

Controlo de qualidade na construção de Estradas de Baixo Volume de Tráfego

D. Marques¹, S. Fontul², A.C. Freire³, V. Antunes⁴

¹ FCT-UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal
email: diogo_ota@hotmail.com

² LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Avenida do Brasil, 10, 1700-066 Lisboa, Portugal

³ LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Avenida do Brasil, 10, 1700-066 Lisboa, Portugal

⁴ Grupo Elevo, Estrada do Seminário, 4 Alfragide, 2610-171 Amadora, Portugal

Sumário

No âmbito deste estudo foram avaliadas, monitorizadas e controladas as características de um modelo físico à escala real de quatro estruturas diferentes de uma Estrada de Baixo Volume de Tráfego (EBVT) construído no âmbito das atividades desenvolvidas pelo projeto TROPICAL-PAV.

Apresenta-se o controlo de qualidade das várias etapas da construção do pavimento para a verificação do cumprimento do caderno de encargos aplicável. Durante a construção do modelo físico, foram utilizados diversos equipamentos nomeadamente o Soil Stiffness Gauge, o Defletómetro de Impacto e o Defletómetro de Impacto Portátil e o Gama densímetro.

Palavras-chave:

Estradas de Baixo Volume de Tráfego; controlo de qualidade; controlo de compactação; ensaios não destrutivos.

1 – INTRODUÇÃO

As Estradas de Baixo Volume de Tráfego (EBVT) são típicas das zonas rurais, fora dos grandes centros urbanos e são fundamentais para o crescimento socioeconómico sustentado e o desenvolvimento de um país, sendo uma estratégia para a atenuação da pobreza. Estas estradas são importantes na grande maioria dos países, mas sobretudo nos países em desenvolvimento, em que estas representem grande parte da sua rede viária [1] e [2].

O estudo desenvolvido, numa primeira fase envolve a realização de ensaios não-destrutivos num modelo físico de uma Estrada de Baixo Volume de Tráfego (EBVT). Neste modelo físico à escala real foram realizados ensaios de controlo de qualidade tanto durante a construção, como no final da mesma, para avaliação do grau de compactação e do comportamento das várias camadas constituintes do modelo. Assim, a avaliação do grau de compactação foi realizada utilizando o equipamento Gama densímetro (GD) e determinada a baridade in situ pelo método da Garrafa de Areia (GA) e para a avaliação do desempenho das camadas foram utilizados três equipamentos, nomeadamente o Soil Stiffness Gauge (SSG), Defletómetro de Impacto Portátil (DIP) e Defletómetro de Impacto (FWD).

Após a realização dos ensaios, fez-se uma análise dos resultados obtidos por forma a avaliar as características da EBVT e para verificar o cumprimento dos valores requeridos pelo caderno de encargos do projeto. Neste estudo apresenta-se ainda uma análise comparativa crítica dos resultados obtidos com os vários equipamentos utilizados.

2 – MODELO FÍSICO E ENSAIOS REALIZADOS

Foi construída uma estrutura em betão armado, com secção em “U”, na qual foram colocadas as diversas camadas do pavimento a ensaiar (Figura 1). A estrutura tem um desenvolvimento total de cerca de 31 metros, uma profundidade máxima interior de 2 m e uma largura interior de cerca de 3 m. Numa das extremidades, nos primeiros 11 metros de desenvolvimento, a estrutura desenvolve-se em rampa, garantindo assim o acesso ao interior da estrutura para a realização da colocação das camadas do modelo físico do pavimento. A secção central, onde se inserem os quatro tipos de estruturas de pavimento ensaiados, cada um com 3 m de comprimentos (ver Figura 2), tem uma extensão de 15 metros, uma profundidade de 2 m e uma largura de 3 metros. Na outra extremidade, nos restantes 5 metros, a secção tem uma profundidade de apenas 1 metro.



