

Avaliação em laboratório da resistência ao cisalhamento na interface de camadas de mistura asfáltica reforçada ou não com geossintéticos

Leonardo Lacerda Fonseca

Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil,
leonardo.lacerda.fonseca@gmail.com

Maria das Graças Gardoni Almeida

Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, gardoni@etg.ufmg.br

Jisela Aparecida Santanna Greco

Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, jisela@etg.ufmg.br

RESUMO: O comportamento e o desempenho da estrutura de pavimento flexível é função da forma que ocorre a interação entre as diversas camadas que compõem o sistema. Com relação as camadas de revestimento, a ligação inadequada entre estas pode implicar numa inadequada distribuição de esforços que poderá refletir em danos prematuros, prejudicando as condições de serventia oferecidas aos usuários. Considerando as necessidades naturais de reabilitação e restauração de pavimentos asfálticos, dentre as diversas soluções existem aquelas que utilizam da aplicação de geossintéticos, como elemento de reforço ou antipropagação de trincas. O uso destes materiais tende a alterar a taxa adequada de emulsão no serviço de pintura de ligação. Este trabalho tem com objetivo verificar algumas das variáveis que regem as condições de aderência entre as camadas de misturas asfálticas. Para isto foi realizada uma campanha de ensaios de cisalhamento de interface com variações das taxas de emulsão asfáltica, tipos de geossintéticos (um geotêxtil e um geocomposto) inseridos entre as camadas de misturas e sob condições de envelhecimento da camada inferior do sistema. Além dos ensaios para determinação da resistência ao cisalhamento, foram procedidos ensaios de caracterização dos materiais e para verificação das condições de homogeneidades das amostras. Também foram efetuadas análises de microscopia eletrônica dos materiais antes e depois das rupturas com vistas ao melhor entendimento do processo. Os resultados obtidos mostraram que a resistência ao cisalhamento reduz com o envelhecimento da mistura asfáltica e também quando se introduz entre as camadas os geossintéticos.

PALAVRAS-CHAVE: Cisalhamento Leutner; reforço com geossintéticos; restauração de pavimentos flexíveis

1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento e análise de uma estrutura de pavimento podem se basear na teoria elástico-linear de Boussinesq e Burmister, entre outras, onde são assumidas as seguintes hipóteses: i) todas as camadas são homogêneas, isotrópicas e possuem comportamento elástico linear ao longo da sua espessura; ii) o carregamento é uniforme e distribuído sobre

carga circular; iii) existe perfeita aderência entre as camadas garantindo que o sistema funcionará monoliticamente.

Conforme exposto por Montestruque (2002), os materiais geossintéticos são aplicados na camada de revestimento asfáltico com a função de reduzir as tensões geradas nas camadas superiores e controlar o fenômeno de reflexão de trincas. Porém, relatos de problemas de escorregamentos e, portanto, não aderência

entre as camadas, neste tipo de solução são frequentes. O geossintético na interface pode configurar um ponto de fragilidade, porque as fibras que constituem o material sintético impedem o contato pleno entre as camadas (RAAB e PARTL, 2004). A presença desses materiais influencia no valor da taxa ótima de pintura de ligação em comparação com o sistema feito somente com a pintura de ligação.

A aderência inadequada entre as camadas do revestimento contrapõe a hipótese de estrutura com comportamento monolítico da teoria de Boussinesq e Burmister. Isto reflete no surgimento ou elevação das tensões de tração nas fibras inferiores das camadas asfálticas, podendo vencer o patamar de resistência do concreto asfáltico.

Assim, as taxas de ligantes utilizadas para promover a aderência entre o geossintético e as camadas asfálticas e os fatores que influenciam nesta devem ser avaliados e definidos caso a caso, mitigando as possibilidades de ocorrência de problemas de ligação inadequada e as suas consequências danosas.

Considerando o comportamento descrito, são indispensáveis a caracterização e a determinação das propriedades mecânicas dos materiais insumos, no entanto, o desempenho e os fatores que estão relacionados à interação geossintético / misturas asfálticas também devem ser estudados.

Conforme Montestruque (1996), Vanelstraete et al. (1997), Montestruque et al. (2011), Raab e Partl (2004), e Bazzarra et al. (2010), a presença de materiais geossintéticos entre as camadas de misturas asfálticas reduz a resistência na ligação entre as camadas.

