 0,5% de fibra de celulose.

c) Amostra com 0,7% de fibra de celulose.

Figura 32: Escorrimento de amostra sem aditivo estabilizante



Fonte: O autor (2015)

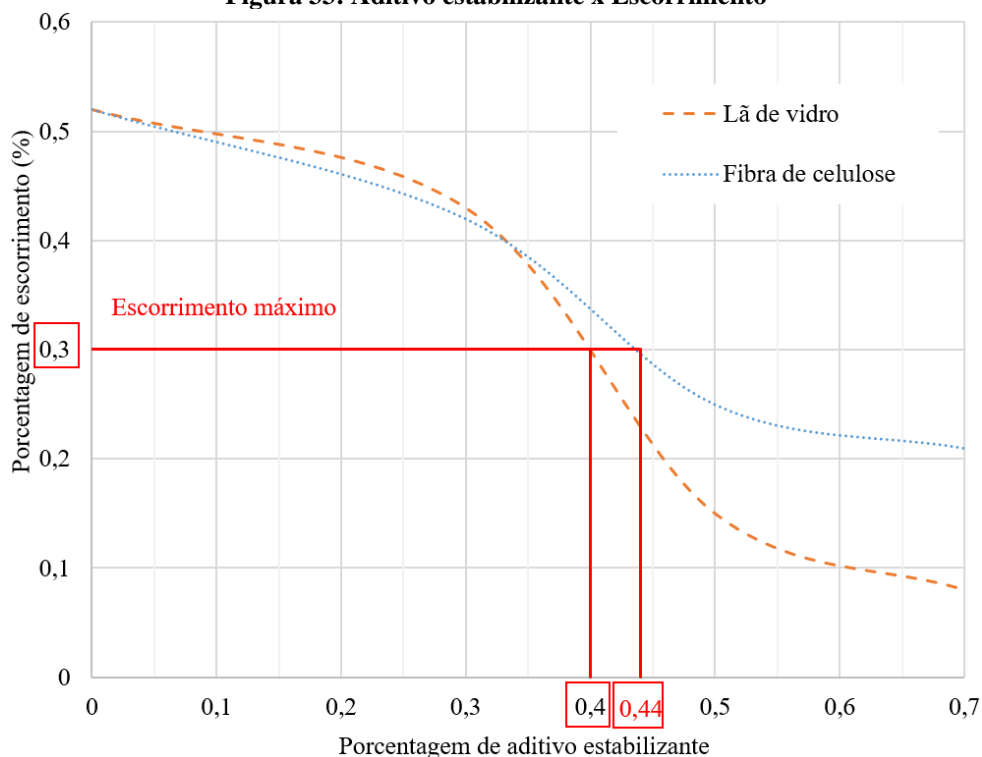
Com os ensaios de escorrimento devidamente realizados, os dados obtidos foram tabulados podendo assim obter-se os percentuais de escorrimento para as misturas; os resultados são apresentados na Tabela 8. Na Figura 10 pode-se observar um comparativo dos percentuais de escorrimento em função da porcentagem de adição de cada tipo de aditivo estabilizante.

Tabela 11: Resultados do ensaio de escorrimento Schellenberg

Tipo de fibra	% de fibra	Escorrimento (%)	Escorrimento médio (%)
Lã de vidro	0,3	0,4 0,47	0,43
	0,5	0,19 0,12	0,15
	0,7	0,1 0,06	0,08
Celulose	0,3	0,37 0,48	0,42
	0,5	0,18 0,32	0,25
	0,7	0,11 0,31	0,21
Sem adição	0	0,6 0,45	0,52

Fonte: Do Autor (2016)

Figura 33: Aditivo estabilizante x Escorrimento



Fonte: Do Autor (2016)

A partir dos resultados da Figura 10 verificou-se que as misturas com adição de lã de vidro e de fibra de celulose apresentaram resultados muito parecidos, com percentual de adição de, aproximadamente, 0,4 a 0,44% de aditivo para um escorrimento máximo de 0,3%.

A Tabela 4 mostra um resumo dos principais trabalhos que avaliaram a adição de aditivos estabilizantes alternativos nas misturas SMA. Estes dados podem ser utilizados para comparação dos resultados obtidos no presente estudo.

