

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE ENSAIOS DE CARGA COM PLACA SEGUNDO AS NORMAS AFNOR NF P94-117-1 E DIN 18134

COMPARISON OF STATIC PLATE LOADING TEST'S RESULTS FOLLOWING AFNOR NF P94-117-1 AND DIN 18134 STANDARDS

Martins, João, *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, jpmartins@civil.uminho.pt*
Gomes Correia, António, *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, agc@civil.uminho.pt*
Caldeira, Laura, *LNEC, Lisboa, Portugal, laurac@lnec.pt*
Maranha das Neves, Emanuel, *Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, emn@civil.ist.utl.pt*
Delgado, João, *REFER, Lisboa, Portugal, jcdelgado@refer.pt*

RESUMO

O ensaio de carga estático com placa tem sido realizado nas mais diversas obras de engenharia, sobretudo segundo as normas AFNOR NF P94-117-1 e DIN 18134. Estas normas possuem diferenças no método de execução e de interpretação do ensaio, que se reflectem em diferenças nos módulos de deformabilidade finais obtidos. Atendendo à importância que este parâmetro assume no controlo de qualidade das camadas de aterro, surge a necessidade de proceder à interpretação dos resultados de ensaio segundo cada uma das normas e à comparação desses mesmos resultados.

ABSTRACT

The static loading plate test has been done in most different engineering works, above all following AFNOR NF P94-117-1 and DIN 18134 standards. These standards differs on the test proceed and on test interpretation, which reflects on the final elastic modulus obtained. Attempting to importance that this parameter assumes on quality control of embankments layers, there is the need to proceed to the interpretation of test results following each standard and to the comparison of that same results.

1. INTRODUÇÃO

Aproveitando a execução de um aterro experimental no âmbito de um protocolo de colaboração entre a Rede Ferroviária Nacional e a Tecminho – Associação Universidade Empresa para o desenvolvimento -, enquanto representante do consórcio UM/LNEC/IST/FCT-UNL, para o desenvolvimento de conhecimentos sobre a metodologia de construção e o controlo das camadas de aterros e da plataforma de vias férreas, realizou-se uma campanha de ensaios de carga com placa, segundo as normas AFNOR NF P94-117-1 (placa de 600 mm) e DIN 18134 (placa de 300 mm), com o intuito de proceder à interpretação dos resultados de ensaio segundo cada uma das normas e à comparação dos mesmos.

A referida campanha de ensaios é parte integrante do Projecto de Investigação POCI/ECM/61114/2004, intitulado “Interacção solo-via férrea para comboios de alta velocidade”, e financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, e teve lugar num aterro experimental construído junto à linha de Évora, a cerca de 2,5 km da estação de caminhos-de-ferro do Monte das Flores.

Na construção do aterro experimental foram utilizados materiais semelhantes aos aplicados num trecho do aterro da nova linha-férrea de Évora. Foram objecto de estudo dois materiais: um solo e um agregado britado de granulometria extensa (*ABGE*). O aterro em solo foi construído sobre duas camadas, com cerca de 0,30 m cada, em contacto com a fundação, com diferentes espessuras de camada (0,30, 0,40 e 0,50 m), variando o teor em água e tomando como referência o valor do teor em água óptimo do Proctor Modificado. Para o *ABGE* foram adoptadas as espessuras de 0,22 e de 0,30 m. No Quadro 1 faz-se uma síntese das características e da geometria adoptada na construção das camadas do aterro experimental.

Quadro 1 – Síntese das características e geometria adoptada na construção do aterro experimental

Tipo de Material	Teor em água (%)	Espessura (m)	Dimensões em planta da camada (m)	Executada sobre camada de
Solo de Aterro	$w_{opt} - 2$	0,30	50 x 6	Fundação
		0,40	25 x 6	0,30m com $w_{opt} - 2\%$
		0,50	50 x 6	Fundação
	w_{opt}	0,40	50 x 6	Fundação
	$w_{opt} + 2$	0,40	50 x 6	0,30 m com $w_{opt} - 2\%$
Sub Balastro (<i>ABGE</i>)	w_{opt}	0,22	25 x 6	0,50 m com $w_{opt} - 2\%$
		0,30	25 x 6	0,50 m com $w_{opt} - 2\%$

2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Foram recolhidas amostras de solo de aterro, da camada de 0,40 m, com teor em água em 2% inferior e superior ao óptimo. Estas amostras foram sujeitas a ensaios de laboratório, apresentando-se, na Figura 1, as respectivas curvas granulométricas, e, no Quadro 2, os valores dos limites de consistência e do azul de metileno da amostra compactada do lado húmido.