Figura 1 – Construção do modelo físico

O pavimento do modelo físico constituído por camadas de fundação e leito do pavimento, constituídas por solo, por camadas estruturais, constituídas por solo tratado com cimento (solo-cimento), e por uma camada de desgaste em misturas betuminosas. Construíram-se quatro tipologias diferentes de pavimento de EBVT (Figura 2), de modo a permitir a análise comparativa do comportamento de cada uma delas sob idênticas condições de simulação de tráfego e de efeitos climatéricos.

As camadas de fundação e de leito do pavimento foram todas construídas com o mesmo tipo de solo, sendo este do tipo CL – argila pouco plástica, segundo a classificação unificada de solos. Este solo foi também usado para o fabrico das camadas de solo-cimento.

A mistura de solo-cimento foi realizada em obra, com a utilização de uma autobetoneira e colocada em obra com o mesmo equipamento. A mistura de solo, para o solo-cimento, consistiu em 50% de solo, 40% de areia 0/2 mm, 10% de areia 2/4 mm, a qual foi acrescentado 3% de cimento do tipo CEM II B-L 32,5N e água na quantidade correspondente, determinada em laboratório.

Para a camada de desgaste foram construídas duas soluções diferentes, uma constituída por 6 cm de betão-betuminoso do tipo AC14 surf 50/70 e a outra constituída por duas camadas, a primeira com 2 cm de espessura, de revestimento superficial duplo, e a segunda com 4 cm de espessura em betão-betuminoso do tipo AC14 surf 50/70.

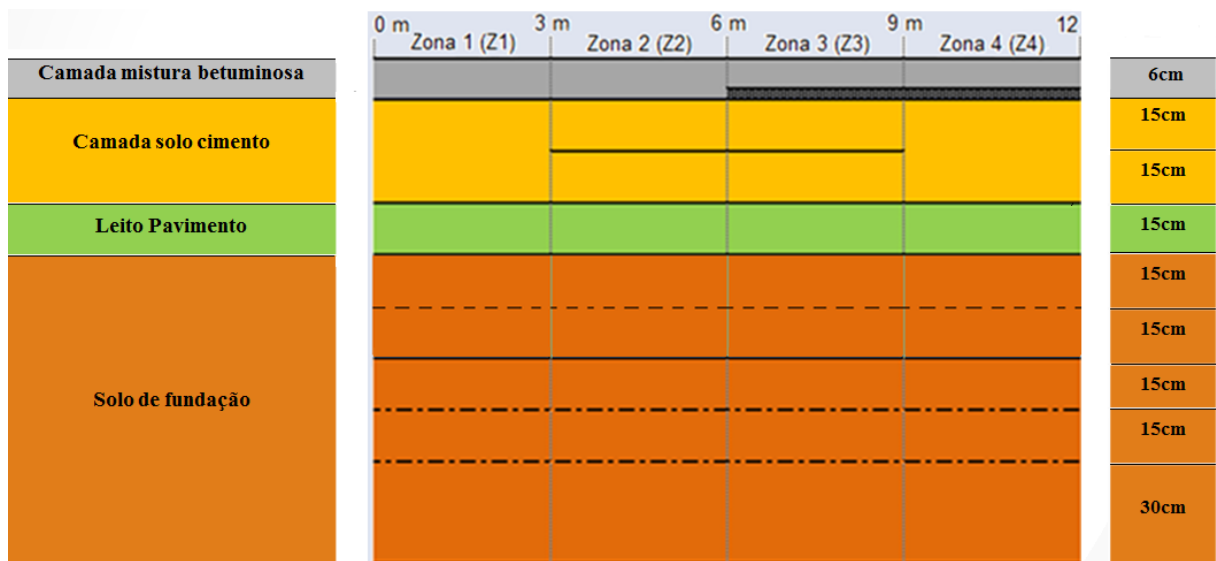


Figura 2 – Esquemática do modelo físico [3]

Os ensaios de controlo de qualidade das camadas foram realizados imediatamente após a sua construção, uma vez que os teores em água depois da construção têm tendência a diminuir, conduzindo a uma alteração dos valores no tempo.

