

REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS COM APLICAÇÃO DE GRELHAS DE REFORÇO – ESTADO DA ARTE

APLICAÇÕES PRÁTICAS EM PORTUGAL E BRASIL

Filipe Dourado¹, Carla Beja²

¹ S&P Clever Reinforcement Iberica, Diretor geral, Rua José Fontana nº 76, Amora, Seixal, Portugal

email: Fdourado@sp-reinforcement.pt <http://www.sp-reinforcement.pt>

² S&P Clever Reinforcement Iberica, Departamento técnico, Rua José Fontana nº 76, Amora, Seixal, Portugal

email: Cbeja@sp-reinforcement.pt <http://www.sp-reinforcement.pt>

Sumário

A reabilitação de pavimentos rígidos ou flexíveis tem, cada vez mais, como objetivo principal dar resposta à crescente necessidade de uma gestão eficaz e sustentável dos recursos, e impulsionar o desenvolvimento de novas técnicas de reforço e de reabilitação de pavimentos rodoviários e aeroportuários, o que conduz a consequências e impactos significativos a nível social, económico e ambiental. Verifica-se em muitos casos, e após pouco tempo de utilização, que os pavimentos apresentam degradações prematuras, nomeadamente fissuração extensa, fadiga e deformações plásticas permanentes ou destacamento de estratos superficiais do pavimento. Estas anomalias têm vindo a pôr em causa as técnicas tradicionais utilizadas na reabilitação de pavimentos, sendo cada vez mais urgente recorrer a elementos estruturais que possam responder às solicitações a que os pavimentos estão sujeitos, aumentando o seu ciclo de vida. Uma nova geração de grelhas pré-revestidas de betume em fibras de vidro e carbono têm vindo a ser usadas para dar resposta a esta necessidade.

Palavras-chave: Reabilitação de pavimentos; Fibras de carbono; Fibras de vidro; Reforço estrutural; Aderência; Casos práticos de aplicação; Grelhas para reforço de pavimentos; Pré-revestimento de betume.

1 INTRODUÇÃO

A utilização das grelhas pré-revestidas de betume no reforço de pavimentos foi um passo tecnológico importante para a solução de alguns problemas na reparação de pavimentos existentes. Esta nova tecnologia aparece na sequência da existência prévia de outros materiais de reforço da mesma natureza, utilizados nas diversas áreas da engenharia, mais concretamente nas estruturas de betão armado. Destaca-se que, para esta família de materiais ser funcional, há que ter uma especial atenção na aderência destas soluções às camadas envolventes.

A aplicação de grelhas de reforço contribui para um efetivo reforço à progressão de fissuras no caso das grelhas em fibra de vidro [1], e para uma melhoria estrutural devido ao elevado módulo de elasticidade, no caso das grelhas de fibra de carbono [2]. Quer pela sua adequação aos mecanismos de rotura apresentados pelo pavimento, quer pela facilidade com que pode ser aplicada em obra, esta técnica constitui uma das respostas mais correntes às situações em que é necessária a reabilitação de pavimentos [3].

Tendo em conta a falta de normalização internacional para este tipo de reforços, pretende-se com este artigo advertir para a importância da verificação da aderência entre camadas betuminosas contíguas, apresentando alguns métodos que permitem fazer essa avaliação.

Está em curso o projeto de norma prEN 12697-48 que avalia a ligação entre camadas de pavimentos rodoviários e aeroportuários. Na sequência deste projeto de norma, foram realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, os Documentos de Aplicação, DA 82 e DA 83 [4], cujos relatórios avaliam as principais características de desempenho das grelhas pré-revestidas de betume e a sua aderência às camadas vizinhas. Para a elaboração deste documento, entre outras verificações, recorreu-se a amostras realizadas em laboratório e amostras recolhidas em campo, em pavimentos reforçados com estes materiais [5-6].

É dado também um especial foco às grelhas de fibra de carbono pelas inúmeras vantagens da sua utilização, nomeadamente pela sua contribuição estrutural. Apresentam-se mais à frente os resultados dos respetivos ensaios demonstrativos.

2 ENSAIOS DE DESEMPENHO ESTRUTURAL DE GRELHAS

Foram realizados vários ensaios no laboratório oficial de materiais da Suíça, EMPA, onde pavimentos de mistura betuminosa com diferentes tipos de reforço foram ensaiados com o objetivo de avaliar o módulo de rigidez e o comportamento à fadiga – Ensaio de flexão com quatro pontos de apoio (4PBT) conforme preconizado na norma EN 12697-24:2012. As figuras que se seguem mostram os diferentes modos de rutura.