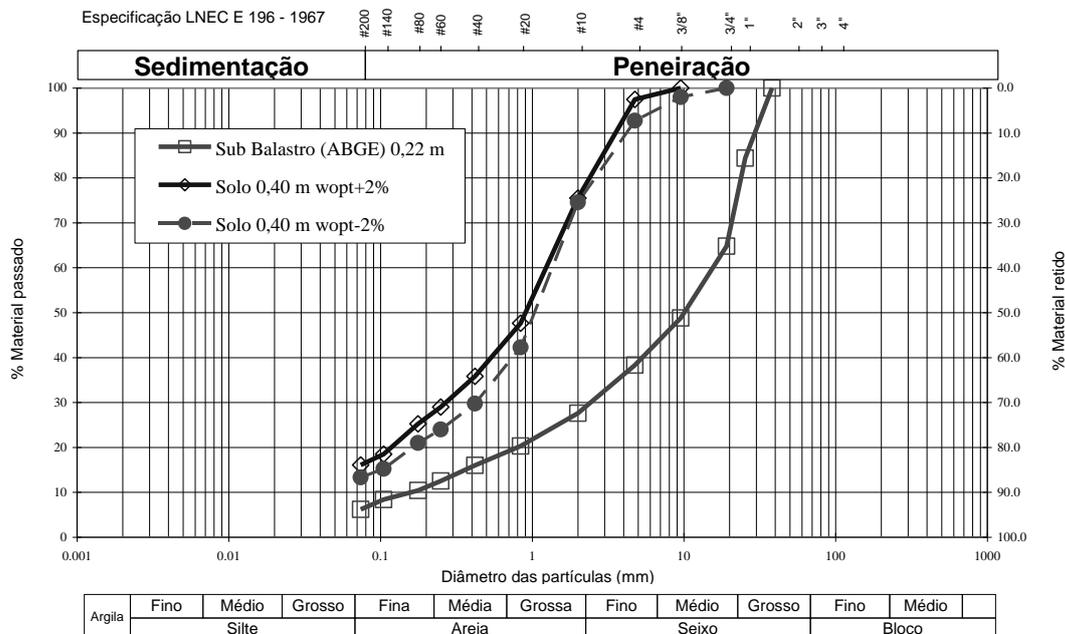


Figura 1 – Curva granulométrica (Especificação LNEC 196-1966) das camadas de solo de 0,40 m do lado seco e húmido e de Sub Balastro (*ABGE*) de 0,22 m

Quadro 2 – Resumo dos resultados da determinação dos limites de consistência (NP-143 1969) e do azul de metileno (NF P94-068 para solo de aterro; NP EN 933-9 2002 para o ABGE)

Material	Local colheita	Limites de Consistência			Azul de Metileno*
		W _L	W _P	I _P	
Solo de aterro	0,40 m com w _{opt} +2%	32	21	11	0,96*
Sub Balastro (ABGE)	0,22 m com w _{opt}	-	-	-	1,25**

* Valor expresso em gramas de corante por 100 gramas de fracção fina do solo

** Valor expresso em gramas de corante por quilogramas de fracção granulométrica 0/2 mm

3. PLANO DE ENSAIOS

Em todas as camadas foram executados ensaios de carga com placa, segundo as normas AFNOR NF P94-117-1 e DIN 18134, para o nível de energia correspondente às 12 passagens do cilindro vibrador.