Os ensaios das várias camadas dos pavimentos realizaram-se sempre no eixo central do modelo físico, por forma a manter a coerência dos ensaios e a evitar qualquer efeito de fronteira causado pelas zonas menos compactadas devido à inacessibilidade do cilindro às zonas adjacentes ao muro de betão. Fizeram-se ensaios em 4 zonas ao longo da parte central do modelo, zonas correspondentes às quatro soluções diferentes de pavimento estudadas, sendo denominadas como Z1, Z2, Z3 e Z4 de acordo com a localização (Figura 3).

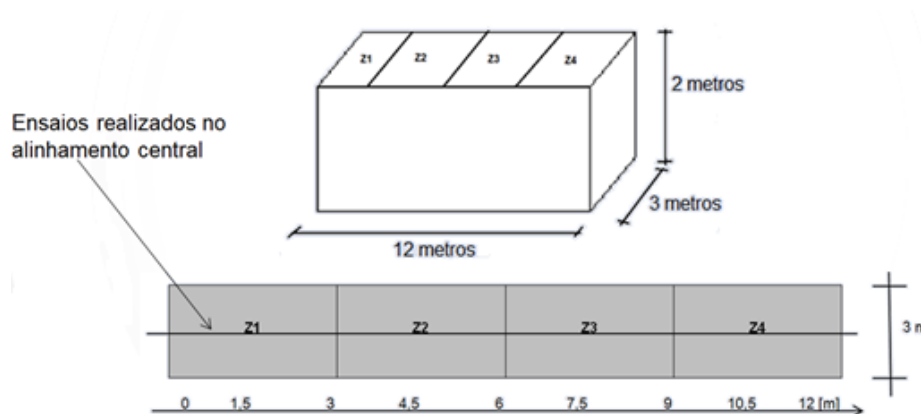


Figura 3 – Visualização 3D das zonas estudadas e localização do alinhamento de ensaios

Nas várias camadas foram efetuados diferentes ensaios de controlo de qualidade, como é possível visualizar no Quadro 1.

Quadro 1 – As quatro estruturas de pavimento do modelo físico e os ensaios realizados nas várias camadas

Estrutura e Ensaios Realizados					
Camadas	Z1	Z2	Z3	Z4	Ensaios Realizados
Camada de Desgaste	6 cm	6 cm	4 cm + 2 cm de revestimento	4 cm + 2 cm de revestimento	DIP;FWD
Solo – Cimento	30 cm	15 cm + 15 cm*	15 cm + 15 cm*	30 cm	DIP;GG;GD;GA
Leito do Pavimento	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	DIP;GD;GG;GA;FWD
Solo de Fundação	4 camadas de 15 cm + 1 camada de 30 cm				DIP;GD;GG;GA **

Legenda:

GA – Garrafa de Areia; GD – Gama densímetro; GG – GeoGauge (SSG - Soil Stiffness Gauge); DIP – Defletómetro de Impacto Portátil; FWD – Defletómetro de Impacto

* compactado em 2 camadas

** ensaios realizados em todas as camadas

3 – ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

3.1 Avaliação do Grau de Compactação

Em caderno de encargos e para controlo de qualidade do pavimento construído, eram impostos mínimos de compactação das várias camadas. Para as camadas de solo de fundação o mínimo exigido era de 93%, para as camadas de leito do pavimento o mínimo exigido era de 95% e para a camada de solo-cimento o mínimo era de 97%.

Na avaliação do grau de compactação constatou-se que as camadas de fundação cumpriram, em geral, os valores exigidos no caderno de encargos, no entanto a camada de leito do pavimento e a camada de solo-cimento não cumpriram os valores exigidos. A seguir são apresentados alguns resultados obtidos na avaliação do grau de compactação.

