

REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS COM APLICAÇÃO DE GRELHAS DE REFORÇO - AVALIAÇÃO DA LIGAÇÃO ENTRE CAMADAS

Ana C. Freire¹

¹ Departamento de Transportes, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, acfreire@lnec.pt

Sumário

Foi realizado um estudo comparativo do comportamento de diferentes interfaces entre camadas, definidas entre camadas betuminosas adjacentes, com introdução de diferentes elementos de reforço (grelhas de fibra de vidro e de fibra de carbono) e em diferentes condições de aplicação (mecânica ou manual), através da avaliação laboratorial da tensão de corte. Nesta comunicação apresentam-se as principais conclusões obtidas, referindo-se uma análise comparativa do desempenho dos diferentes tipos de grelhas aplicadas como reforço de pavimentos e/ou para limitação da propagação de fendas e apresentação do método de Leutner modificado usado na avaliação da interface.

Palavras-chave: Reabilitação de pavimento; Grelhas de reforço; Ensaio de corte.

1 INTRODUÇÃO

A reabilitação das infraestruturas rodoviárias tem como principal objetivo a recuperação das características estruturais e funcionais de modo a repor as condições de serviço e a respetiva vida útil. No que respeita à reabilitação estrutural esta é habitualmente concretizada através da aplicação de uma nova camada de materiais betuminosos ou da remoção das camadas betuminosas cujo desempenho está comprometido e a colocação de novas camadas betuminosas [1], [2].

Os métodos de reabilitação de pavimentos consideram usualmente a eliminação do fenómeno da propagação de fendas com a remoção das camadas fendilhadas e a reposição, com misturas betuminosas novas, previamente à execução de uma camada de reforço do pavimento. Normalmente os materiais e a espessura das camadas constituintes dos pavimentos são selecionados tendo em consideração a disponibilidade económica, as condições de tráfego, a vida útil a as condições climáticas a que o pavimento será sujeito. Esta escolha é também função do conhecimento das propriedades dos materiais e das respetivas interfaces. Recentemente, tem-se observado a aplicação de diversas técnicas de reabilitação de pavimentos que dispensam a eliminação das camadas fendilhadas através de fresagem, e que promovem a introdução de medidas retardadoras da propagação das fendas à camada de reforço sobrejacente através da colocação de grelhas de reforço [2-3].

As técnicas utilizadas recorrem à introdução de elementos bidimensionais, aplicados entre a superfície do pavimento existente e a camada de reforço, designadas por interfaces anti fissuras. A principal função destes elementos é a de absorver a concentração de tensões geradas na interface entre as camadas fendilhadas existentes e as de reforço e impedir a propagação do fendilhamento existente, às camadas sobrejacentes [1-3].

A ligação entre camadas constitui pois um dos aspetos fundamentais no desempenho estrutural dos pavimentos. Refletindo a capacidade que os pavimentos têm de funcionar de um modo global, a correta consideração do grau de ligação entre as camadas betuminosas tem influência não só na forma como os pavimentos são modelados numericamente, como também na forma como estes se comportam durante o seu ciclo de vida [3-4].

Foi realizado um estudo comparativo do comportamento de diferentes interfaces entre camadas, definidas entre a camada betuminosa superior e a camada betuminosa subjacente, com a aplicação de diferentes elementos de reforço (grelhas de fibra de vidro e grelhas de fibra de carbono) e em diferentes condições de aplicação (com aplicação mecânica ou manual e ainda sobre camadas betuminosas novas ou fresadas), através de ensaios laboratoriais para avaliação da tensão de corte nas superfícies de ligação entre as camadas ligadas dos pavimentos.

Nesta comunicação apresentam-se as principais conclusões decorrentes do estudo desenvolvido, referindo-se uma análise comparativa do desempenho dos diferentes tipos de grelhas aplicadas como reforço de pavimentos e/ou para limitação da propagação de fendas com origem na camada subjacente, através da realização do ensaio de Leutner modificado para a avaliação da interface de ligação.

