

RELAÇÃO ENTRE MÓDULO DE DEFORMABILIDADE E CBR PARA CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DA FUNDAÇÃO DE PAVIMENTOS

RELATIONSHIP BETWEEN DEFORMABILITY AND CBR FOR MECHANICAL CHARACTERIZATION OF PAVEMENTS FOUNDATION

Morais, Hermínia Maria Mesquita; *Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, hmorais@ipb.pt*
Minhoto, Manuel J. Costa; *Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, minhoto@ipb.pt*
Paula, António Miguel; *Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, mpaula@ipb.pt*

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo sobre a relação entre o módulo de deformabilidade (E) de leito do pavimento e o correspondente índice californiano de capacidade de carga (CBR) avaliado em laboratório, de forma a contribuir para a caracterização mecânica de fundações de pavimentos rodoviários flexíveis. O estudo envolveu a realização de ensaios in situ que consistiram na avaliação da deformabilidade de alguns solos de fundação (leito do pavimento), localizados em algumas obras de terraplanagens a decorrer na zona de Bragança. Foram realizados ensaios de carga em placa, observando as condições de compactação, assim como ensaios laboratoriais em amostras de identificação e caracterização dos solos constituintes da fundação ensaiada in situ, bem como os correspondentes valores de CBR. Este trabalho permitiu comparar os resultados com as relações de caracterização mecânica da fundação (E vs CBR) preconizadas no âmbito de diversas metodologias de conceção de pavimentos flexíveis, tendo em vista a sua análise e discussão.

ABSTRACT

This paper presents a study about the relationship between the deformability modulus (E) of a pavement subgrade and the corresponding Californian Bearing Ratio (CBR) evaluated in the laboratory, in order to contribute to the mechanical characterization of foundations of flexible road pavements. This study involved in situ tests that consisted in the evaluation of the deformability of some foundation soils (pavement subgrade), located in some earthworks in the area of Bragança. Plate load tests were performed, observing soil compaction conditions, as well as laboratory tests of identification and characterization of samples of soils constituents of the foundation tested in situ, as well as the corresponding CBR values. This work allowed to compare the results obtained, with the mechanical characterization relations of the foundation (E vs CBR) recommended in the scope of several methodologies of design of flexible pavements.

1 - INTRODUÇÃO

A caracterização mecânica duma camada de leito do pavimento baseia-se normalmente na avaliação do seu módulo de deformabilidade (E). Em situações em que se apresenta inviável a avaliação deste parâmetro (E) através de ensaios in situ, recorre-se normalmente a expressões propostas pelas diversas metodologias existentes, como por exemplo a metodologia da Shell (Shell, 1985), que relacionam este parâmetro com outros parâmetros de caracterização mecânica da fundação mais expeditos e de uso universal. Um dos parâmetros mais conhecidos e divulgados para caracterização empírica da resistência do solo de fundação é o índice Californiano de capacidade de carga, CBR ("California Bearing Ratio").

O estudo que se apresenta consistiu no desenvolvimento de relações entre os módulos de deformabilidade (E) obtidos da caracterização mecânica de leitos de pavimento através de ensaios de carga em placa (ECP) in situ, e os correspondentes índices californianos de capacidade de carga (CBR), avaliados laboratorialmente em amostras representativas desses solos de leito do pavimento, em algumas obras de terraplanagens realizadas na região de Bragança. Este estudo vem complementar e melhorar resultados anteriormente obtidos em (Morais e Minhoto, 2014).

Da análise de correlação dos resultados obtidos, estabeleceu-se uma relação entre os parâmetros envolvidos, efetuando-se uma comparação com relações do mesmo tipo, preconizadas na metodologia de conceção de pavimentos flexíveis, proposta pela Shell (1985), tendo em vista contribuir para uma melhoria das relações empíricas existentes. Esta metodologia propõe, para aplicação em materiais não aglutinados, solos coesivos e materiais granulares, a seguinte relação entre o módulo de deformabilidade (E) e o CBR, que apesar de não haver uma relação direta entre

as duas grandezas, pode fornecer uma estimativa razoável do módulo quando não se dispõe de dados de ensaios mais adequados.

$$E(MPa) = 10 \times CBR(\%) \quad [1]$$

Segundo Picado (1994) e Shell (1985), que recorrem a extensos ensaios de carregamento dinâmico in situ, recomendam a expressão [1], como sendo a mais comum, para estimar o módulo de deformabilidade do solo com o CBR, sendo esta a expressão mais comum.

2 - ENSAIOS EXECUTADOS

No sentido de estabelecer uma expressão, do tipo da expressão [1], enquadrável na região de Bragança, objetiva-se neste trabalho a obtenção de um coeficiente "K", entre o módulo de deformabilidade E (ECP) com o correspondente CBR (laboratorial), de acordo com a seguinte equação:

$$E_{sf}(MPa) = K \times CBR(\%) \quad [2]$$

onde E_{sf} representa o módulo de deformabilidade do solo de fundação em MPa e CBR representa o índice Californiano de capacidade de carga em percentagem.

