

IAG237-05-2013
USO DE GEOSINTETICOS PARA EL TRATAMIENTO DE REFLEXIÓN
DE FISURAS EM PAVIMENTOS FLEXIBLES
EMPREGO DE GEOSSINTÉTICOS PARA O TRATAMENTO DE
REFLEXÃO DE TRINCAS EM PAVIMENTOS FLEXIVEIS

JAIME RAFAEL OBANDO ANTE, Ms.C.
Universidade de Brasília – UnB
Brasília, Brasil
jaime_obando87@hotmail.com

ENNIO MARQUES PALMEIRA, Ph.D.
Universidade de Brasília – UnB
Brasília, Brasil
palmeira@unb.br

Resumen

El objetivo principal de una estructura de pavimento es garantizar la movilidad en cualquier época del año y en cualquier situación climática, proporcionando a los usuarios comodidad y seguridad. Un estudio realizado en el año 2012 por la confederación nacional del transporte (CNT) mostro que cerca del 46 % de las vías terrestres brasileiras necesitan intervenciones urgentes, con la finalidad de recuperar las condiciones iniciales, para desempeñar adecuadamente las funciones para las cuales fueron proyectadas. En este trabajo, es presentada una propuesta para el refuerzo da carpeta de rodadura con geosintéticos. La propuesta pretendió verificar el uso de estos materiales, para evitar el fenómeno de reflexión de fisuras entre una capa deteriorada y una sobre carpeta. Para evaluar la reflexión de fisuras, fueron ensayados cuerpos de prueba prismáticos preparados con mezcla asfáltica, compuestos por dos capas, donde la inferior represento una capa antigua y la superior, un refuerzo bituminoso. Los cuerpos de prueba evaluados, fueron reforzados con un geosintético colocado entre las dos capas. Es importante destacar que los cuerpos de prueba (en forma de viga), fueron sometidos a cargas cíclicas aplicadas por una placa metálica en el centro de la viga, siendo el ensayo terminado cuando la deformación plástica alcanzo un valor de 25 mm. Como resultado de los ensayos fue encontrado, que la presencia de los geosintéticos en capas asfálticas puede aumentar en hasta 15 veces, el número de ciclos necesarios para alcanzar la deformación preestablecida en la superficie, además de disminuir la intensidad de las fisuras generadas. En el caso del uso del geocompuesto (Malla y geotextil, con recubrimiento bituminoso), evito la reflexión de fisuras de la capa inferior para la superior.

Resumo

O objetivo principal de uma estrutura de pavimento é garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e sob qualquer condição climática, proporcionando aos usuários conforto e segurança. Um estudo realizado em 2012 pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) mostra que cerca de 46% das rodovias brasileiras precisam de intervenções urgentes, com a finalidade de recuperar suas condições iniciais para desempenhar adequadamente as funções para as quais foram projetadas. Nesta pesquisa, é apresentada uma proposta para o reforço do revestimento asfáltico com geossintéticos. A proposta, visa a verificação do uso destes materiais para evitar a reflexão de trincas entre um revestimento antigo e uma camada

asfáltica nova. Para avaliar a reflexão de trincas, foram ensaiados corpos de prova prismáticos preparados com mistura asfáltica composto por duas camadas, onde a camada inferior representou um revestimento antigo e a superior uma camada nova de revestimento (recapeamento). Os corpos de prova avaliados foram ensaiados com e sem a presença de Geogrelhas, submetidos a carregamento cíclico aplicado no centro do corpo de prova através de uma placa metálica, o ensaio foi interrompido quando o afundamento na superfície era igual a 25 mm. Como resultado dos ensaios, obteve-se que a presença de Geogrelhas pode aumentar em até 15 vezes, o número de ciclos de carregamento necessários para atingir o afundamento pré-estabelecido na superfície, além de diminuir a intensidade das trincas geradas. Já no caso do uso do geocomposto (grelha e geotêxtil, com recobrimento asfáltico), este evitou a reflexão de trincas da camada inferior para a camada superior.

1. INTRODUÇÃO

Os investimentos na estrutura rodoviária do Brasil podem atingir bilhões de reais por ano, porém estes investimentos ainda não suprem as necessidades do país. Com isto, os bens produzidos perdem competitividade devido a uma matriz modal deficiente, no qual as estradas (principal meio de escoamento da produção nacional) encontram-se em estado tal que não são capazes de atender a demanda de transporte de carga do país (Bernucci *et al*; 2006).

