

## **AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE UMA ESTRADA DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO EM FUNÇÃO DO TEMPO**

### **EVALUATION OF THE BEHAVIOR OF A LOW TRAFFIC ROAD AS A FUNCTION OF TIME**

Kolodi, William Eduardo, *Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal, Email: [a52517@alunos.ipb.pt](mailto:a52517@alunos.ipb.pt)*

Minhoto, Manuel Joaquim da Costa, *Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal, Email: [minhoto@ipb.pt](mailto:minhoto@ipb.pt)*

Morais, Hermínia Maria Mesquita, *Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal, Email: [hmorais@ipb.pt](mailto:hmorais@ipb.pt)*

Paula, António Miguel, *Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal, Email: [mpaula@ipb.pt](mailto:mpaula@ipb.pt).*\*

\*autor para correspondência

#### **RESUMO**

As estradas não pavimentadas são o principal meio de ligação entre os grandes centros urbanos e as regiões com baixa densidade demográfica e zonas de montanha. Durante muitos anos foram realizados ensaios estáticos para estudar essas estradas, consistindo na aplicação de cargas de valor elevado para a rutura do solo, não representando o padrão real de carga devido à passagem de veículos. Assim, ensaios de carga dinâmica revelam-se mais representativos para simular tal carregamento. Os equipamentos de carga dinâmica possuem eficiência na transmissão da força, no entanto, possuem também grandes dimensões. Assim, foi desenvolvido na Alemanha um equipamento mais leve e de fácil transporte, o Light Weight Deflectometer (LWD), com o objetivo de realizar medições em zonas de difícil acesso, com maior rapidez e agilidade.

Neste trabalho estudou-se uma estrada de baixo volume de tráfego (EBVT) não-pavimentada, que se encontra dentro do Parque Natural do Montesinho, no Conselho de Bragança, que recebe, desde veículos leves até veículos pesados. Avaliou-se os resultados obtidos pelo ensaio Light Weight Deflectometer (LWD), registrados em diferentes períodos de tempo, 2019, 2021 e em 2022. De seguida, adota-se o método das diferenças acumuladas da Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte (AASHTO) para decompor a estrada em secções de comportamento homogêneas. Por fim, faz-se um comparativo das secções resultantes, a fim de observar seus comportamentos em diferentes períodos, procurando um padrão lógico de desempenho.

#### **ABSTRACT**

The unpaved roads are the main paths that connect large urban centers and regions with low population density and mountain areas. For many years, static tests were performed to study these roads, consisting in the application of high value loads for soil rupture, not representing the real load pattern of the passage of vehicles. Thus, dynamic load tests proved to be more representative to simulate those of load. The dynamic load

equipments are efficient in apply force, however, they also have large dimensions and sometimes are unworkable. Taking this into consideration, a lighter and easier to transport equipment, was developed in Germany, the Light Weight Deflectometer (LWD), with the objective of making measurements (modulus of deformability and CBR dynamics) in areas of difficult access, with a greater speed and agility.

This work studied an unpaved low volume road (LVR) inside the Natural Park of Montesinho, at the Council of Bragança, that receives several types of vehicles, from light to heavier ones. In order to better evaluate the chosen road, the results obtained through the Light Weight Deflectometer (LWD), obtained in different time periods, 2019, 2021 and 2022 are used, and then, the cumulative differences method by the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) is adopted to separate the road into homogeneous performing sections. Finally, a comparison of the resulting sections is made, in order to observe their behavior in different periods, looking for a logical pattern of performance.

## 1. INTRODUÇÃO

As redes rodoviárias dos países integram na sua composição uma percentagem considerável de estradas de baixo volume de tráfego não pavimentadas. Segundo a Agência Central de Inteligência - CIA (2012), a rede rodoviária dos Estados Unidos contém cerca de 35% de estradas não pavimentadas. A Agência Central de Inteligência também coleta dados sobre estradas não pavimentadas em outros países fora da América do Norte: a Austrália tem 83% de sua rede rodoviária não pavimentada (CIA, 2018), Honduras tem 77%, a Islândia tem 56% e a Rússia tem 28%. Conclui-se, portanto, que uma fração significativa das redes rodoviárias do mundo é composta por estradas não pavimentadas.