A estrutura de um pavimento flexível pode funcionar de forma monolítica, permitindo que o sistema de camadas interaja e responda aos esforços solicitantes de forma conjunta. Se uma camada apresenta menor resistência que a outra, ela se deforma, porém, como está unida a uma mais resistente, esta última deverá contribuir para suportar uma parcela maior dos esforços. Assim, com a aderência entre as camadas, os esforços aos quais o revestimento sozinho sucumbiria passam a ser assimilados pelas camadas subjacentes (ABEDA, 2001).

O serviço que objetiva a aderência entre a

camadas que constituem o revestimento é a pintura de ligação. Em virtude da composição química, neste serviço são utilizadas as emulsões asfálticas, material definido como um sistema constituído pela dispersão de uma fase asfáltica em uma fase aquosa, ou então de uma fase aquosa dispersa em uma fase asfáltica (DNIT, 2013).

A falta de pintura de ligação é associada à baixa aderência entre camadas. Por outro lado, o excesso de ligante cria um filme mais espesso e deformável, que diminui o atrito e o intertravamento entre as camadas (TASHMAN, 2006, CHEN e HUANG, 2010), causando escorregamento entre elas. Estudos mostram que a falta de aderência entre camadas, seja ela causada pelo excesso ou pela falta de pintura de ligação na interface, provoca aumento de tensões na fibra inferior da camada mais superficial do revestimento (SHAHIN et al., 1986; UZAN et al., 1978, ZIARI e KHABIRI, 2007, GUIMARÃES, 2013, ROMANOSCHI e METCALF, 2001 e KRUNTCEVA et al., 2005).

Com relação a aderência entre camadas de misturas asfálticas e estas e os geossintéticos, os ensaios para avaliação podem ser agrupados em grupos que avaliam a aderência sob esforços de tração, de torque ou de cisalhamento e ainda, procedimentos destrutivos ou não. Os ensaios que se baseiam na resistência ao cisalhamento são os métodos mais comumente utilizados para verificar a aderência entre as camadas. Isto se deve à semelhança quanto ao comportamento quando comparado com casos reais de falha na aderência e deslizamento, bem como à simplicidade do método utilizado nos ensaios.

Os ensaios de cisalhamento podem ser realizados sem ou com a aplicação de força normal, ortogonal ao plano de contato entre as camadas. Em virtude da complexidade experimental associada à aplicação das cargas normal e cisalhante, vários procedimentos de ensaio de cisalhamento de interface sem força normal foram elaborados para simplificar as instalações. Entretanto, cabe frisar que, semelhante ao ensaio com força normal, também se faz presente uma distribuição não uniforme das tensões cisalhantes. Além disso, ainda existe uma certa diferença entre campo e

laboratório quanto à forma de aplicação da força cisalhante, que no laboratório é aplicada nas faces do corpo de prova, impondo um movimento entre estas e gerando um plano de corte, enquanto que no campo, as cargas são aplicadas no contato do pneumático, numa direção próxima a perpendicular ao plano de união entre as camadas (MUSLICH, 2009). Ensaio tipo cisalhamento de interface sem aplicação de força normal são referenciados ao método Leutner, sendo que os equipamentos mais utilizados são o LPDS e o LCB (RAPOSEIRAS et al., 2013).

O objetivo deste trabalho foi verificar algumas das variáveis que regem as condições de aderência entre as camadas de misturas asfálticas por meio de uma campanha de ensaios de cisalhamento de interface com variações das taxas de emulsão asfáltica, tipos de geossintéticos (um geotêxtil e um geocomposto) inseridos entre as camadas de misturas e condições de envelhecimento da camada inferior do sistema.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

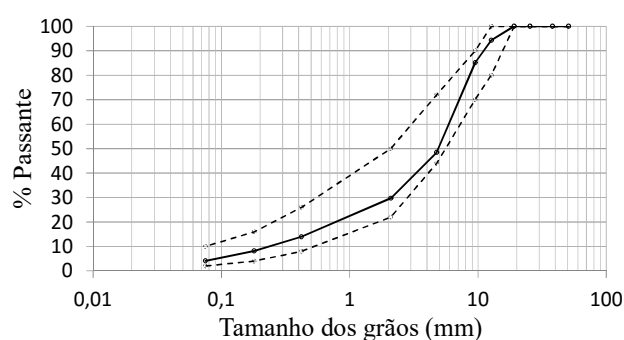
2.1.1 Mistura asfáltica

No estudo foi utilizada a mistura asfáltica densa, concreto betuminoso usinado a quente, com distribuição granulométrica dos agregados enquadrada na faixa “C” da norma DNIT 031/2006-ES (DNIT, 2006). Para tal, foram usados agregados com origem de rocha gnaisse, proveniente de pedreira comercial localizada na região metropolitana da cidade de Belo Horizonte/MG. Na Figura 1 é mostrada a faixa granulométrica adotada na pesquisa e a curva granulométrica dosada da mistura.