De acordo com o IPEA (2010), o setor rodoviário brasileiro é especialmente importante pela grande participação que tem no transporte de cargas. Ao longo das décadas 1990 e 2000, o modal rodoviário respondeu por mais de 60% do total transportado no país. A dependência excessiva do transporte de carga em relação às rodovias fica evidente quando é comparada a participação deste meio de transporte em outros países de dimensão continentais similares às do Brasil. Nos Estados Unidos, a participação das rodovias no transporte de carga é de 26%, na Austrália é de 24% e na China é de apenas 8%. No Brasil, existem hoje 1.581.104 quilômetros de rodovias, dos quais apenas 213.909 km são pavimentadas, o que representa 13,5% da malha, sendo o país com a terceira malha rodoviária mais extensa do mundo.

A manutenção do pavimento é necessária devido ao desgaste causado pelo uso, pelas intempéries e pelo esforço sobre sua estrutura, o que faz decrescer a sua serventia, assim como parte das soluções para a conservação rodoviária, esta pesquisa apresenta uma proposta para o reforço de revestimentos asfálticos usando geossintéticos.

2. MATERIAIS E METODOS

2.1 Materiais

Para a elaboração dos corpos de prova foram empregados agregados pétreos de origem calcária disponíveis no distrito federal (DF - Brasil), cimento asfáltico de petróleo (CAP) 50 – 70 e para efetuar a ligação entre a mistura asfáltica e os geossintéticos foi utilizada, uma emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida de grau de viscosidade um (RR-1C). Os principais resultados obtidos na caracterização dos materiais são descritos a continuação.

2.1.1 Agregados pétreos

Os resultados dos ensaios de caracterização do agregado pétreo são apresentados a continuação nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Análise granulométrica dos agregados pétreos

Peneira	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
% Passa	100%	99%	93%	88%	59%	33%	14%	11%	9%

Tabela 2: Caracterização física dos agregados pétreos

Nome do ensaio	Resultado	Unidade
Índice de forma	0,6	-----
Partículas fraturadas	96,0	%
Angularidade da areia	42,5	%
Equivalente de areia	64,0	%
Abrasão los Angeles	15,6	%
C _u	41,9	-----
C _c	4,3	-----

Dos resultados obtidos na caracterização dos agregados, tem-se: os materiais apresentam uma forma, limpeza, resistência à abrasão e distribuição granulométrica adequada, que permitem que o material seja utilizado para a elaboração de misturas asfálticas.

2.1.2 Cimento asfáltico

Os resultados da caracterização física do ligante asfáltico são na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização física do cimento asfáltico CAP 50 - 70

Nome do ensaio	Resultado	Unidade
Penetração	56	0,1 mm
Ponto de amolecimento	49,2	°C
Viscosidade Brookfield 135 GC-SP 21 20RPM	325	cp
Viscosidade Brookfield 150 GC-SP 21	163	cp
Viscosidade Brookfield 177 GC-SP 21	63	cp
RTFOT penetração retida	57	%
RTFOT aumento ponto de amolecimento	4,1	°C
RTFOT - Ductilidade a 25°C	> 150	cm
Ductilidade a 25°C	> 150	cm
Índice de suscetibilidade térmica	-1,1	-----
Densidade relativa a 20/4 GC	1,003	-----

Dos ensaios realizados ao resíduo, do teste que simula o envelhecimento em planta, conhecido como ensaio de película delgada rotacional (RTFOT), destaca-se que o cimento asfáltico tem pouca susceptibilidade ao envelhecimento, visto que suas propriedades antes e depois do envelhecimento apresentam pouca variação, permanecendo quase constantes. Esse fato é ratificado com o índice de suscetibilidade térmica o qual, para asfaltos convencionais, deve estar em um intervalo de – 1,5 a 0,7.

2.1.3 Mistura asfáltica

A avaliação do teor ótimo de cimento asfáltico foi realizada por meio do método de dosagem Marshall. Os ensaios foram realizados segundo as normas brasileiras do departamento de estradas de rodagem (DER). Os resultados apresentados na Tabela 4, correspondem à percentagem ótima obtida através da análise de diferentes teores de cimento asfáltico. Para a eleição do teor ótimo teve-se em conta as especificações mínimas de vazios e as características de resistência e deformabilidade (estabilidade e fluência).