Existem diversos ensaios disponíveis com o objetivo de determinar o estado de manutenção das estradas não pavimentadas, considerando a capacidade de suportar e o tráfego expectável. Estes ensaios, de capacidade de carga dividem-se em duas vertentes: os ensaios em laboratório, e os ensaios *in situ*. No primeiro grupo, enquadram-se ensaios como o *California Bearing Ratio* - CBR (laboratorial), e o ensaio triaxial, que utilizam amostras de solo extraídas na zona de estudo. No segundo grupo, enquadram-se ensaios estáticos, como o de carga em placa (ECP) e ensaios dinâmicos, como o deflectómetro de impacto leve (LWD – Light Weight Deflectometer). Estes tipos de ensaios realizados *in situ*, apresentam maior confiabilidade nos resultados da análise, uma vez que os solos ensaiados se encontram nas condições mecânicas de utilização. No caso dos ECP, apresentam uma maior dificuldade na sua realização, pois a principal dificuldade deste ensaio é garantir o recurso a um sistema de reacção adequado, além de necessitar de 2 operadores, resultando numa operação mais morosa.

No caso do ensaio Light Weight Deflectometer (LWD), ou deflectómetro leve de impacto, mantém a confiabilidade do ensaio anterior, mas de uso mais simples e rápido (Nazzal et al., 2007), tendo sido também desenvolvida uma versão do equipamento que realiza também o CBR *in situ*, de forma ágil e prática, com apenas um operador.

Neste trabalho, uma estrada de baixo volume de tráfego (EBVT) do município de Bragança, Portugal, foi objeto de estudo. Esta situa-se no parque natural de Montesinho, entre duas barragens responsáveis pelo abastecimento de água à cidade. O tráfego a que está sujeita esta estrada envolve veículos de lazer, e veículos em trabalhos

relacionados quer com a economia da zona quer com a gestão pela preservação da barragem e do próprio parque.

Esta EBVT localiza-se numa região montanhosa, com altitude que varia entre 1220 e 1250 metros em relação ao nível do mar. Sua extensão total é de 3016 metros, tendo como coordenadas do ponto inicial (ponto A), no sistema ETRS89-TM06 M: 109862.46 P: 255612.42, e coordenadas do ponto final (ponto B) M: 109400.55 P: 252673.37, como mostra a Figura 1.

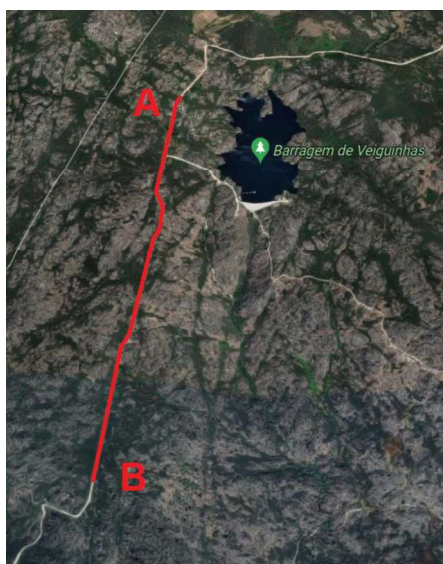


Figura 1 - Localização da EBVT em Estudo

## 2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE EBVT

A caracterização geotécnica das estradas de baixo volume de tráfego (EBVT), é fundamental para obter as melhores decisões, seja no dimensionamento, na fase de construção ou reabilitação. Desta maneira, não é necessário recorrer a regras ou abordagens gerais, que muitas vezes não representam a melhor maneira de intervir em casos particulares. Para isso, utilizam-se equipamentos e ensaios dos mais diversos, como o versátil LWD, que fornece parâmetros mecânicos que representam as propriedades mecânicas do solo em estudo.

