

Avaliação da resistência a tração na flexão de camadas asfálticas reforçadas 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 resultado das ações do tráfego e do clima sobre a estrutura de pavimento é a sua degradação, o que reflete na queda da qualidade do desempenho oferecido ao usuário. Dentre as várias soluções de restauração de pavimentos asfálticos destacam-se as que utilizam materiais geossintéticos como elemento de reforço ou anti-propagação de trincas. Nestas soluções são usados geogrelhas, geotêxteis e geocompostos. O objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento de sistemas compostos por uma mistura asfáltica densa, tipo CBUQ faixa “C” (norma DNIT 031/2006 ES), reforçados ou não com um geotêxtil e um geocomposto. A avaliação foi realizada por meio de ensaios em laboratório de tração na flexão em vigas prismáticas, moldadas com a variação de taxas de emulsão asfáltica utilizada na pintura de ligação. Os resultados mostraram que o reforço com geossintético alterou significativamente as deflexões registradas quando do carregamento das vigas. A introdução do geossintético aumentou a resistência a tração na flexão e, a forma de propagação de trincas é dependente do tipo de reforço utilizado.

PALAVRAS-CHAVE: geossintético; reforço com geossintético; restauração de pavimentos

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de pavimento são projetadas e construídas para suportar as ações do tráfego e ambiente por um determinado período. Assim, ao final de sua vida útil possivelmente apresentem condições de serventia e estrutural inferiores àquelas iniciais, necessitando assim de serviços de restauração ou reabilitação. Dentre os diversos tipos de combinações de soluções, é crescente o número daquelas que utilizam elementos geossintéticos.

Na pavimentação, os materiais geossintéticos também podem fazer parte das soluções de novas estruturas. Podem ser utilizados como elemento de reforço de camadas, com função de separação de materiais, drenante ou filtrante em

pavimentos concebidos com propósitos específicos, como elemento de inibição de trincas provenientes de juntas de contração em casos de alargamentos de plataformas existentes.

As soluções tradicionais para implantação e restauração de pavimentos necessitam de grandes quantidades de recursos minerais naturais, dentre os quais, os materiais pétreos, que por vezes são os mais onerosos ao empreendimento. Isto posto, quaisquer que sejam as medidas que objetivam reduzir o consumo de recursos naturais elas devem ser vislumbradas como soluções de grande potencial. Assim, com a utilização adequada dos geossintéticos, cabe aqui destacar a possibilidade de redução de espessuras de

camadas da estrutura do pavimento e, também, para alguns casos, tornar viável o aproveitamento da estrutura existente reduzindo, conseqüentemente, a necessidade de demolições e bota-foras.

Tecnologias alternativas só conseguem ser disseminadas quando são muito bem embasadas e seus riscos exaustivamente avaliados. Para isto, as investigações sistemáticas de laboratório devem ser o ponto de partida do projeto, procedidas numa segunda etapa, de aplicações em campo, de modo a minimizar os riscos de insucesso, possibilitando a criação de metodologias adequadas.

Diversos autores como Montestruque (1996), Vanelstraete et al. (1997), Montestruque et al. (2011), Raab e Partl (2004), e Bazzarra et al. (2010) mostram que a inclusão do geossintético entre as camadas de misturas asfálticas pode implicar na variação da condição de aderência entre estas camadas e que isto implica no desempenho do sistema de reforço. Caso exista perda de ligação entre as camadas os danos no pavimento podem ocorrer em idade prematura.

Portanto, é justificada a necessidade de informações sobre o comportamento mecânico de misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos, especificamente com variações das condições de aderência entre as partes do sistema e sob condições de carregamento próximas daquelas que ocorrem em campo, como por exemplo, os ensaios de flexão em corpos de prova na forma de vigas prismáticas de grandes dimensões.

O serviço de pavimentação que objetiva promover a aderência entre as camadas asfálticas é a pintura de ligação, especificado pela norma DNIT 145/2012 – ES. O ligante asfáltico utilizado neste serviço é a emulsão asfáltica, recomendado por norma a emulsão do tipo ruptura rápida que, para a aplicação poderá ser diluída em água numa razão 1:1. A taxa de aplicação recomendada é aquela em que o asfalto residual resulte em 0,3 a 0,4 l/m² (DNIT, 2012).