Tabela 4: Resultados do teor ótimo de asfalto método de dosagem Marshall

Percentagem de agregados	(Ps)	(%)	95%
Percentagem de cimento asfáltico	(Pb)	(%)	5%
Densidade Bulk	(Gmb)	(g/cm ³)	2,404
Densidade Máxima medida Rice	(Gmm)	(g/cm ³)	2,529
Volume de vazios	(% Vv)	(%)	4,93%
Relação Betume/Vazios	(RBV)	(%)	82,0 %
Vazios do Agregado Mineral	(VAM)	(%)	14,59%
Relação filer/ligante efetivo	(RP)		2,23
Estabilidade		(N)	9751
Fluxo		(mm)	4,5
Relação Estabilidade/Fluxo		(N/mm)	2166

Dos resultados obtidos, existem quatro características que são fundamentais para determinar se a dosagem estabelecida cumpre com os requerimentos mínimos das especificações brasileiras, os requerimentos são: porcentagem de vazio entre 3% e 5%, relação betume/vazios entre 75% - 82%, Estabilidade mínima 5000 N e vazios de agregado mineral 16%. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, tem-se que a mistura asfáltica composta por 5% de asfalto e 95% de agregados encontra-se dentro dos requisitos estabelecidos na especificação DNIT 031/2006.

2.1.4 Geossintéticos

Para a realização dos ensaios foram utilizados quatro tipos de reforço: um geocomposto com recobrimento asfáltico, uma grelha metálica e duas geogrelhas de poliéster. Todos os reforços avaliados apresentam diferentes dimensões de abertura, rigidez e resistência à tração. A caracterização da rigidez secante (J_{sec}), resistência máxima à tração ($\alpha_{máx}$) e deformação máxima na ruptura ($\xi_{máx}$), foi realizada nos quatro materiais nas duas direções: direção de fabricação (MD) e na direção transversal à fabricação (CMD), conforme a norma brasileira ABNT:NBR 12824:1993, já a determinação da massa por unidade de área, foi realizada de acordo com a norma ABNT:NBR 12568:2003. Cada uma dessas geogrelhas é descrita a continuação na Tabela 5.

2.2 Elaboração corpos de prova

Os agregados foram aquecidos a uma temperatura de 160°C, para serem misturados com o cimento asfáltico que foi levado previamente a 150°C, as temperaturas foram definidas conforme a curva viscosidade – temperatura. Uma vez elaborada a mistura asfáltica e tendo atingido uma temperatura de 140°C, foi levada para o sistema de compactação composto por: uma estrutura de reação, cilindro hidráulico e bomba hidráulica manual (Figura 1 a), sendo compactada a primeira camada sob uma pressão estática de 312,5 kPa. O procedimento

anterior foi realizado com o objetivo de atingir um grau de compactação superior aos 95% com 4% de volume de vazios. Tem-se que a primeira camada foi compactada e esfriada até atingir a temperatura ambiente, logo foi instalada a geogrelha aplicando emulsão asfáltica na dosagem recomendada pelo fabricante (Figura 1 b), passados alguns minutos, iniciou-se a compactação da segunda camada com a mesma energia utilizada para a primeira camada. Já quando os corpos de prova se encontraram na temperatura ambiente foram retirados da forma, verificando seu grau de compactação com a ajuda de um densímetro elétrico (Figura 1 c). A metodologia de compactação dos corpos de prova se encontra de acordo com o procedimento empregado por diferentes autores no Brasil (Bulher, A. (2007) e Montestruque, G.E. (2002)).

Tabela 5: Caracterização dos Geossintéticos empregados

		GEOGRELHA 1	GEOGRELHA 2	GEOGRELHA 3	GEOGRELHA 4
MD	Jsec 3% (kN/m)	568	2230	1315	856
	(α máx) (kN/m)	38	49	128	55
	(ξ máx) (%)	9,1%	4,5%	14,2%	7,6%
CMD	Jsec 3% (kN/m)	644	1956	534	566
	(α máx) (kN/m)	34	49	48	43
	(ξ máx) (%)	12,1%	4,7%	11,1%	9,3%
Abertura (mm)		40 x 40	20 x 20	20 x 20	20 x 20
Gramatura (g/m²)		270	1850	440	280
Tipo de Geossintético		Geocomposto	Geogrelha metálica	Geogrelha	Geogrelha
Materia prima		PET	Aço	PET	PET

