

ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS COM CAL

João Afonso¹ e Sara Cardoso²

¹Mota-Engil Engenharia e Construção – Núcleo Técnico de Pavimentos, Rua do Rego Lameiro nº38, 4300-434 Porto, Portugal

Email: Joao.Afonso@mota-engil.pt

² Mota-Engil Engenharia e Construção – Núcleo Técnico de Pavimentos, Rua do Rego Lameiro nº 38, 4300-434 Porto, Portugal

Sumário

O presente estudo aborda a estabilização de solos com cal com o objetivo de demonstrar o aumento de resistência que se verifica com este tipo de tratamento e os efeitos que advêm desta solução a nível económico e estrutural. Para tal, levou-se a cabo um estudo laboratorial em que se determinaram as principais alterações no comportamento e na resistência dos solos com a adição de cal hidratada. Posteriormente foram estudadas duas estruturas de pavimento construídas sobre diferentes leitos do pavimento, aferindo a otimização que é possível obter com a execução de um leito do pavimento em solos estabilizados com cal.

Palavras-chave: solos; cal; estabilização; pavimento; cálculo estrutural.

1 INTRODUÇÃO

O uso da cal para o tratamento das propriedades dos solos é uma técnica com aplicação na construção rodoviária em Portugal, tanto por razões ambientais (redução da quantidade de materiais pétreos virgens utilizados) como económicas (redução de prazos de execução, diminuição das espessuras dos pavimentos a executar, etc.). A sua aplicação, sob a forma de cal viva ou de cal hidratada, provoca nos solos reações imediatas e a longo prazo sendo o tipo de tratamento a adotar definido consoante o fim pretendido: modificação (melhoramento) de solos com cal e estabilização de solos com cal.

2 TIPOS DE TRATAMENTO DOS SOLOS COM CAL

Conforme foi referido, o tratamento de solos com cal pode ser enquadrado em modificação (melhoramento) de solos com cal e estabilização de solos com cal, os quais se descrevem a seguir.

2.1 Melhoramento de solos com cal

Entende-se por melhoramento de solos com cal o processo que melhora, de forma imediata, as suas propriedades geotécnicas, como por exemplo, a redução do teor em água natural do solo, o aumento da capacidade de carga, e/ou a redução da plasticidade, com vista a proporcionar ao solo um processo construtivo mais rápido, económico e eficaz [1]. O processo de melhoramento do solo pode ser realizado com pequenas percentagens de cal adicionada, sendo usual adicionar valores de 1 a 3% de cal.

Esta solução constitui uma boa alternativa perante as limitações de disponibilidade de solos adequados nas proximidades das empreitadas.

2.2 Estabilização de solos com cal

A estabilização de solos com cal é um processo que resulta na alteração do seu comportamento mecânico conferindo-lhe, a médio ou a longo prazo, uma melhoria significativa na sua resistência e estabilidade.

Para a estabilização de solos são necessárias maiores quantidades de cal, uma vez que, as primeiras quantidades adicionadas são utilizadas nos mecanismos de melhoria do solo e é necessário garantir a quantidade necessária

para que a reação de cimentação ocorra. Esta ação processa-se de forma lenta originando um endurecimento global da mistura de solo com cal compactada, traduzindo-se no fenómeno de estabilização.

É de salientar que a melhoria das propriedades mecânicas do solo está dependente do tipo de solo, do tipo e teor de cal e das condições de cura (tempo, temperatura e humidade) [2].

3 ESTUDO DE ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS COM CAL

Apresenta-se neste capítulo a metodologia e os resultados obtidos num estudo laboratorial realizado com solos provenientes das atividades de terraplanagem realizadas na construção dos arruamentos de um empreendimento habitacional situado na região de Lisboa. O objetivo do estudo laboratorial foi estudar a alteração nas propriedades básicas e o aumento da resistência dos solos com a adição de uma determinada percentagem de cal hidratada, verificando se os resultados obtidos se enquadravam nas especificações definidas.