O ensaio de carga em placa (ECP) assume atualmente grande importância na caracterização da qualidade de aterros de fundação de pavimentos rodoviários e de plataformas para vias férreas (Matos Fernandes, 2011) sendo um dos ensaios considerados adequados para estabelecimento das características carga-assentamento de solos de fundação, apesar de ser um ensaio moroso. Estes ensaios são efetuados normalmente para controlo da compactação e para determinação de módulos de deformabilidade.

O ECP consiste no carregamento por escalões de uma placa circular de aço, colocada sobre a superfície do terreno a ensaiar, através do macaco hidráulico apoiado no sistema de reação, e na medição dos deslocamentos motivados por essas cargas, posicionando-se a placa rígida no local a ensaiar, medindo o assentamento resultante. Segundo a norma (AFNOR NFP94-117-1: 2000), o ensaio tem por objetivo a determinação do módulo de deformabilidade sob o carregamento estático aplicado numa placa sobre uma plataforma.

Em cada ensaio de deformabilidade foram efetuados dois ciclos de carga - descarga, com carregamento por escalões, com a medição contínua dos assentamentos resultantes. Os defletómetros no início de cada ciclo de carga colocaram-se a zero. A recarga ocorreu sobre o solo consolidado pelo primeiro carregamento. Os deslocamentos relativos da placa rígida traduzem os assentamentos ocorridos no material em ensaio.



Figura 1 – Equipamentos de ensaio de campo: a) ECP; b) ensaio com o gamadensímetro nuclear

Em cada ponto selecionado in situ executaram-se ensaios de carga estática com placa, ECP, (Figura 1a) e ensaios com o gamadensímetro nuclear (células radioativas) (Figura 1b), tendo em vista a caracterização do seu estado de compactação. Os referidos ensaios de carga em placa (ECP) foram realizados em locais distintos na zona de Bragança, sendo estes condicionados pela disponibilidade do cilindro ou camião carregado para fazer um sistema de reação e medir os assentamentos.

Após a execução destes ensaios, recolheram-se amostras de solo, em cada ponto, para posteriores ensaios em laboratório, de forma a caracterizar as propriedades físicas e mecânicas (CBR) dos materiais em estudo. Os solos foram classificados segundo a classificação unificada através da norma

internacional ASTM D2487: 1985, e os ensaios CBR foram realizados segundo o descrito nas normas ASTM D1883: 2014, na especificação do LNEC E 198: 1967 e NP EN 13286-47: 2014 (ver Figura 2).



Figura 2 – Realização do ensaio CBR

Foram realizados ensaios de identificação e caracterização (em laboratório e in situ) em 19 pontos de ensaio.

3 - RESULTADOS DE ENSAIOS

3.1 - Ensaio de Carga em Placa

Dos ensaios de carga em placa realizados estabeleceram-se curvas de carga-assentamento para cada ponto, obtendo-se assim os respetivos gráficos, a partir dos quais foram obtidos os correspondentes módulos de deformabilidade. Os valores do módulo de deformabilidade (EV), para o primeiro ciclo de carga (EV1) e segundo ciclo de carga (EV2), foram calculados através da solução de Boussinesq, para o carregamento estático sobre uma placa circular rígida em meio elástico linear (equação 3) sendo utilizado o método secante para determinação do deslocamento da placa (Martins et al., 2008).

$$EV = \frac{\pi}{r} (1 - \nu)^2 \cdot \frac{p \cdot r}{z^2} \quad [3]$$

Na equação anterior, ν representa o coeficiente de Poisson, p a tensão média sob a placa, r o raio da placa e z^2 o deslocamento da placa.

Este ensaio foi realizado em 19 pontos em obras a decorrer na região de Bragança, sendo utilizado um cilindro de rasto liso como sistema de reação para gerar o carregamento na placa circular de aço. Foi usada uma placa rígida de 0,60m de diâmetro, com uma espessura de 0,26 m, um macaco hidráulico e respetiva bomba, um barómetro para medição das pressões aplicadas, defletómetros para medição dos assentamentos relativos a uma viga de referência, apoiada fora da zona de influência do ensaio, um sistema de reação, materializado por um cilindro, de forma a se poderem obter as características mecânicas do solo em termos de tensão – assentamento, a carga axial máxima (no 1º e 2º ciclo) foi de aproximadamente, 145 kN. Optou-se por um coeficiente de Poisson de 0,35, visto tratar-se de solos granulares, aterros e terrenos similares em condições drenadas.

Este ensaio permite obter as curvas de carga-assentamento para cada ponto de ensaio a partir dos dados obtidos nos defletómetros e no macaco hidráulico. Obtendo-se assim, os gráficos a partir dos quais são obtidos os coeficientes de reação do terreno, os assentamentos residuais e o módulo de deformabilidade do solo.