O ligante asfáltico utilizado na mistura foi o cimento asfáltico de petróleo (CAP) 50/70. O teor de CAP na composição foi de 5,2%, definido por meio do procedimento Marshall.

2.1.2 Emulsão asfáltica

Conforme comentado adiante, foi avaliado o reflexo da variação de taxas de pintura de



-- limites da fx C DNIT 031/2006-ES — mistura dosada

Figura 1. Características granulométricas dos materiais utilizados nesta pesquisa.

ligação nos resultados de cisalhamento de interface. O ligante asfáltico utilizado no serviço de pintura de ligação foi a emulsão asfáltica de ruptura rápida, catiônica, classificada como RR-1C. O resumo das características deste material é apresentado no Tabela 1.

Tabela 1. Características da emulsão utilizada.

Dados	Emulsão RR 1C
Resíduo	62,0%
Viscosidade Saybolt Furol	37s
Retido na peneira N° 20.	0,0%

2.1.3 Geossintéticos

Foram avaliados sistemas reforçados com dois tipos de geossintéticos: um geotêxtil e um geocomposto.

O geotêxtil utilizado é do tipo não-tecido, agulhado de filamentos contínuos, 100% poliéster. Na Tabela 2 são apresentadas as principais informações de propriedades mecânicas e físicas, conforme dados obtidos no catálogo do fabricante.

O geocomposto utilizado foi desenvolvido pela empresa fabricante especificamente para uso em sistemas de reforço e anti-propagação de trincas de camadas asfálticas. É produzido através de filamentos de poliéster e incorpora um geotêxtil não-tecido ultraleve, também em poliéster. O material é fornecido com uma cobertura de material betuminoso.

Na Tabela 3, são apresentadas as principais informações de propriedades mecânicas e físicas, conforme dados dos fabricantes.

Tabela 2. Características do geotêxtil utilizado.

Propriedade	Unidade	Valor
Resistência à tração faixa larga:	-	-
Valor na ruptura - L	kN/m	7,0
Valor na ruptura - T	kN/m	6,0
Alongamento - L e T	%	> 50
Resistência à tração grab:	-	-
Valor na ruptura - L	N	420
Valor na ruptura - T	N	350
Alongamento - L e T	%	> 50
Rasgo trapezoidal:	-	-
Valor na ruptura - L	N	190
Valor na ruptura - T	N	170
Puncionamento	N	240
Puncionamento CBR	kN	1,1
Ponto de fusão:	°C	260

Tabela 3. Características do geocomposto utilizado.

Propriedades e características	Valores
Abertura da malha	40 mm x 40 mm
Resistência à tração:	-
nominal (Long./Transv.)	50 kN/m / 50 kN/m
à 3% deformação (Long./Transv.)	12 kN/m / 12 kN/m
deformação máxima na resistência nominal (Long./Transv.)	12% / 12%
Rigidez equivalente de aderência no arrancamento	9 N/mm/mm
Resistência à temperatura:	-
ponto de fusão	250°C
encolhimento < 1%	190°C

2.2 Métodos

2.2.1 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova com formato cilíndrico foram moldados por compactação estática, em duas camadas, com dimensões finais iguais a: 8cm de altura (4cm por camada), 15cm de diâmetro.

A metodologia de moldagem é a descrita no Procedimento A, apresentado por Fonseca (2015). Em síntese, para a moldagem da primeira camada do corpo de prova, a mistura sob temperatura adequada era lançada no molde e compactada por pressão numa prensa hidráulica. Após compactação, aguardava-se o

esfriamento da mistura e então era desmontado o molde metálico. Na sequência, a primeira camada era pesada e determinado seu grau de compactação.

A primeira camada do corpo de prova novamente era inserida no molde e então realizada a aplicação da pintura de ligação nas taxas pré-estabelecidas. Após completa ruptura da emulsão era procedida a instalação dos geossintéticos e, em seguida, o lançamento e compactação da massa asfáltica para a confecção da segunda camada do corpo de prova.