2.1 Avaliação do comportamento à fadiga – Ensaio de flexão com quatro pontos de apoio, EMPA Suíça.

Na camada de pavimento não reforçado (Fig.1), uma fissura no centro da amostra de referência conduz a uma rutura do pavimento. A amostra do pavimento reforçado com grelha de fibra de carbono (Fig.2) demonstrou uma ótima distribuição de tensões e fissuras.

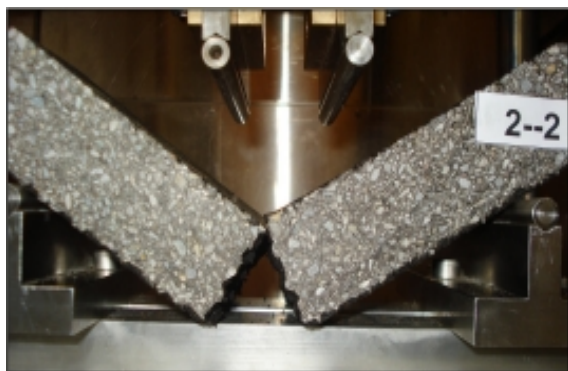


Fig.1. Proвете não reforçado [12]



Fig.2. Proвете reforçado com grelha de fibra de carbono pré-revestida de betume oxidado [12]

Neste ensaio foram comparados os desempenhos de uma grelha tradicional de poliéster, com as grelhas pré-revestidas de betume em fibra de vidro e fibra de carbono.

A grelha de poliéster com um módulo elástico de 15 kN/mm², deforma-se sob influência da carga sendo incapaz de absorver forças de tração atuantes no pavimento. A grelha de fibra de vidro pré-revestida de betume, com um módulo elástico de 70 kN/mm², absorve tensões ativas na camada do pavimento, tendo por esse motivo a capacidade de reduzir a propagação das fissuras. A carga última pode ser significativamente aumentada quando analisamos a grelha de fibra de carbono pré-revestida de betume. A grelha de fibra de carbono, com um módulo

elástico de 240 kN/mm², aumenta o valor estrutural do pavimento reforçado e melhora substancialmente a resistência à propagação de fissuras (Fig. 3).

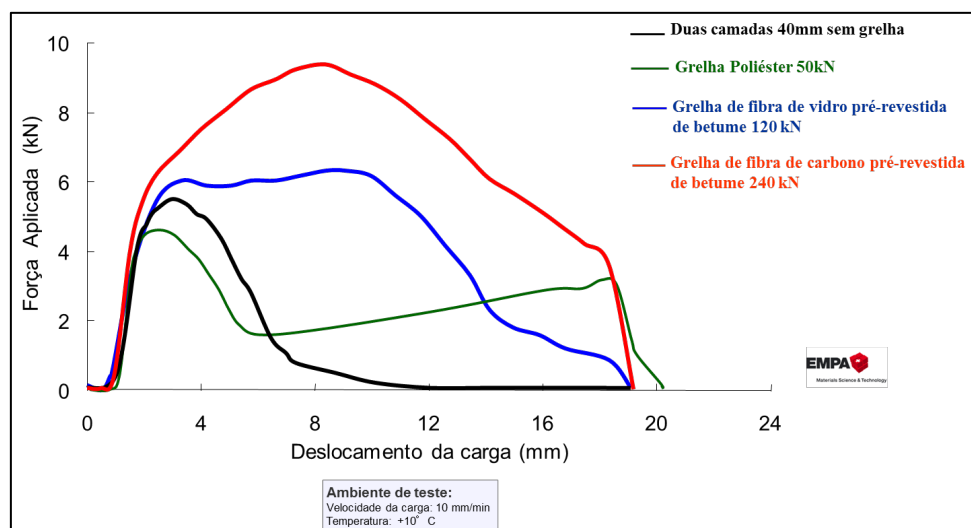


Fig.3. Ensaio comparativo entre diversos tipos de grelha [12]

2.2 Ensaio de carga dinâmica com carregamento cíclico

No centro de estudos do EMPA, na Suíça, foi comparado o desempenho de dois pavimentos: um não reforçado e outro reforçado com grelha de fibra de carbono, sob cargas cíclicas de rodados tipo (Fig. 4). Para simular a deflexão da fundação, as amostras foram aplicadas sob uma base de borracha deformável e sujeitas a 0,5 milhões de cargas cíclicas de rodados, a uma temperatura controlada de 25 °C [14].