### 2.1. Light Weight Deflectometer (LWD)

Com o objetivo de avaliar e efetuar ensaios de caracterização mecânica de forma mais ágil e rápida, em 1981 foi desenvolvido o Light Weight Deflectometer (LWD), em Magdeburg, na Alemanha, pelo Instituto Federal de Pesquisa Rodoviária juntamente com a HMP Company (Elhakim et al., 2018). É um equipamento portátil que veio facilitar a recolha de dados de campo, pois não são necessários os meios que o ensaio de carga em placa (ECP) tradicional necessita. O ensaio de Light Weight Deflectometer (LWD) pode ser realizado em espaços com dimensão reduzida e de difícil acesso, é um equipamento leve e pode ser operado por apenas uma pessoa.

Neste trabalho utilizou-se o Light Weight Deflectometer (LWD) do laboratório de geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança (IPB) (ver figura 2b). O equipamento

permite a determinação do módulo de deformabilidade dinâmico ( $E_{vd}$ ) e assim obter informações essenciais sobre a capacidade de carga e de compactação do solo em estudo (ZORN, 2016). Na figura 2a estão representados todos os componentes do equipamento usado.

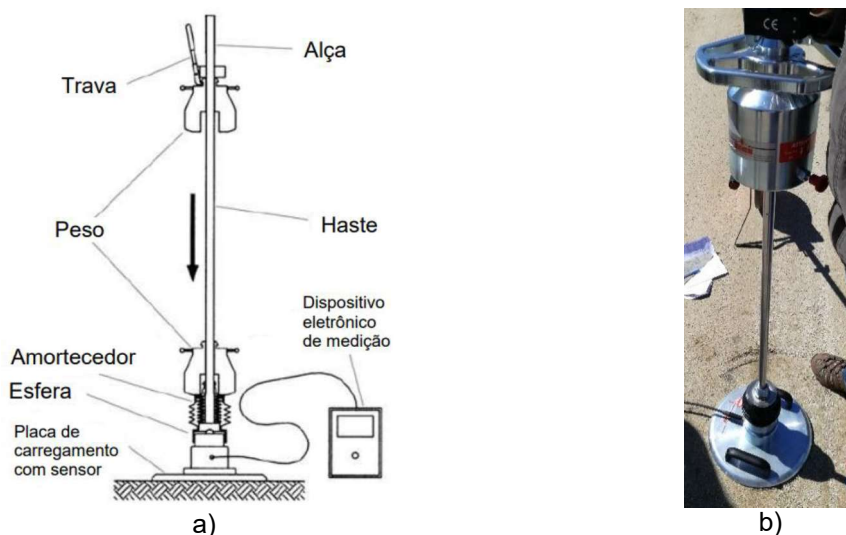


Figura 2 – a) Componentes do Light Weight Deflectometer (Adam e Adam, 2003) e b) Equipamento do Laboratório de Geotecnia utilizado nos ensaios

O equipamento é composto por três partes principais, sendo elas: o dispositivo de carregamento, que se resume a haste, ao peso que nela transita e o amortecedor; a placa de carga com sensor; e o dispositivo eletrônico de medição. A primeira parte é responsável pela aplicação da carga do aparelho ao solo, a placa de carga tem a função de ler a deformação vertical causada por esta carga no solo e o dispositivo eletrônico processa essa deformação para posteriormente obter o módulo de deformabilidade ( $E_{vd}$ ).

## 2.2. Índice de Suporte California - CBR dinâmico

O equipamento referido permite também realizar o ensaio CBR dinâmico, após ser devidamente adaptado e ajustado. O CBR dinâmico também permite caracterizar mecanicamente o solo de uma estrada de baixo volume de tráfego (EBVT), sendo um parâmetro que expressa, por meio de percentagem, a resistência mecânica do solo em análise. O CBR dinâmico é semelhante ao CBR estático, a diferença está no tipo de carga aplicada ao pistão e no tempo de aplicação. A carga para o ensaio do CBR dinâmico é uma carga dinâmica, que, por meio da gravidade, gerar um impacto no pistão a uma determinada velocidade. Esta carga irá provocar um deslocamento no solo em contato com a base do pistão, e este deslocamento será registrado por um acelerômetro.