2 AVALIAÇÃO DA TENSÃO DE CORTE DA LIGAÇÃO GRELHA/MISTURA BETUMINOSA – ENSAIO DE LEUTNER MODIFICADO

Foi avaliada a ligação entre as camadas betuminosas de tarolos colhidos em diversos pavimentos rodoviários, nomeadamente da Autoestrada A6 - Évora Poente/Évora Nascente, da Estrada da Castanheira - Ferreira do Zêzere e da Variante de Beja – ACE – lanço G, com a aplicação da grelha de fibra de vidro.

Foi também avaliada a ligação entre as camadas betuminosas dos tarolos colhidos do pavimento do *Taxiway S1* – Aeroporto de Lisboa e da Variante de Beja – ACE – lanço G, com a aplicação da grelha de fibra de carbono.

A grelha da fibra de vidro aplicada neste estudo é constituída por uma fibra sintética, composta por filamentos de vidro (nas direções longitudinal e transversal). A produção destas fibras resulta da aglomeração dos filamentos de vidro com resina poliéster, aplicando-se uma substância catalisadora para facilitar a polimerização dos materiais. Esta grelha é ‘pré-revestida’ sendo impregnada em betume oxidado com o objetivo de melhorar a capacidade de ligação da grelha às camadas de pavimento, promovendo uma maior adesão entre a grelha e o pavimento, condição fundamental para um bom desempenho após a sua aplicação.

A grelha de fibra de carbono aplicada é constituída por uma fibra sintética, composta por filamentos de vidro (direção longitudinal) e por filamentos de carbono (direção transversal). Os filamentos de carbono utilizados são do tipo Tenax® UTS, os quais permitem maiores alongamentos e resistências de tração que os filamentos correntes, sendo, por isso, adequados para aplicações especiais. Estes filamentos são agrupados constituindo feixes de filamentos. Esta grelha é também ‘pré-revestida’ sendo impregnada em betume oxidado.

As grelhas foram aplicadas em trechos experimentais construídos para o efeito, tendo sido aplicadas de duas formas distintas: mecanicamente ou manualmente (Figura 1). Todos os procedimentos construtivos adotados foram os habitualmente adotados na construção rodoviária.



Fig.1. Aplicação mecânica e aplicação manual de grelhas de fibra de vidro e de fibra de carbono

A avaliação laboratorial da ligação da interface grelha/mistura betuminosa foi feita através do ensaio para a determinação da tensão de corte, pelo método descrito no Appendix A.1 do *Manual of Contract Documents for Highway Works, SERIES 900 Road pavements – bituminous bound materials, 954 (08/08) Method for Laboratory Determination of Interface Properties Using the Modified Leutner Shear Test* (MCHW Series, 2008), designado por ensaio de Leutner modificado [5]. O ensaio foi realizado sobre tarolos com cerca de 150 mm de diâmetro, a uma temperatura de $20,0 \pm 0,5$ °C, após condicionamento dos tarolos àquela temperatura durante 5 horas.

No Quadro 1 apresentam-se as características dos pavimentos onde foi aplicada a grelha de fibra de vidro, com a identificação da sua localização e ainda da metodologia de aplicação – mecânica ou manual. No Quadro 2 apresentam-se as características dos pavimentos onde foi aplicada a grelha de fibra de carbono, com a identificação da sua localização e do tipo de aplicação. Na Figura 2 e na Figura 3 apresenta-se o aspeto dos tarolos colhidos dos pavimentos do trecho da Variante de Beja, com aplicação de grelha de fibra de vidro e do trecho do *Taxiway S1*, com incorporação de grelha de fibra de carbono, respetivamente [6-7].