No Quadro 1 são apresentados os resultados dos valores do módulo de deformabilidade (EV), para o primeiro ciclo de carga (EV1) e segundo ciclo de carga (EV2), os assentamentos, S1 o assentamento no 1º ciclo de carga e S2 o assentamento no 2º ciclo de carga, assim como a relação entre eles.

Quadro 1 – Resultado dos ensaios de carga com placa

Pontos	Assentamentos (mm)		Módulo de deformabilidade (MPa)		Relação entre EV2 e EV1
	S1	S2	EV1	EV2	k=EV2/EV1
P1.D	1,72	0,87	143,27	284,06	1,98
P2.D	3,40	2,08	72,27	118,42	1,64
P3.D	2,19	1,32	112,45	186,85	1,66
P4.D	2,06	1,48	119,28	166,58	1,40
P5.D	1,47	1,14	167,15	215,54	1,29
P6.H	2,20	0,94	67,01	156,84	2,34
P7.H	1,46	0,78	101,32	189,01	1,87
P8.H	2,29	0,92	75,27	186,95	2,48
P9.H	2,72	1,53	63,35	112,79	1,78
P10.H	2,44	1,07	70,49	160,75	2,28
P11.H	2,44	1,23	70,64	140,41	1,99
P12.H	2,24	1,18	76,96	146,38	1,90
P13.H	2,01	1,29	85,57	133,33	1,56
P14.H	1,16	0,53	148,27	324,53	2,19
P15.T	2,44	1,50	75,53	122,86	1,63
P16.T	2,96	1,37	58,21	134,37	2,31
P17.T	6,78	2,61	25,39	65,90	2,60
P18.T	2,12	1,19	81,13	155,51	1,92
P19.T	5,21	1,53	35,41	120,45	3,40
Média	2,59	1,29	86,79	164,29	2,01

Na Figura 3, apresenta-se os resultados dos ensaios de carga em placa em gráfico, no eixo das abcissas estão representados os pontos de ensaio e no eixo das ordenadas o valor do módulo de deformabilidade do primeiro e segundo ciclo de carga.

Pela análise do Quadro 1 e da Figura 3, confirma-se que o módulo de deformabilidade para o primeiro ciclo de carga é sempre inferior ao do segundo ciclo. Para a totalidade dos pontos ensaiados com ECP constata-se que para o primeiro ciclo de carregamentos (EV1) estão compreendidos entre 25 MPa e 167 MPa, enquanto que para o segundo ciclo de carregamentos (EV2) os valores estão compreendidos entre 66 MPa e 325 MPa. A média dos valores dos módulos de deformabilidade dos ECP para EV1m = 87 MPa e para EV2m = 164 MPa.

Em termos de assentamentos (Figura 4), e desprezando a deformação plástica que ocorrem após o primeiro ciclo de carga (devido ao facto de os defletómetros serem colocados a zero após descarga), verifica-se que os assentamentos são menores no segundo ciclo de carga. Para a totalidade dos pontos ensaiados com ECP constata-se que os assentamentos no primeiro ciclo de carregamentos (S1) estão compreendidos entre 1,16 mm e 6,78 mm, enquanto que para o segundo ciclo de carregamentos (S2) os valores estão compreendidos entre 0,53 mm e 2,61 mm. A média dos valores dos assentamentos ECP para S1m = 2,59 mm e para S2m = 1,29 mm.

