



TEST&E 2016

## AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS ATRAVÉS DE PISTA E SIMULADOR DE ENSAIOS ACELERADOS À ESCALA REAL

<b>V. ANTUNES</b> Eng.º Civil ELEVO GROUP SA Amadora; Portugal vitor.antunes@ elevogroup.com	<b>P. FONSECA</b> Eng.º Civil ELEVO GROUP SA Amadora; Portugal paulo.fonseca@ elevogroup.com	<b>J. AFONSO</b> Eng.º Civil MOTA-ENGIL SA Porto; Portugal joao.afonso@mota- engil.pt	<b>L. GOMES</b> Eng.º Civil MOTA-ENGIL SA Porto; Portugal luisg@mota-engil.pt	<b>L. PICADO-SANTOS</b> Professor Catedrático IST Lisboa; Portugal luispicadosantos@ tecnico.ulisboa.pt
<b>A.C. FREIRE</b> Investigadora Auxiliar LNEC Lisboa; Portugal acfreire@lnec.pt	<b>J. NEVES</b> Professor Auxiliar IST Lisboa; Portugal jose.manuel.neves@ tecnico.ulisboa.pt	<b>H. SILVA</b> Professor Auxiliar UM Guimarães; Portugal hugo@civil.uminho.pt	<b>M.L. ANTUNES</b> Vogal Conselho Diretivo LNEC Lisboa; Portugal mlantunes@lnec.pt	<b>P. PEREIRA</b> Professor Catedrático UM Guimarães; Portugal ppereira@ civil.uminho.pt

### RESUMO

Os ensaios acelerados de pavimentos rodoviários consistem na aplicação controlada de um carregamento vertical, através de uma roda normalizada que circula a uma velocidade controlada, simulando as cargas reais introduzidas pelo tráfego pesado. Em condições de temperatura e humidade controladas, os ensaios acelerados permitem simular num período de tempo reduzido as ações a que um pavimento está sujeito ao longo da sua vida útil. No âmbito do Projeto Tropical-PAV foi construída no LNEC uma pista de ensaios à escala real e instalado um Simulador de Ensaios Acelerados sobre Pavimentos Rodoviários possibilitando o estudo e a validação de técnicas de construção e/ou reabilitação de pavimentos rodoviários. No presente trabalho é feita uma apresentação geral dos ensaios acelerados sobre pavimentos rodoviários e em particular do Projeto de I&D Tropical-PAV.

### 1. INTRODUÇÃO

O desempenho das estruturas dos pavimentos rodoviários depende essencialmente de dois fatores: a) a adequação do dimensionamento ao real comportamento do pavimento quando em serviço; b) a qualidade de construção. Por sua vez, o dimensionamento é realizado em função do tráfego, clima e fundação, considerando determinados tipos de materiais de construção, para um determinado período de vida durante o qual a estrutura do pavimento deve oferecer uma adequada qualidade de circulação do tráfego.

Deste modo, uma eficiente atuação ao nível de uma rede rodoviária, desde o seu planeamento e dimensionamento até à gestão da sua exploração, deve ser adaptada às características e especificidades de cada contexto geográfico, integrando os fatores locais de clima, tráfego e materiais existentes.

No que se refere à constituição das estruturas dos pavimentos, as misturas betuminosas, quando as integram, configuram as camadas superiores da estrutura e representam uma das componentes mais importantes para o desempenho do pavimento ao longo do seu período de vida. Estas misturas têm uma constituição material que conduz a um comportamento complexo (caracterizável por um regime/modelo visco-elasto-plástico) e, por consequência, o seu desempenho é dependente quer das condições de atuação do tráfego, quer da temperatura a que se encontram em cada momento.

