

Estudo Comparativo do CBR “*in situ*” & LWD para Determinação da Capacidade de Suporte de Subleitos

Comparative Study of CBR “in situ” & LWD for Determining Sublelit Support Capacity

Thays Nogueira Rodrigues¹ , Adriano Elísio de Figueirêdo Lopes Lucena¹ , Thamires Dantas Guerra¹ , Leticia Carlos Silvério¹  & Saul Barbosa Guedes² 

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Civil, Campina Grande, PB, Brasil

² Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Caruaru, PE, Brasil

E-mails: nogueirarodrigues-thays1@gmail.com; lucenafb@uol.com.br; thamires_guerra@hotmail.com; leticiaacsilverio@gmail.com; saulbguedes@yahoo.com.br

Resumo

O ensaio de *California Bearing Ratio* (CBR) “*in situ*” determina a capacidade de suporte das camadas dos pavimentos, entretanto este ensaio necessita de equipamentos pesados que dificultam a locomoção e instalação, tornando-o oneroso. O *Light Weight Deflectometer* (LWD) é um equipamento que possibilita a realização de ensaio não destrutivo realizado “*in situ*” que fornece o módulo de deformabilidade dinâmico do solo. A sua utilização na avaliação de camadas de pavimentos tem sido impulsionada devido à simplicidade de execução e portabilidade do equipamento. Portanto, este trabalho objetiva comparar os resultados do ensaio de CBR “*in situ*” com os resultados do LWD e desta maneira, validar uma alternativa mais econômica e rápida para obtenção da capacidade de suporte das camadas de solos. A fase experimental desta pesquisa constituiu-se na escolha de quinze ruas não pavimentadas de Campina Grande com a realização dos ensaios “*in situ*” de LWD e CBR, caracterização dos solos em laboratório, análise das correlações e por fim estabelecer uma correlação para prever a capacidade de suporte de camadas do subleito “*in situ*” a partir da realização do ensaio LWD. Entre os resultados obtidos destaca-se que foi observada uma correlação com linha de tendência linear, entre o CBR “*in situ*” e o LWD de 79,18% para todas as amostras de solo. Quando limitou-se a amostra apenas para solos classificados como A-2-4 (HRB) e solos classificados como SM (SUCS) o coeficiente de correlação passa a ser de 78,67% e 83,42% respectivamente. Perante o exposto pode-se afirmar que a possibilidade de utilizar o LWD para determinação da capacidade de suporte de subleitos em campo é uma alternativa viável em substituição ao CBR “*in situ*”.

Palavras-chave: Subleito; Pavimento; Solos; Deformabilidade

Abstract

The California Bearing Ratio (CBR) test “*in situ*” determines the bearing capacity of the floor layers, however this test requires heavy equipment that makes locomotion and installation difficult and costly. The Light Weight Deflectometer (LWD) is an equipment that allows the non-destructive test performed “*in situ*” that provides the module of dynamic deformability of the soil. Its use in the evaluation of floor layers has been driven by the simplicity of execution and portability of the equipment. Therefore, this work aims to compare the results of the CBR test “*in situ*” with the results of LWD and thus validate a more economical and faster alternative for obtaining the bearing capacity of soil layers. The experimental phase of this research consisted in the choice of fifteen unpaved streets of Campina Grande with the realization of the LWD and CBR tests “*in situ*”, characterization of the soils in the laboratory, analysis of the correlations and finally establishing a correlation to predict the capacity of support of layers of the sub-bed “*in situ*” from the realization of the LWD test. Among the results obtained, a correlation with linear trend line was observed, between the CBR “*in situ*” and the LWD of 79.18% for all soil samples. When the sample was limited only to soils classified as A-2-4 (HRB) and soils classified as SM (SUCS) the correlation coefficient became 78.67% and 83.42% respectively. In view of the above it can be stated that the possibility of using the LWD for the determination of the support capacity of sub-beds in the field is a viable alternative to the CBR “*in situ*”.

Keywords: Subgrade; Pavement; Soils; Deformability

1 Introdução

A realização de pesquisas que visam correlacionar a resistência e a deformação permanente do subleito e das demais camadas que constituem os pavimentos têm sido impulsionada devido ao desenvolvimento de métodos de dimensionamento, técnicas mecanísticas-empíricas, que propõe a análise dos pavimentos e do seu desempenho a longo prazo (Hossain & Apeageyi, 2010; Commuri *et al.*, 2012).