Cabe ressaltar que, as taxas de aplicação da pintura de ligação utilizadas foram baseadas nas indicações do DNIT, 0,4 l/m² (DNIT, 2013), dos fabricantes dos geossintéticos e as máximas possíveis de aplicação em laboratório para cada sistema.

Após todo o procedimento de confecção do corpo de prova, este era novamente pesado e seu grau de compactação final determinado.

2.2.2 Ensaios de cisalhamento de interface

A avaliação da aderência entre as camadas asfálticas e o elemento de reforço (geossintético) foi procedida através de ensaios de cisalhamento de interface. O aparato para a execução destes ensaios foi desenvolvido durante a pesquisa segundo modelos de equipamentos já existentes e uma imagem deste é mostrada na Figura 2.



Figura 2. Aparato para realização dos ensaios de cisalhamento de interface.

O equipamento completo para a realização do ensaio de cisalhamento de interface consiste de uma prensa para ensaio Marshall adaptada a um molde padrão que possibilita o cisalhamento de corpos de prova de misturas asfálticas. A rotina de ensaio é bastante simples, consistindo na aplicação de uma carga tangencial na superfície de união entre as camadas, sob uma velocidade constante (50mm/minuto). Os resultados são: a carga máxima de ruptura e a determinação do módulo de reação de interface (k).

O programa de ensaios de cisalhamento foi realizado em três sistemas: (i) corpos de prova sem geossintéticos; (ii) corpos de prova com geotêxtil e (iii) corpos de prova com geocomposto. Além da variação do elemento de reforço nos sistemas, também foram feitas variações das taxas de pintura de ligação (emulsão asfáltica RR-1C), sendo aplicados no mínimo quatro valores para cada sistema. Afim de verificar o efeito do tempo decorrido desde a moldagem da primeira camada do CP até confecção da segunda, foram realizados ensaios em corpos de prova moldados em bases (primeira camada) envelhecidas por meio da exposição ao tempo durante o período de 6 meses.

2.2.3 Microscopia sobre os CPs rompidos

A fim de avaliar visualmente a condição do filme de cobertura de resíduo nos materiais geossintéticos e as condições dos geossintéticos após a ruptura dos corpos de prova, foram realizadas análises de microscopia óptica em uma lupa binocular, marca Callmex, modelo Q735S – TZ, com aumento de 120 vezes e com registro fotográfico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com objetivo de conferir a homogeneidade das condições de compactação dos corpos de prova, em cada camada foram realizadas as determinações das densidades para posterior cálculo dos graus de compactação (GC). Os valores determinados de GC variaram dentre 96,9% a 98,5%, sendo considerada esta faixa de 1,6% de variação aceitável para o presente

estudo.

A fim de avaliar o comportamento dos sistemas quando da inexistência da pintura de ligação, foram realizados ensaios de cisalhamento nesta condição. Os resultados iniciais obtidos superaram as expectativas, principalmente para os sistemas sem geossintéticos e aquele com geotêxtil, haja vista os altos valores de resistência alcançados. Para efeito de averiguar os resultados, foram procedidas repetições dos ensaios, que não resultaram em alterações nas magnitudes dos valores encontrados. Partindo da premissa de que as altas resistências foram obtidas porque o material betuminoso presente na 1ª camada do corpo de prova ainda estaria com suas propriedades muito próximas das originais, ou seja, o material não sofreu com processo de envelhecimento ou oxidação, foram preparadas novas amostras as quais foram expostas ao tempo (chuvas e sol) com vistas ao seu envelhecimento, por um período de 6 meses. Durante este período os corpos de prova foram colocados sobre o telhado do laboratório. Depois disto, novos ensaios foram efetuados nestes corpos de prova. Os resultados médios obtidos em todos os testes de cisalhamento de interface para os sistemas sem pintura de ligação são apresentados a seguir na Figura 3.