O DNIT define o material “emulsão asfáltica” 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).

Considerando que um dos elementos componentes, o cimento asfáltico, assume a forma de pequenas partículas, considera-se que a emulsão é formada por dois líquidos não miscíveis.

O produto auxiliar utilizado na fabricação da emulsão é denominado agente emulsionante ou emulsificante. Este é capaz de reduzir a tensão superficial, de tal modo que o cimento asfáltico em forma de glóbulos possa permanecer em suspensão na água por algum tempo, evitando a aproximação entre as partículas asfálticas e sua conseqüente união (Bernucci et al., 2010).

A separação da fase água da fase asfalto é conhecida como ruptura da emulsão. O tempo necessário para que ocorra essa separação confere às emulsões características que determinam algumas das suas possibilidades de aplicação no campo, servindo, também para sua classificação quanto à velocidade de ruptura (ABEDA, 2001).

Com relação aos geossintéticos, especificamente nas obras de pavimentação, quando utilizados como elemento estrutural, as funções desempenhadas são as de reforço, separação, impermeabilização e proteção. Quando empregados com objetivo de reforço, os geossintéticos são solicitados principalmente por esforços de tração, sendo esta a aplicação utilizada nas camadas de revestimento e base. Como elemento de separação e proteção, os geossintéticos são utilizados na interface entre camadas constituídas por materiais de características geotécnicas distintas. Na impermeabilização, eles são empregados, por exemplo, para minimizar a possibilidade de infiltração de água pelas camadas superiores reduzindo a possibilidade de carreamento de finos através do processo de bombeamento.

Montestruque (2002) aponta e comenta algumas das propriedades das geogrelhas para reforço de revestimentos asfálticos:

- Aderência entre o concreto asfáltico e a geogrelha: i) os coeficientes de dilatação da geogrelha e da mistura asfáltica devem ser compatíveis para que não ocorram problemas oriundos de tensões cisalhantes produzidas por movimentos diferenciais; ii) a ancoragem necessária do geossintético na mistura asfáltica para que o mecanismo de mobilização de

resistência funcione; iii) os módulos de elasticidade da geogrelha e da mistura asfáltica devem ser compatíveis; iv) o módulo de rigidez elevado é adequado às pequenas deformações horizontais que ocorrem nas camadas de revestimento betuminoso.

- Resistência à fadiga: esta propriedade relaciona-se com a capacidade da geogrelha manter suas propriedades e a resistência ao longo de um dado período.

Quanto ao comportamento dos geossintéticos aplicados como reforço de misturas asfálticas Montestruque (2002) observou que:

- O geotêxtil atua no redirecionamento das trincas para o plano horizontal;

- A introdução da geogrelha na camada asfáltica refletiu em um aumento na vida de fadiga do pavimento em virtude da capacidade de impedir a formação de uma única trinca de reflexão que monopolize a dissipação de energia em sua extremidade. O que ocorre é que são originadas muitas microfissuras, distribuídas sobre um volume maior dentro da camada, com padrão errático de propagação e cada uma com crescimento lento. O grau de transferência de tensões ao longo das paredes de cada uma dessas microfissuras é elevado, o que auxilia na redução de sua velocidade de crescimento por atenuar a concentração de tensões em sua extremidade. A orientação aleatória das microfissuras também atua neste sentido, levando inclusive, à ocorrência de microfissuras que adquirem uma forma geométrica capaz de bloquear seu crescimento subsequente;

- Em virtude da maior rigidez, a geogrelha é mais recomendável em casos onde a atividade das trincas for elevada e a espessura total das camadas trincadas seja elevada em relação à espessura da camada de recapeamento.

Correia (2014), Antunes (2008) e Miranda (2013) realizaram em laboratório estudos de desempenho de estruturas de pavimento reforçadas com geogrelhas. Os equipamentos desenvolvidos por estes autores são caixas de grandes dimensões, que possibilitam a construção do pavimento em escala verdadeira, bem como, impor carregamentos dinâmicos controlados. Os resultados demonstraram que

com a inclusão do reforço de geogrelha as deflexões e níveis de tensões na camada de mistura asfáltica sofreram reduções. Correia (2015) menciona que ocorreu aumento de rigidez global da estrutura de pavimento com a inserção do reforço em geogrelha.