3.2.1 Solo de fundação

Na avaliação do Grau de Compactação foram utilizados o equipamento Gama densímetro e o ensaio de Garrafa de Areia. Estes métodos permitem de forma rápida e expedita de determinar in situ a baridade do solo, o teor em água e por conseguinte o Grau de Compactação. Foi realizada uma comparação entre os dois métodos utilizados, sendo os resultados obtidos apresentados na Figura 4. Assim, pode-se observar que na primeira camada de fundação (solo de fundação 1), verifica-se uma variação de valores entre os dois métodos, com o GD obteve-se 89,3% enquanto que com o GA obteve-se 94,8%. Uma razão para esta divergência de valores pode ser a espessura da camada, ou seja, a camada foi compactada com 30 cm de espessura e dado que o ensaio garrafa de areia apenas realiza um furo de 10 cm de profundidade, poderá não ser uma amostra significativa para este tipo de espessuras, uma vez que a camada pode estar bem compactada no topo e não se avaliar a totalidade da

camada. Ao invés, o ensaio com o Gama densímetro realiza o ensaio a 30 cm de profundidade abrangendo assim a espessura total da camada.

No que diz respeito às restantes camadas de fundação, e como é possível observar na Figura 4, existe uma correlação entre os graus de compactação obtidos pelos dois métodos.

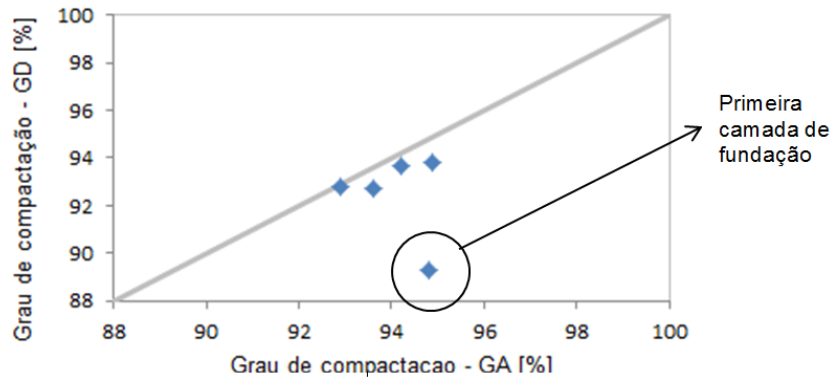


Figura 4 – Comparação entre os resultados obtidos com o Gama Densímetro (GD) e pelo método da Garrafa de Areia (GA) nas camadas de fundação

3.1.2 Solo-cimento

Para a camada de solo-cimento, como anteriormente descrito, foram construídas duas estruturas diferentes no modelo físico. Numa estrutura houve a colocação e compactação do material com a espessura total da camada de 30 cm e uma segunda estrutura que foi executada e compactada em duas camadas de 15 cm de espessura cada. Os ensaios realizados para controlo de qualidade da camada foram realizados no topo das duas soluções. Na Figura 5 verifica-se que o grau de compactação não atingiu os valores definidos no caderno de encargos (97%).