Recentemente, foram desenvolvidos dispositivos de ensaios *in situ* (Dynatest 3031 LWD, CARL BRO PRIMA 110, LOADMAN Portable FWD, ZFG 3000 GPS e etc) que tornaram possível obter uma medição direta do módulo de deformabilidade durante a construção de camadas de pavimentos. O uso futuro de tais dispositivos para avaliação da qualidade dos materiais *in situ* está se tornando uma possibilidade real e, finalmente, pode ser esperado o emprego destes dispositivos em substituição a utilização do ensaio *California Bearing Ratio* (CBR) (Fleming *et al.*, 2000).

O *Light Weight Deflectometer* (LWD), é um equipamento portátil de campo cujo ensaio é do tipo não destrutivo, utilizado para medir o módulo de deformabilidade das camadas do pavimento *in situ*. Este foi desenvolvido para controle de qualidade de camadas compactadas, entretanto vem sendo comumente utilizado como alternativa na determinação da capacidade de suporte do subleito (Fleming *et al.*, 2000; Ayyanchira, 2014).

Heukelom & Klomp (1962) foram um dos primeiros investigadores que desenvolveram a correlação entre o módulo de deformabilidade do solo e CBR. A Equação 1, sugerida pelos autores, foi utilizada no Guia AASHTO de 1993 para o projeto de estruturas de pavimentos:

$$E = 10,34.CBR \quad (1)$$

em que: E : módulo de deformabilidade do solo [Mpa];
 CBR : *California Bearing Ratio* [%]

Powell *et al.* (1984) na Grã-Bretanha, propuseram a expressão (Equação 2), esta é uma das relações amplamente aceita, para valores de CBR variando entre 2 a 12%. Onde o módulo de deformabilidade foi medido utilizando o FWD.

$$E = 17,58.CBR^{0,64} \quad (2)$$

O potencial de uso dos ensaios não-destrutivos (Geogauge, DCP e LFW - Light Faling Weight Deflectometer) foi observado por Nazzal (2003), este verificou a eficiência dos equipamentos para medir a rigidez dos materiais e realizou correlações com base na análise de regressão entre Geogauge, LFW e DCP com os ensaios de CBR. O autor afirma que o módulo de rigidez tem relação

com o peso específico aparente seco, de tal forma que a rigidez aumenta com o aumento da densidade seca ao mesmo teor de umidade, esta relação depende principalmente do material ensaiado e do seu comportamento.

Nazzal (2003) a partir da análise de regressão produziu o modelo, apresentado na Equação 3, que apresenta $R^2 = 0,83$ para $12,7 \text{ Mpa} < E_{LFW} < 174,5 \text{ MPa}$ a um nível de significância $< 99,9\%$. Os resultados da pesquisa mostraram que os dispositivos podem ser utilizados de maneira confiável para prever os módulos obtidos a partir dos valores de CBR, e, portanto pode ser utilizados na avaliação da rigidez de diferentes camadas de pavimentos.

$$CBR = -14,0 + 0,66(E_{LFW}) \quad (3)$$

onde: E_{LFW} : módulo de rigidez (ou deformabilidade) da superfície [Mpa]

Nageshwar *et al.* (2008) realizaram o ensaio de LWD em campo e coletaram amostras que foram moldadas em laboratório para a realização do ensaio de CBR. Os autores tentaram reproduzir as mesmas condições de teor de umidade e densidade encontrada em campo, os corpos de prova para realização do ensaio de CBR não foram imersos. Obtiveram então para solos de origem predominantemente lateríticos o modelo de correlação linear apresentado na Equação 4, com $R^2 = 0,93$.

$$CBR = -2,7543 + 0,2864 E_{PFWD} \quad (4)$$

Varghese *et al.* (2009) moldaram em laboratório amostras de solo puro laterítico, solo siltoso, e misturas de solo laterítico e siltoso nas proporções de 25%, 50% e 75% em três diferentes condições de umidade. Os autores realizaram os ensaios de LWD, placa de carga, CPD e CBR com o objetivo de obter correlações entre os ensaios para amostras moldadas nas mesmas condições e sem imersão.

A Equação 5 que correlaciona o CBR com o módulo obtido a partir do LWD foi encontrada por Varghese *et al.* (2009) apresentando um $R^2 = 0,82$, nível de significância = 99%.

$$CBR = -0,207.E_{PFWD} + 1,2 \quad (5)$$

Nageshwar *et al.* (2008) e Varghese *et al.* (2009) verificaram que os valores de módulo de deformabilidade e CBR decrescem a medida que ocorre o aumento do teor de umidade.