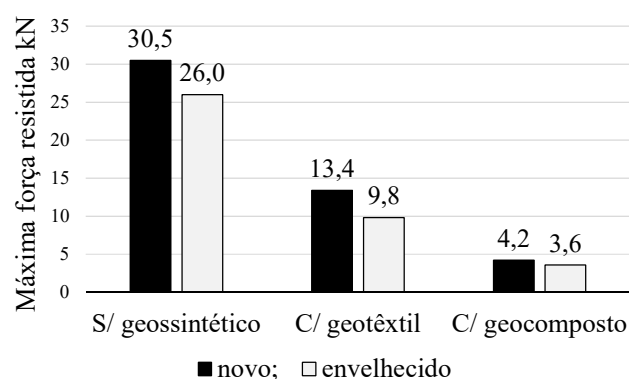
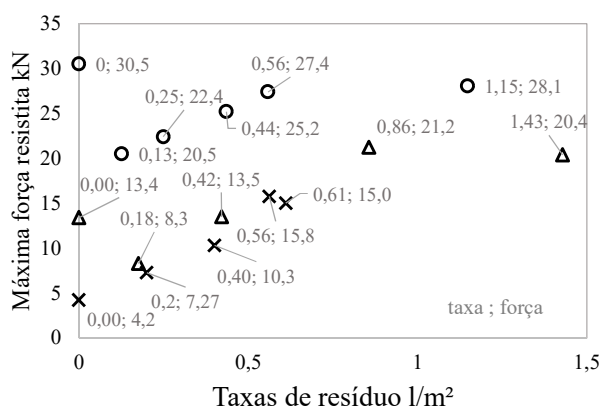


Figura 3. Resultados dos ensaios de cisalhamento sem pintura de ligação.

Conforme apresentado na Figura 3, a premissa foi confirmada pelos resultados obtidos sobre os corpos de prova envelhecidos. Ocorreram reduções de resistência em todos os sistemas estudados, em média de 15% para os sistemas sem geossintético e com geocomposto e de 27% para o com geotêxtil. Cabe ressaltar

que estas são respostas para apenas 6 meses de exposição às intempéries e, sem qualquer aplicação de esforço, principalmente abrasivo. Portanto, é previsível que para os casos de restauração de pavimentos existentes as alterações possam ser ainda maiores.

Na Figuras 4, são apresentados os valores das máximas forças resistidas nos ensaios de cisalhamento, já sendo considerado o percentual de resíduo de material betuminoso na emulsão (62%), as taxas representadas são as corrigidas para taxas de resíduo.



○ S/ geossintético × C/ geocomposto ▲ C/ geotêxtil

Figura 4. Resultados dos ensaios de cisalhamento.

Pelo exposto na figura 4, pode-se notar que ocorreram reduções dos valores de resistência quando da inserção dos geossintéticos, sendo esta tendência mais pronunciada para os sistemas com geocomposto. Cabe ressaltar que os resultados dos sistemas com geossintéticos foram muito próximos, considerando o intervalo de taxas de resíduo entre 0,18 a 0,61 l/m².

Considerando que, para sistemas de reforço com uso de geossintético o valor mínimo para a força de cisalhamento resistida é de 12 kN, a adequada aplicação da emulsão do tipo RR 1C permite reverter o fato da queda de resistência gerada pela inclusão do geotêxtil e geocomposto. Para tal, as taxas mínimas de resíduo são de 0,36 e 0,46 l/m², respectivamente para o uso de geotêxtil e geocomposto.

Outro aspecto importante a ser analisado nos ensaios de cisalhamento de interface são os deslocamentos apresentados entre as duas faces dos corpos de prova durante o carregamento. Para tal, faz-se necessária a análise dos módulos

de reação de interface (k), o qual representa a relação entre a resistência ao cisalhamento de pico (valor máximo) e o respectivo deslocamento necessário. Na Tabela 4 é apresentado o resumo dos valores que permitem a análise do modo de reação ao carregamento e forma de ruptura ocorrida.

Tabela 4. Resumo dos valores de k obtidos.

Geossintético	Valores de k (MPa/mm)	
	S/ pintura	RR 1C
Sem geossintético	0,32	0,36
Com geocomposto	0,05	0,15
Com geotêxtil	0,10	0,13

Numa análise individual por sistemas, os módulos de reação de interface não variaram significativamente com incrementos das taxas de resíduo. Entretanto, a variação dos valores de k foi perceptível com a inclusão dos geossintéticos nos sistemas. Como pode ser visto, de modo geral, quando comparados os valores de k, a ligação promovida pela emulsão se mostrou mais rígida, haja visto os valores mais elevados de k e menores deslocamentos.