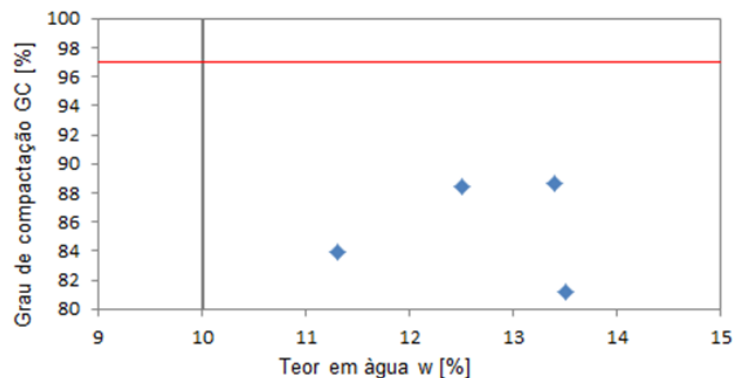


Figura 5 – Grau de compactação e teor em água da camada de solo-cimento

A realização da mistura de solo-cimento foi executada com recurso a uma autobetoneira, verificou-se no entanto grande dificuldade em garantir a homogeneização da mistura, existindo dificuldade no desterroamento do solo assim como na ligação dos diferentes materiais. Na Figura 5 é possível verificar que a camada de solo-cimento tinha um teor em água superior ao valor requerido como desejável de 10%.

3.2 Avaliação de desempenho das camadas

Na avaliação do desempenho das camadas foram utilizados os equipamentos Geogauge (GG), Defletómetro de Impacto Portátil (DIP), onde a força aplicada pelo equipamento à superfície do terreno foi cerca de 14 kN utilizando uma base de 300 mm e Defletómetro de Impacto (FWD). Estes equipamentos permitem de forma rápida e eficiente avaliar o desempenho das camadas dos pavimentos.

3.2.1 Solo de fundação

Os equipamentos Defletómetro de Impacto Portátil (DIP) e GeoGauge (GG) permitem avaliar o desempenho de camadas de pavimentos através da obtenção de valores do módulo de deformabilidade dos meios ensaiados. Na Figura 6 apresenta-se uma comparação entre os resultados obtidos com os dois equipamentos para as várias camadas de fundação do modelo físico.

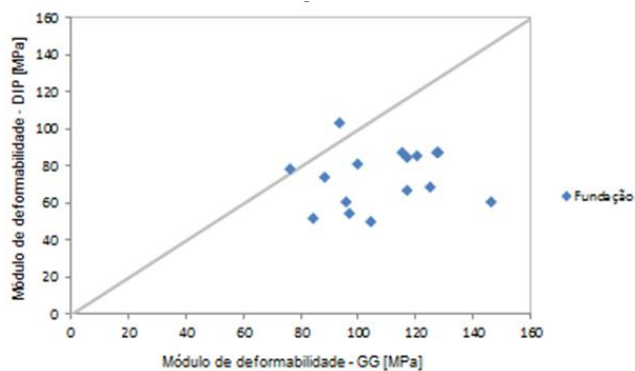


Figura 6 – Comparação entre os módulos de deformabilidade obtidos com o DIP e GG nas camadas do solo de fundação

Através da análise da Figura 6 é possível verificar que não existe relação direta entre os dois equipamentos. É no entanto possível verificar, que os valores do módulo de deformabilidade obtidos com o GG são em geral sempre superiores aos obtidos com o DIP.

3.2.2 Solo-cimento

A Figura 7 apresenta os resultados obtidos no topo das camadas de solo-cimento com os dois equipamentos utilizados. Pode-se verificar que, com o equipamento Geogauge, obteve-se uma boa repetibilidade de valores, com o DIP, regra geral também é verificada a repetibilidade de valores ao longo do trecho.