2 Materiais e Métodos

A pesquisa incluiu a realização de ensaios em campo e laboratório em quinze trechos de ruas não pavimentadas na cidade de Campina Grande. No campo foram realizadas,

para cada trecho, três medições de LWD e CBR “in situ”, com o objetivo de obter o valor médio do módulo de deformabilidade e índice de CBR “in situ”

2.1 Materiais

2.1.1 Solos: Locais Escolhidos para a Realização dos Ensaios

A pesquisa de campo teve como objetivo a seleção de ruas não pavimentadas que fossem de fácil acesso (para facilitar o deslocamento do caminhão) e com baixo tráfego de veículos, estas deveriam estar preferencialmente distribuídas pelas regiões geográficas da cidade de Campina Grande (Zona Norte, Sul, Leste, Oeste e Central) para que se pudesse obter uma diversificação de tipos de solos analisados.

No total foram escolhidos quinze (15) locais distribuídos em toda área urbana da cidade de Campina Grande. No mapa (Figura 1) observa-se a distribuição dos locais de realização dos ensaios de acordo com as posições geográficas na cidade de Campina Grande - PB.

Na Tabela 1 estão apresentados os pontos de realização dos ensaios juntamente com os bairros em que estão inseridos e as respectivas coordenadas geográficas.

2.2 Métodos

Os métodos de ensaios utilizados foram baseados em normas e procedimentos nacionais: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT); e internacionais: *American Society for Testing and Materials* (ASTM). A pesquisa constituiu-se de ensaios de caracterização física do solo e ensaios em campo (resistência e deformabilidade).

2.2.1 Caracterização dos Materiais

Os ensaios realizados foram: peso específico dos grãos, limites de Atterberg, análise granulométrica por peneiramento e sedimentação (com e sem defloculante), de acordo com suas respectivas normas como mostra a Tabela 2.