Figura 1. Estudo laboratorial

3.1 Enquadramento

Em Portugal, de acordo com o Caderno de Encargos da Infraestruturas de Portugal [3], são colocadas as seguintes exigências para misturas solo-cal a aplicar em camada de leito de pavimento:

1. Percentagem de cal, mínima 4%;
2. Limite de liquidez, máximo 25%;
3. Índice de plasticidade, máximo 6%;
4. Expansão relativa, máxima 0,3%;
5. CBR > 20
6. $CBR/CBRi \geq 1$.

São estas as características que se pretendia atingir com o tratamento dos solos com cal.

3.2 Metodologia do estudo

Inicialmente foi feita uma caracterização dos solos em questão de forma a avaliar as suas propriedades. Posteriormente, e dado que as reações do solo com cal não ficam concluídas imediatamente após a sua mistura, foram executados os ensaios indicados no Quadro 1 decorridas 72 horas após a adição da cal ao solo.

Quadro 1. Ensaio de identificação e caracterização física dos solos

Propriedade	Referência normativa
Granulometria	LNEC E 239
Limite de liquidez	NP 143
Limite de plasticidade	
Equivalente de areia	LNEC E 199

A granulometria dos solos analisa a distribuição dimensional das partículas constituintes do material em análise, passando o material seco, após a desagregação de todas as partículas, através de uma série de peneiros de malhas de abertura progressivamente decrescente. Os resultados da análise granulométrica são representados em gráficos denominados curvas granulométricas onde as dimensões das partículas estão representadas numa escala logarítmica no eixo das abcissas e as percentagens de material passado no eixo das ordenadas.

O limite de liquidez de uma amostra de solo é definido como o teor de humidade acima do qual o solo adquire o comportamento semelhante a um líquido. Por sua vez, o limite de plasticidade da amostra é o teor de humidade abaixo do qual o solo deixa de ter um comportamento plástico. O índice de plasticidade é calculado através da diferença dos dois anteriores. Estes são denominados limites de consistência (Limites de Atterberg).

O ensaio de equivalente de areia permite avaliar e quantificar a eventual presença de materiais finos sensíveis à água que possam vir a prejudicar o comportamento futuro dos materiais. O ensaio consiste em colocar, numa proveta, uma suspensão aquosa de solo (agitando-a) e deixando a mesma em repouso durante um determinado período de tempo. O material grosseiro deposita-se no fundo da proveta de forma mais rápida enquanto que o material fino fica em suspensão durante mais tempo [4]. A relação entre as alturas desde a base da proveta até aos níveis superiores do material fino em suspensão e do material grosseiro depositado dão o valor do equivalente de areia.

Para além dos ensaios de caracterização das propriedades básicas já referidos foram também realizados, 4 a 6 horas após a mistura conforme recomendado pelo Caderno de Encargos, os ensaios de compactação leve (Proctor Normal), CBR e CBR_i realizados em provetes moldados com a energia do Proctor Normal, apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Ensaio de compactação (Proctor Normal) e CBR

Propriedade	Referência normativa
Proctor Normal (compactação leve)	LNEC E 197
Ensaio CBR (energia de compactação leve)	LNEC E 198
CBR imediato (energia de compactação leve)	NF P 94-078

O ensaio de compactação Proctor pressupõe a execução de um estudo em que se varia o teor em água de cada provete moldado utilizando uma energia de compactação pré-definida e se determina posteriormente a baridade seca de cada um, tendo em vista a determinação do teor em água ótimo e os melhores resultados possíveis de compactação (baridade seca máxima).

O ensaio CBR tem como objetivo avaliar o potencial de rutura do solo e também permite obter o índice de expansão do mesmo durante o período de saturação por imersão do material. Neste caso, foi realizado em provetes de solo tratado, moldados com a energia do ensaio de compactação leve no teor ótimo em água.