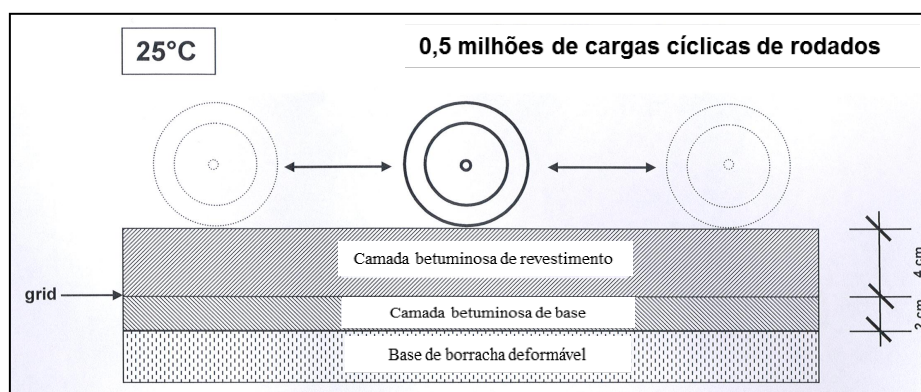


Fig.4. Carga dinâmica com carregamento cíclico [14]

Quadro 1. Constituição resumida das amostras [14]

Teste K1:	Duas camadas de pavimento sem reforço
Teste K6:	Duas camadas de pavimento reforçadas com grelha de carbono colocada a 4 cm (sub-base fresada)

Para a fresagem recorreu-se a um equipamento manual de fresas de estrelas metálicas criando uma rugosidade média de 20mm.

Foram colocados extensômetros de \varnothing 6mm de Cu-Ni alloy do tipo PMFL embebidos na base do pavimento no sentido longitudinal e transversal. Os resultados experimentais foram então modelados pelo EMPA, usando um sistema de elementos finitos. O modelo e os resultados experimentais foram comparados, tendo-se concluído que eram coincidentes. A expansão no sentido transversal ao sentido da carga foi reduzida em 33%, como resultado do reforço com grelhas de fibras de carbono.

Uma análise de modelação em elementos finitos representada nas Fig. 5 e Fig. 6, apresenta as tensões de compressão (elementos de área a azul) na frente e na retaguarda da carga do rodado, quando sujeito à carga cíclica, bem como as tensões de tração (elementos de área a vermelho, laranja e amarelo) sob a carga de rodado. Na amostra, reforçada com grelha de fibra de carbono, as forças foram absorvidas e concentradas na grelha. Assim o pavimento apresenta uma redução significativa de tensões, como demonstra este ensaio.

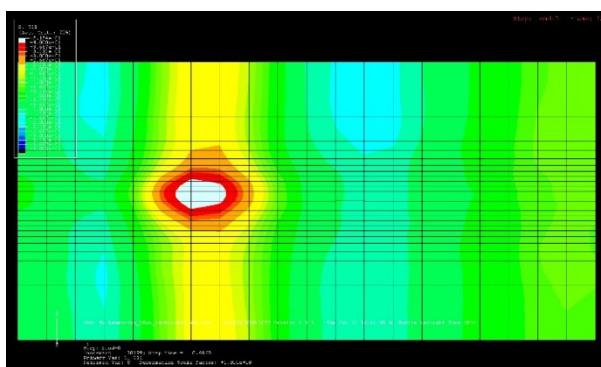


Fig.5. Sem grelha de fibra de carbono [15]

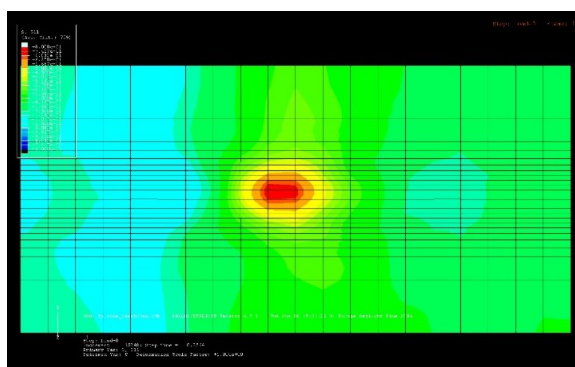


Fig.6. Com grelha de fibra de carbono [15]

3 REFORÇO DE PAVIMENTOS COM GRELHAS E A ADERÊNCIA INTERCALAR NO INTERFACE

3.1 Fatores que influenciam a ligação entre camadas

Tendo em conta a importância da aderência entre camadas para todos os pavimentos em geral, não só para o seu correto desempenho, mas principalmente para a sua durabilidade a longo prazo, é de grande importância a caracterização e identificação dos fatores que influenciam a eficiência da aderência entre camadas. Este ponto torna-se ainda mais importante para o caso particular do uso de grelhas, visto que se trata de um elemento “estranho” à constituição dos pavimentos. Em geral, os fatores que afetam a ligação entre camadas são: as condições climáticas de aplicação das misturas betuminosas, a sua constituição (agregados e betume), as emulsões de aderência (método de aplicação e taxa de aplicação), o método de construção do pavimento (limpeza das camadas subjacentes, nível de compactação, etc.), as ações sobre o pavimento e a existência de elementos de reforço. Foquemo-nos neste último ponto em particular, uma vez que todos os outros fenómenos são bem conhecidos nos pavimentos não reforçados.