Por esse motivo, as misturas betuminosas devem ser devidamente estudadas através de estudos de formulação que integrem as condições de temperatura atmosférica do local a que se destina a sua aplicação. Uma mesma mistura

betuminosa, formulada com os mesmos materiais e idêntica volumetria (betume, agregados, vazios), quando aplicada em diferentes geografias, apresenta desempenho distinto em função da temperatura e tráfego a que se encontra sujeita. Ao nível das camadas inferiores, considera-se, que se deve promover a valorização dos materiais locais para as condições habituais de utilização dos pavimentos, relativamente ao tráfego e ao clima, em particular, otimizando a formulação e tecnologia de aplicação do tratamento com cimento, além de procurar inovar também ao nível das misturas betuminosas superiores de forma a mitigar as patologias que prejudicam o desempenho da rede rodoviária, nomeadamente a fissuração que permite a entrada de água das camadas inferiores o que reduz a sua capacidade estrutural.

Os ensaios acelerados em pavimentos rodoviários correspondem à aplicação controlada de um carregamento, através de uma roda normalizada e a velocidade controlada, de características comparáveis às cargas reais do tráfego pesado, sob condicionamento climatérico ou não, conforme as condições reais que se estabelecerem [1]. Estes ensaios são realizados num pavimento construído à escala real, inserido numa infraestrutura própria, de modo a avaliar o seu desempenho devido a um carregamento significativo simulando a vida útil do pavimento durante um período muito inferior, para as condições de funcionamento real. Este tipo de ensaios tem a vantagem, ao contrário dos ensaios laboratoriais usuais, de permitir avaliar de forma acelerada o desempenho global do pavimento com todas as suas características reais, em termos de constituição e de condições de execução, sob a ação de carregamento e em condições climatéricas aproximadas às reais.

O conhecimento adquirido com os ensaios acelerados à escala real permitirá o desenvolvimento de soluções, tanto ao nível das camadas de misturas betuminosas como das camadas inferiores, que melhor se adaptem ao tipo de solicitações pretendidas para um determinado período de vida útil da infraestrutura. Isto leva à prestação de um serviço tecnicamente muito distinto do atualmente disponível, podendo-se, através deste tipo de ensaios, inclusivamente avaliar o risco das soluções projetadas o que apoia tecnicamente os Donos Obra na escolha de soluções que apresentem a melhor relação custo/benefício.

A construção da pista de ensaios acelerados e instalação do simulador de tráfego que se apresenta neste artigo decorreu no âmbito de um projeto designado por Projeto de Investigação e Desenvolvimento Tropical-PAV, desenvolvido em co-promoção entre algumas empresas do sector da construção e as entidades do Sistema Científico-Tecnológico Nacional que integram a Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção (PTPC).

## 2. APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO SIMULADOR

O Simulador de Ensaio Acelerados sobre Pavimentos Rodoviários (SEAPR), propriedade das Universidades de Coimbra e do Minho e desenvolvido em colaboração com o IDMEC, atual INEGI, Pólo FEUP, sob a responsabilidade técnica deste Instituto, constitui a componente mais específica de qualquer instalação de ensaios acelerados de pavimentos, dado que é este elemento que é responsável pela simulação do tráfego real em tempo mais curto do que o da vida do pavimento.

O SEAPR é do tipo linear, podendo ser aplicado tanto numa instalação fixa como pode ser deslocada para outra pista de ensaio, com diferente localização.

Este simulador caracteriza-se por utilizar uma roda simples ou dupla, com as dimensões típicas de um veículo de mercadorias; a roda pode realizar movimentos lineares de “vaivém” ao longo do comprimento da pista, que se encontra a ensaiar, atingindo uma velocidade de ensaio máxima constante desejada num trecho do pavimento em ensaio; a roda percorre o pavimento sujeitando-o a uma carga vertical desejada; o movimento de vaivém pode ser feito ao longo da pista em linhas paralelas, por ajuste transversal, designado este movimento por “*lateral wander*” da roda de aplicação de carga; o sistema de ensaio é totalmente controlado por computador, sendo portanto autónomo durante a realização do ensaio do trecho a ensaiar.

O SEAPR encontra-se programado para a realização de ensaios sobre um trecho de 12m de comprimento por 3 m de largura, podendo deslocar-se a uma velocidade máxima de 20 km/h. O carregamento vertical da roda pode ser até ao máximo de 95kN, sendo possível aplicar o mesmo numa largura de 500 mm devido ao movimento de “*lateral wander*”. O carregamento aplicado depende do tipo de pneu usado, sendo que no caso no pneu simples, 385R22,5, é passível de

atingir 45kN; no caso da utilização de pneu duplo, 2×245R17,5, é possível levar o carregamento até ao máximo de 95kN.