Quadro 1. Características dos pavimentos com aplicação de grelha de fibra de vidro e tipo de aplicação [6]

Obras	Constituição do pavimento		Tipo de aplicação da grelha
Autoestrada A6 - Évora Poente/Évora Nascente	<i>A6 – plena via</i>	<i>Trecho experimental</i>	Mecânica
	AC 20 base 35/50 (MB) macadame betuminoso fuso A com 10% de material fresado	AC 14 surf 45/80 - 65 (BBr)	
	<i>Aplicação de grelha de fibra de vidro</i>	<i>Aplicação de grelha de fibra de vidro</i>	
	Emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida termoaderente com ligante do tipo <i>Styemul Adherencia</i> (C60BP4)® Taxa de aplicação de rega de colagem – 450 g/m ²	Emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida termoaderente com ligante do tipo <i>Styemul Adherencia</i> (C60BP4)® Taxa de aplicação de rega de colagem – 350 g/m ²	
	Camada betuminosa existente fresada	AC 20 base 35/50 (MB) macadame betuminoso fuso A com 10% de material fresado	
Estrada da Castanheira	AC 20 surf 50/70 (BBr)		Mecânica
	<i>Aplicação de grelha de fibra de vidro</i>		
	Emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida termoaderente (C60BP4) Taxa de aplicação de rega de colagem – 500 g/m ²		
	Microfresagem da faixa de rodagem		
Variante de Beja – ACE – lanço G (trecho experimental)	AC 14 surf 35/50 (BBr)		Mecânica
	AC 20 bin 35/50 (MB), com incorporação 20% de material fresado		
	<i>Aplicação de grelha de fibra de vidro</i>		
	Emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida termoaderente com ligante do tipo <i>Styemul Adherencia</i> (C60BP4)® Taxa de aplicação de rega de colagem – 350 g/m ²		
	Camada betuminosa existente fresada parcialmente		
	AC 14 surf 35/50 (BBr)		

Quadro 2. Características dos pavimentos com aplicação de grelha de fibra de carbono e tipo de aplicação [7]

Obras	Constituição do pavimento		Tipo de aplicação da grelha
Taxiway S1 – Aeroporto de Lisboa (trecho experimental)	SMA 11 surf PMB 45/80-65 (BB)		Manual
	AC 14 reg 35/50 (BBr)		
	AC 20 base 35/50 (MB)		
	<i>Aplicação de grelha de fibra de carbono</i>		
	Emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida termoaderente com ligante do tipo <i>AntistickPlusDo0029</i> (C60BP4TER)® Taxa de aplicação de rega de colagem – 400 g/m ²		
	AC 20 base 10/20 (MBAM)		
	Agregado Britado de Granulometria Extensa (ABGE)		
Variante de Beja – ACE – lanço G (trecho experimental)	AC 14 surf 35/50 (BBr)		Mecânica
	AC 20 bin 35/50 (MB), com incorporação 20% de material fresado		
	<i>Aplicação de grelha de fibra de carbono</i>		
	Emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida termoaderente com ligante do tipo <i>Styemul Adherencia</i> (C60BP4)® Taxa de aplicação de rega de colagem – 350 g/m ²		
	Camada betuminosa existente fresada parcialmente		
	AC 14 surf 35/50 (BBr)		



Fig.2. Aspeto geral dos tarolos colhidos do trecho da Variante de Beja, com aplicação de grelha de fibra de vidro [6]