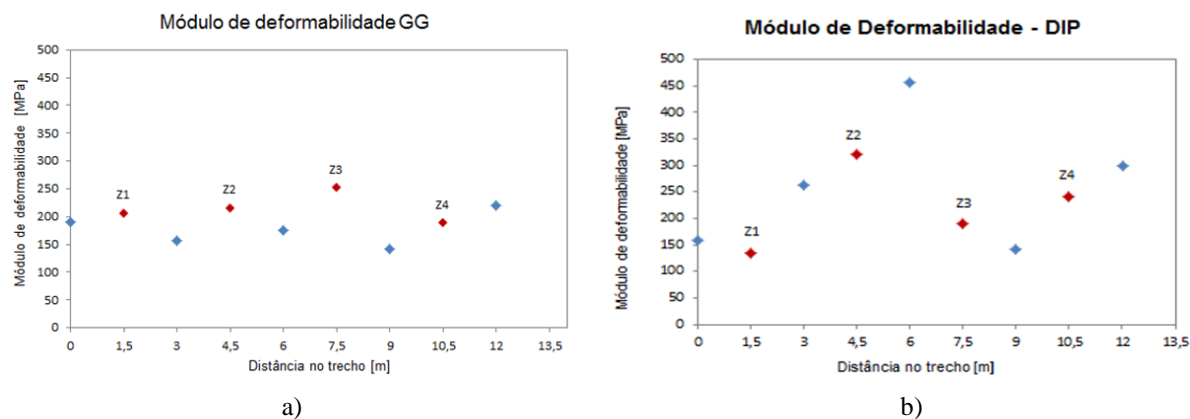


Figura 7 – Módulo de deformabilidade: a) Geogauge; b) Defletómetro de Impacto Portátil

3.2.3 Ensaio realizados com o Defletómetro de Impacto (FWD)

Foram realizados ensaios com o FWD e com o DIP em duas fases da construção do modelo físico: no topo da camada de leito do pavimento e no topo da estrutura final.

Os ensaios com o FWD foram realizados com a placa de carga de 300 mm de diâmetro, do mesmo diâmetro da placa utilizada com o Defletómetro de Impacto Portátil. No topo do leito do pavimento (figura 9) a carga aplicada no ensaio foi de 30 kN enquanto que no topo da mistura betuminosa foi de 65 kN. Como exemplo, apresentam-se na Figura 8 as deflexões obtidas ao longo do alinhamento central, no topo do pavimento do modelo físico.

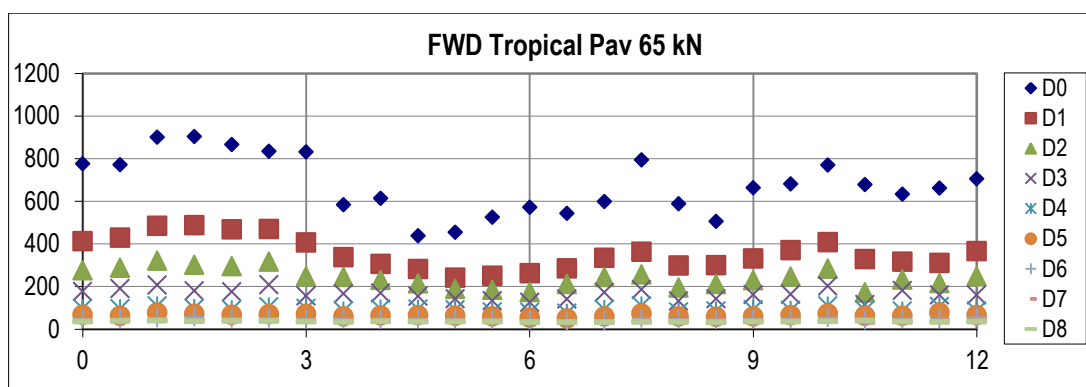


Figura 8 – Deflexões obtidas com o Defletómetro de Impacto do LNEC no topo do modelo físico