Na Figura 1 mostra-se o SEAPR com indicação dos movimentos que ele permite realizar.

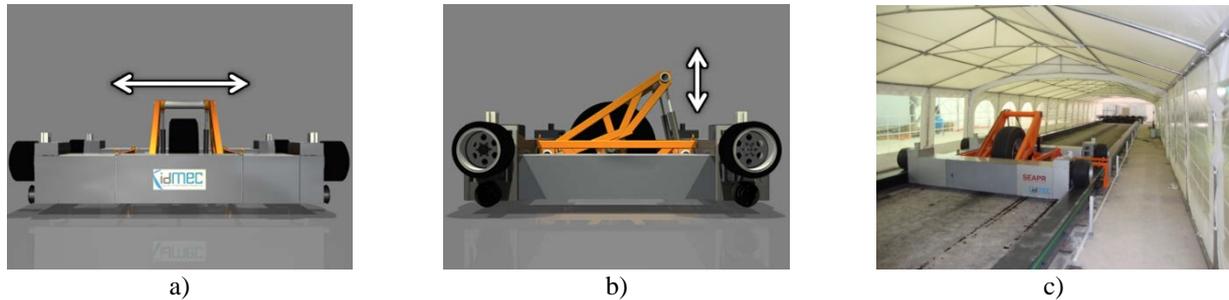


Figura 1: SEAPR: a) Movimento “lateral wander”; b) Movimento vertical da roda para aplicação de carga; c) Simulador instalado na pista de ensaios

Anota-se que este simulador caracteriza-se por ser totalmente móvel, podendo ser transportado entre pistas de ensaio, ou mesmo ser instalado em campo. Contudo, será sempre necessária a instalação de uma infraestrutura de suporte do SEAPR de forma a serem instalados os “carris”, sobre os quais o simulador se desloca e faz reação de forma a ser aplicada a carga à estrutura de pavimento em estudo, bem como a régua de alimentação elétrica.

A grande vantagem deste equipamento consiste na possibilidade de aplicar ações referentes ao tráfego correspondentes ao tempo de vida útil de um pavimento em serviço, tipicamente 10 a 20 anos, que apresenta tipicamente 500 000 a 1 000 000 ciclos (1 ciclo = 2 passagens do rodado sobre a pista), com uma duração bastante reduzida, na ordem dos 4 a 6 meses, sendo ainda possível o controlo das variáveis ambientais como humidade e temperatura, podendo esta última variar entre os 15°C e os 35°C, no caso da instalação no trecho experimental no LNEC. No caso de uma instalação em campo o clima será o local, podendo apenas ser este monitorizado.

A realização, em estudos de investigação, de ensaios acelerados à escala real permite a caracterização de um pavimento ensaiado sob as condições de referência permitindo acelerar a referida diferenciação tecnológica e competitiva de soluções de construção e/ou reabilitação de pavimentos, além da avaliação de novos materiais e métodos de pavimentação.

### 3. APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DA INFRAESTRUTURA DA PISTA DE ENSAIOS

A infraestrutura da Pista de Ensaio, onde é possível serem construídas diferentes estruturas de pavimento e onde se apoia o Simulador de Ensaio Acelerados sobre Pavimentos Rodoviários (SEAPR), é constituída por uma estrutura de betão, em forma de “U” (fosso), com a largura de 3,0 m, entre o interior das suas paredes, e um comprimento total de cerca de 31,0 m (Figura 2).