3.2 Técnicas de avaliação de aderência entre camadas

Existem dois tipos de métodos de avaliação da aderência entre camadas: os destrutivos e os não destrutivos. Ambos os métodos são efetuados sobre amostras retiradas do local da obra ou em amostras representativas produzidas em laboratório.

Os métodos não destrutivos recorrem em geral à propagação de ondas. Os procedimentos de ensaio variam consoante o método utilizado, sendo que o mais comum é o *Falling Weight Deflectometer* (FWD) [7]. Este método tem a vantagem de não causar danos na estrutura do pavimento.

Os métodos destrutivos apesar de terem a desvantagem de serem irrepetíveis sobre a amostra, são o único método capaz de medir a aderência e avaliar parâmetros. Em [7] estes métodos são agrupados em 4 categorias (Fig. 7):

- Ensaios de corte;
- Ensaios de tração;
- Ensaios de torque;
- Ensaios de separação de camada em cunha

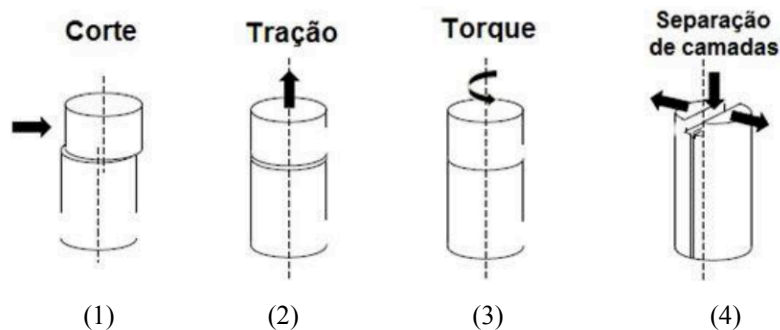


Fig.7. Métodos de ensaio destrutivos na análise de aderência entre camadas [7]

O primeiro método apresentado, o ensaio de corte direto sem carga normal, ou *shear bond test*, também conhecido por método de ensaio de Leutner, é o mais usado hoje em dia em países como a Alemanha, Suíça, Polónia e outros, visto ser o de mais fácil realização, e por se obter dados mais precisos e de mais fácil avaliação. A Fig. 8 apresenta um esquema simplificado do método, adaptado do *Manual of Contract for Highway Works* e uma fotografia do equipamento de ensaio.

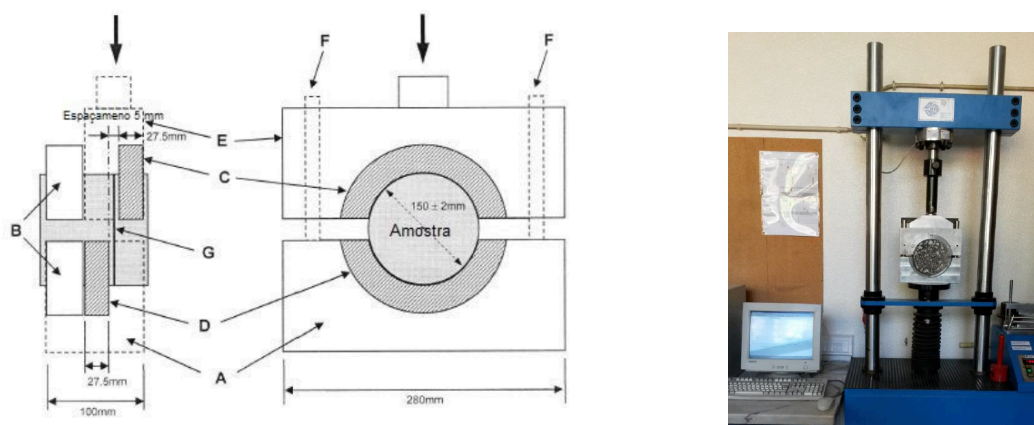


Fig.8. Equipamento de ensaio de Leutner

Como resultado dos ensaios, registam-se os valores de força de corte máxima e o seu correspondente deslocamento relacionado com a força máxima. Os valores podem ser obtidos através da equação (1);

$$\sigma_{\text{máx}} = F_{\text{máx}} / (\pi \times r^2) \times 10^3 \quad (1)$$