Posteriormente, de forma a avaliar e quantificar a evolução, ao longo do tempo, do comportamento mecânico dos solos estabilizados com cal foram adicionalmente realizados os ensaios de caracterização mecânica apresentados no Quadro 3.

Quadro 3. Ensaio de compactação (Proctor Modificado), CBR e de resistência mecânica

Propriedade	Referência Normativa
Proctor Modificado (compactação pesada)	LNEC E 197
Ensaio CBR (energia de compactação pesada)	LNEC E 198
Ensaio de resistência à compressão simples	NLT 305
Ensaio de resistência à compressão diametral	NLT 304

Os ensaios de compressão simples e diametral são os métodos mais utilizados para avaliar a resistência mecânica dos solos estabilizados com cal, permitindo avaliar a eficiência da reação de cimentação. Neste caso, os provetes foram moldados com a energia do ensaio de compactação pesada. No presente estudo, e de modo a avaliar a evolução da resistência ao longo do tempo, foram moldados 6 conjuntos de 3 provetes (com uma percentagem de cal de 4% e um teor em água ótimo) com o objetivo da determinação das resistências à compressão simples e à compressão diametral a 3 idades distintas (7, 28 e 90 dias). Até à altura dos ensaios, os provetes foram mantidos em câmara húmida a uma temperatura $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa superior a 95%.



Figura 2. Provetes em câmara húmida

3.3 Análise e comparação dos resultados

Apresentam-se no Quadro 4 os resultados da caracterização inicial feita aos solos em estudo, através dos quais se detetaram possíveis problemas relacionados com o material fino da amostra (índice de plasticidade algo elevado e baixo equivalente de areia). A necessidade de “corrigir” os valores detetados para que fosse possível utilizar os solos em camada de leito do pavimento levou à execução do estudo da estabilização dos solos com cal.

Quadro 4. Caracterização inicial dos solos

Propriedades	Unidade	Caraterização inicial
Dimensão máxima	mm	38,1
Limite de Liquidez	%	47
Índice de Plasticidade	%	19
Equivalente de areia	%	21
CBR	%	21
Expansão relativa	%	1

No seguimento do exposto procedeu-se então à mistura em laboratório dos solos com 4% cal hidratada. Conforme se pode observar através do Quadro 5, o solo passou a apresentar-se como não plástico e o valor do ensaio de equivalente de areia teve uma evolução notória, atingindo ao fim de 72 horas valores superiores ao dobro do inicialmente registado. Os problemas registados com a fração fina do material (ativa/plástica) foram corrigidos.

Quadro 5. Resultados da caracterização das propriedades básicas dos solos

Teor em cal (%)	Tempo após a mistura (H)	Equivalente de areia (%)	Límite de Liquidez (%)	Índice de Plasticidade (%)
Sem cal	-	21	47	19
4%	72	50	NP	NP

Refira-se que estudos subsequentes [5], diminuindo as quantidades de cal adicionadas ao solo, demonstraram que bastaria uma percentagem de cal de apenas 1% para o solo fosse “melhorado” o suficiente para que as suas propriedades passassem a cumprir o estipulado para solos a aplicar em camada de leito do pavimento.

No que diz respeito à caracterização mecânica do material, observa-se através do Quadro 6 que o valor de CBR obtido em provetes moldados com a energia do Proctor Normal foi de 40,8% (cumprindo o especificado), e o valor de CBRi obtido para o teor em água ótimo foi de 25%, na medida em que assim é cumprido o requisito $CBR/CBRi \geq 1$ indicado no Caderno de Encargos. Tal facto, evidencia que a resistência da mistura solo-cal não diminui mesmo quando se encontra embebida em água.

Quadro 6. Resultados dos ensaios de compactação leve (Proctor Normal), CBR e CBRi

Teor em cal (%)	Tempo após a mistura (H)	Proctor Normal		CBR (%)			CBRi (%)
		γ_d máx. (g/cm ³)	ω_{opt} (%)	5,0 mm 100% Compactação relativa	5,0 mm 95% Compactação relativa	Expansão	5,0 mm 100% Compactação relativa
4%	6	1,813	13,6	40,8	25	0	25

Nas imagens que se seguem é possível observar, na Figura 1, a curva de compactação do ensaio Proctor Normal e na Figura 2, a curva através da qual se obtém o CBR imediato (CBRi).