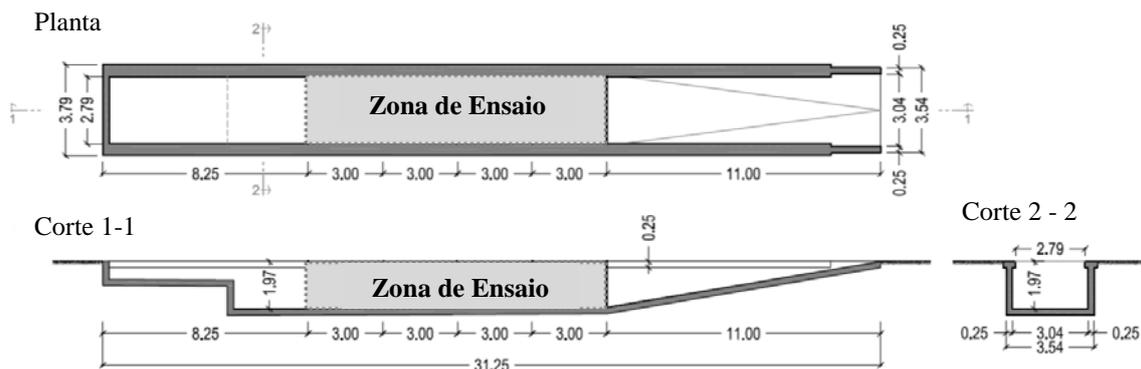


Figura 2: Representação esquemática da infraestrutura em “U” para suporte à pista de ensaios

Esta estrutura é constituída por paredes de betão com uma espessura de 0,25 m e uma laje de fundo com cerca de 0,30 m. A laje de fundo fica situada a 2,0 m da superfície. O comprimento do trecho experimental de ensaio, de atuação do simulador, é de 12,0 m, permitindo ensaiar 4 trechos com estruturas de pavimento diferentes (3,0 m de comprimento cada) ou 4 alternativas do mesmo tipo de estrutura, podendo-se também optar pelo estudo de 2 trechos de pavimentos com 6,0 m de comprimento cada. A divisão da pista em trechos é garantida durante o processo construtivo de aplicação das soluções de estruturas de pavimento a estudar, não existindo divisões físicas entre os trechos de forma a minimizar os efeitos de fronteira. No restante comprimento da pista, fora da zona de ensaio, é colocada uma solução construtiva semelhante às soluções em estudo de forma a minimizar possíveis efeitos causados pela transição. Numa das extremidades, de modo a permitir o acesso do equipamento de construção (e demolição) das soluções de estruturas de pavimento a estudar, foi construída uma rampa em laje de betão armado (“rampa de acesso”), também com 0,30 m de espessura, com uma inclinação de, aproximadamente, 18%, e um comprimento de 11,0 m, ladeada pela continuação dos muros existentes na área experimental e que serão de altura variável desde 2,0 m na zona de ensaio do simulador (12,0 m) até à cota da superfície. Para permitir a aceleração e desaceleração do SEAPR é utilizada parte da zona de 8 m numa extremidade e 11 m na outra (com 3,0 m de comprimento). Deste modo, os muros laterais do “fosso” têm o comprimento total de 31,0 m (11 m + 12 m + 8 m). Sobre as paredes laterais do “fosso” (31,0 m de comprimento), foram construídas vigas de coroamento com uma secção de 0,50 m de largura por 0,25 m de altura. Sobre estas vigas assentam os carris, em perfis do tipo HEB 260 com uma barra soldada no lado interior do banzo e reforços metálicos soldados entre banzos do lado externo à passagem do SEAPR, e onde num dos lados, da pista, serve também de suporte à régua que alimenta o SEAPR. Estes carris servem assim de suporte ao funcionamento do simulador, visto que este faz reação nos carris para a aplicação da carga ao pavimento (conforme apresentado na Figura 1).

De forma a serem simuladas as variações do estado hídrico, passíveis de ocorrerem num pavimento em serviço devido à pluviosidade ou às variações do nível freático, no trecho correspondente à zona de ensaios, de ambos os lados, e a uma profundidade de 0,15 m e de 0,45 m a contar da superfície, foram instalados hidratantes. Estes foram assim dispostos em 3 locais a cada 3,0 m de secção ensaiável, ou seja 12 no total por cada trecho de ensaio, de forma a ser possível condicionar o teor em água das camadas de base, sub-base e de fundação, do pavimento a construir. De forma a completar este sistema, foi necessário instalar, junto à laje de fundo, um sistema de evacuação de água controlável e diretamente ligado ao respetivo esgoto, o que também servirá para escoamento de água de limpeza do fosso da pista, permitindo assim a simulação da percolação da água pelas camadas (Figura 3).