Para realização do CBR dinâmico, o Light Weight Deflectometer (LWD) do laboratório de geotecnia do IPB é adaptado. Usa uma segunda placa, esta de confinamento do pistão (Figura 3 a), juntamente com o pistão do CBR dinâmico (Figura 3 b), inserido nela. A componente do pistão possui um sensor do tipo acelerômetro, responsável por coletar os dados e enviá-los para o dispositivo eletrônico (ZORN, 2016). As outras duas partes principais permanecem, a haste com o peso e o dispositivo de medição eletrônico, cumprindo a mesma função que a do Light Weight Deflectometer (LWD).



Figura 3 – a) Placa e b) Pistão do CBR Dinâmico (Wolf et al, 2021)

### 3. METODOLOGIA

Nesta secção será apresentado o trabalho de observação do estado mecânico da estrada, através do Light Weight Deflectometer (LWD) do laboratório de geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), bem como o tratamento de resultados. Com base nestes resultados realizou-se a determinação de zonas/secções de comportamento mecânico homogêneo através do método das diferenças acumuladas da AASHTO. Este procedimento foi efetuado separadamente para cada conjunto de resultados obtidos, módulo de deformabilidade dinâmico ( $E_{vd}$ ) e CBR dinâmico ( $CBR_d$ ). Desta forma obtiveram-se dois conjuntos de secções homogêneas para a mesma extensão de estrada, em diferentes períodos temporais de ensaios, permitindo assim, comparar parâmetros mecânicos e suas variações.

A obtenção de dados por meio do ensaio Light Weight Deflectometer (LWD) é realizada de 100 em 100 metros, o que permitiu caracterizar 30 pontos de ensaio ao longo do traçado longitudinal da estrada. Para cada ponto, foram obtidos o módulo de deformabilidade dinâmico ( $E_{vd}$ ) e o CBR dinâmico ( $CBR_d$ ). Foram efetuados leituras em diferentes períodos de tempo, em 2019 (Freitas, 2019), 2020 e 2021 (Wolf, 2021). Assim ao longo deste período foram obtidos quatro do  $E_{vd}$  e três registos de  $CBR_d$ , para cada um dos 30 pontos da estrada analisada.

#### 3.1 Diferenças acumuladas (AASHTO)

Uma vez realizados os ensaios, utiliza-se a metodologia das diferenças acumuladas da AASHTO, para dividir o trecho do estudo em seções homogêneas, ou seja, seções que apresentam comportamento mecânico semelhante.

Esta metodologia permite uma análise do comportamento de estradas extensas, de forma estruturada, já que, gera, a partir de uma quantidade excessiva de valores, um único valor representativo para partes dessa mesma estrada que possuem comportamento estrutural semelhante (AASHTO, 1993).

O método consiste na elaboração de duas sequencias acumuladas de valores, que, em seguida, serão comparadas e será observada a diferença entre elas por meio de um gráfico. A primeira sequência de valores será a soma acumulada dos valores mecânicos individuais de cada ponto, multiplicados pela sua extensão, ou área, de influência. A

segunda sequência de valores será a soma acumulada do valor médio de todos os pontos, multiplicados pela sua extensão/área de influência.

A diferença destas duas sequências ( $Z_x$ ) está definida pela equação 1 abaixo:

$$Z_x = \sum_{i=1}^n \frac{(r_{i-1}+r_i) * x_i}{2} - \frac{\sum_{i=1}^n (r_{i-1}+r_i) * x_i}{L_p} * \sum_{i=1}^n x_i \quad [1]$$

$Z_x$  é a diferença entre as duas sequências em um determinado ponto;

$n$  é o número do ensaio dentro o conjunto;

$r_{i-1}$  é o resultado do ensaio no ponto " $i-1$ ";

$r_i$  é o resultado do ensaio no ponto " $i$ ";

$x_i$  é a distância entre o ponto de ensaio e seu anterior;

$L_p$  é a distância total do trecho em análise.

O estabelecimento de secções homogêneas é realizado com base na evolução de ( $Z_x$ ) ao longo da extensão da estrada. Para tal, é elaborado um gráfico com os valores de  $Z_x$  em cada ponto, em função da extensão total da estrada. Neste gráfico consideram-se secções homogêneas as partes do mesmo onde a função  $Z_x$  mantenha aproximadamente a mesma inclinação. Cada vez que o sinal desta função sofrer mudança, marca-se o fim de uma secção homogênea e o início de outra.