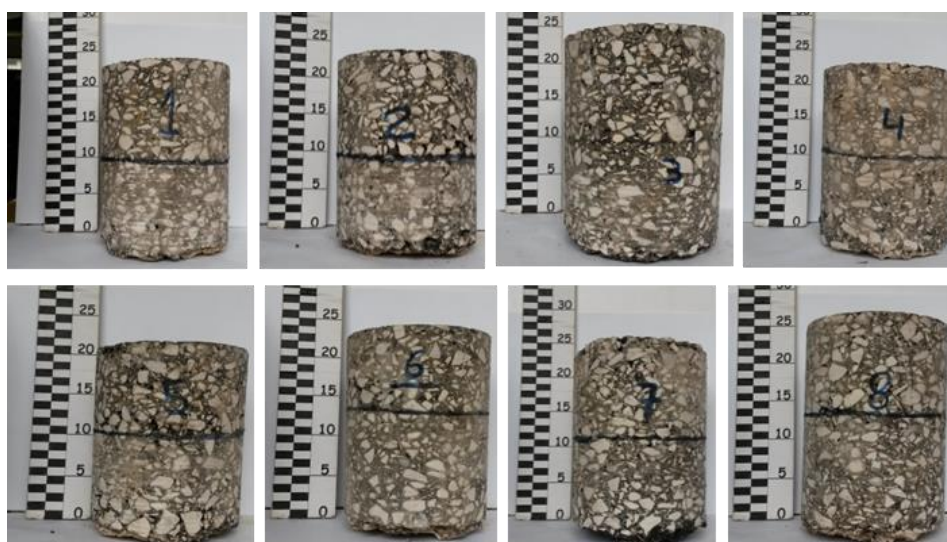


Fig.3. Aspeto geral dos tarolos colhidos do trecho do *Taxiway S1*, com incorporação de grelha de fibra de carbono [7]

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Com base na bibliografia disponível sobre a avaliação da interface de ligação entre as camadas, apresentam-se no Quadro 3 os valores limite preconizados por vários autores e ainda os constantes da normalização suíça e alemã, obtidos em ensaio de Leutner modificado. Os valores da tensão de corte, força de corte e deslocamento na ligação entre as camadas são apresentados em função do tipo de camadas em avaliação.

Nas Figuras 4 e 5 apresenta-se a frequência de ocorrência da força de rotura, obtida no ensaio de Leutner modificado, para os diversos tarolos ensaiados laboratorialmente e colhidos das várias obras acompanhadas neste estudo onde se verificou a aplicação da grelha de fibra de vidro e de fibra de carbono, respetivamente.

Quadro 3. Valores limite preconizados na bibliografia para avaliação da ligação entre camadas

Característica	Norma Suíça SN 640 430 [8], [9]	Norma Alemã ZTV Asphalt – StB 07 [10]	[11]
Força de corte mínima na ligação entre a camada de desgaste e a camada de regularização (kN)	15	15	18
Força de corte mínima na ligação entre as restantes camadas de base (kN)	12	12	9
Tensão de corte mínima na ligação entre a camada de desgaste e a camada de regularização (MPa)	0,9	0,9	1
Tensão de corte mínima na ligação entre as restantes camadas de base (MPa)	0,7	0,7	0,5
Deslocamento na ligação entre a camada de desgaste e a camada de regularização (mm)	---	2,0 a 4,0	---
Deslocamento na ligação entre as restantes camadas de base (mm)	---	1,5 a 3,0	---

Da observação da Figura 4(a), relativa à aplicação da grelha de fibra de vidro, verifica-se que, em termos dos valores dos ensaios de Leutner modificado realizados sobre os tarolos da A6, todas as amostras apresentam valores de resistência ao corte superiores a 21 kN, cumprindo largamente os valores limites preconizados na bibliografia (Quadro 3).

Da análise do conjunto global de tarolos ensaiados, em termos de forças de corte, verifica-se que cumprem o valor de 9 kN proposto por Sutanto [11] para a resistência ao corte de camadas de base, conforme os valores apresentados no Quadro 3, sendo que nenhum dos provetes ensaiados apresentou uma resistência ao corte inferior ao limite mínimo de 12 kN exigido pelas normas Suíça e Alemã [8-10] para camadas de base. A nível nacional, refere-se a concessionária Brisa que apresenta nas suas cláusulas técnicas especiais valores limites para a aderência ao corte pelo ensaio de Leutner, devendo este valor ser superior a 12 kN para pavimentos não fresados e superior a 15 kN para pavimentos fresados [12], tendo os valores obtidos para os tarolos da A6 cumprido estes limites.

Dos resultados apresentados na Figura 4(b), correspondendo à Estada da Castanheira onde foi aplicada a grelha de fibra de vidro sobre camada microfresada, verifica-se que, em termos dos resultados obtidos por provetes de ensaio, existe um intervalo de resistência ao corte entre 11 kN e 15 kN (correspondendo a um valor individual de 12,7 kN), cumprindo assim o preconizado para a aplicação da grelha entre as restantes camadas de base.