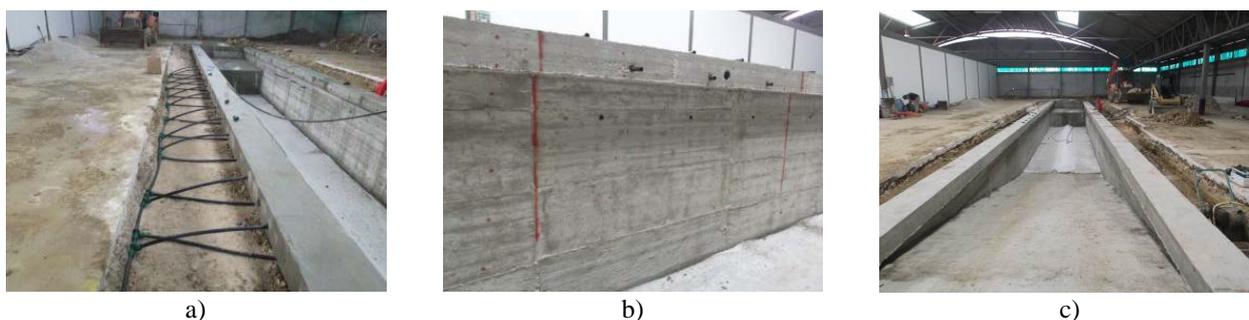


Figura 3: a) e b) – Hidrantes para o controlo do nível freático; c) – Geodreno para percolação de água

Sobre esta infraestrutura foi colocada uma cobertura, composta por material isolante, que permite o condicionamento climático, possibilitando assim o controlo das perdas térmicas e otimiza a potência instalada. As suas dimensões são de 36,0 m de comprimento por 6,0 m de largura e uma altura variável de 2,0 m a 3,0 m, sendo estas as adequadas para a circulação no interior. A cobertura é de tecido de PVC, retardante de chamas, Classe M2, de 550 g/m<sup>2</sup>. Esta cobertura, tipo túnel, permite a instalação de uma frente e de uma traseira, ambas constituídas de tecido de PVC e equipadas com tiras de fechamento (Figura 4).

Encontra-se ainda prevista a instalação de uma Unidade de Expansão Direta (ver Figura 4), no interior da cobertura, de modo a ser possível garantir uma temperatura e humidade controlada, para valores de cerca de 30°C e 60% respetivamente.

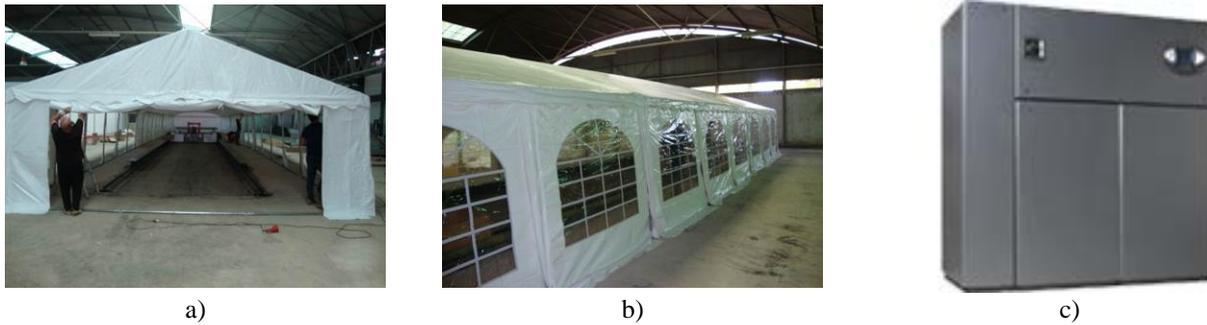


Figura 4: a) e b) – Cobertura utilizada para garantir o acondicionamento climatérico; c) – Unidade de Expansão Direta a instalar

A garantia do funcionamento do equipamento, em conformidade com as condições determinadas, é efetuada através da instalação de um sistema de controlo que comunica com todos os componentes do sistema e que adquire os dados e regista os mesmos. Além do anteriormente disposto, toda a estrutura se encontra preparada para a instalação de instrumentação de diversos tipos, tanto ao nível do interior da estrutura de pavimento, nomeadamente células de carga, extensómetros, sondas de humidade e temperatura, como de sondas exteriores para o controlo e aferição das condições climáticas instaladas.