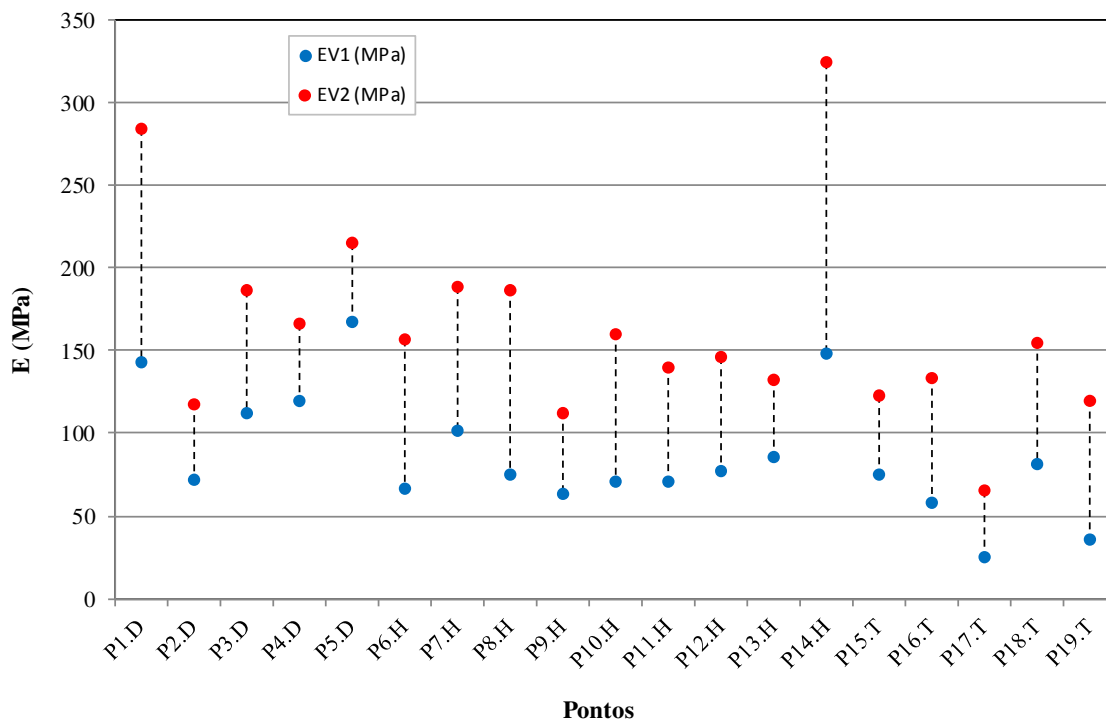


Figura 3 – Módulos de deformabilidade dos ECP

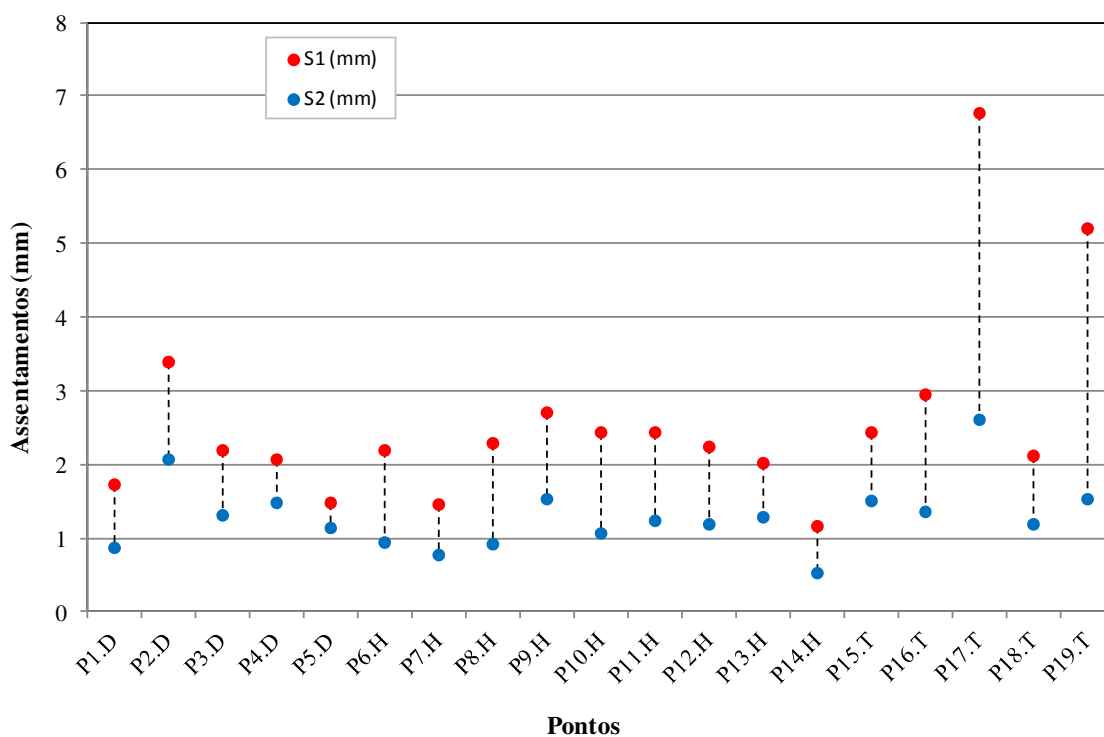


Figura 4 – Assentamentos registados no 1º e 2º ciclo de carga

3.2 - Classificação Unificada

Para cada ponto ensaiado in situ, foram obtidas amostras que foram transportadas e ensaiadas em laboratório tendo em vista a sua classificação unificada e a obtenção dos respetivos valores de CBR. Nos locais onde foram realizados os ensaios, segundo a classificação unificada, a classe de solo dominante é GM - cascalhos siltosos, misturas de cascalho, areia e silte mal graduados e tendo finos não plásticos (em 14 pontos de ensaios). Dois pontos são classificados como solos SM - areias siltosas, misturas mal graduadas de areia e silte e com finos não plásticos e três pontos como GP-GM - cascalho mal graduado com silte.

No Quadro 2 é apresentada a classificação das amostras de solo colhido em cada ponto, recorrendo-se à classificação unificada (CU) dos solos, segundo a norma (ASTM D2487-85: 1985).