Da análise da Figura 4(c), relativa à Variante de Beja, com a aplicação da grelha de fibra de vidro sobre camada fresada, observa-se que, em termos de resultados por provetes de ensaio, todas as amostras apresentam valores de resistência ao corte superiores a 16 kN, cumprindo os valores limites preconizados na bibliografia para a aplicação realizada, apresentados no Quadro 3.

Da análise da Figura 5(a), com a aplicação de grelha de fibra de carbono sobre camada betuminosa existente, observa-se que, em termos dos valores dos ensaios de Leutner modificado realizados sobre os tarolos do *Taxiway* S1, cerca de 70% das amostras apresentam valores de resistência ao corte superiores a 21 kN, cumprindo largamente os valores limites preconizados na bibliografia. Anota-se que a aplicação da grelha de fibra de carbono foi aplicada manualmente neste trecho experimental, o que poderá justificar a maior variabilidade dos resultados obtidos.

Dos resultados apresentados na Figura 5(b), obtidos para os tarolos da Variante de Beja, com a aplicação de grelha de fibra de carbono sobre camada fresada, verifica-se que todos apresentam valores de resistência ao corte superiores a 21 kN, cumprindo também o preconizado na bibliografia para a aplicação da grelha em apreço.

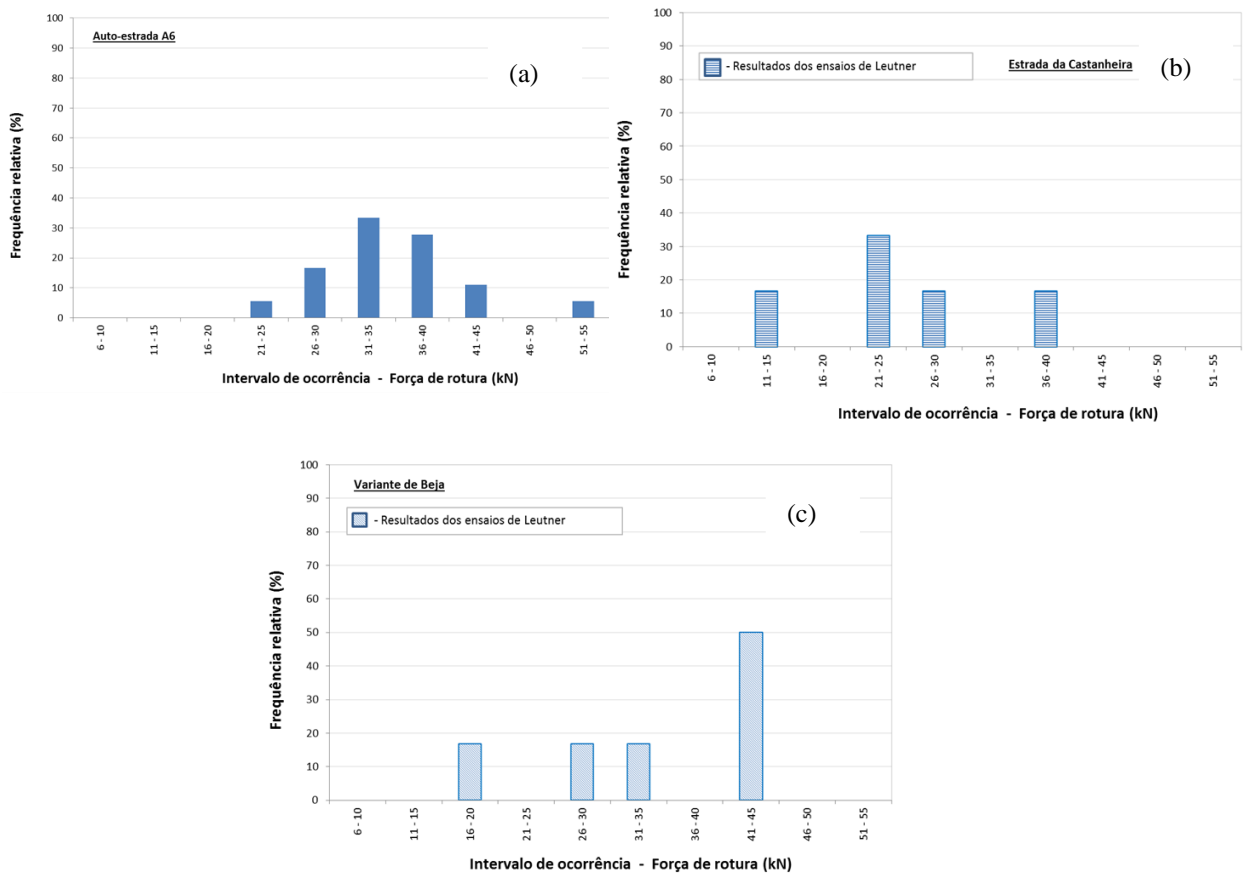