#### 4. EXEMPLO DE PROJETO DE I&D – O PROJETO TROPICAL-PAV

O Projeto de Investigação e Desenvolvimento (I&D) Tropical-PAV enquadra-se na promoção do aumento da competitividade das empresas nacionais do setor da construção, em particular na construção rodoviária, através da incorporação do conhecimento no desenvolvimento de soluções inovadoras, neste caso ao nível dos materiais e estruturas de pavimentos rodoviários, com particular ênfase na intervenção dos mercados de países emergentes de clima tropical, nomeadamente, Angola, Moçambique, Brasil, Peru, entre outros.

O projeto tem em conta o contexto dessas regiões, relativamente aos materiais existentes, às estruturas de pavimentos e às técnicas de construção com longa experiência acumulada, às condições climáticas e, em particular, às características do tráfego, quer em volume, quer em intensidade e taxa de crescimento.

Tendo em conta as especificidades do projeto ao nível da variabilidade e qualidade dos materiais e o conseqüente grau de incerteza associado ao seu desempenho, a estratégia da investigação e inovação realizada sobre as novas soluções para aplicação ao nível das camadas superiores, em misturas betuminosa, e sobre a solução a aplicar em camadas de base e sub-base, numa solução de solo-cimento, apoiaram-se em dois pilares fundamentais:

- investigação prévia ao nível do laboratório;
- investigação recorrendo a ensaios acelerados sobre pavimentos simulando à escala real.

Nos países tropicais do continente Africano, o projeto da estrutura de um pavimento rodoviário, englobando a caracterização geométrica e mecânica das camadas de materiais é, em geral, regido pelos manuais da *Southern Africa Transport and Communications Commission* [2]– SATCC – e *Technical Recommendations for Highways – TRH* [3]– [9]. Neste momento, é também considerada a referência dos manuais mais recentes, que se baseiam essencialmente nas TRH, o *South African Pavement Engineering Manual – SAPEM* [10]–[13]. Nestes documentos são preconizadas as especificações dos materiais, dos ensaios laboratoriais para a avaliação das características dos materiais de pavimentação, nomeadamente a avaliação do módulo de deformabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente das misturas betuminosas e ensaios sobre os materiais granulares, além dos trabalhos de pavimentação a executar.

O pavimento-tipo que foi estudado e construído na pista de ensaios à escala real baseia-se na atual prática dos países africanos de expressão portuguesa, onde são seguidas as especificações anteriormente referidas, tendo sido consideradas 4 estruturas de pavimento. Nestas 4 estruturas serão contempladas 2 estruturas diferentes para as camadas de base e sub-base, ambas de solo-cimento.

A nível nacional não existe, atualmente, a prática da utilização de solos tratados com ligantes hidráulicos para aplicação em camadas de base, sendo que apenas se encontram preconizados requisitos no Caderno de Encargos Tipo Obra da Infraestruturas de Portugal [14] para a aplicação destas soluções ao nível das camadas de sub-base.

Nas camadas de base e de sub-base em solo-cimento foram aplicadas duas soluções diferentes ao nível da metodologia construtiva, sendo que em dois troços de  $3\text{m} \times 3\text{m}$  do trecho experimental foi aplicada uma solução de 30 cm de uma camada de solo estabilizado com 3% de cimento realizada numa única fase construtiva (estabilização e posterior compactação), enquanto nos restantes dois troços de  $3\text{m} \times 3\text{m}$  foi aplicada uma camada de 30 cm no total, mas executada em duas fases construtivas, ou seja, estabilizada e compactada em duas camadas com 15cm + 15cm (ver Figura 5). Após a execução das camadas com uma espessura total de 30 cm, estas foram regadas com uma rega de cura com emulsão do tipo C60B4 (ECR-1).