Em que :

$\sigma_{\text{máx}}$ - Tensão máxima de corte na interface entre camadas [MPa];

$F_{\text{máx}}$ - Força máxima na interface entre camadas [kN];

r - Raio do provete;

Pode-se ainda determinar o módulo de reação ao corte (K) ou módulo de rigidez, através da equação (2)

$$K = \sigma_{\text{máx}} / \delta_{\text{máx}} \quad (2)$$

Em que $\delta_{\text{máx}}$ é deslocamento relativo no momento de rutura na interface entre camadas [MPa];

A aderência eficaz entre camadas é um fator preponderante para o desempenho do pavimento, sendo este o veículo para as transmissões de tensões entre camadas. Desta forma consegue-se a transferência de cargas em profundidade e um desempenho adequado de acordo com o dimensionamento previsto.

De forma a garantir a aderência desejada, há que controlar todos os parâmetros mencionados que influenciam na ligação das camadas e recorrer aos métodos de ensaio que avaliam a eficácia desta ligação, sobretudo quando se aplica uma grelha intercalar. Estes ensaios, hoje em dia, são fáceis e rápidos de executar.

Apresenta-se no Quadro 2 os valores recomendados pelas normas suíças [8-9], alemãs [10] e por Sutanto [11], expressos em valores de força e tensão de rutura, calculados através da expressão (1).

Quadro 2. Valores recomendados pela bibliografia para força, tensão e deslocamento de corte [8-9], [10] e [11]

	Norma Suíça SN 640 430	Norma Alemã ZTV Asphalt - StB 07 (citada em Vaitkus et al. 2012)	Sutanto (2009)
Força de corte mínima na ligação entre camada de desgaste e camada de regularização [kN]	15	15	18
Força de corte mínima na ligação entre restantes camadas de base [kN]	12	12	9
Tensão de corte mínima na ligação entre camada de desgaste e camada de regularização [MPa]	0,9	0,9	1
Tensão de corte mínima na ligação entre restantes camadas de base [MPa]	0,7	0,7	0,5
Deslocamento na ligação entre camada de desgaste e camada de regularização [mm]	-	2,0 a 4,0	-
Deslocamento na ligação entre restantes camadas de base [mm]	-	1,5 a 3,0	-

4 DOCUMENTO DE APLICAÇÃO LNEC. CASOS PRÁTICOS DE APLICAÇÃO

O documento de aplicação (DA) do LNEC é um documento de carácter voluntário e abrange produtos com marcação CE atestando a sua eficiência e adequabilidade para o fim a que se destinam [4].

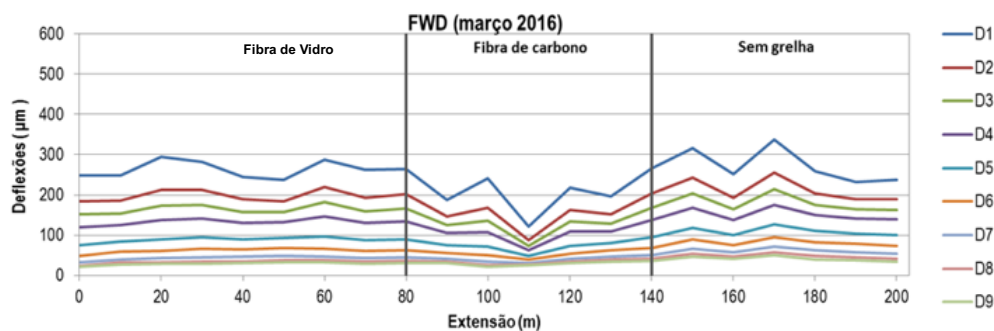
Os DA 83 e DA 82 avaliaram as características da grelha, as condições de produção e de utilização como reforço de pavimentos.

Apresenta-se um caso de estudo, de entre muitas obras escrutinadas, onde foram realizados ensaios que fazem parte deste trabalho.