Fig.4. Frequência dos resultados obtidos no ensaio de Leutner para os provetes com aplicação de grelha com fibra de vidro

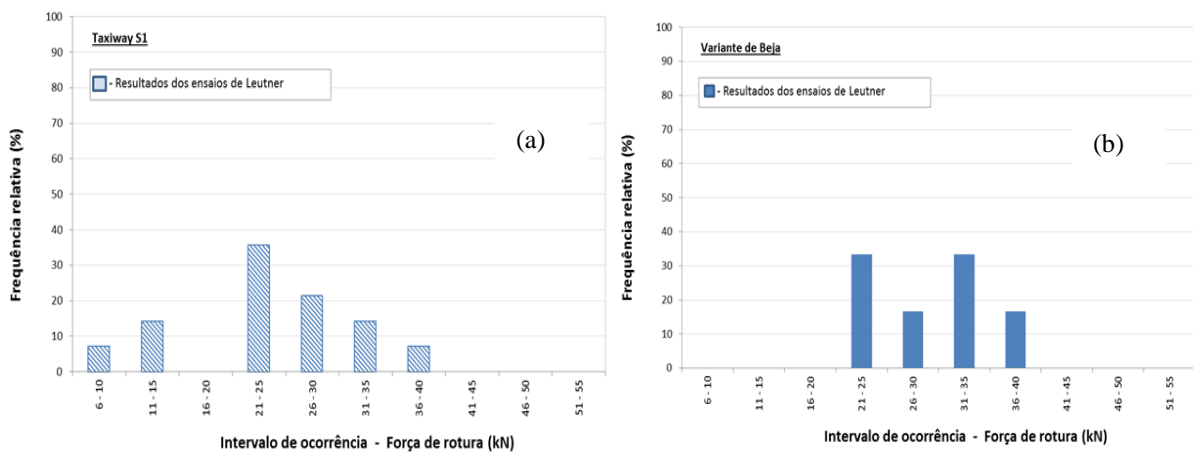


Fig.5. Frequência dos resultados obtidos no ensaio de Leutner para os provetes com aplicação de grelha com fibra de carbono

4 CONCLUSÕES

A realização do ensaio de Leutner modificado permitiu avaliar laboratorialmente a tensão de corte das interfaces existentes entre as camadas betuminosas reabilitadas com a incorporação de grelhas de reforço. Foram avaliados dois tipos de interfaces, com a incorporação de grelha de fibra de carbono e de fibra de vidro, aplicadas mecanicamente e manualmente e ainda sobre camadas fresadas ou novas, sobre diferentes dosagens da emulsão betuminosa aplicada.

Do acompanhamento efetuado durante a aplicação das grelhas e ainda dos resultados dos ensaios de Leutner modificado constata-se que o processo mecânico de aplicação das grelhas de fibra de vidro e de carbono é o método mais adequado para a aplicação da grelha em apreço, favorecendo uma melhor ligação entre as camadas adjacentes à interface.

Considera-se ainda que todo o processo de aplicação deverá ser convenientemente controlado, desde a limpeza da superfície da camada subjacente, ao adequado desempenho da camada fresada, até à aplicação de uma emulsão que garanta uma adequada ligação da interface.