Ao nível das camadas superiores foram também contempladas duas soluções construtivas, conjugadas com as duas soluções aplicadas na camada de base/sub-base, de forma a obterem-se 4 estruturas distintas de pavimento. Estas soluções passam pela aplicação de uma camada de 6 cm de espessura de betão betuminoso do tipo AC14 surf BB 50/70 (com betume de penetração nominal 50/70) em dois dos troços, sendo que a outra solução passa pela aplicação de Revestimento Superficial Duplo (RSD), conforme apresentado na Figura 5, cerca de 2 cm de espessura, sobre o qual se preconizou, inicialmente, a aplicação de uma camada com 4 cm de betão betuminoso com betume de penetração nominal 50/70 modificado. Contudo, devido aos resultados dos ensaios laboratoriais, e devido à quantidade de mistura betuminosa que seria necessária produzir para que existisse a garantia da estabilidade da modificação da mistura betuminosa, optou-se pela aplicação de uma camada de 4 cm de um betão betuminoso com as mesmas propriedades do aplicado na solução de 6 cm de espessura, sobre o RSD.

A aplicação da solução com RSD pretende estudar a eficácia de sistemas com capacidade para retardar o fenómeno de reflexão de fendas, estas resultantes da hidratação do cimento utilizado no processo de estabilização (Figura 5). A existência de fendas ao nível das camadas de desgaste dos pavimentos é um fator que potencia a sua degradação por via da entrada de água nas camadas inferiores. Por esse motivo, pretende-se estudar uma solução com a aplicação de uma membrana do tipo SAMI (“*Stress Absorbing Membrane Interlayer*”) e desenvolver uma solução que, paralelamente ao facto de ter de resistir às deformações plásticas, apresente um adequado desempenho no que respeita a uma maior resistência à propagação de fendas.



Figura 5: a) Transição de solução solo-cimento 30 cm vs 15 cm + 15 cm; b) Aplicação da solução de RSD; c) Estrutura final com todas as soluções aplicadas

As quatro estruturas de pavimento construídas apresentam a conjugação das soluções preconizadas ao nível das camadas de base e sub-base em solo-cimento com o definido para as camadas superiores em mistura betuminosa. Estas foram aplicadas sobre uma camada de solo de fundação, em camadas de 15 cm de espessura, com exceção da 1ª que foi aplicada com 30 cm, de um material do tipo G10 segundo a classificação Sul-Africana ou CL – argila magra- segundo a classificação ASTM, conforme apresentado na Figura 6.



Figura 6: Aplicação das camadas de fundação em solo: a) topo da 1ª camada de 30 cm; b) compactação de camada intermédia de 15cm; c) topo da última camada

As estruturas de pavimento construídas estão dimensionadas para uma vida útil correspondente a um tráfego expresso em termos de eixos padrão de 80 kN, de referência habitual nesses países, correspondente ao intervalo de 1 a 3 milhões, incorporando camadas estabilizadas com cimento. A aposta na estabilização de solos com cimento justifica-se dado que na vasta maioria desses territórios abundam materiais ou solos com condições boas ou aceitáveis para estabilização com cimento, sendo para o efeito relativamente fácil a localização de jazidas ou manchas de empréstimo a distâncias de transporte próximas das obras. Por último, há ainda a referir que existe um histórico de construção de mais de 60 anos em camadas de solo-cimento em alguns desses países.

## 5. CONCLUSÕES

O desempenho das estruturas de pavimentos rodoviários depende de fatores como a qualidade do dimensionamento realizado, bem como da construção aplicada. O seu comportamento depende essencialmente do tráfego e do clima do local para o qual o pavimento se encontra a ser dimensionado, tendo em atenção os tipos de materiais de construção utilizados e o período de vida útil do pavimento.