Para auxiliar no entendimento do comportamento dos sistemas avaliados, em particular o nível de retenção pelas fibras do geotêxtil e do geocomposto foram analisados os corpos de prova dos ensaios de cisalhamento por meio de uma lupa com possibilidade de registro fotográfico. Imagens que ilustram o recobrimento dos geossintéticos pelo material betuminoso são mostradas nas Figuras 5 e 6.

Conforme exposto nas figuras 5 e 6, pode-se ver que a saturação dos geossintéticos não é completa. Para o geotêxtil nota-se a concentração do material betuminoso em glóbulos e no geocomposto uma deficiência numa área maior e mais concentrada.

Aspecto importante a ser comentado é a forma em que se deram as rupturas nos ensaios de cisalhamento. Ocorreram na superfície de contato entre as camadas. Nos ensaios de cisalhamento, os corpos de prova com uso de geotêxtil tiveram sua superfície de ruptura nele inserida, de tal forma que as duas camadas de misturas tinham suas faces de contato recobertas pelo geossintético. Este fato indica que a força de contato foi superior a resistência do geossintético.

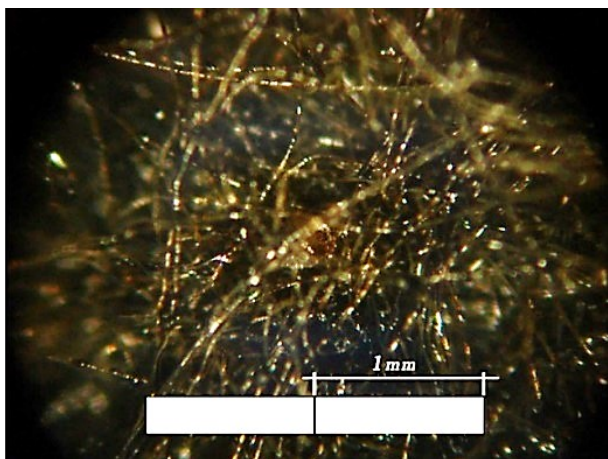


Figura 5. Imagem do corpo de prova rompido reforçado com geotêxtil.

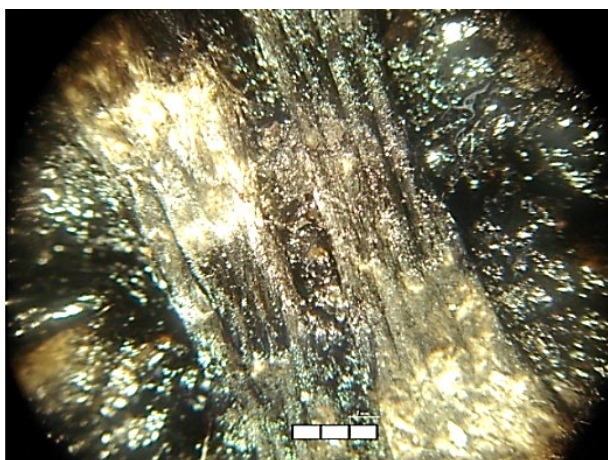


Figura 6. Imagem do corpo de prova rompido reforçado com geocomposto.

Para os CPs com uso de geocomposto, o rompimento ocorreu na ligação entre o CBUQ e as fibras do geossintético. O geotêxtil ultraleve presente entre as malhas da grelha foi totalmente danificado, sendo possível notar apenas vestígios de sua presença. Não foi possível identificar se o geotêxtil era danificado quando da moldagem ou da ruptura do corpo de prova. Foi possível notar que parte da cobertura original da grelha é arrancada, expondo suas fibras. Desta forma, entende-se que a ligação promovida pela emulsão foi eficaz.

4 CONCLUSÕES

A resistência ao cisalhamento é reduzida com o envelhecimento da mistura asfáltica. Para os sistemas sem uso de geossintéticos, os resultados obtidos para as misturas novas alcançaram valores de resistência mais elevados do que aqueles obtido nos corpos de prova com

aplicação da pintura de ligação. Esta tendência também foi observada nos sistemas reforçados com geotêxtil e geocomposto, porém, numa intensidade menor.

A inclusão dos geossintéticos reduziu os valores das resistências. O melhor desempenho foi verificado para os sistemas não reforçados, seguidos daqueles com uso de geotêxtil e geocomposto. Este comportamento é explicado pela condição de contato entre a superfície da camada asfáltica e geossintético. Para o geotêxtil a área de contato é muito maior que a do geocomposto, em que pese esta ser composta por um geotêxtil ultraleve entre suas malhas que desapareceu após a ruptura. Conclui-se que é possível a obtenção de forças de resistência ao cisalhamento superiores a 12 kN, desde que utilizadas taxas adequadas de pintura de ligação em cada caso. Para tal, as taxas mínimas de resíduo são de 0,36 e 0,46 l/m², respectivamente para o uso de geotêxtil e geocomposto, com a emulsão RR 1C.