A localização dos ensaios de placa obedeceu a um plano, no qual as camadas foram divididas em quadrículas. Com aproximadamente 6 m de largura e 25 ou 50 m de comprimento, as camadas foram divididas, em planta, em 3 faixas, designadas por A, B e C, e em comprimentos de 5 m, numerados de 1 a 5 ou de 1 a 10, respectivamente, para os aterros de menor e de maior extensão (Figura 2). Para as camadas de solo de aterro com 0,30 e 0,50 m e teor em água próximo do w_{opt}-2% e com 0,40 m e teor em água próximo do óptimo, os ensaios de carga com placa (ECP) segundo as normas AFNOR e DIN foram realizados em quadrículas distintas. Nas restantes camadas, os ensaios realizaram-se simultaneamente na mesma quadrícula. Para cada uma das camadas, executaram-se 5 ensaios de carga com placa, no mínimo, segundo as normas AFNOR e DIN, resultando num total de 80 ensaios.

4. ENSAIOS ESTÁTICOS DE CARGA COM PLACA – NORMAS E PROCEDIMENTOS

4.1. Ensaios de carga com placa segundo a norma AFNOR NF P94-117-1

Este ensaio consiste em aplicar, após uma pré carga, dois ciclos de carregamento sucessivos através de uma placa de diâmetro e de rigidez normalizados. Ao primeiro carregamento deverá corresponder uma tensão média sob a placa de 0,25 MPa, devendo esta tensão ser mantida durante o tempo necessário à estabilização do deslocamento da placa. No segundo ciclo de carregamento deverá ser atingida uma força tal que traduza uma tensão média sob a placa de 0,20 MPa. A descarga só deverá ser efectuada após a estabilização da deflexão.

A placa a utilizar deverá ter um diâmetro de 600 mm. A medição das deflexões poderá ser efectuada num ponto, situado a menos de 2 cm do centro da placa, ou em três pontos concêntricos, igualmente afastados entre si. Nos ensaios realizados segundo a norma AFNOR utilizaram-se os dois sistemas de medição em simultâneo. No entanto, no presente artigo serão apresentados os valores resultantes da utilização do sistema de medição em três pontos.

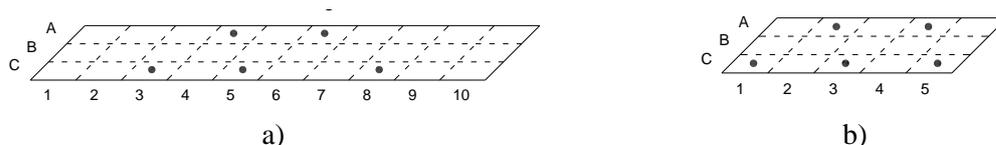


Figura 2 – Representação esquemática dos locais de realização de ensaios de carga com placa para camadas com: a) 50 m de comprimento; b) 25 m de comprimento

A interpretação do ensaio é efectuada recorrendo à solução de Boussinesq para o carregamento estático sobre uma placa circular rígida em meio elástico linear (eq. 1), sendo utilizado o método secante para determinação do deslocamento da placa, como ilustra a Figura 3a.

$$E_{v2} = \frac{\pi}{2} \cdot (1-\nu)^2 \frac{p \cdot r}{z_2} \quad (1)$$

em que ν é o coeficiente de Poisson, p é a pressão sob a placa, r é o raio da placa e z_2 é o deslocamento da placa (Figura 3a).

4.2. Ensaio de carga com placa segundo a norma DIN 18134

O ensaio consiste em aplicar, após uma pré carga, dois ciclos de carregamento sucessivos. No primeiro ciclo de carregamento, a carga deverá ser aplicada em pelo menos seis estágios com valores de incremento aproximadamente iguais, até a carga máxima ser atingida. A descarga deverá ser efectuada em estágios, correspondentes a 50% e a 25% da carga máxima atingida. O segundo ciclo de carregamento deverá ser efectuado até à carga correspondente ao penúltimo estágio do primeiro ciclo. Para cada estágio, a carga deverá ser mantida constante durante dois minutos, no caso de ensaio sobre solos, ou de um minuto, para ensaios sobre materiais de sub base. Para a determinação do valor do módulo de deformabilidade, E_v , para construção de estradas, deverá ser utilizada uma placa de 300 mm e a carga deverá ser aumentada até se induzir um assentamento de 5 mm ou se atingir uma tensão normal sob a placa de 0,5 MPa. Esta placa deve ter uma espessura mínima de 25 mm.