Para análise do comportamento mecânico do sistema de reforço existem várias possibilidades de ensaios laboratoriais, dentre os quais destacam-se os ensaios de carregamentos em vigas prismáticas submetidas à flexão.

A fim de comparar o comportamento de misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos, Obando (2012) realizou ensaios em corpos de prova prismáticos submetidos à tração na flexão, semelhante aos comumente realizados em concreto. Os resultados obtidos mostraram uma tendência de queda no valor da resistência à tração na flexão nos corpos de prova reforçados com geogrelhas, sob carregamento estático. O autor aponta que a redução da resistência quando da inserção do geossintético pode ser atribuída a deficiência de aderência, já que não foi avaliada a taxa ótima de pintura de ligação para cada situação.

O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência mecânica de sistemas compostos por uma mistura asfáltica densa, tipo CBUQ faixa “C” (norma DNIT 031/2006 ES), reforçados ou não com um geotêxtil ou um geocomposto por meio de ensaios de tração na flexão, com variações de taxas de pintura de ligação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Neste item são apresentados os materiais utilizados na pesquisa: mistura, emulsão asfáltica e geossintéticos.

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.

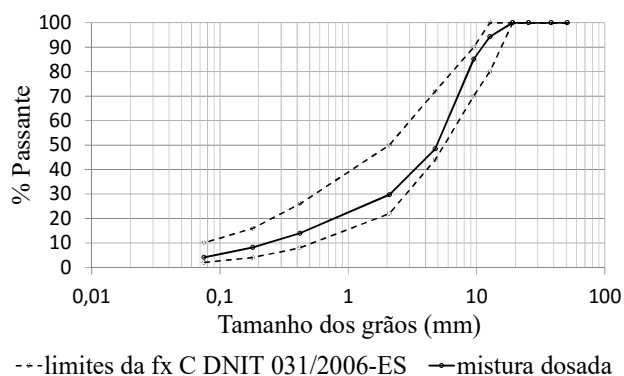


Figura 1. Características granulométricas dos agregados utilizados para a composição do CBUQ.

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 ligação nos resultados de resistência a tração na flexão. O ligante asfáltico utilizado no serviço de pintura de ligação foi a emulsão asfáltica de ruptura rápida, catiônica, classificada como RR-2C. O resumo das características deste material é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Características da emulsão utilizada nesta pesquisa.

Dados	Emulsão RR 2C
Resíduo	68,0%
Viscosidade Saybolt Furol	201s
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 expostas as principais

informações de propriedades mecânicas e físicas, conforme dados obtidos no catálogo do fabricante.

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

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

Na Tabela 3, apresentada a seguir, são expostas as principais informações de propriedades mecânicas e físicas, conforme dados do fabricante.

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

Nos tópicos seguintes são apresentados os métodos adotados no estudo. São comentados de forma separada o procedimento de moldagem dos corpos de prova (CP), das variações dos sistemas estudados e a metodologia para a realização dos ensaios de resistência à tração na flexão.

2.2.1 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados por compactação estática, em duas camadas, com dimensões finais iguais a: 10cm de altura (5cm por camada), 15cm de largura e 45cm de comprimento.

A metodologia de moldagem é a descrita no Procedimento C, 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.

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

2.2.2 Variações das taxas de pintura de ligação

No estudo foram realizadas as determinações de resistência a tração na flexão em sistemas moldados com variações de taxas de aplicação da pintura de ligação entre as camadas de mistura asfáltica e estas e os geossintéticos. A emulsão asfáltica RR-2C foi aplicada diluída em água (razão 1:1). A ordem de grandeza de

valores de taxas de emulsão para aplicação pré-estabelecida foi: 0 (zero) l/m² ; 0,5 l/m² e 1 l/m².

A conferência das taxas de emulsão aplicadas foi realizada por pesagem conforme descrito no Procedimento B apresentado por Fonseca (2015).

2.2.3 Ensaio de resistência à tração na flexão

Os ensaios para a determinação da resistência à tração na flexão em vigas prismáticas feitos neste trabalho são semelhantes aos realizados sobre corpos de prova de concreto segundo a norma ABNT NBR 12142. A metodologia seguida foi a proposta por Fonseca (2015).