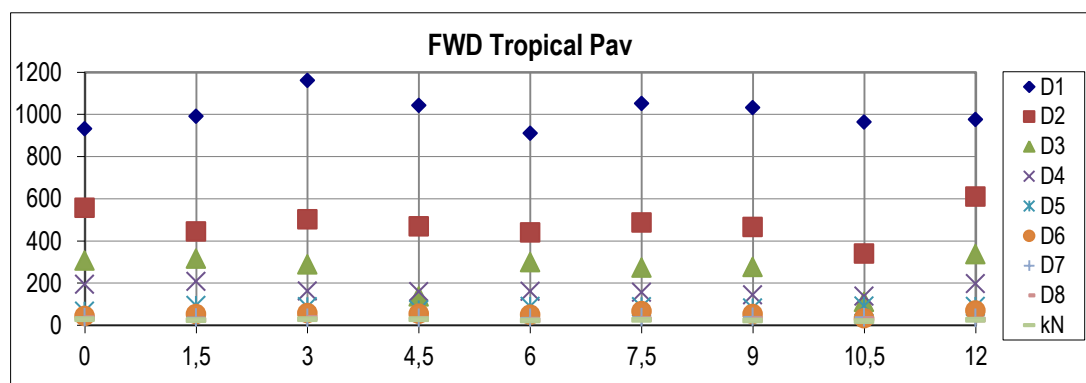


Figura 9 – Deflexões obtidas com o Defletómetro de Impacto do LNEC no topo do leito do Pavimento

Através da análise da Figura 8 é possível identificar que a zona 1 (0-3 m) apresenta deflexões maiores que as restantes zonas, provavelmente devido à deficiência na compactação das camadas estruturais.

3.2.3 Comparação entre os resultados obtidos com o FWD e DIP

Para o cálculo do módulo de deformabilidade obtido pelo FWD, utilizou-se a teoria de Boussinesq, em que utiliza a expressão (1) para o cálculo. Apenas foi tido em conta o valor das deflexões obtidas no geofone D0 do equipamento [4].

$$E_0 = \frac{2 \times (1 - \nu^2) \times a \times \sigma_0}{d_0} \tag{1}$$

Onde:

E_0 – Módulo de deformabilidade equivalente (MPa);

a – Raio da placa de carga (mm);

σ_0 – Tensão constante sob a placa de carga (kPa);

d_0 – Deflexão medida no centro da placa de carga (μm);

ν – Coeficiente de Poisson.

Na Figura 10 e Figura 11 apresenta-se a comparação entre os módulos de deformabilidade obtidos pelo equipamento DIP e FWD.

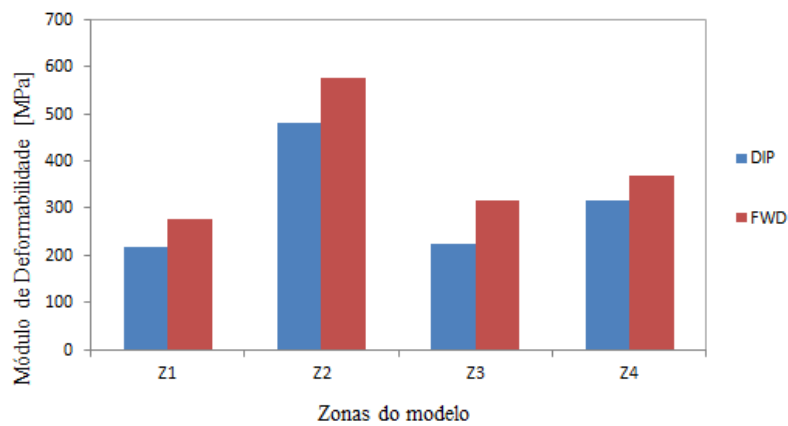


Figura 10 – Comparação entre os módulos da camada de desgaste obtidos pelo DIP e pelo FWD