Após a definição das secções homogêneas, encontra-se o valor característico estimado de cada secção, que será o valor representativo de toda a extensão desta, sendo o valor associado a uma probabilidade de ocorrência de 85%, calculado por meio a equação 2.

$$r_k = \bar{r} + 1,04 * \sigma_r \quad [2]$$

$r_k$  é o valor característico estimado da secção;

$\bar{r}$  é o valor médio de todos os resultados da secção;

$\sigma_r$  é o desvio padrão.

Por fim, encontra-se o ponto de ensaio onde se verifiquem os valores mecânicos mais próximos do valor característico obtido anteriormente, comparando este valor característico com todos os resultados de ensaio obtidos na secção.

## 4. RESULTADOS

Analisam-se sete grupos de dados para este estudo, dos quais quatro correspondem aos valores do  $E_{vd}$ , e três aos valores de  $CBR_d$ .

### 4.1. Análise do modulo de deformabilidade dinâmico ( $E_{vd}$ )

Começando pelos quatro primeiros grupos de resultados do  $E_{vd}$ , foram obtidos por três estudos diferentes, e podem ser elencados com o período e autor respectivo abaixo:

- 05/2019 – Freitas (2019) – primeira avaliação
- 12/2020 – Wolf, (2021) – segunda avaliação
- 03/2021 – Wolf (2021) – terceira avaliação
- 05/2022 – Quarta avaliação

É importante destacar que, para o desenho dos gráficos de cada um dos grupos de dados, foi definida como sendo uma secção homogênea apenas intervalos de ponto em sequência com valor crescente ou decrescente que somassem 1000 pontos ou mais em termos de “Z<sub>x</sub>”. O motivo dessa decisão deve-se ao fato de que, contrariamente às estradas pavimentada, em estradas não-pavimentadas existe uma superfície mais irregular e heterogênea, logo é normal que haja maior variação de valores entre um grupo de pontos. Caso fosse utilizada uma análise mais conservadora, resultaria num número maior de secções, afastando-se do objetivo da metodologia, de definir e tratar trechos longos por possuírem um comportamento semelhante.

As secções homogêneas do E<sub>vd</sub> podem ser visualizadas na figura 4. Cada gráfico representa um conjunto de dados temporais dentre os 4 referidos acima.