O aparato para a realização dos ensaios foi desenvolvido durante a pesquisa e é mostrado na Figura 2. A principal diferença entre o molde padrão do ensaio em concreto é a altura dos apoios inferiores, tendo em vista a necessidade de maior liberdade para que ocorram as deformações. Caso fosse utilizado o aparato para ensaios em corpos de prova de concreto, com a aplicação do carregamento e consequente deformação da viga em mistura asfáltica, a amostra seria impedida de se deslocar pela base do aparato.



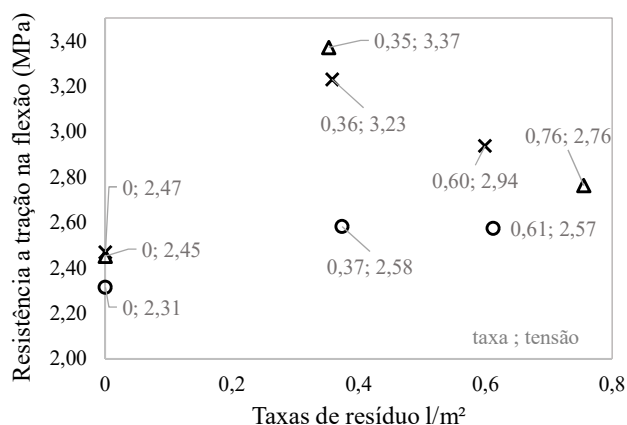
Figura 2. Imagem do aparato para o ensaio de tração na flexão.

Os ensaios de tração na flexão foram executados numa prensa Marshall, com aplicação carregamento monotônico referenciado a uma velocidade de 50mm/minuto. Nestes ensaios foram registrados os deslocamentos aplicados e as forças atribuídas a estes, por meio da utilização de LVDTs e células de carga.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para todo corpo de prova moldado, por camada, foram realizadas as determinações das densidades para posterior cálculo dos graus de compactação (GC). Este procedimento foi realizado com o intuito de minimizar interferências nos resultados causadas por heterogeneidade entre os CPs ensaiados. Os valores determinados de GC variaram dentre 97,5% a 98,9%, sendo considerada esta faixa de 1,4% de variação aceitável para o presente estudo.

Os resultados de resistência a tração na flexão, obtidos para os sistemas sem aplicação da pintura de ligação e com o uso da emulsão RR 2C, diluída em água numa razão de 1:1, são apresentados na Figura 3. Na figura 3 os valores das taxas de pintura de ligação são apresentados já corrigidos para o resíduo de material betuminoso na emulsão.



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

Figura 3. Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão.

Para cada sistema, foram observados trechos em que a resistência cresce e decresce, referindo assim, a possível existência de uma taxa ótima de resíduo. Quando comparados os sistemas sem e com uso de geossintéticos, vê-se a tendência esperada de melhores respostas com o uso dos reforços, sendo que o geotêxtil se mostrou mais eficaz que o geocomposto.

Além da avaliação de resistência, os ensaios de flexão permitiram a análise das deflexões ou deslocamentos experimentados pelos corpos de prova. Nas Tabelas 4 a 6, os valores de resistência e deslocamentos obtidos nos ensaios

de flexão são apresentados separadamente por sistemas, sem geossintéticos, com geocomposto e com geotêxtil. Além dos valores de resistência, também são indicadas as taxas de resíduo.

Após a análise dos valores apresentados nas tabela 4 a 6, nota-se que os sistemas que receberam as pinturas de ligação atingiram maior resistência e também permitiram maior deflexão antes da ruptura, tendo em vista o

Tabela 4. Resumo dos resultados dos ensaios em vigas s/ geossintético.

Emulsão	Taxa de resíduo (l/m²)	RTF (MPa)	DFM (mm)	DM (mm)	Relação: RTF / DFM
s/ emulsão	-	2,31	2,89	7,84	0,80
RR 2C	0,37	2,58	2,55	8,14	1,01
RR 2C	0,61	2,57	2,80	8,94	0,92

Nota: i) RTF – Resistência à Tração na Flexão; ii) DFM – Deslocamento Relativo a Força Máxima e iii) DM – Deslocamento Máximo.