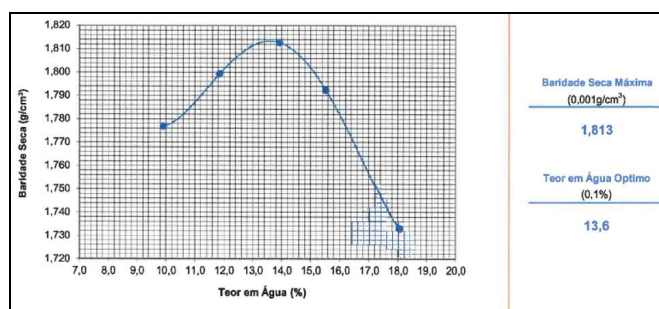


Figura 3. Ensaio de compactação leve na mistura com 4% de cal (Proctor Normal)

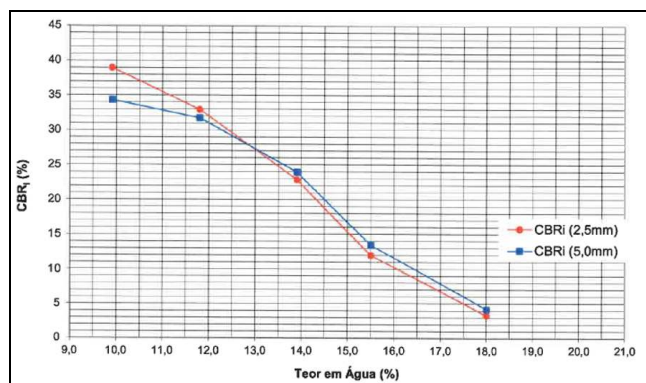


Figura 4. CBR imediato

Continuando a análise da caracterização mecânica do material, através do Quadro 7 é possível observar que o valor do CBR obtido com a energia do ensaio de compactação pesada (Proctor Modificado) foi de 68%, valor bastante superior ao do CBR inicial do solo (21%). Tal facto, demonstra o efeito que a cal poderá ter num aumento da resistência da fundação do pavimento. Durante a fase de imersão também foi possível detetar a diminuição da expansibilidade dos provetes, passando agora a ser nula.

Verificou-se ainda um decréscimo da baridade seca máxima e um aumento do teor ótimo em água entre o solo sem cal e o solo estabilizado com cal, em linha com o que seria expectável.

Quadro 7. Resultados dos ensaios de compactação pesada (Proctor Modificado) e CBR

Teor em cal (%)	Tempo após a mistura (H)	Proctor Modificado		CBR (%)	
		γ_d max (g/cm ³)	Wopt. (%)	5,0 mm	Expansão
Sem cal	-	2,046	9,1	21	1
4%	6	1,957	10,5	68	0

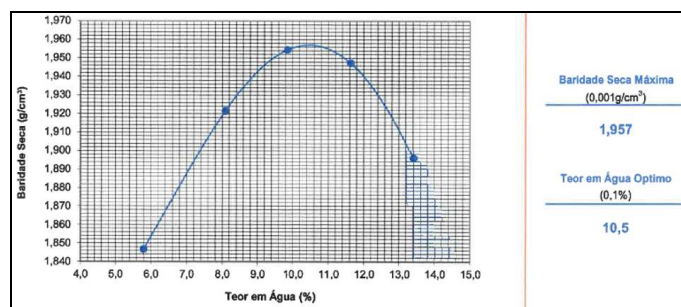


Figura 5. Ensaio de compactação pesada na mistura com 4% de cal (Proctor Modificado)

No Quadro 8 apresentam-se os valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão simples realizados em provetes moldados no teor ótimo em água e com a energia de compactação do ensaio de compactação pesada, respetivamente, para os tempos de cura de 7, 28 e 90 dias. Através do mesmo é possível observar o crescimento das resistências mecânicas da mistura solo-cal ao longo do tempo. A título de curiosidade apresenta-se também a resistência própria do solo (provetes moldados sem adição de cal).