Quadro 2 – Classificação Unificada (CU) dos solos

Pontos	P1.D	P2.D	P3.D	P4.D	P5.D	P6.H	P7.H	P8.H	P9.H	P10.H	P11.H	P12.H	P13.H	P14.H	P15.T	P16.T	P17.T	P18.T	P19.T
CU	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GM	GP-GM	SM	GM	GP-GM	SM	GP-GM

3.3 - Ensaio CBR

Os ensaios CBR foram efetuados segundo os procedimentos da norma internacional ASTM D1883-14: 2014. O índice Californiano de capacidade de carga (CBR) é utilizado para caracterizar a capacidade de carga da mistura determinada imediatamente após a compactação, ou após determinado período de cura (NP EN 13268-47: 2014). O ensaio CBR consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num provete de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente, sobre provetes compactados para o teor em água ótimo, com 12, 25 e 55 pancadas, e posteriormente sujeitos a embebição. O índice CBR (%), corresponde ao maior dos seguintes valores:

$$CBR_{2,5} = \frac{\text{Força de penetração a 2,5mm (em kg)} \times 100}{1355} \quad [4]$$

$$CBR_5 = \frac{\text{Força de penetração a 5mm (em kg)} \times 100}{2033} \quad [5]$$

Para melhorar a representatividade do solo, deve-se determinar o CBR em laboratório em amostras com o grau de compactação na ordem dos 95%. Após a obtenção dos resultados dos valores do CBR, para os diferentes tipos de compactação fez-se uma correlação linear com os três pontos, a partir da qual se obtiveram os valores de CBR correspondentes ao grau de compactação in situ (GC in situ).

No Quadro 3 apresentam-se resumidamente os resultados para os valores CBR correspondente ao GC in situ, obtidos para os solos nos pontos em estudo.

Quadro 3 – Resultados dos ensaios CBR correspondente ao GC in situ

Pontos	P1.D	P2.D	P3.D	P4.D	P5.D	P6.H	P7.H	P8.H	P9.H	P10.H	P11.H	P12.H	P13.H	P14.H	P15.T	P16.T	P17.T	P18.T	P19.T
CBR (%)	41	47	45	21	28	15	23	15	42	22	16	15	39	35	18	21	10	39	26

Os valores obtidos para o CBR, estão compreendidos entre 10% e 47%.

3.4 - Classificação Unificada

Em todos os pontos fez-se o controlo da compactação in situ com a célula radioativa (gamadensímetro nuclear). Pois, o controlo do aterro de um pavimento rodoviário envolve a determinação do peso volúmico e do teor em água, que pode ser obtido utilizando equipamento com célula radioativa. Para o controlo da compactação de um aterro rodoviário é recomendado um grau de compactação mínimo de 95%. O Grau de compactação (GC) define-se como a relação entre o peso volúmico seco obtido in situ e o peso volúmico seco ótimo obtido em laboratório através da equação [6].

$$GC(\%) = \frac{\gamma_d^{in situ}}{\gamma_d^{máx}} \quad [6]$$

Na equação anterior GC representa o grau de compactação expresso em percentagem, $\gamma_d^{in situ}$ o peso volúmico seco medido in situ e o $\gamma_d^{máx}$ o peso volúmico máximo do solo determinado através do ensaio de compactação Proctor. É um ensaio de fácil e rápida execução para o controlo da compactação em aterros.

No Quadro 4 apresentam-se resumidamente os resultados do grau de compactação para os valores obtidos in situ com o gamadensímetro nuclear nos pontos em estudo. Em todos os pontos se verifica um grau de compactação superior ao ótimo (considerando o ótimo igual a 95%), com exceção do ponto P17T que apresenta valores ligeiramente inferiores (93%).

Quadro 4 – Resultados dos ensaios obtidos in situ com o gamadensímetro nuclear

Pontos	P1.D	P2.D	P3.D	P4.D	P5.D	P6.H	P7.H	P8.H	P9.H	P10.H	P11.H	P12.H	P13.H	P14.H	P15.T	P16.T	P17.T	P18.T	P19.T
GC _{in situ} (%)	99	100	100	97	98	100	100	99	100	100	97	96	99	100	95	96	93	98	97

4 - RELAÇÃO ENTRE O MÓDULO DE DEFORMABILIDADE E O CBR

Com os dados disponíveis estabeleceu-se uma relação baseada na expressão [2], de forma a explicitar uma relação, caracterizada por um coeficiente adimensional “K”, entre o módulo E (ECP) com o correspondente CBR. No Quadro 5 apresentam-se os resultados dos ensaios CBR efetuados em laboratório, assim como os resultados do módulo de deformabilidade EV2 obtidos com o ensaio de carga estático com placa (ECP). Neste apresentam-se os coeficientes de relação entre as duas variáveis para os diversos níveis de compactação das amostras em laboratório.