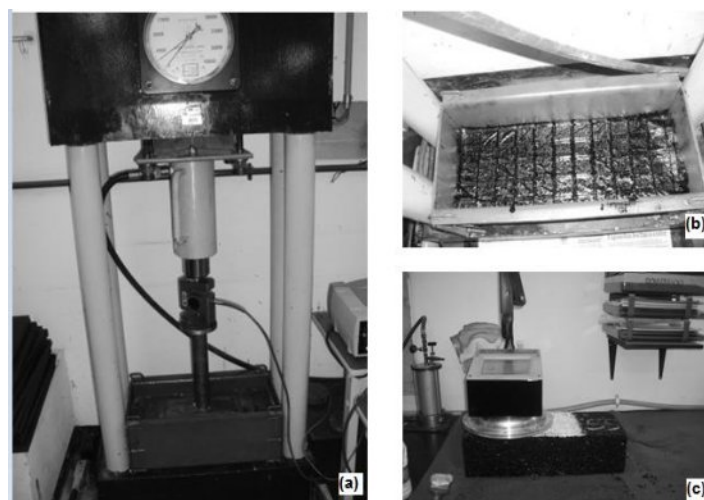


Figura 1: Elaboração corpos de prova: (a) compactação por pressão estática; (b) instalação da geogrelha; (c) verificação da densidade

2.3 Ensaios realizados

Os ensaios realizados visaram simular uma estrutura de pavimento flexível por meio de um modelo físico de laboratório, pretendendo avaliar o fenômeno de reflexão de trincas em revestimentos asfálticos, reforçados e sem reforço. Todos os ensaios foram devidamente monitorados por meio de instrumentação em locais estratégicos no corpo de prova. O modelo

físico esteve composto por: uma estrutura de reação, sistema hidráulico (conjunto motor bomba, válvula de alívio, válvula solenoide, mangueiras hidráulicas, cilindro hidráulico e temporizador), sistema de aquisição de dados e instrumentação constituída por: célula de carga e três medidores de deslocamento linear (Figura 2).

Como camada de apoio dos corpos de prova, foram utilizadas 12 placas de borracha com as seguintes dimensões: comprimento 48 cm, largura 22 cm e altura de 2,54 cm. O módulo de elasticidade de cada um das placas é de 21 Mpa, para a aplicação do carregamento quase estático, foi utilizada uma placa de aço de 20 cm de comprimento, 10 cm de largura e 2,54 cm de espessura, apoiada sobre uma placa de borracha com as mesmas dimensões (largura x comprimento) e uma espessura de 6,35 mm. Em torno da placa de aplicação de carga foram instalados três medidores de deslocamento linear e a célula de carga. O carregamento foi aplicado com uma frequência de 1 Hz e sob diferentes tensões normais (350 kPa, 450 kPa e 560 kPa), as pressões aplicadas foram definidas em função de três condições:

- *Primeira condição:* pressão de pneu aplicado pelo eixo padrão para o dimensionamento de estruturas de pavimentos, atingindo um valor de 560 kPa;
- *Segunda condição:* carga máxima para a ruptura de uma viga simplesmente apoiada, a partir de cálculos de momentos fletores e tensões na viga (350 kPa);
- *Terceira condição:* uma pressão intermediária entre as duas condições anteriores (450 kPa).

O critério de finalização foi estabelecido como o número de ciclos necessários para gerar um afundamento plástico de 25 mm na superfície do corpo de prova.