Quanto à medição da deformação, esta deverá ser efectuada no centro da placa, utilizando um braço de contacto articulado para o efeito. A distância mínima dos suportes do braço de contacto ao centro da placa deverá ser 1,50 m. O valor da relação do braço articulado não deverá ser superior a 2. Nos ensaios realizados utilizou-se uma placa de 300 mm e uma viga articulada (viga Benkelman) com a relação entre braços igual a 2.

A interpretação do ensaio é efectuada recorrendo à solução de Boussinesq para carregamento estático sobre uma placa circular rígida em meio elástico linear (eq. 2), sendo utilizado o método tangente para determinação do deslocamento da placa, como ilustra a Figura 3b.

$$E_{v2} = \frac{1,5 \cdot r}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{0\max}} \quad (2)$$

em que r é o raio da placa, $\sigma_{0\max}$ é a tensão sob a placa atingida no primeiro ciclo de carregamento e a_1 e a_2 são os coeficientes determinados a partir do ajuste de um polinómio de segundo grau aos pontos correspondentes ao segundo ciclo de carregamento (Figura 3b).

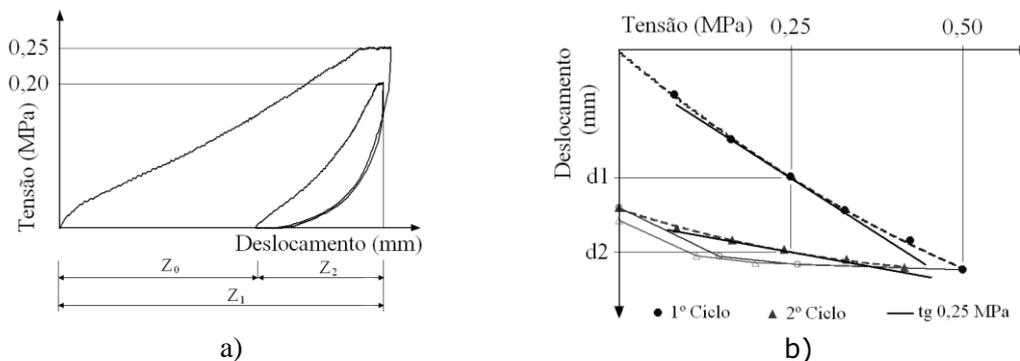


Figura 3 – Interpretação do ensaio de carga estático com placa segundo as normas: a) AFNOR NF P94-117-1; b) DIN 18134

5. RESULTADOS DO ENSAIO DE CARGA COM PLACA SEGUNDO AS NORMAS AFNOR NF P94-117-1 E DIN 18134 E RESPECTIVA COMPARAÇÃO

Para a camada de solo de aterro com 0,40m de espessura e teor em água $w_{opt} +2\%$ e para as camadas de sub-balastro, os ensaios de carga com placa, segundo ambas as normas, foram realizados simultaneamente na mesma quadrícula. Assim, partindo da hipótese que cada quadrícula, com dimensões de $5 \times 3 \text{ m}^2$, possui características físicas e mecânicas homogêneas, apresentam-se os resultados destes ensaios em termos de módulo de deformabilidade E_{v2} , resultante da interpretação directa das respectivas normas (Figura 4a).

De acordo com a interpretação estrita dos resultados segundo cada uma das normas, constata-se que, nos ensaios realizados na mesma quadrícula, os valores de E_{v2} obtidos através da norma DIN são em média 15% superiores aos valores correspondentes obtidos pela norma AFNOR (Figura 4a). Verifica-se uma correlação aceitável ($R^2=0,69$) para a relação estabelecida.

Estes resultados correspondem à interpretação proposta pelas normas AFNOR e DIN. Contudo, ao analisar cada uma das normas constatam-se algumas diferenças na interpretação dos resultados dos ensaios, das quais se salientam: a tensão para a qual é calculado o módulo de deformabilidade e o método utilizado para a determinação do deslocamento da placa. No caso da norma AFNOR, o valor do módulo de deformabilidade E_{v2} é determinado para uma tensão sob a placa de 200 kPa, sendo utilizado o método secante. Já para os ensaios realizados segundo a norma DIN, a determinação é efectuada para uma tensão de 250 kPa, sendo utilizado o método tangente.