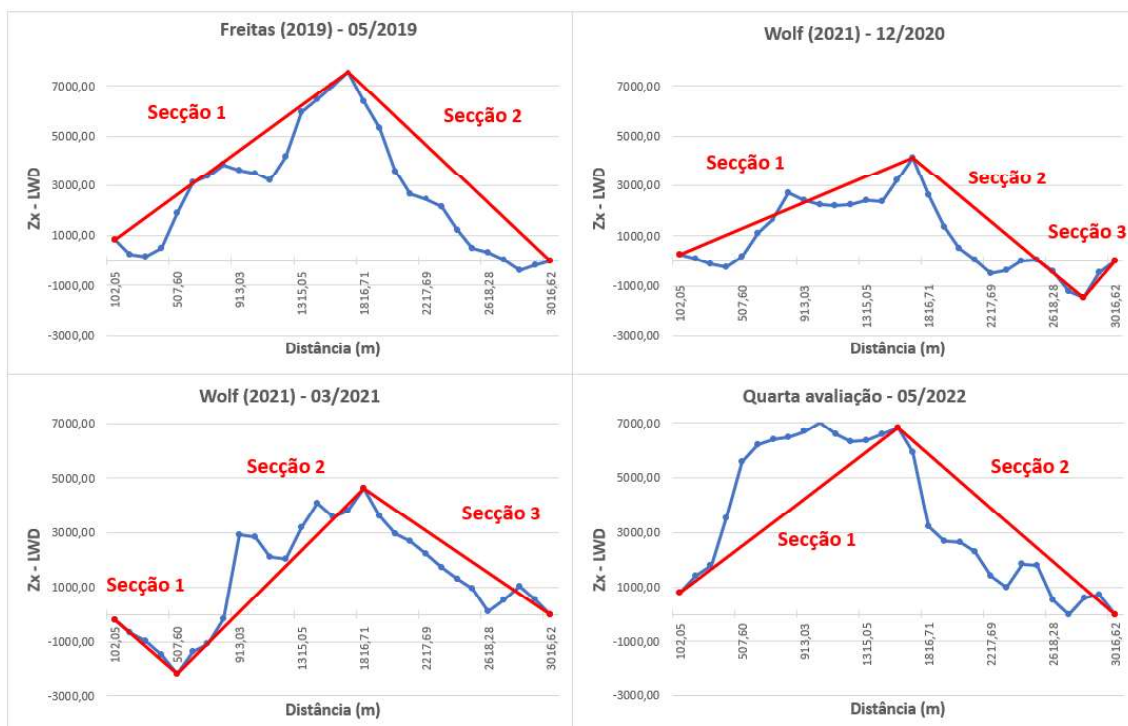


Figura 4 – Secções homogêneas, em função de E<sub>vd</sub>, por período de estudo

Através da comparação dos gráficos da Figura 4, pode-se realizar uma análise inicial, na qual se visualiza o comportamento da estrada em todo seu comprimento. Comparando o trecho em estudo ao longo dos diferentes períodos de análise, percebe-se que o comportamento da curva é similar, a primeira metade assume comportamento crescente, e a segunda metade com comportamento decrescente. Secções de comportamento homogêneas que estão na extremidade inicial ou final da estrada, podem assumir comportamentos diferentes, como demonstram a secção 3 de 12/2020 e a secção 1 de 03/2021. Elas contêm poucos pontos e representam extensões curtas e uma possível explicação é que estas secções, podem representar o início ou fim de uma secção maior, que inclui pontos que estão fora da extensão da estrada em estudo.

No Quadro 1, apresentam-se os valores os pontos característicos das secções dos quatro grupo de dados.

Quadro 1 – Valore dos Pontos Característicos para  $E_{vd}$ 

Autor	Secção	$E_{vd,k}$ estimado (MPa)	$E_{vd,k}$ real (MPa)	Ponto
Freitas (05/2019)	1	42,57	42,39	16
	2	27,51	25,54	21
Matheus Wolf (12/2020)	1	37,08	33,28	6
	2	26,67	25,47	28
Matheus Wolf (03/2021)	2	39,64	39,94	7
	3	26,98	23,83	29
William Kolodi (05/2022)	1	38,42	35,19	1
	2	29,16	27,20	23

Os resultados indicam que em todos os quatro períodos, a primeira secção considerada possui valor maior que a segunda secção. Para a primeira secção, o erro percentual absoluto médio é por volta de 5,44%. Isto significa que os valores estimados representam os valores mecânicos dos pontos característicos, em média, com 96,56% de exatidão. Para a segunda secção, o erro percentual absoluto médio é cerca de 8,2%.

#### 4.2. Análise do CBR dinâmico ( $CBR_d$ )

Os autores e datas dos ensaios do  $CBR_d$  estão abaixo:

- 12/2020 – Wolf (2021) – primeira avaliação
- 03/2021 – Wolf (2021) – Segundo avaliação
- 05/2022 – Terceira avaliação

As secções homogêneas dos ensaios de  $CBR_d$  estão representadas na figura 5.