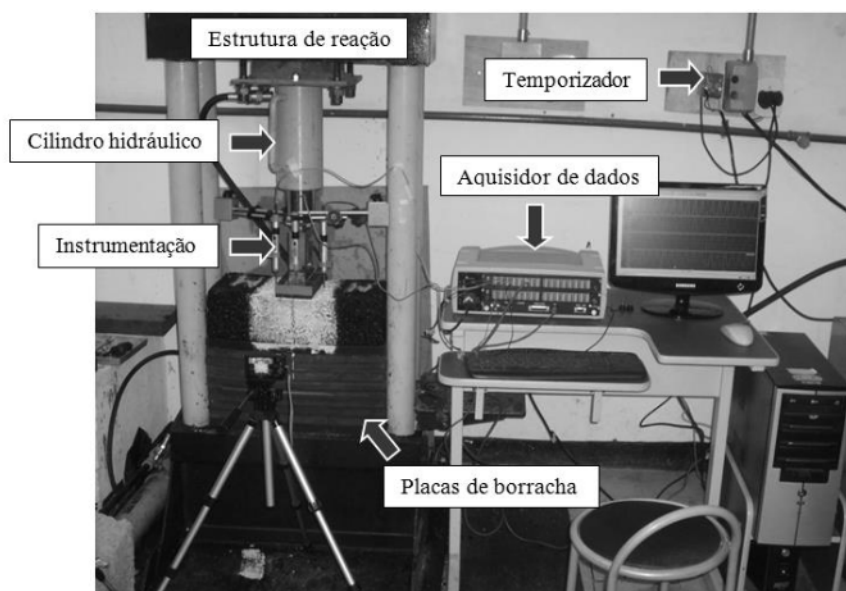


Figura 2: Equipamento para ensaios de modelo físico de vigas com e sem reforço

3. RESULTADOS

Para estabelecer o número de ciclos necessários para a reflexão de trincas foram testadas amostras sem reforço (SG), e com a geogrelha 1 (G1), geogrelha 2 (G2), geogrelha 3 (G3) e com a geogrelha 4 (G4). Na figura 3 são mostrados os resultados obtidos para cada um dos corpos de prova testados para a tensão vertical de 560 kPa, da mesma forma foram geradas gráficas para as outras duas tensões (350 kPa e 450 kPa). As gráficas visam apresentar o comportamento da mistura asfáltica reforçada e sem reforço durante a aplicação do carregamento, além de estabelecer o número de ciclos de carregamento necessários para obter o afundamento de 25 mm, na superfície do corpo de prova. Como é esperado, os corpos de prova submetidos a esforços de flexão apresentaram as primeiras trincas na base, o fenômeno de reflexão de trincas começou na camada inferior se refletiu para a camada superior.

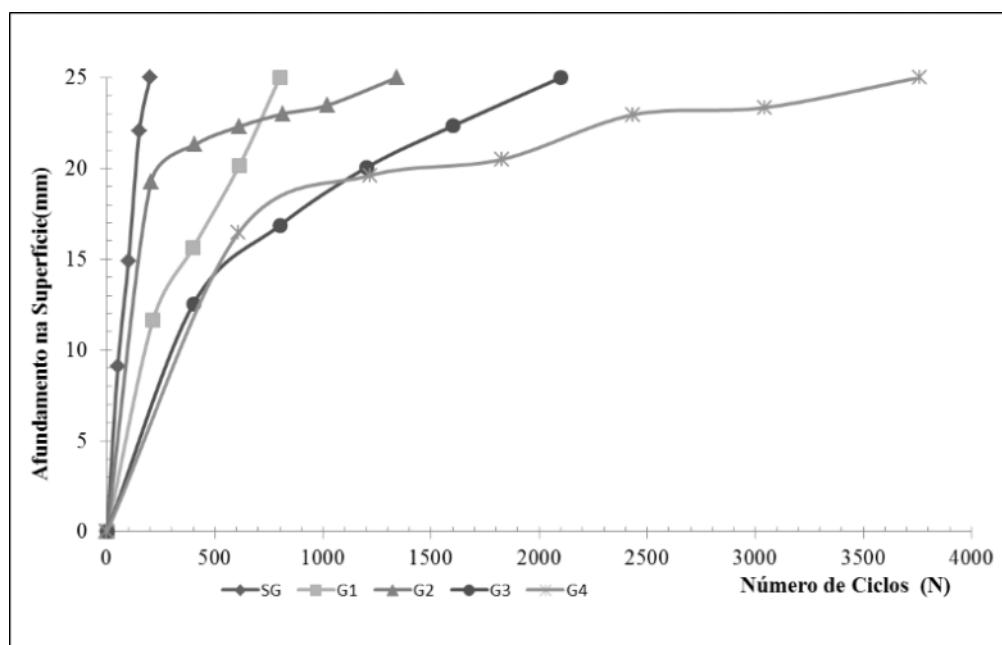


Figura 3: Afundamento na superfície *versus* número de ciclos vigas reforçadas e sem reforço, (pressão normal: 560 kPa)