Quadro 5 – Resultados finais dos CBR versus ECP

Pontos	CBR correspondente ao GC <i>in situ</i> (%)	Módulo de deformabilidade (MPa)	Relação entre EV2 e CBR correspondente ao GC <i>in situ</i>	Módulo de deformabilidade (MPa)	
		EV ₂	K=E/CBR	E=K _{méd} CBR (K=6,83)	E=10CBR (K=10)
P1.D	41	284,06	6,93	279,88	410,00
P2.D	47	118,42	2,52	320,84	470,00
P3.D	45	186,85	4,15	307,19	450,00
P4.D	21	166,58	7,93	143,35	210,00
P5.D	28	215,54	7,70	191,14	280,00
P6.H	15	156,84	10,46	102,40	150,00
P7.H	23	189,01	8,18	157,69	231,00
P8.H	15	186,95	12,30	103,76	152,00
P9.H	42	112,79	2,69	286,71	420,00
P10.H	22	160,75	7,25	151,34	221,70
P11.H	16	140,41	8,62	111,13	162,80
P12.H	15	146,38	9,88	101,10	148,10
P13.H	39	133,33	3,42	266,23	390,00
P14.H	35	324,53	9,27	238,92	350,00
P15.T	18	122,86	6,83	122,88	180,00
P16.T	21	134,37	6,28	146,08	214,00
P17.T	10	65,90	6,59	68,26	100,00
P18.T	39	155,51	3,99	266,23	390,00
P19.T	26	120,45	4,72	174,35	255,40
Média	32	164,29	6,83	186,29	272,89

Na Figura 5 apresentam-se, em gráfico, as diversas relações encontradas entre o módulo de deformabilidade e o CBR, para os pontos de ensaio realizados e para as condições máximas de compactação. Nas condições disponíveis para a realização deste estudo obtiveram-se valores para o coeficiente de relação “K” ($K = E_{sf} / CBR$) que variam entre 2,52 (para CBR *in situ* = 47%, P2.D) e 12,30 (para CBR *in situ* = 15%, P8.H), resultando um coeficiente de relação médio de $K=6,83$, menor que o $K=10$ proposto pelo método da Shell. Propondo-se a seguinte expressão final de relação entre o módulo de deformabilidade e CBR:

$$E = 6,83 \times CBR \text{ (MPa)} \quad [7]$$

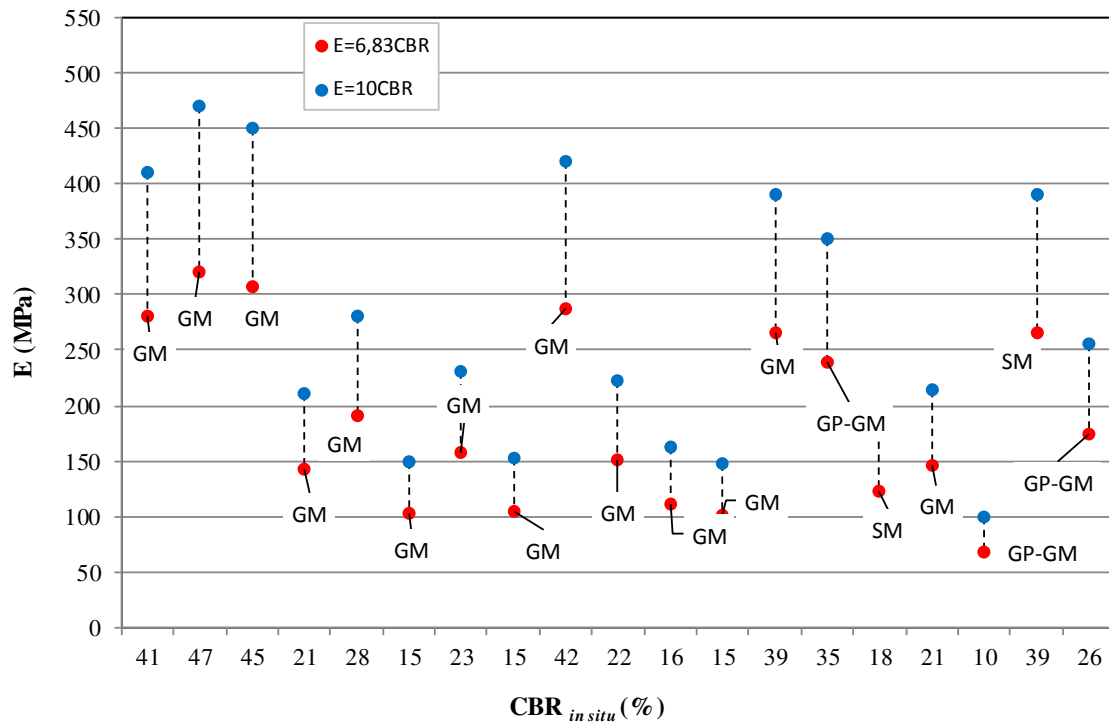


Figura 5 – Módulo de deformabilidade EV2 versus CBR

Na Figura 6 apresentam-se as relações entre os valores de CBR nas condições correspondente ao grau de compactação in situ e o coeficiente "K", determinado para cada ponto e o definido pela Shell (K=10).