As rupturas ocorridas nos corpos de prova utilizados sempre foram localizadas no contato entre as camadas para os sistemas sem reforço, no interior do geossintético, quando do uso do geotêxtil e, na ligação entre o geocomposto e a camada de CBUQ. O geotêxtil ultraleve presente no geocomposto não resistiu as solicitações impostas, uma vez que ele desaparece quase que na totalidade quando da verificação dos corpos de prova rompidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração das empresas CONSOL Engenheiro Consultores, HUESKER, Bidim e Petrobras, do CNPq e da FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

- ABEDA Associação Brasileira das Empresas distribuidoras de Asfaltos (2001). Manual básico de emulsões asfálticas: Soluções para pavimentar sua cidade. ABEDA, Rio de Janeiro.
- Bazarra et al. (2010). New procedure for measuring adherence between a geosynthetic material and a bituminous mixture. *Geotextiles and Geomembranes*, n. 28, p. 483 – 489.
- Chen e Huang, 2010. Effect of surface characteristics on bonding properties of bituminous tack coat. *Journal of*

- the Transportation Research Board, USA, n. 2180, p. 142 – 149
- DNIT 031/2006 – ES. Pavimentos flexíveis: concreto asfáltico – Especificação de Serviço. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT 165/2013 – EM. Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de Material. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2013.
- Fonseca, L. F. (2015). Avaliação em laboratório do comportamento de camadas asfálticas reforçadas com geossintéticos. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- Guimarães, Poliana Avelar (2013) Estudo da aderência entre camadas asfálticas de pavimentos. 189f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Kruntcheva, M. R.; Collop, A. C.; Thom, N. H. (2005). Effect of bond condition on flexible pavement performance. *Journal of Transportation Engineering*, p. 880 – 888.
- Montestruque, Guillermo (1996). Estudo de sistemas anti-reflexão de trincas na restauração de pavimentos asfálticos. 1996. Dissertação (Mestrado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA.
- Montestruque Guillermo (2002). Contribuição para elaboração de método de projeto de restauração de pavimentos asfálticos utilizando geossintéticos em sistemas anti-reflexão de trincas. 2002. 138f. Tese (Doutorado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA.
- Montestruque et al. (2011). Characterization of shear resistance with the use geogrid. In: 5th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements, Grécia.
- Muslich (2009). Assessment of bond between asphalt layers. Tese de Doutorado, Departamento de engenharia civil – The University of Nottingham, UK.
- Raab e Partl (2004). Interlayer shear performance: Experience with different pavement structures. In: 3^o Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna.
- Raposeiras, A.C.; Castro-Fresno, D.; Veja-Zamanillo, A.; Rodriguez-Hernandez, J. (2013). Test methods and influential factors for analysis of bonding between bituminous pavement layers. *Construction and Building Materials*, Spain, v. 43, p. 372 – 381.
- Romanischi e Metcalf (2001). Effects on interface condition and horizontal wheel loads on the life of flexible pavement structures. *Journal of the Transportation Research Board*, USA, n. 1778, p. 123 – 131.
- Shahin, M. Y.; Kirchner, K.; Blackmon, E. W.; Tomita, H. (1986). Effect of layer slippage on performance of asphalt concrete pavements. *Journal of the Transportation Research Board*, USA, n. 1095, p. 79 – 85.
- Tashman, L.; Nam, K.; Papagiannakis, T. (2006). Avaluation os the influence of tack coat construction factors on the bond strength between pavement layers. Washington State Department of Transportation. USA.
- Uzan, J.; Livneh, M.; Eshed, Y. (1978). Investigation of adhesion properties between asphaltic concrete layers. In: *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Flórida.
- Vanelstraete et al. (1997). Prevention of Reflective Cracking in Pavements. RILEM – Research Laboratories for Materials and Structures, report 18, Bélgica.
- Ziari, H.; Khabiri, M. M. (2007). Interface condition influence on prediction of flexible pavement life. *Journal of Civil Engineering and Management*. Vol XIII, n. 1.