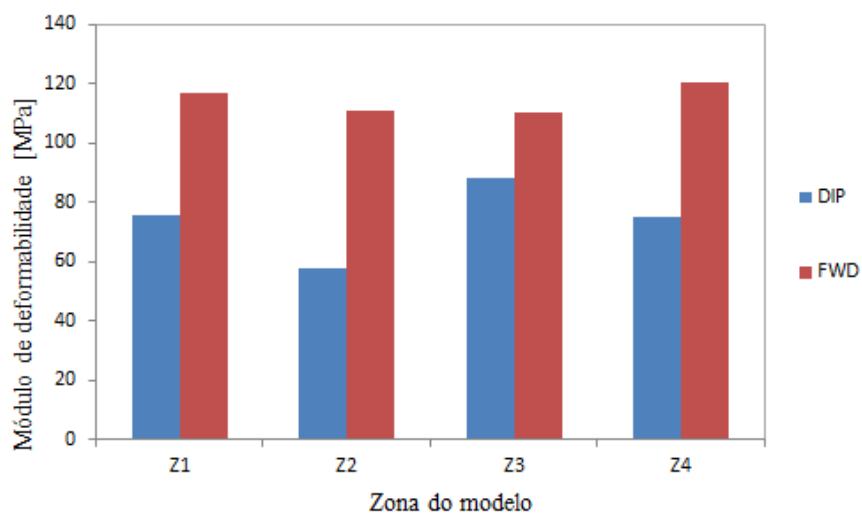


Figura 11 – Comparação entre os módulos das camadas de fundação obtidos pelo DIP e pelo FWD

Em ambos os ensaios, tanto na camada de desgaste como na camada de fundação, é possível verificar que os valores obtidos pelo DIP são sempre inferiores aos valores obtidos pelo FWD. Na Figura 10 verifica-se que a diferença de valores entre equipamentos ronda os 20%, enquanto na Figura 11 verifica-se uma variação de valores superior, aproximadamente 35%.

4 – CONCLUSÕES

No âmbito do presente trabalho foram efetuados ensaios não destrutivos no controlo de qualidade das várias camadas da estrutura, foram avaliadas as características do solo com recurso a diferentes equipamentos de ensaio, tendo sido feita uma análise comparativa relativamente aos valores obtidos para cada um deles. Foi possível verificar com a avaliação realizada, que devem ser privilegiadas camadas com espessuras com 15 cm, verificando melhorias na compactação, sendo que na execução das camadas deve ser tido em conta o tipo de equipamento mais adequado para o tipo de solo existente, garantindo-se assim uma adequada compactação.

Enumeram-se de seguida algumas recomendações resultantes das dificuldades encontradas durante a execução de ensaios realizados:

- Na realização do ensaio com o equipamento Gama densímetro, garantir que o valor da baridade seca obtida em laboratório e introduzido no equipamento, corresponde ao solo a ensaiar.
- Quando da utilização do Geogauge, garantir que não existem vibrações no terreno proveniente dos trabalhos em curso. Qualquer vibração no solo condiciona a utilização do equipamento.
- Na realização de ensaios com o Defletómetro de Impacto Ligeiro (DIP), ter em atenção ao valor do coeficiente do *Poisson* introduzido no PDA do equipamento, mudar o valor do coeficiente sempre que o material a ensaiar variar.
- Na realização de ensaios com o DIP, num ensaio de um pavimento contínuo, ter em atenção à variação do módulo de deformabilidade obtido em cada ensaio. Repetir ensaio sempre que surjam dúvidas nos resultados.
- Na utilização do DIP, controlar sempre o contacto entre a placa de carga e o solo a ensaiar. Quando existe deficiente contacto da placa com o solo os resultados obtidos podem conter erros.
- Na realização de ensaios da garrafa de areia, realizar sempre novos ensaios quando o tipo ou espessura do material a ensaiar sofre alterações.

5 – AGRADECIMENTOS

Manifesta-se o agradecimento ao consórcio do projeto TROPICAL-PAV.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Antunes, M. L., Fortunato, E., Alves, E., Freire, A. C. 2013. *Curso de Estradas de Baixo Volume de Tráfego*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
2. Sant’Ana, W. 2009. *Contribuição ao Estudo de Solo-Emulsão em Pavimentos de Rodovias de Baixo Volume Tráfego para o Estado do Maranhão*, Dissertação para Obtenção do Grau de Doutor. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo – Brasil.

3. Marques, D. 2015 *Controlo de Qualidade de Estradas de Baixo Volume de Tráfego*. Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologias- Universidade Nova de Lisboa, Lisboa
4. Govind, K. 2010. *Caracterização Estrutural de Infraestruturas de Transportes Através de Auscultação Não Destrutiva*, Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.