4.1 Caso prático 1: Variante de Beja, Lanço G

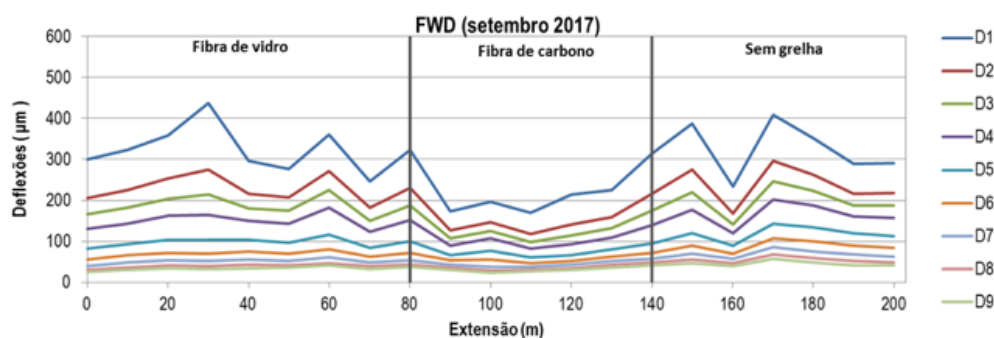
Nesta obra foram aplicados dois sistemas de reforço, grelha de fibra de vidro e grelha de fibra de carbono revestidas de betume oxidado. A intenção da aplicação destas grelhas foi no sentido de melhorar o comportamento do pavimento frente às fissurações existentes e aumentar a capacidade de cargas nos trechos onde foi aplicado a fibra de carbono. Para além de ensaios de verificação de aderência em que se obteve valores entre os 21 a 40 kN consistentes e condizentes com os valores mínimos exigíveis, foram também elaborados uma série de ensaios em laboratório e em campo para detetar o efeito do aumento de rigidez inicial do pavimento impulsionada pelo uso da grelha de carbono [5].

Destacamos deste trabalho os ensaios de FWD realizados. Na figura 9 e figura 10 apresentam-se as deflexões normalizadas, para uma força de 65 kN, obtidas nos ensaios de carga realizados em março, após um período de maior precipitação que usualmente se verifica no Inverno, e em setembro 2017, após o período de verão com temperaturas mais elevadas e menor precipitação.



Temperatura do ar: 15,4 °C a 16,5 °C ; Temperatura do pavimento: 15,0 °C a 16,9 °C

Fig.9. Medições de FWD em março de 2016 [5]



Temperatura do ar: 22,5 °C a 24,8 °C ; Temperatura do pavimento: 20,7 °C a 21,8 °C

Fig.10. Medições de FWD em setembro de 2017 [5]

No troço onde foi aplicada a grelha de fibra de carbono estas deflexões são inferiores a 300 mm. Considerou-se existir uma maior constância de comportamento entre 90 m e 130 m, sendo que os outros locais corresponderão às zonas de fronteira.

Os resultados dos ensaios de carga com FWD realizados neste caso prático, com a introdução da grelha de fibra de carbono evidenciam, portanto, uma maior homogeneidade do comportamento das camadas, expressa nos valores dos módulos de deformabilidade respectivos [5].

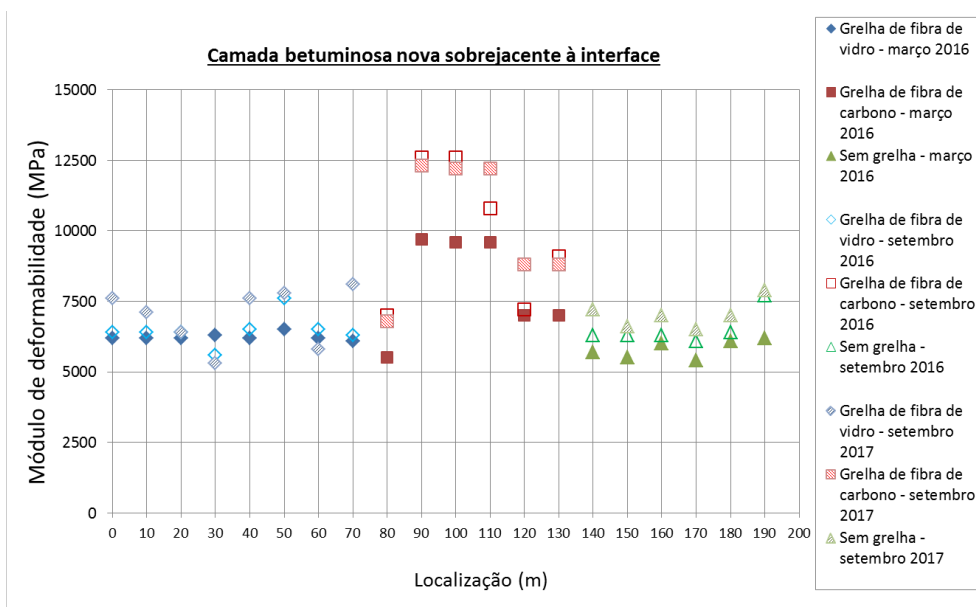


Fig.11. Módulo deformabilidade [5]