Tendo em conta a não linearidade tensão-deformação dos geomateriais, a comparação destes módulos de deformabilidade só poderá ser feita se referidos a um mesmo nível de tensão e adoptando o mesmo método (secante ou tangente).

Assim, procedeu-se à interpretação dos resultados dos ensaios utilizando o método secante para uma tensão sob a placa de 200 kPa. A opção tomada deveu-se ao facto do ensaio realizado segundo a norma AFNOR atingir apenas a tensão de 200 kPa no segundo ciclo de carregamento e, tendo em conta o procedimento de ensaio, apenas ser possível aplicar o método secante. Através da análise da Figura 4b, verifica-se que os valores dos módulos de deformabilidade E_{v2} resultantes da interpretação do ensaio realizado pela norma DIN pelo método secante a 200 kPa são, aproximadamente, 10% inferiores aos valores correspondentes aos ensaios realizados segundo a norma AFNOR nas mesmas quadrículas. Anote-se a correlação obtida traduzida por um coeficiente de determinação R^2 de 0,68. A diferença verificada traduz a pouca influência do procedimento do ensaio para os materiais ensaiados nas respectivas condições de estado.

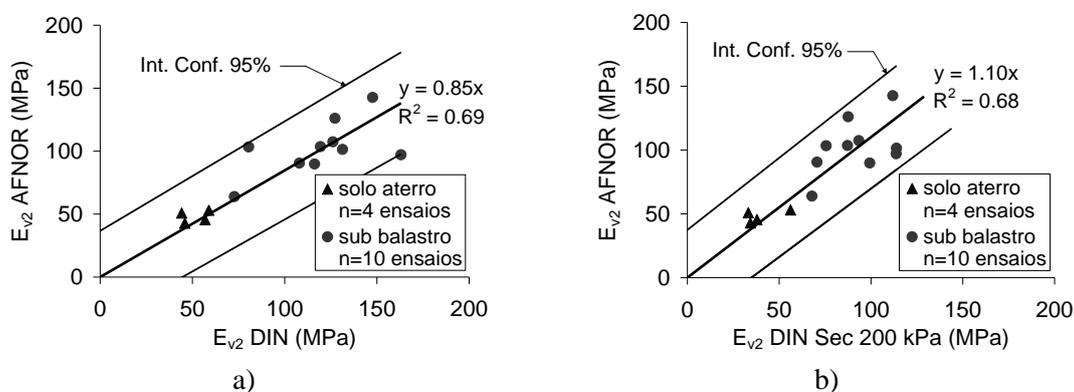


Figura 4 – Comparação dos módulos de deformabilidade E_{v2} obtidos através da interpretação: a) proposta nas normas AFNOR e DIN; b) referidos a uma tensão de 200 kPa

6. CONCLUSÕES

Ao analisar cada uma das normas constatam-se algumas diferenças na interpretação dos resultados dos ensaios, das quais se salientam duas: i) o valor da tensão sob a placa para a qual é determinado o módulo de deformabilidade E_{v2} é diferente em cada uma das normas; ii) o método utilizado para determinar o módulo E_{v2} é distinto (DIN – método tangente; AFNOR – método secante). Conclui-se, assim, que para comparar directamente os valores dos módulos de deformabilidade E_{v2} , para geomateriais que exibam comportamento não linear, estes devem ser obtidos para a mesma tensão sob a placa e utilizando o mesmo método de análise.

AGRADECIMENTOS

A presente comunicação foi realizada no âmbito do protocolo de colaboração entre a REFER - Rede Ferroviária Nacional e a Tecminho – Associação Universidade Empresa para o desenvolvimento enquanto representante do consórcio UM/LNEC/IST/FCT-UNL, parte integrante do projecto POCI/ECM/6114/2004 – “Interacção solo-via férrea para comboios de alta velocidade”.

No âmbito deste trabalho agradece-se a colaboração das empresas: REFER, MOTA-ENGIL e Geocontrolo.

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.
- DIN 18134 (2001). *Determining the deformation and strenght characteristics of soil by plate loading test*. Deutsches Institut für Normung.