Quadro 8. Resultados dos ensaios de compressão simples

Teor em cal (%)	Idade (dias)	Resistência à compressão simples (R_{CS}) dos provetes moldados (MPa)		
Sem cal	-	0,31	0,29	0,29
4	7	0,48	0,41	0,43
	28	0,86	0,85	0,81
	90	1,76	1,74	1,74

Por fim, no Quadro 9 apresentam-se os valores obtidos dos ensaios de resistência à compressão diametral realizados de igual forma em provetes moldados com o teor ótimo em água e com a energia de compactação do ensaio de compactação pesada, respetivamente, para os tempos de cura de 7, 28 e 90 dias.

Quadro 9. Resultados dos ensaios de compressão diametral

Teor em cal (%)	Idade (dias)	Resistência à compressão diametral (R_{CD}) dos provetes moldados (MPa)		
4	7	0,17	0,18	0,18
	28	0,35	0,33	0,33
	90	0,68	0,72	0,72

4 MODELAÇÃO ESTRUTURAL

4.1 Enquadramento

Na empreitada de construção dos arruamentos de um empreendimento habitacional situado na região de Lisboa estava prevista, para o pavimento rodoviário, a estrutura apresentada no Quadro 10.

Quadro 10. Estrutura de pavimento

Camada	Material	Espessura (cm)	E (MPa)
Desgaste em Betão Betuminoso	AC 14 surf 35/50 (BB)	5	5600
Ligação em Macadame Betuminoso	AC20 bin 35/50 (MB)	8	5800
Base em Macadame Betuminoso	AC20 base 35/50 (MB)	9	6200
Base + Sub-base Granular	ABGE	30	*

* Módulo de deformabilidade das camadas granulares a ser determinado através da expressão da SHELL: $E_g = kE_f$ com $k=0,2x(\text{espessura da camada granular})^{0,45}$.

De forma a avaliar e quantificar os efeitos produzidos pelo aumento da resistência da fundação do pavimento em solos estabilizados com cal foram simulados e estudados dois cenários considerando, para ambos, uma classe de terrenos de fundação S2 ($5 \geq \text{CBR} (\%) < 10$).

Cenário I

De acordo com o indicado no Manual de Conceção de Pavimentos (MACOPAV) [6], neste primeiro caso de estudo, considerou-se que o leito de pavimento seria executado com recurso a 15 cm de material britado de granulometria extensa (ABGE), de modo a obter uma classe de fundação F2 com um módulo de deformabilidade de 60 MPa.

O módulo de deformabilidade da camada granular sobrejacente foi posteriormente determinado através da fórmula da SHELL [7], que calcula o módulo de deformabilidade em função da espessura da própria camada e do módulo de deformabilidade da camada imediatamente inferior. Desta forma, para a camada de base granular admitiu-se um módulo de deformabilidade de 150 MPa.

É ainda de referir que foi considerado o coeficiente de Poisson de 0,35 para todas as camadas do pavimento.

Cenário II

Para o segundo caso de estudo, também de acordo com o indicado no MACOPAV [6] e admitindo que o leito de pavimento seria executado com 40 cm de materiais tratados com cal (com CBR imediato superior a 8%) considerou-se uma classe de fundação F3 com um módulo de deformabilidade de 100 MPa.

O módulo de deformabilidade da camada granular sobrejacente foi também determinado através da fórmula da SHELL [7] conforme descrito para o Cenário I, admitindo-se assim um valor de 260 MPa.

Também nesta situação, o coeficiente de Poisson considerado foi de 0,35 para todas as camadas do pavimento.