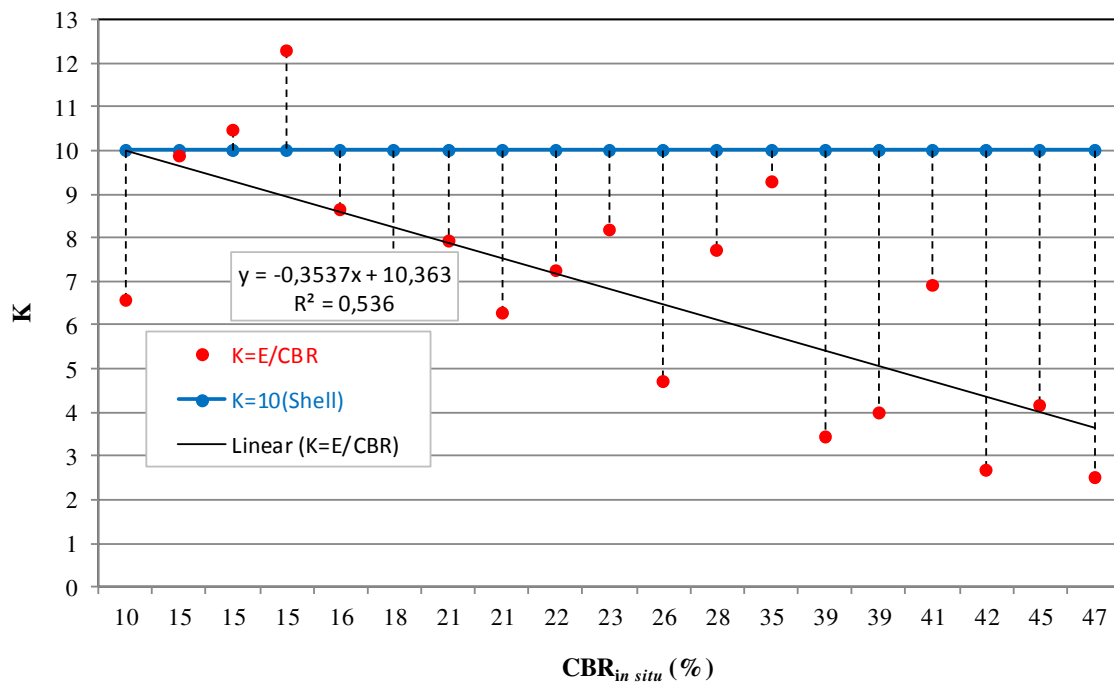


Figura 6 – CBR in situ versus K

Da figura é possível observar que o valor de K não é constante e depende do valor do CBR in situ, contestando assim o valor proposto pela Shell como constante e igual a 10. Da figura verifica-se que há uma pendência de decréscimo da relação K com o aumento do valor do CBR obtido em campo, expressa pela equação de regressão linear apresentada na figura e com um coeficiente de correlação linear R2 igual 0,536.

Na Figura 6 o valor de R2=0,536 para a relação entre o CBR correspondente ao grau de compactação CBR in situ e o coeficiente "K", obtido a partir do módulo de deformação é baixo.

Na Figura 7 apresentam-se as relações encontradas entre os valores do módulo de deformabilidade, E, para os pontos ensaiados com coeficiente "K" encontrado nesses mesmos ensaios (K=6,83) e o coeficiente "K" definido pela Shell (K=10).