A degradação do corpo de prova aconteceu na faixa que compreendia a área da placa de aplicação de tensões. Destaca-se que depois da fadiga da camada inferior, o afundamento da placa foi caracterizado por um punccionamento na camada superior. Dos resultados obtidos durante os ensaios para os corpos de prova sem reforço, foi possível observar que a mistura asfáltica atingiu o afundamento de 25 mm na superfície, pouco tempo depois de iniciado o ensaio, apresentando um comportamento aproximadamente linear para as três condições de ensaio. Para os corpos de prova reforçados com a Geogrelha 1 (G1), pode-se concluir que a presença do reforço diminui a deformabilidade da mistura asfáltica. Depois de realizado o ensaio tentou-se retirar o reforço, mas foi evidenciada sua alta aderência com a mistura asfáltica. Lembre-se que a Geogrelha 1, corresponde a um geocomposto (geotêxtil e geogrelha) impregnado com asfalto, o qual gera benefícios em relação à redução do risco de deslocamento da camada nova em relação à camada antiga devido a problemas de aderência. Para os corpos de prova reforçados com a Geogrelha 2 (G2), pode-se concluir que a presença do reforço aumentou a capacidade da mistura para suportar deformações plásticas; o principal inconveniente detectado foi a má aderência entre os materiais, sendo que a quantidade da emulsão asfáltica utilizada como liga entre a camada inferior e a grelha foi insuficiente. Os resultados encontrados para os corpos de prova reforçados com a Geogrelha 3 (G3), mostram

que a presença do reforço aumentou a capacidade do revestimento sofrer deformações plásticas; as trincas começaram de baixo para cima e, conforme os registros fotográficos, atravessaram o reforço, passando para a camada superior. Embora a grelha tenha incrementado a capacidade estrutural da camada, não foi impedimento para a reflexão de trincas para a camada superior. Foram evidenciados problemas de aderência decorrentes da pouca área de contato entre os membros da geogrelha e a emulsão asfáltica. Para os corpos de prova reforçados com a Geogrelha 4 (G4), tem-se que esta apresentou o melhor comportamento nas diferentes condições de ensaio. Pode-se concluir que a presença do reforço não obstruiu o fenômeno de reflexão de trincas; simplesmente fez com que elas demorassem mais tempo para se refletir.

A tendência geral dos resultados para os corpos de prova reforçados, mostra que a presença do reforço confere um comportamento de tipo dúctil, permitindo suportar um maior número de ciclos para alcançar o afundamento máximo de 25 mm. É importante destacar a mudança da inclinação das curvas afundamento *versus* número de ciclos, tem-se que para os diferentes tipos de reforço e configurações, aproximadamente entre 200 e 600 ciclos de carga aconteceu tal mudança. O anterior fato que coincide com a aparição das primeiras trincas na base da camada inferior. Ao comparar o ponto de mudança de tendência da curva, ele corresponde à máxima deformação para a ruptura total dos corpos de prova sem reforço.

Durante a realização dos ensaios foram efetuados registros fotográficos e vídeos para avaliar o mecanismo de ruptura dos corpos de prova. Da análise das fotografias e do vídeo, determinou-se que o mecanismo de ruptura começou com a aparição das primeiras trincas na base da camada inferior, as quais avançaram até o reforço, onde as suas progressos foram interrompidos. Já para atingir o afundamento máximo, a placa de aço punccionou a camada superior (Figura 4).