4.2 Caso prático 2: Rodovia Ayrton de Senna Km 17, Brasil

Em Abril de 2011 foram aplicadas grelhas de fibra de carbono e vidro revestidas de betume na faixa de rodagem mais solicitada, a faixa 4 do Km 17 da Rodovia Ayrton de Senna. Foram elaborados estudo que previam a remoção total do pavimento devido ao esgotamento da vida útil, da fissuração extensa, e das condições desfavoráveis de drenagem da fundação. No entanto, e por se tratar de um trecho com elevadíssimo tráfego (90.000 veículos/dia) e com restrições operacionais e de liberação ao tráfego, optou-se por uma solução alternativa de grelhas, aproveitando a oportunidade para fazer um acompanhamento [13].

De referir que este trecho era exceccionalmente problemático pois era frequentemente intervencionado com intervalos muitas vezes inferiores a um ano. Na Fig.12 podem-se constatar o estado de fissuração antes e após fresagem do pavimento.



Fig.12. Estado de degradação do pavimento antes e após a fresagem

A aplicação das grelhas foi executada em Abril de 2011 (Fig.13) tendo sido esta intervenção sujeita a inspeções regulares e periódicas para avaliação do estado de conservação do pavimento. A universidade da USP foi convidada a acompanhar estes trabalhos tendo sido feita uma campanha de ensaios de forma a permitir a verificação das condições de aderência das grelhas aplicadas. Foram removidos carotes durante as várias inspeções para verificar a aderência através do ensaio de Leutner e verificar a progressão das fissuras (Fig. 14).



Fig.13. Aplicação das grelhas



Fig.14. Remoção de carotes

De salientar que neste caso devido à reduzida dimensão dos provetes (100 mm) os resultados foram inferiores aos que teríamos com as carotes de 150 mm normalizadas, no entanto serviu como referencia e comparação. Os resultados dos ensaios confirmaram a excelente aderência das grelhas e valores dentro do expectável, conforme quadro 3.

Quadro 3. Resultados dos ensaios de aderência entre camadas [13]

Tipo de Geossintético	km	Amostra	P _{max} (kN)	Tensão _{max} (kN/m ²)
Geotêxtil Bidin com capa de 5cm	17+410	CP01		
		CP02	4,47	569,14
		CP03	4,37	556,41
		Média	4,42	562,77
		DP	0,07	9,00
		CV	1,6%	1,6%
Georelha de Vidro com capa de 5cm	17+511	CP04	6,68	850,52
		CP05	8,02	1021,14
		CP06	7,29	928,19
		Média	7,33	933,28
		DP	0,67	85,42
		CV	9,2%	9,2%
Geogrelha de Carbono com capa de 5cm	17+620	CP07	8,97	1142,10
		CP08	12,63	1608,10
		CP09	8,35	1063,16
		Média	9,98	1271,12
		DP	2,31	294,49
		CV	23,2%	23,2%
Geogrelha de Carbono com capa de 8cm	17+720	CP10	9,63	1226,13
		CP11	9,05	1152,28
		CP12	8,49	1080,98
		Média	9,06	1153,13
	17+830	CP13	6,35	808,51
		CP14		
		CP15	10,71	1363,64
		Média	8,85	1126,31
		DP	1,62	206,17
		CV	18,3%	18,3%

Após várias inspeções foram-se reportando algumas anomalias, nomeadamente pequenas fissuras, devido ao estado de saturação e elevada deformabilidade dos solos. Estas fissuras ainda se encontravam dentro dos limites considerados razoáveis para a entidade fiscalizadora. Ao fim de um ano, as faixas 2 e 3, que não foram reforçadas com grelhas, foram intervencionadas com pequenas reparações (Fig.15). E ao fim de dois anos, as mesmas faixas 2 e 3 foram totalmente intervencionadas com nova camada de desgaste. Enquanto que, o pavimento que foi reforçado com grelhas continuava em bom estado, tendo em conta os parâmetros locais. O resultado e

comportamento final do pavimento reforçado foi considerado excelente, sendo novamente reabilitado apenas ao fim de 5 anos, duplicando assim a durabilidade da estrutura.



Fig.15. Estado do pavimento reforçado e não reforçado ao fim de um ano

5 CONCLUSÕES

As grelhas têm vindo a refletir uma evolução nas técnicas de reabilitação dos pavimentos, especialmente utilizadas nos países no norte e centro da Europa. Nos últimos anos têm surgido grelhas com elevada quantidade de betume de revestimento cuja aplicação pode ser efetuada por termo-fusão, o que melhora substancialmente a aderência e o seu desempenho contra a progressão de fissuras.