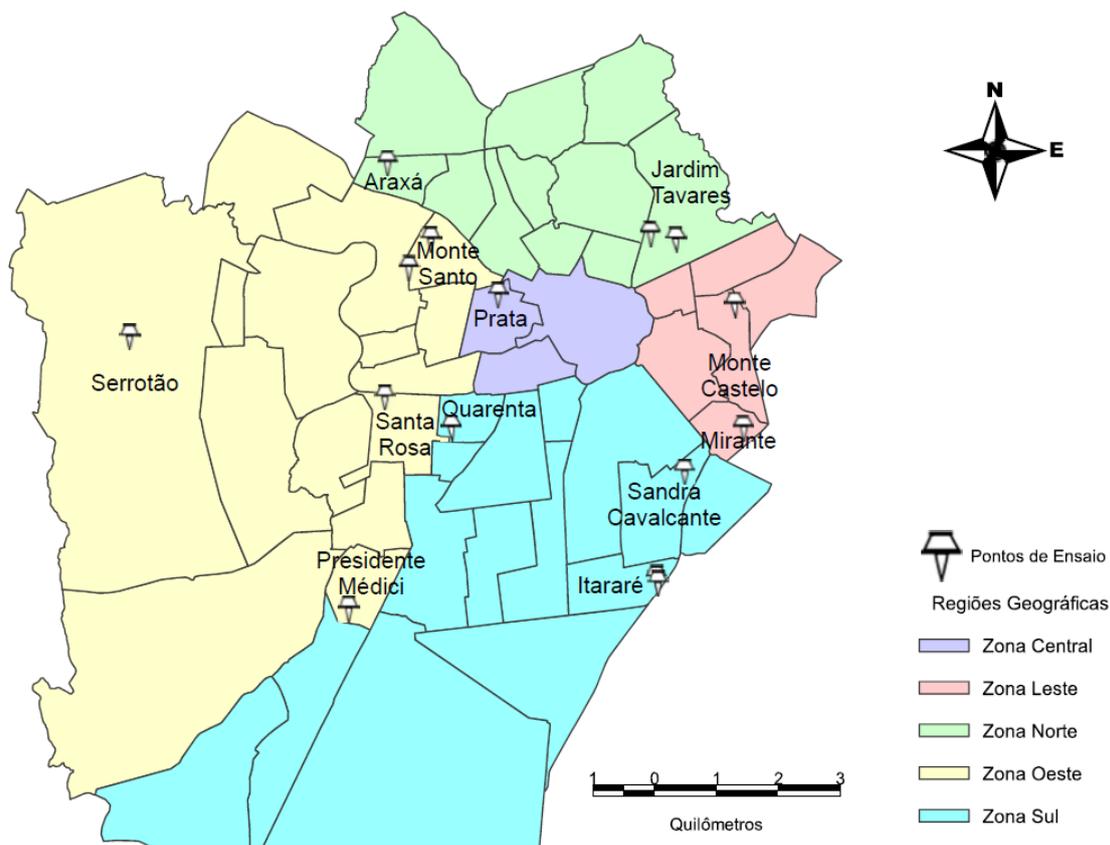


Figura 1 Regiões geográficas da cidade de Campina Grande com localização dos pontos de Ensaio.

Tabela 1 Localização dos pontos de realização dos ensaios.

	Local	Bairro	Zona	Coordenada Geográfica
1	Rua Alta Leite	Prata	Central	S 7°224290 W 35°900345
2	Rua Fernandes Viêira	Mirante	Leste	S 7°234772 W 35°857788
3	Rua Hortência Ribeiro	Monte Castelo	Leste	S 7°218335 W 35°864605
4	Rua Buenos Aires	Jardim Tavares	Norte	S 7°209315 W 35°875126
5	Rua Joaquim José do Valê	Jardim Tavares	Norte	S 7°210114 W 35°871948
6	Rua Almeida Barreto	Santa Rosa	Oeste	S 7°229683 W 35°908733
7	Av. Francisco L. de A	Serrotão	Oeste	S 7°252877 W 35°940479
8	Rua Leniel S. M. D.	Monte Santo	Oeste	S 7°213449 W 35°905548
9	Rua Inalda Meira Gayoso	Monte Santo	Oeste	S 7°209929 W 35°902821
10	Av. Alcides Carneiro	Araxá	Norte	S 7°200268 W 35°908241
11	Rua Monsenhor J. Coutinho	Presidente Medici	Oeste	S 7°257447 W 35°913841
12	Rua José Carlos Cirino	Itararé	Sul	S 7°252617 W 35°874660
13	Av. Sen. Argemiro de Figueiredo	Itararé	Sul	S 7°253332 W 35°874466
14	Rua da República	Quarenta	Sul	S 7°233620 W 35°900433
15	Av. Sen. Argemiro Figueiredo	Sandra Cavalcante	Sul	S 7°240928 W 35°870255

Tabela 2 Ensaios realizados na pesquisa e as respectivas normas utilizadas.

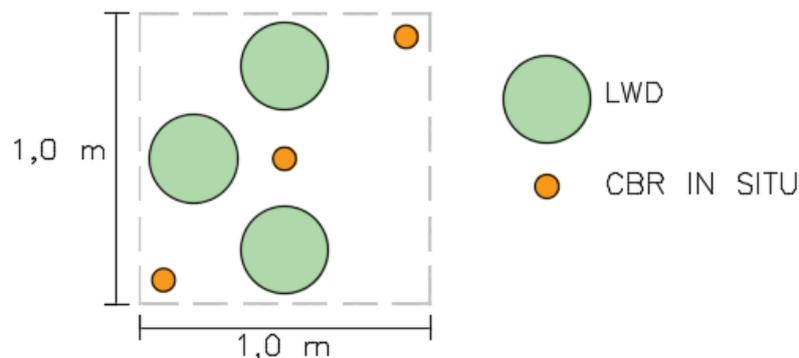
Ensaio de Laboratório	
Peso Específico dos Grãos	ABNT - NBR 6508/2016
Limite de Liquidez	ABNT - NBR 6459/2016
Limite de Plasticidade	ABNT - NBR 7180/2016
Análise Granulométrica (com e sem defloculante)	ABNT - NBR 7181/2016
Compactação	ABNT - NBR 7182/2016
CBR	DNER - ME 049/1994

2.2.2 Ensaios In Situ

No campo foram realizados os ensaios de CBR *in situ* e LWD. A Figura 2 apresenta o esquema utilizado na realização destes ensaios em cada poço de inspeção.

2.2.2.1 CBR In Situ

O ensaio de CBR *in situ* foi realizado em conformidade com a norma ASTM (2009). Três ensaios CBR foram realizados, para obter a média dos valores em cada poço de inspeção.