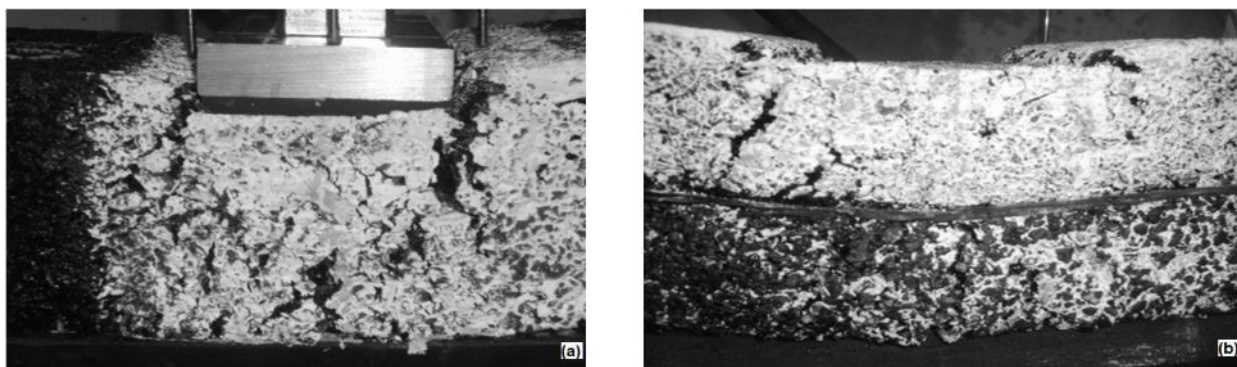


Figura 4: Corpos de prova depois do ensaio: (a) viga sem reforço; (b) viga com geogrelha 1

Diferentes pesquisadores (Komatsu *et al* (1998), Montestruque (2002), Fritzen (2005), Ferrotti *et al* (2011) entre outros) tem avaliado o uso de geossintéticos na reflexão de trincas, concluindo que: os geossintéticos podem atuar de duas formas em um revestimento: desviando as trincas ou convertendo as trincas em microfissuras ao se propagarem, portanto, o desempenho global do pavimento é melhorado, por meio de uma combinação de efeitos: atraso do trincamento por reflexão e trincas refletidas de severidade atenuada.

Na figura 5, são apresentados os resultados totais, para os corpos de prova reforçados e sem reforço, nas três condições de ensaio (560 kPa, 450 kPa e 350 kPa). Dos resultados obtidos, como esperado ao se aumentar a pressão, reduziu-se o número de ciclos necessários para os corpos se deformarem. Para os corpos de prova sem reforço, o afundamento na superfície foi

atingido pouco tempo depois de iniciado o ensaio, já para a Geogrelha 1 (G1), de maneira geral, o corpo de prova resistiu cinco vezes mais quantidade de ciclos de carga em relação à viga sem reforço, para as diferentes configurações do ensaio. Os corpos de prova reforçados com a Geogrelha 2 (G2), resistiu oito vezes mais que o corpo de prova sem a presença do reforço. Os corpos de prova reforçados com a Geogrelha 3 (G3), suportaram 10 vezes mais ciclos de carga que os corpos de prova de referência, e para os corpos de prova reforçados com a Geogrelha 4 (G4), aumentou quinze vezes a resistência do conjunto em relação às amostras sem reforço.