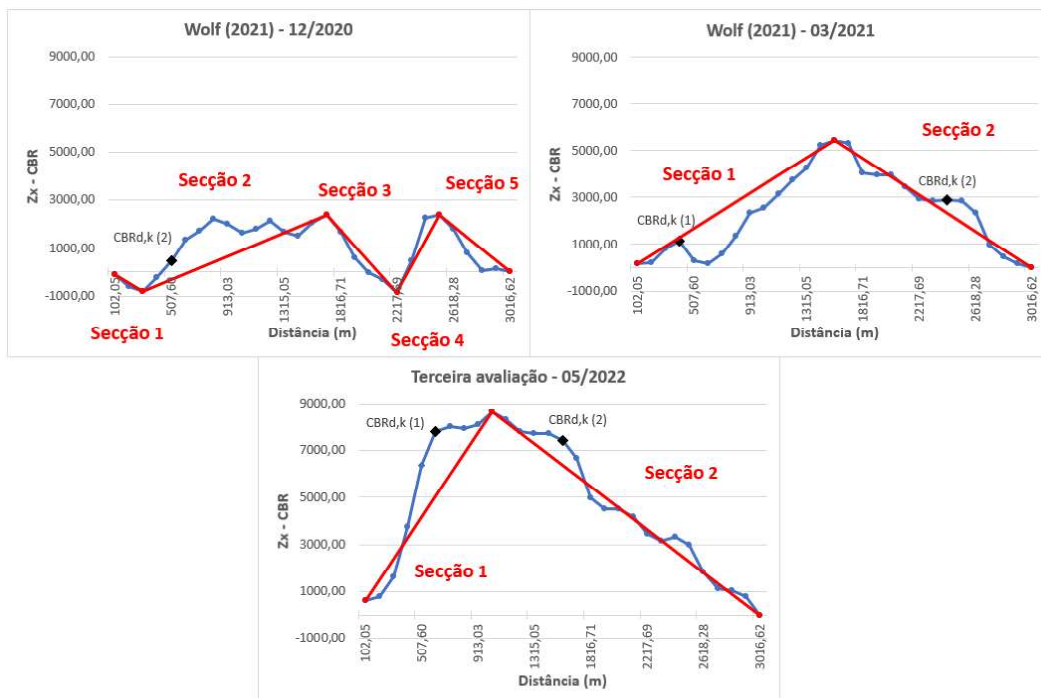


Figura 5 – Secções homogêneas, em função de  $CBR_d$ , por período de estudo

Os dados do  $CBR_d$  estão apresentados apenas em três grupos de dados coletados, que representam um ano e meio de estudo, metade do período de análise referente ao  $E_{vd}$ .

Visualmente pode-se identificar que as secções homogêneas de 12/2020 assumem um comportamento que não condiz com os outros dois grupos de resultados. Seguindo o objetivo deste estudo, que é o de comparar secções homogêneas a fim de encontrar padrões ou semelhanças, desconsideraram-se as secções 3, 4 e 5 da análise obtida em 12/2020, já que possuem comportamentos muito diversos se comparadas com as secções da mesma extensão da estrada dos outros dois períodos. Desconsidera-se também a secção 1 do período de análise de 12/2020, pelo fato desta ser uma secção de extremidade, seguindo o mesmo critério dos resultados de  $E_{vd}$ .

Assim como a função  $Z_x$  para os resultados de  $E_{vd}$  analisados anteriormente, os valores do  $CBR_d$  também possuem comportamento similar. Dentre as secções consideradas, nota-se que a função  $Z_x$ , para a primeira parte da estrada, assume comportamento crescente. O mesmo é observado para a segunda parte da estrada, na qual a função  $Z_x$  é decrescente, e do ponto 17 (1816,17m) até o ponto final, 29 (3016,62m), a função  $Z_x$  de 03/2021 e 05/2022 é aproximadamente igual.

Analisando as secções homogêneas 2, 3 e 4 de 12/2020, nota-se que assumem um comportamento consideravelmente diferente, comparando-as com os outros dois períodos de ensaios para a mesma extensão da estrada. Possíveis causas para este comportamento adverso podem estar relacionadas com a precipitação que ocorreu poucos dias antes do dia dos ensaios, alterando o resultado do comportamento mecânico do solo. Como este comportamento anormal não foi observado para os dados de  $E_{vd}$  coletados no mesmo dia, acredita-se que possa haver outra causa para o ocorrido. Degradações superficiais advindas de um sistema de drenagem insuficiente podem fazer com que determinadas áreas pontuais da superfície do solo sofram alterações nas suas capacidades mecânicas. As secções homogêneas são sensíveis à grandeza dos valores, já que bastam dois pontos consecutivos, um com valores acima da média da amostra e outro abaixo, ou vice-versa, para que a função  $Z_x$  sofra mudança de sinal.