Tabela 12: Comparativo de resultados de outras pesquisas

Autor	Aditivo Estabilizante	Teor Ótimo de Aditivo, %
Pesquisa atual	Lã de vidro	0,4
Vale, (2005)	Fibra de coco	0,5
Leal, (2012)	Bagaço de cana-de-açúcar	0,3
Valença, (2012)	Fibra de carauá	0,3
Reis et al, (2002)	Fibra inorgânica de vidro	0,3

Fonte: Do Autor (2016)

A partir dos dados da Tabela 4, percebe-se que a porcentagem de adição ótima de aditivo estabilizante obtida na presente pesquisa, encontra-se próxima aos valores obtidos em relação a outras pesquisas anteriormente realizadas com uso de outros aditivos estabilizantes em misturas SMA. Apesar de serem materiais diferentes do utilizado na presente pesquisa, optou-se por fazer a comparação de resultados de forma a mostrar que a lã de vidro se mostra tão eficiente quanto outros materiais alternativos.

Fazendo uma análise dos resultados apresentados na Tabela 9, e levando em consideração as diferentes naturezas dos materiais empregados, percebe-se que o percentual de aditivo estabilizante possui maior influência em relação a sua natureza, quanto ao valor de escorrimento.

CONCLUSÕES

- O teor ótimo de ligante encontrado para a Faixa II da especificação técnica do DER-SP foi de 8%. Alguns fatores podem estar associados a esse alto teor de ligante; entre eles, o fator mais importante pode ser o alto teor de material fino presente na mistura SMA necessário para formar o mástique.
- O valor médio de resistência a tração por compressão diametral da mistura estudada foi de 0,91MPa; valor considerado acima do valor mínimo estabelecido pelo DER-SP.
- O percentual de adição de lã de vidro foi de 0,4% para um escorrimento máximo de 0,3% em massa; o teor de fibra de celulose obtido para o mesmo valor de escorrimento foi de 0,44%.
- Aparentemente o percentual de aditivo estabilizante possui maior influência em relação a sua natureza, quanto ao valor de escorrimento.
- Desta forma, a partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o uso de lã de vidro como aditivo estabilizante para misturas SMA é viável do ponto de vista técnico. O uso desta fibra pode trazer tanto benefícios técnicos, devido à estabilização da mistura SMA, quanto econômicos, associados à redução de custos pois permitira a substituição das fibras de celulose, atualmente importadas da Europa por um subproduto da construção civil de baixo custo. Além dos benefícios citados, um benefício ambiental pode ser atingido devido à correta destinação deste subproduto obtido a partir da indústria da construção civil, o qual é, atualmente, descartado, muitas vezes sem a destinação correta.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à empresa Betunel pelo fornecimento da fibra de celulose utilizada na presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12891**: Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall. Rio de Janeiro: 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15087**: misturas asfálticas - determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro: 2004b.

CEN Bituminous Mixtures - Test Methods for Hot Mix Asphalt - Part 18: Binder drainage. EN 12697-18, European Committee For Standardization, 2004.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. CNT. **Relatório Gerencial: SEST, SENAT**. Brasília, 2015.

CORRÊA, M. R. S.; BUTTLER, A. M.; RAMALHO, M. A. **Reciclagem de materiais de construção**. Techne, Edição 152, 2009. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/152/reciclagem-de-materiais-de-construcao-286651-1.aspx>> Acesso em: 18 nov. 2016.

ISOVER. **Destino de resíduos de lã de vidro**. Disponível em: <http://isover.com.br/montagem.php?rewrite=on&s_comandos=SigiResiduos> Acesso em: 18 nov. 2016.

LEAL, C. L. D.; CASTRO, P. F. Construção de um trecho experimental em SMA usando bagaço de cana-de-açúcar como aditivo. **Revista Vértices**, v. 14, n. 3, p.71-84, 2012.

SÃO PAULO. DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO. DER-ET-P00/031. **Especificação Técnica: Concreto Asfáltico tipo SMA**. São Paulo, 2007.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM. **Gestão de resíduos na construção civil**: Redução, reutilização e reciclagem. SENAI. 2005.

SILVA, P. B. **Estudo em Laboratório e em Campo de Misturas Asfálticas SMA 0/8S**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

UTOCHKINA, E. **Heat insulation materials from environmental aspect**. 98 f. Bachelor's Thesis (Double Degree Programme in Civil and Construction Engineering), Saimaa University of Applied Sciences, Lappenranta, 2014.

VALE, A. C. ; SOARES, J. B. .Estudo Laboratorial de Misturas Asfálticas Tipo SMA Confeccionadas na Faixa 0/12,5 da Norma Americana. in: XIX Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2005, Recife. Estudo laboratorial de misturas asfálticas tipo SMA confeccionadas na faixa 0/12,5 da norma americana, 2005.