4.2 Metodologia de cálculo da capacidade estrutural

Para se efetuar o cálculo da capacidade estrutural das duas estruturas de pavimento em análise (Cenários I e II), utilizou-se a habitual metodologia proposta pela SHELL [7].

Leis de ruína

A referida metodologia utiliza para verificação estrutural dos pavimentos um critério de fadiga das misturas betuminosas e um critério de deformações permanentes ao nível da fundação. As equações que, respetivamente, traduzem as leis de ruína utilizadas são as seguintes [7]:

$$\epsilon_t = (0,856 \times V_B + 1,08) \times E^{-0,36} \times N^{-0,2} \quad (1)$$

$$\epsilon_c = 1,8 \times 10^{-2} \times N^{-0,25} \quad (2)$$

Nas equações anteriores, V_B (%) é a percentagem volumétrica de betume, E (Pa) representa o módulo de deformabilidade da camada e N representa o número de passagens de um eixo-padrão. A lei de ruína por fadiga é verificada através da extensão de tração na base das camadas betuminosas e a lei de ruína por deformações permanentes é verificada através da extensão de compressão no topo da fundação.

Para efeito de cálculo do estado de tensão/deformação das estruturas de pavimento definidas, com o objetivo de se saber qual a respetiva extensão atuante (de tração na base das camadas betuminosas e de compressão no topo da fundação), utilizou-se um *software* próprio para o efeito, nomeadamente o ALIZE.

A solicitação foi modelada através de um eixo padrão de 130 KN com área de impressão dos pneus circular de 125 mm de raio que transmitem uma pressão de contacto de 662 KPa.

4.3 Cálculo da capacidade estrutural

No presente ponto, e na sequência da metodologia explicitada, apresenta-se o cálculo da capacidade estrutural das duas estruturas de pavimento em análise (Cenários I e II).

Através do Quadro 11, referente ao Cenário I, é possível observar que a estrutura de pavimento em estudo apresenta uma capacidade de carga correspondente a $5,84 \times 10^6$ eixos-padrão de 130 KN.

Quadro 11. Cálculo da capacidade de carga da estrutura do pavimento (Cenário I)

Material	Espessura (cm)	E (MPa)	Extensão (x10 ⁻⁶)	N _{adm} 130 kN (x10 ⁶)
AC 14 surf 35/50 (BB)	5	5600	ε _t =126	5,84
AC20 bin 35/50 (MB)	8	5800		
AC20 base 35/50 (MB)	9	6200		
ABGE	30	150	ε _c =361	6,20
S2 + 15 cm ABGE *	-	60		

* S2: Solos do tipo S2 com $5 \geq \text{CBR} < 10$; ABGE – Agregado Britado de Granulometria Extensa.

Através do Quadro 12, referente ao Cenário II, é possível observar que a estrutura de pavimento em estudo apresenta uma capacidade de carga correspondente a $14,37 \times 10^6$ eixos-padrão de 130 KN.

Quadro 12. Cálculo da capacidade de carga da estrutura do pavimento (Cenário II)

Material	Espessura (cm)	E (MPa)	Extensão (x10 ⁻⁶)	N _{adm} 130 kN (x10 ⁶)
AC 14 surf 35/50 (BB)	5	5600	ε _t =107	14,37
AC20 bin 35/50 (MB)	8	5800		
AC20 base 35/50 (MB)	9	6200		
ABGE	30	260	ε _c =269	19,93
S2 + 40 cm ST1 *	-	100		

* S2: Solos do tipo S2 com $5 \geq \text{CBR} < 10$; ST1 – Solo Tratado com Cal com CBR imediato > 8%.

4.4 Análise e comparação dos resultados obtidos

Através do exposto no ponto anterior é possível concluir que a opção pelo cenário de utilização de solos estabilizados com cal em leito de pavimento em detrimento da utilização de ABGE melhora significativamente a resistência da fundação, lembrando que no Cenário I (leito de pavimento em ABGE) a fundação apresenta um módulo de deformabilidade de 60 MPa e no Cenário II (leito de pavimento em solos tratados com cal) apresenta um módulo de deformabilidade de 100 MPa.