Tabela 5. Resumo dos resultados dos ensaios em vigas com uso do geocomposto.

Emulsão	Taxa de resíduo (l/m²)	RTF (MPa)	DFM (mm)	DM (mm)	Relação: RTF / DFM
s/ emulsão	-	2,47	2,71	34,51	0,91
RR 2C	0,36	3,23	2,74	33,85	1,18
RR 2C	0,60	2,94	2,72	29,08	1,08

Nota: i) RTF – Resistência à Tração na Flexão; ii) DFM – Deslocamento Relativo a Força Máxima e iii) DM – Deslocamento Máximo.

Tabela 6. Resumo dos resultados dos ensaios em vigas com uso do geotêxtil.

Emulsão	Taxa de resíduo (l/m²)	RTF (MPa)	DFM (mm)	DM (mm)	Relação: RTF / DFM
s/ emulsão	-	2,45	3,10	16,37	0,79
RR 2C	0,35	3,37	2,67	19,52	1,26
RR 2C	0,76	2,76	2,75	18,75	1,00

Nota: i) RTF – Resistência à Tração na Flexão; ii) DFM – Deslocamento Relativo a Força Máxima e iii) DM – Deslocamento Máximo.

aumento da magnitude da relação resistência / deslocamento. Os deslocamentos máximos expostos são referentes aqueles que a carga resistente novamente se iguala a 0 MPa.

Com relação aos deslocamentos máximos listados nas tabelas 4 a 6, que são relativos a perda total de resistência, vê-se que a introdução dos geossintéticos foi capaz de promover grandes mudanças em termos de resistência residual, sendo o geocomposto o material com melhor comportamento neste aspecto.

Durante o ensaio, o padrão das trincas ocorridas sem reforço com geossintéticos foi de propagação vertical direta até a superfície do corpo de prova. Além disso, as rupturas foram bastante bruscas e num curto espaço de tempo após o surgimento da descontinuidade na face inferior do CP.

Quando do uso do geocomposto como elemento de reforço, ficou constado o seu poder para absorver significativamente as tensões relativas à trinca. Quando a descontinuidade atingiu o geocomposto, este foi capaz de absorver a trinca (esforços) e ainda conceder resistência ao sistema por um determinado período antes que a camada superficial apresentasse algum indício de trincamento. Além disso, quando do trincamento da camada superficial, a trinca foi subdividida em várias de menor abertura. Cabe ressaltar que a ruptura não foi brusca, sendo que para alguns casos o equipamento necessitou ser desligado em função do término do seu curso de trabalho sem a ruptura total do corpo de prova.

Nos sistemas reforçados com geotêxtil, as rupturas também não foram bruscas. Quando as trincas atingiram o geotêxtil, este foi capaz de alterar sua direção de propagação, desviando-a do caminho vertical para o horizontal. A trinca na camada superficial só se iniciou após o corpo de prova experimentar significativa deflexão. De modo diferente do ocorrido com o geocomposto, a trinca refletida na camada superficial foi uma única fissura. Semelhante aos ensaios executados nos corpos de prova com geocomposto foi observada a ocorrência de uma resistência residual após as rupturas.

Os comportamentos verificados para os sistemas reforçados com uso de geocomposto e geotêxtil, em termos do padrão de dissipação das trincas, é coerente com o esperado, conforme relatado por Montestruque (2002).

Obando (2012), realizou ensaios de tração na

flexão (com carregamento monotômico) em sistemas sem e com reforço de geossintéticos. Neste trabalho, o valor de resistência a tração determinada para o corpo de prova sem reforço foi superior aos demais reforçados com geogrelha. O valor médio de resistência à tração obtido foi de 1 MPa. Ressalta-se que, uma das geogrelhas (geocomposto) utilizadas por Obando (2012) foi a mesma avaliada na presente pesquisa e, as taxas de aplicação da pintura de ligação não foram variadas como neste trabalho.

Os valores de resistência alcançados por todos os sistemas ensaiados nesta pesquisa superaram significativamente os resultados obtidos por Obando (2012). Além disso, com a variação das taxas da pintura de ligação, os comportamentos verificados também são distintos dos expostos por Obando (2012), sempre obtendo valores superiores, no mínimo igual a 2,3 vezes.