O desempenho final de uma estrutura de pavimento depende das propriedades de todas as camadas que constituem a estrutura de um pavimento rodoviário, desde as camadas de fundação, às camadas de base e sub-base estrutural como das camadas mais superficiais, nomeadamente em misturas betuminosas. Desta forma, é importante o conhecimento do comportamento destas camadas quando sujeitas às ações climáticas, nomeadamente temperatura, condições de humidade e variações do estado hídrico nas camadas, como das ações do tráfego.

Assim, a utilização em estudos de investigação de ensaios à escala real é uma mais-valia para a aferição e validação do comportamento de estruturas de pavimento durante a sua vida útil. Este tipo de ensaios apresenta assim diversas vantagens, entre as quais se destacam:

- O conhecimento, sob condições controladas, do desempenho global de uma estrutura de pavimento.
- A avaliação rápida do desempenho de um pavimento, permitindo num período de poucos meses a simulação do seu período de vida.
- O controlo das variáveis responsáveis pelo desempenho estrutural do pavimento e avaliação da sua influência.
- Uma redução dos custos associados à construção dos pavimentos, através do aumento da fiabilidade dos métodos de dimensionamento.
- O desenvolvimento de métodos e de técnicas de construção e reabilitação de pavimentos.
- A avaliação de novos materiais e métodos de pavimentação.

Esta infraestrutura, poderá/deverá ser rentabilizada na realização de muitos outros projetos, dado existirem variadas soluções inovadoras de construção e/ou reabilitação de pavimentos que poderão vir a ser desenvolvidas e que necessitarão de ser validadas.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Quadro de Referência Estratégica Nacional e à entidade financiadora Agência Nacional da Inovação pelo financiamento ao projeto número 38915 Projeto de I&D Tropical-PAV, que permitiu a construção da pista de ensaios acelerados agora existente e a instalação do Simulador de Ensaio Acelerados sobre Pavimentos Rodoviários.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] F. Hugo and A. L. E. Martin, *Significant Findings from Full-Scale Accelerated Pavement Testing; NCHRP Synthesis 325*. 2004.
- [2] Division of Roads and Transport Technology, “Technical Specifications for Roads and Bridges Construction (in Portuguese),” Pretoria, South Africa, 2010.
- [3] COLTO, “Technical Recommendations for Highways. TRH8: Design and Use of Hot-mix Asphalt in Pavements,” Pretoria, South Africa, 1987.
- [4] SANRAL, “Technical Recommendations for Highways. TRH3: Design and Construction of Surface Seals,” Pretoria, South Africa, 2007.
- [5] CSRA, “Technical Recommendations for Highways. TRH16: Traffic Loading for Pavement and Rehabilitation Design,” Pretoria, South Africa, 1991.
- [6] CSRA, “Technical Recommendations for Highways. TRH14: Guidelines for Road Construction Materials,” Pretoria, South Africa, 1985.
- [7] COLTO, “Technical Recommendations for Highways. TRH13: Cementitious Stabilizers in Road Construction,” Pretoria, South Africa, 1986.
- [8] COLTO, “Technical Recommendations for Highways. TRH12: Flexible Pavement Rehabilitation Investigation and Design,” Pretoria, South Africa, 1997.
- [9] COLTO, “Technical Recommendations for Highways. TRH4: Structural Design of Flexible Pavements for Interurban and Rural Roads,” Pretoria, South Africa, 1996.
- [10] South African National Roads Agency, “South African Pavement Engineering Manual. Chapter 4: Standards,” Pretoria, South Africa, 2013.
- [11] South African National Roads Agency, “South African Pavement Engineering Manual. Chapter 12: Construction Equipment and Method Guidelines,” Pretoria, South Africa, 2013.
- [12] South African National Roads Agency, “South African Pavement Engineering Manual. Chapter 10: Pavement Design,” Pretoria, South Africa, 2013.
- [13] South African National Roads Agency, “South African Pavement Engineering Manual - Chapter 3: Materials Testing,” Pretoria, South Africa, 2013.
- [14] EP, “Caderno de Encargos Tipo Obra 14.03 - Pavimentação. Características dos materiais.” Estradas de Portugal, S.A., Almada, Portugal, 2012.