Os ensaios de Leutner modificado realizados sobre os provetes colhidos em pavimentos reabilitados com a introdução da grelha de fibra de vidro aplicada sobre camadas betuminosas fresadas, permitiram obter valores médios de força de corte máxima na interface entre as camadas superiores a 25 kN. Este valor foi também cumprido para os casos de aplicação da grelha de fibra de vidro sobre camadas betuminosas recém-construídas.

Para o caso dos provetes colhidos em pavimentos reabilitados com a introdução da grelha de fibra de carbono aplicada sobre camadas betuminosas fresadas, o ensaio de Leutner modificado permitiu obter valores médios de força de corte máxima na interface entre as camadas superior a 21 kN. Este valor foi cumprido para os casos de aplicação da grelha de fibra de carbono sobre camadas betuminosas recém-construídas.

Com a realização do ensaio de Leutner modificado foi assim possível avaliar laboratorialmente as condições das interfaces existentes, sobre diferentes condições de aplicação, permitindo quantificar os valores das respetivas tensões de corte.

Complementarmente considera-se, ainda que seria de interesse acompanhar o desempenho dos pavimentos onde as grelhas de fibra de vidro e de carbono foram aplicadas, com a realização de novas colheitas de tarolos para a realização de ensaios de Leutner modificado, permitindo assim avaliar a evolução ao longo do tempo da força de corte máxima na interface onde as grelhas foram aplicadas contribuindo com informação relativo ao desempenho dos pavimentos ao longo da sua vida útil.

5 AGRADECIMENTOS

São devidos agradecimentos às empresas *BRISA, Auto-Estradas de Portugal, ANA- Aeroportos de Portugal, Tecnovia/ACE e S&P Clever Reinforcement Iberica* pelo suporte dado a esta investigação com a disponibilização de equipamento, materiais e aplicações *in situ* dos materiais estudados.

6 REFERÊNCIAS

1. 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 Congresso Rodoviário Português, Lisboa, 2013.
2. A. C. Freire, L. Quaresma, C. Gil, *Comparative analysis of interlayer bonding behavior of different types of pavement interfaces*. A. Chabot et al. (eds.). 8th RILEM International conference on Mechanics of cracking and Deboning in Pavements; RILEM Bookseries 13, DOI 10.1007/978/-94-0867-6_72, 2016.
3. F. Canestrari, G. Ferrotti, X. Lu, A. Millien, M. Partl, C. Petit, A. Phelipt-Mardelé, H. Piber, C. Raab, *Mechanical testing of interlayer bonding in asphalt pavements*. M.N. Partl et al (eds). Advances in interlaboratory testing and evaluation of bituminous materials, RILEM State-of-the-art Reports 9, DOI 10.1007/978-94-007-0_6, ©RILEM 2013.
4. C. Raab; M. Partl, *Effect of tack coats on interlayer shear bond of pavements*. Proceedings of the 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, South Africa, 2004.
5. MCHW Series, *Method for laboratory determination of interface properties using the modified Leutner shear test*. Manual of Contract Documents for Highway Works, Volume 1, series 900 – Road Pavements - Bituminous Bound Materials, 2008.
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 LNEC 58/2018, 2018.
7. A. C. Freire, *Estudo para emissão de documento de aplicação (DA) relativo à grelha de fibra de carbono S&P Carbophalt® G. Fase 2 – Avaliação do desempenho da grelha após aplicação*. Relatório LNEC 162/2018, 2018.
8. 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, (VSS), Zürich, 2008.
9. SN 640 430, *Enrobés bitumineux compactés. Conception, exécution et exigences relatives aux couches en place*. Norme Suisse, 2013.
10. A. Vaitikus, D. Čygas, A. Laurinavičius, V. Vorobjovas, IR. Kleizienė, *Research of asphalt layer bonding in Lithuanian pavement structures*. Gradevinar, 64 (11), pp. 915-921, 2012.
11. M. Sutanto, *Assessment of bond between asphalt layers*. Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy, Nottingham, United Kingdom, 2009.
12. BRISA, *Caderno de Encargos do concurso público lançado pela BRISA para reforço do pavimento de um lanço da A2 - 3. Cláusulas Técnicas Especiais*, 2016.