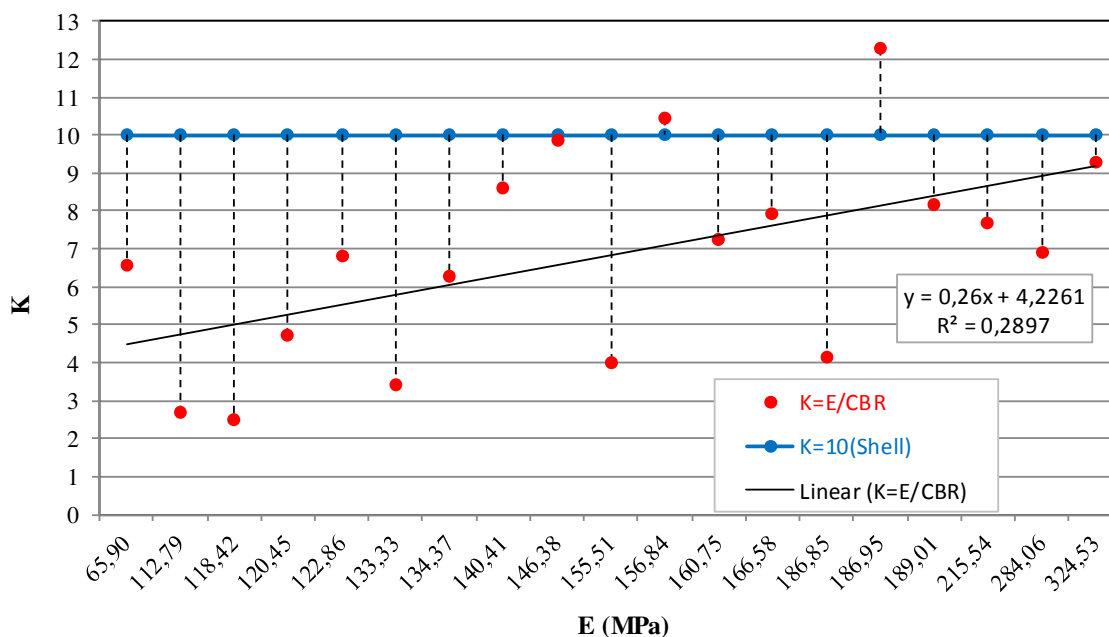


Figura 7 – E versus K

5 - CONCLUSÕES

No presente artigo apresenta-se um estudo acerca da relação, K, entre o módulo de deformabilidade de leitos do pavimento, obtidos por ensaios de carga em placa, e o índice de capacidade de carga da mesma, expresso pelo CBR.

Da análise dos ensaios realizados à amostragem de solos de fundação obteve-se um coeficiente de relação entre o Módulo (ECP) e o CBR de 6,83 (valor médio). O coeficiente obtido é ligeiramente diferente do valor médio proposto pelo método da Shell (igual a 10), mas mantém-se no intervalo proposto pela Shell (5 a 20). Esta expressão empírica é utilizada para diversos tipos de solos e materiais granulares potencialmente utilizados como fundação, sub-bases ou bases de pavimentos, identificados através da classificação para fins rodoviários (baseada na A.A.S.H.T.O. soil classification system, ASTM D 3282-15(2015)) ou da classificação unificada ASTM D 2487-85 (1985).

Atendendo a que o tipo de informação necessária a um tipo de estudo, como o apresentado neste artigo, requer uma grande amostragem de dados, neste caso, de obras de terraplanagens em execução, qualquer abordagem deste género nunca estará concluída por se circunscrever às condições das obras a decorrer à data da realização do mesmo, como foi o caso. Neste contexto, atendendo à quantidade de obras que estiveram na base deste estudo, reconhece-se ter que haver algum cuidado na apresentação duma proposta de generalização dos resultados do estudo realizado, por este não ter envolvido uma suficiente quantidade de tipos de solos de fundação. No entanto considerou-se ser importante propor esta contribuição, mesmo que limitada. Do presente estudo resulta a consciência da necessidade de atualização constante da informação existente, com ensaios do tipo dos apresentados neste trabalho, por forma a contribuir para um constante ajuste dos resultados obtidos, concretamente do coeficiente de relação entre o módulo de deformabilidade e o CBR da fundação.

REFERÊNCIAS

AFNOR NF P94-117-1 (2000) - Sols: reconnaissance et essais - Portance des plates-formes - Partie 1: Module sous chargement statique à la plaque (EV2)". Association Française de Normalisation, Paris.

ASTM D 3282-15 (2015) - Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.

- ASTM D 2487-85 (1985) - Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). American Society for Testing and Materials.
- ASTM D1883-14 (2014) - Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. American Society for Testing and Materials.
- DIN 18134-04 (2012) - Soil: Testing procedures and testing equipment Plate Load Test. English.
- LNEC, E 198 (1967) - Solos: Determinação do CBR. Lisboa, Portugal.
- Martins, J. P., Correia, A. G., Caldeira, L., Neves, E. M. e Delgado, J.L.C. (2008) - Comparação de resultados de ensaios de carga com placa segundo as normas AFNOR NF P94-117-1 e DIN 18134. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Coimbra.
- Morais, H. M. M. e Minhoto, M. J. (2014) - Relação entre Módulo de Deformabilidade e CBR no estudo da Fundação dum Pavimento Rodoviário Flexível. 7º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia - IV Congresso de Engenharia de Moçambique. Inhambane, Moçambique.
- NP EN 13286-47 (2014) - Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos. Parte 47: Método de ensaio para a determinação do índice Californiano de capacidade de carga, do índice de capacidade de carga imediato e da expansibilidade linear. Instituto Português da Qualidade, Portugal.
- Picado, L. S. (1994) - Consideração da Temperatura no Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários Flexíveis - Volume 1. Dissertação à FCT Universidade de Coimbra para obtenção do grau de Doutor, Coimbra.
- Shell (1985) - Shell Pavement Design Manual - Asphalt Pavements and Overlays of road Traffic. Shell International Petroleum, London.