As grelhas de fibra de carbono podem ser usadas, com excelentes resultados, no aumento da capacidade de carga do pavimento e integradas em pequenas espessuras de mistura betuminosa, reduzindo assim a espessura fresada de camadas existentes e a espessura total das camadas novas.

Em Portugal e no Brasil existem exemplos de aplicação com mais de 15 anos que comprovam em condições reais as potencialidades destes novos materiais de reforço.

Diversos ensaios de campo e de laboratório efetuados em vários laboratórios nacionais e internacionais, tais como o EMPA, o NPC e o LNEC, demonstram coerência nos resultados obtidos, comprovando a idoneidade destas materiais. A qualidade e o controlo da obra, bem como a definição de soluções são condições obrigatórias para se conseguir um bom desempenho destas soluções.

Considera-se ainda que existem aspetos de interesse que devem ser estudados continuamente. Nomeadamente a avaliação da influência da introdução da grelha de reforço a diferentes profundidades no pavimento, a utilização de diferentes dosagens de rega de colagem e a dimensão máxima dos agregados das misturas betuminosas subjacentes à aplicação da grelha, entre outros.

A introdução destes materiais em Portugal, continua a ser um desafio, pois a ausência de conhecimento desta tecnologia por grande parte da comunidade científica tem originado diversos equívocos e retrocessos.

6 AGRADECIMENTOS

São devidos agradecimentos às entidades *Grupo Rodoviário Rotas Regionais*, *Tecnovia*, *Ecopistas* (Brasil) e USP (universidade de são Paulo) pelo suporte dado à investigação destas soluções disponibilizando equipamentos, obras e materiais e aos laboratórios *EMPA – Materials Science and Technology* e *LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil* pelo excelente trabalho de investigação desenvolvido.

7 REFERÊNCIAS

1. Adam Zofka, M. Maleszewski & D. Maleszewska, *Road Material and Pavement Design*, Taylor & Francis, 2016
2. K. Sokolov, Dr. M. Partl, *Untersuchung der mit Kohlefaserbewehrungen verstärkten Asphaltbeläge*. Prüfbericht Nr. 439669, EMPA, 2005
3. P. Marcelino, A. C. Freire, P. Costa, *Avaliação da interface entre camadas ligadas com aplicação de grelhas de reforço de pavimentos pelo método de Leutner modificado*. 7º CRP, Lisboa, 2013
4. DA 83 - Documento de Aplicação S&P Glasphalt® G. LNEC, 2018 e DA 82 - Documento de Aplicação S&P Carbophalt® G. LNEC, 2018.
5. A. C. Freire, *Estudo para emissão de documentos de aplicação (DA) relativo à grelha de fibra de Carbono S&P Carbophalt® G. Fase 2 – Avaliação do desempenho da grelha após aplicação*. Relatório 162/2018, LNEC, 2018.
6. A. C. Freire, *Estudo para emissão de documentos de aplicação (DA) relativo à grelha de fibra de vidro S&P Glasphalt® G. Fase 2 – Avaliação do desempenho da grelha após aplicação*. Relatório 58/2018, LNEC, 2018.
7. Dr. M. Partl et al editors, *Advances in interlaboratory testing and evaluation of bituminous materials*. State-of-the-art Report of the RILEM Technical committee 206-ATB, 2012
8. SN 640 430, *Enrobés bitumineux compactés. Conception, exécution et exigences relatives aux couches en place*. Norme Suisse, 2013.
9. VSS, *Enrobés bitumineux compactés Conception, exécution et exigences relatives aux couches en place*, Recherche et normalisation en matière de route et de transports, Norme Suisse SN 640430:2013, Association suisse des provisionnels de la route et des transports, Zürich, 2008.
10. A. Vaitikus et al., *Research of asphalt layer bonding in Lithuanian pavement structures*. Gradevinar, 64 (11), pp. 915-921, 2012.
11. M. H. Sutanto, *Assessment of bond between asphalt layers*. Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy, Nottingham, 2009.
12. Hyunwook Kim, *Fracture Investigation of Fiber-Interlaid Asphalt Concrete using modified four-point Bending Beam fracture Test*, EMPA 2008.
13. S&P – Clever Reinforcement Brasil, *Recuperação de pavimentos asfálticos com grelhas pré-betuminadas S&P*. Relatório técnico, São Paulo, 2016
14. M.N.Partl & K. Sokolov & H.Kim, *Evaluating and Modelling the effect of Carbon Fiber Grid Reinforcement in a Model Asphalt Pavement*, CICE Zurich 2008 .
15. J.Sherer , *Durable asphalt surface with high crack resistance*, Enviroad 2009.