Com isto, e analisando uma mesma estrutura de pavimento construída sobre os dois cenários de fundação indicados, é possível concluir que o desempenho estrutural da estrutura de pavimento estudada no Cenário II é cerca de 3 vezes superior ao desempenho estrutural da estrutura de pavimento estudada no Cenário I – uma capacidade de carga $14,37 \times 10^6$ eixos-padrão de 130 KN que contrapõe uma capacidade de carga $5,84 \times 10^6$ eixos-padrão de 130 KN.

4.5 Otimização da estrutura estudada no Cenário II

Tendo em consideração os resultados obtidos anteriormente no cálculo da capacidade de carga das estruturas de pavimento em análise, pretende-se agora proceder à otimização da estrutura executada sobre um leito de pavimento com solos tratados com cal (Cenário II), de forma a, diminuindo as espessuras das camadas betuminosas, obter idêntica capacidade de carga à suportada pela estrutura executada sobre um leito de pavimento em ABGE (Cenário I).

Obteve-se a estrutura apresentada no Quadro 13.

Quadro 13. Otimização da estrutura (Cenário II)

Material	Espessura (cm)	E (MPa)	Extensão (x10 ⁻⁶)	N _{adm} 130 kN (x10 ⁶)
AC 14 surf 35/50 (BB)	5	5600	ε _t =126	6,32
AC20 bin 35/50 (MB)	7	5800		
AC20 base 35/50 (MB)	7	6200		
ABGE	30	260	ε _c =321	9,88
S2 + 40 cm ST1*	-	100		

* S2: Solos do tipo S2 com $5 \geq \text{CBR} < 10$; ST1 – Solo Tratado com Cal com CBR imediato $> 8\%$

Da análise do Quadro 13 é possível constatar que, com a estrutura de pavimento apresentada se consegue obter um número de eixos-padrão de 130 KN idêntico ao obtido para o Cenário I inicialmente definido mas com uma redução na espessura de misturas betuminosas de 3 cm.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no estudo laboratorial efetuado, é possível concluir que a técnica de estabilização de solos com cal melhora as suas propriedades fundamentais e proporciona aos mesmos um aumento da sua resistência mecânica.

Quando comparado com outras opções habituais para execução de leitos do pavimento, a estabilização de solos com cal pode assim proporcionar fundações de resistência superior, traduzindo-se este facto no desempenho estrutural dos pavimentos executados: aumentando capacidade de carga ou permitindo a diminuição da espessura das camadas betuminosas.

Comprova-se que este tipo de técnica é capaz de se constituir como uma boa solução a nível ambiental e económico, principalmente em situações em que os materiais existentes se revelarem inadequados e/ou as distâncias de transporte (tanto para levar materiais inadequados a vazadouro como para importar materiais pétreos britados) forem um condicionalismo relevante.

6 REFERÊNCIAS

1. NP EN 14227-11: 2013. Norma Portuguesa para misturas tratadas com ligantes hidráulicos.
2. Neves, J. Estabilização de Solos com Cal – Estudo e aplicações rodoviárias, Universidade Nova de Lisboa, 1993.
3. Estradas de Portugal, S.A. Caderno de Encargos Tipo Obra: 14.01 – Terraplenagem Características dos Materiais. Lisboa, 2009.
4. Branco, F., Pereira, P., Santos, L., Pavimentos Rodoviários. Almedina, Coimbra, 2008.
5. Afonso, J.; Cardoso, A. Tratamento de Solos com Cal. TEST&E 2019 – 2º Congresso de Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia do Porto - ISEP, Porto, 2019.
6. JAE. Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional. JAE. Almada, 1995.
7. SHELL. Shell pavement design manual. Shell International Petroleum Company Limited, London, 1978.