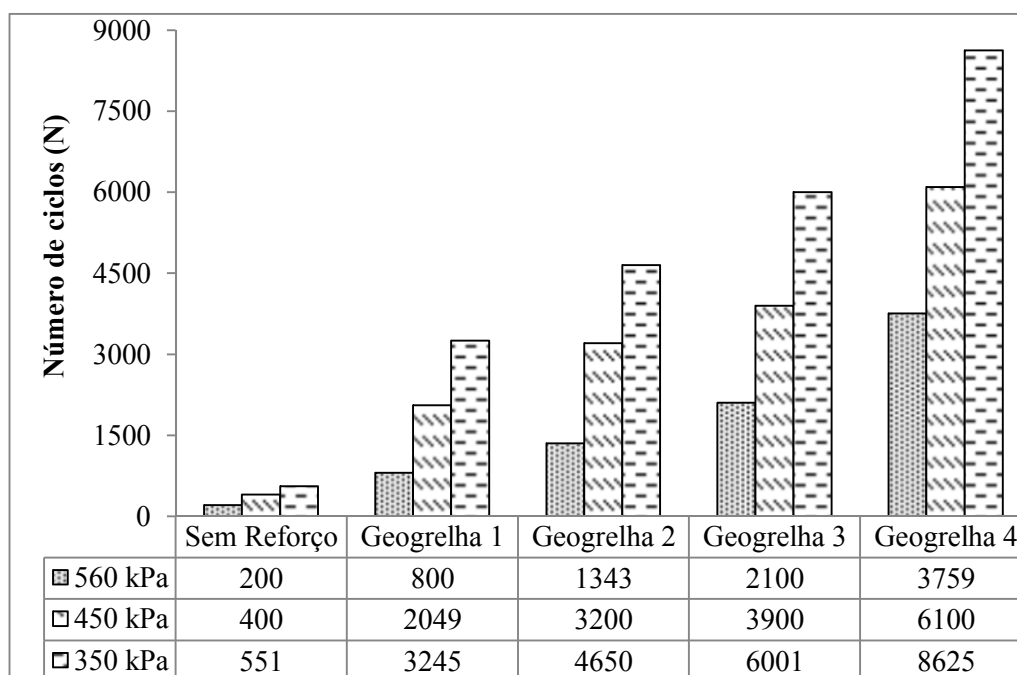


Figura 5: Resultados totais vigas com e sem reforço

Os resultados obtidos nesta pesquisa podem ser explicados, em função das características do reforço: rigidez secante, abertura, gramatura, composição do geossintético e interação entre a mistura asfáltica e o geossintético. A geogrelha que apresentou melhor comportamento em relação ao fenômeno de reflexão de trincas foi a Geogrelha 1, mesmo tendo apresentado o menor fator de eficiência, além de ter a melhor aderência ao revestimento, por ser um geocomposto com recobrimento asfáltico. Os resultados apresentados para a Geogrelha 2 mostram uma melhoria no desempenho da mistura asfáltica, mas não evitou a reflexão de trincas. Uma das maiores desvantagens apresentadas por este reforço, foi a baixa aderência com o revestimento. Ao comparar os resultados das Geogrelhas 3 e 4, evidenciou-se que a Geogrelha 4 exibiu um melhor comportamento frente às deformações plásticas, o anterior pode ser explicado pela melhor interação com a mistura asfáltica, devido a que a Geogrelha 3 apresenta um comportamento totalmente unidirecional e a Geogrelha 4, mesmo que não é bidirecional tem um comportamento muito similar nas duas direções.

4. CONCLUSÕES

- A geogrelha que apresentou melhor comportamento em relação ao fenômeno de reflexão de trincas foi a Geogrelha 1, mesmo tendo o menor fator de eficiência (5). Também observou-se que esta geogrelha teve melhor aderência com o revestimento, por ser um geocomposto com recobrimento asfáltico. A Geogrelha 1, não evitou a

reflexão de trincas, mas retardou o processo, sendo as trincas refletidas menos severas que aquelas que se formariam caso o geocomposto no estivesse presente;

- O emprego de geogrelhas como reforço de misturas asfálticas contribui para a diminuição dos afundamentos na superfície, permitindo aumentar a capacidade estrutural em até 15 vezes;
- A geogrelha metálica pode ser usada para reforçar camadas de mistura asfáltica, desde que seja garantida uma boa aderência entre a camada nova e a camada antiga.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas.

_NBR 12568: Geossintéticos – Determinação da massa por unidade de área . Rio de Janeiro, 2003.

_NBR 12824: Geotêxteis – Determinação da resistência à tração não confinada – Ensaio de tração de faixa larga. Rio de Janeiro, 1994.

Bernucci, L.B., Motta, L.M.G., Ceratti, J.A.P. (2006). Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros, PETROBRAS: ABEDA, Rio de Janeiro, RJ, pp. 504 p.

Bulher, A. (2007). Estudo do efeito de grelha de reforço na restauração de pavimentos. Tese de Doutorado, Divisão de Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, SP, 323 p.

Confederação nacional do transporte (2012), pesquisa CNT de rodovias 2012, 11 – 32 p.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de transportes.

_ DNIT 031/2006: Pavimentos flexíveis concreto asfáltico – Especificação de Serviço.

Ferrotti, G., Canestrari, F., Virgili, A., Grilli, A. (2011). A strategic laboratory approach for the performance investigation of geogrids in flexible pavements. Journal of construction and building materials. 25: 2343-2348.

Fritzen, M.A. (2005). Avaliação de soluções de reforço de pavimentos asfálticos com simulador de tráfego na rodovia rio Teresópolis. Dissertação de mestrado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 291 p.

IPEA (2010). Rodovias Brasileiras: Gargalos, Investimentos, Concessões e preocupações com o futuro, Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro, comunicados do IPEA nº 52, Brasília, DF, 1 – 20 p.

Komatsu, T., Kikuta, H., Tuji, Y. (1998). Durability assessment of geogrid-reinforced asphalt concrete, Geotextiles and Geomembranes, 16: 257 – 271.

Montestruque, G.E. (2002). Contribuição para a elaboração de método de projeto de restauração de pavimentos asfálticos utilizando geossintéticos em sistemas anti-reflexão de trinca. Teses de Doutorado, Divisão de Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, SP, 137 p.