4 CONCLUSÕES

No comportamento quanto a resistência à tração na flexão foi possível identificar tendência de aumento e depois redução para as taxas de pintura de ligação aplicadas. A inclusão dos geossintéticos entre as camadas de mistura asfáltica implicou em acréscimos de resistência à tração na flexão, sendo observados nesta pesquisa resultados muito semelhantes entre geotêxtil e geocomposto.

Constatou-se que o reforço com geossintético alterou significativamente as deflexões registradas. Este fato é correlacionado com as formas em que as rupturas ocorreram. Nos sistemas não reforçados, as rupturas foram bruscas, através de uma trinca única de grande abertura. O reforço com geotêxtil alterou o modo de propagação da trinca para a camada superficial sendo que a descontinuidade foi absorvida pelo geossintético e sua direção foi alterada para a horizontal. Quando o carregamento continuou, a trinca surgiu na camada superficial, no entanto, em outro ponto. O geocomposto foi capaz de absorver as tensões geradas pelas trincas até certo ponto, quando então, permitiu a propagação para a camada superficial, no entanto, as trincas surgiram com

aberturas menores e em maior número.

As diferentes formas de comportamento observadas podem estar relacionadas às características de respostas dos materiais a um dado tipo de carregamento e ensaio. As solicitações atuantes numa estrutura de pavimento, provenientes da passagem dos veículos, geram tensões que atuam no plano de união entre as camadas. No campo, são aplicadas cargas de compressão na superfície, que implicam em deformações e tensões cisalhantes no plano de interface entre as camadas. Assim, a proposta do ensaio de tração na flexão é mais próxima das condições de campo, em que pese não serem determinadas as magnitudes das tensões cisalhantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CONSOL Engenheiro Consultores pelo suporte à pesquisa. Agradecem também a HUESKER, a Bidim e a Petrobras pelo fornecimento de materiais e ao CNPq e à 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.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). *NBR 12142: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos*. Rio de Janeiro.
- Antunes, L. G. de S. (2008). *Reforço de Pavimentos com Geossintéticos*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, UNB.
- Bazarra, D.Z., Pérez, M.C., Fresno, D.C. e Zamanillo, A. V. (2010). New procedure for measuring adherence between a geosynthetic material and a bituminous mixture. *Geotextiles and Geomembranes*, n. 28, p. 483 – 489.
- Bernucci, L.B., Motta, L.M.G., Ceratti, J.A.P. e Soares, J.B. (2010). *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. PETROBRÁS, ABEDA, Rio de Janeiro.
- Correia, N. S. (2014). *Performance of flexible pavements enhanced using geogrid-reinforced asphalt overlays*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, UFSCar.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006). *DNIT 031/2006 – ES. Pavimentos flexíveis: concreto asfáltico – Especificação de Serviço*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2012). *DNIT 145/2012 – ES. Pavimentação: pintura de ligação com ligante asfáltico convencional – Especificação de Serviço*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2013). *DNIT 165/2013 – EM. Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de Material*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro.
- 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.
- Miranda, L. P. (2013). *Análise do comportamento mecânico de pavimento reforçado com geossintético sob carregamento cíclico em modelo físico de verdadeira grandeza*. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC Rio de Janeiro.
- Montestruque, G. (1996). *Estudo de sistemas anti-reflexão de trincas na restauração de pavimentos asfálticos*. Dissertação (Mestrado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA.
- Montestruque, G. (2002). *Contribuição para elaboração de método de projeto de restauração de pavimentos asfálticos utilizando geossintéticos em sistemas anti-reflexão de trincas*. 138f. Tese (Doutorado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA.
- Montestruque, G, Vasconcelos, K.L. e Bernucci, L.B. (2011). Characterization of shear resistance with the use geogrid. *5th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements*, Grécia.
- Obando, J. R. A. (2012). *Geossintéticos como reforço de revestimento em pavimentação*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, UNB.
- Raab e Partl (2004). Interlayer shear performance: Experience with different pavement structures. *3º Euraspalt & Eurobitume Congress*, Vienna.
- Vanelstraete, A.H. e Courard, L. (1997). Prevention of Reflective Cracking in Pavements. *RILEM – Research Laboratories for Materials and Structures*, report 18, Bélgica.