No Quadro 2 apresentam-se os valores do CBR dinâmico ( $CBR_d$ ) dos pontos característicos

Quadro 2 - Valore dos Pontos Característicos para  $CBR_d$

Autor	Secção	$CBR_{d,k}$ estimado (%)	$CBR_{d,k}$ real (%)	Ponto
Matheus Wolf (12/2020)	2	49,38	49,00	5
Matheus Wolf (03/2021)	1	45,86	47,00	4
	2	36,02	36,00	23
William Kolodi (05/2022)	1	53,70	51,00	6
	2	34,63	35,00	20

Constata-se que os valores de  $CBR_{d,k}$  seguem o mesmo padrão que os dados de  $E_{vd,k}$ , onde a primeira parte do trecho tem valores superiores à segunda parte. Em termos de erro percentual absoluto médio, a primeira metade tem erro igual a 2,83%. Na segunda parte da estrada, o erro é de 0,56%.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho envolveu o estudo duma estrada de baixo volume de tráfego (EBVT) não-pavimentada, através da realização de ensaios com um Light Weight Deflectometer

(LWD) para obtenção do módulo de deformabilidade dinâmico ( $E_{vd}$ ) e do CBR dinâmico ( $CBR_d$ ). Com os resultados obtidos in situ, e usando também estudos anteriores, adotou-se o método das diferenças acumuladas da AASHTO para decompor a estrada em secções de comportamento homogêneas com a finalidade de comparar as secções resultantes e permitir observar seus comportamentos em diferentes períodos, procurando um padrão de desempenho.

Pela análise constata-se que o comportamento das secções homogêneas da estrada não-pavimentada em estudo é muito similar com o passar do tempo. As principais variações entre um período e outro estão contidas nas extremidades do trecho analisado, indicando que esses poucos pontos extremos possam ter passado para uma secção anterior ou posterior da estrada de estudo para estudo.

As secções de comportamento homogêneas geradas pelos resultados de  $E_{vd}$ , mesmo com maior erro, comparadas com os resultados do  $CBR_d$ , são mais coerentes entre os quatro estudos avaliados, apresentando comportamentos quase idênticos, com valores característicos muito próximos. Para o caso das secções homogêneas do  $CBR_d$  consideradas validas para a análise, o comportamento também resultou muito similar, e o erro foi mínimo.

A comparação feita neste estudo indica que, para a estrada não-pavimentada analisada, não há alteração significativa quer a homogeneidade das suas propriedades mecânicas, quer as próprias propriedades mecânicas. Sugerindo que, para este tipo de estrada, a fração da análise mecânica tem um peso consideravelmente menor a uma análise funcional, que leva em conta o estado da estrada na sua superfície.

## REFERÊNCIAS

- AASHTO (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington D.C, 624 p.
- Adam, C. and Adam, D. (2003). *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing) Vol. 4. Modelling of the dynamic load plate test with the Light Falling Weight Device*. pp. 73-89.
- CIA (2012). *Field Listing – Roadways: Country Comparison Ranking*. <<https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/roadways>>. 12 Jan 2023.
- Elhakim, A. F.; Elbaz, K. e Amer, M. I. (2014). *Housing and Building National Research Center Journal 10. The use of light weight deflectometer for in situ evaluation of sand degree of compaction*. pp. 298-307.
- Freitas, B. (2019). *Avaliação e caracterização geotécnica de uma estrada de baixo volume de tráfego*. Bragança, Portugal, pp 37.
- Nazzal et al. (2004). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.2016. Evaluating the Light Falling Weight Deflectometer Device for In Situ Measurement of Elastic Modulus of Pavement Layers*. Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C.
- Wolf, M. P. (2021). *Observação da qualidade de uma estrada de baixo volume de tráfego não pavimentada*. Bragança, Portugal.
- Wolf, M. P.; Minhoto, M. J. C. e Paula, A. M. V. (2021). *Mechanical Analysis of an Unpaved Road by Dynamic Bearing Capacity Test*. In 17º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa, Portugal, 14 a 17 de novembro de 2021. pp. 653-662.
- ZORN (2016). *Manual do usuário para o Light Weight Deflectometer (LWD) ZFG 3.0*. Stendal, Alemanha, pp 4.
- ZORN (2016). *Manual suplementar do usuário para a extensão de CBR dinâmico*. Stendal, Alemanha, pp 4-5.