**Figura 2** Esquema utilizado na realização dos ensaios *in situ*.

2.2.2.2 Light Weight Deflectometer – LWD

Para a realização dos ensaios o equipamento foi calibrado e os procedimentos de realização foi o baseado nas especificações do fabricante do mesmo (ZORN INSTRUMENTS), de acordo com o modelo utilizado (ZFG 3000 GPS) e na especificação da ASTM (2015). Foram realizados três ensaios de LWD em cada poço de inspeção, para que pudesse obter a média dos valores de módulo de deformabilidade, sendo assim mais representativo da camada de subleito.

O módulo de rigidez (ou deformabilidade) da superfície (E_{LWD}) obtido a partir do ensaio LWD é calculado, baseando-se na teoria da elasticidade de Boussinesq a partir da Equação (6) (FLEMING *et al.*, 2007).

$$E_{LWD} = \frac{F(1 + \nu^2)\sigma.R}{D_f} \quad (6)$$

E_{LWD} : módulo de rigidez (ou deformabilidade) da superfície [Mpa]

F: fator de distribuição de tensões (F=2 para placa flexível, F= $\pi/2$ para placa rígida);

ν : Coeficiente de Poisson do material (geralmente o equipamento assume como sendo 0,35);

σ : tensão aplicada [KPa];

R: raio da placa de carga [m];

D_f : pico de deflexão sofrida pelo solo [μ m].

3 Resultados e Discussões

3.1 Ensaios de Caracterização

Os ensaios de caracterização física foram realizados a fim de identificar e classificar os solos analisados. A Tabela 3 apresenta as características dos solos analisados (massa específica dos grãos, análise granulométrica e limites de consistência) e a classificação segundo os métodos da HRB (*Highway Research Board*) e da SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos).

3.2 Ensaios In Situ

3.2.1 Light Weight Deflectometer – LWD

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios de deflexão, grau de compatibilidade e módulo de deformabilidade para cada ponto de ensaio analisado.

A partir da Tabela 4 observa-se que os valores de módulo de deformabilidade apresentaram um valor mínimo de 27,32 MPa (solo 7) e valor máximo igual a 146,43 MPa (solo 10). Valores de módulo de deformabilidade alto indicam que a deflexão sofrida pelo solo foi baixa, ou seja, para o solo 7 o valor da deflexão foi de 1,270 mm em contrapartida o solo 10 sofreu um deslocamento de apenas 0,231 mm.

Hossain & Apeageyi (2010) destacaram em sua pesquisa que a presença de sucção capilar pode inferir

Tabela 3 Caracterização e classificação dos solos analisados.

	Ruas	Massa Específica dos Grãos (KN/m ³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HRB	SUCS
1	Rua Alta Leite	26,16	19,00	17,16	1,84	A-1-b	SM
2	Rua Fernandes Viêira	28,13	23,00	NP	NP	A-1-b	SW-SM
3	Rua Hortência Ribeiro	26,35	NL	NP	NP	A4	SM
4	Rua Buenos Aires	25,97	NL	NP	NP	A-2-4	SM
5	Rua Joaquim José do Valê	26,55	23,00	NP	NP	A-2-4	SM
6	Rua Almeida Barreto	26,62	NL	NP	NP	A-2-4	SM
7	Av. Francisco L. de A	25,93	NL	NP	NP	A-2-4	SM
8	Rua Leniel S. M. D.	26,28	NL	NP	NP	A-2-4	SM
9	Rua Inalda Meira Gayoso	26,27	NL	NP	NP	A-2-4	SM
10	Av. Alcides Carneiro	26,50	NL	NP	NP	A-2-4	SM
11	Rua Monsenhor J. Coutinho	27,14	24,00	19,29	4,71	A-2-4	SM
12	Rua José Carlos Cirino	26,52	17,00	NP	NP	A-2-4	SM
13	Av. Sen. Argemiro de Figueiredo	27,51	21,00	NP	NP	A-2-4	SM
14	Rua da República	26,57	20,65	16,28	4,37	A4	SM
15	Av. Sen. Argemiro Figueiredo	28,09	22,00	NP	NP	A-1-b	SP-SM

Tabela 4 Resultados do ensaio LWD.

Amostras de Solos	Teor de Umidade <i>in situ</i> (%) - ESTUFA julho/2016	Deslocamento elástico – Sm (mm)	Grau de compatibilidade (s/v)	Módulo de deformabilidade (MPa)	Desvio Padrão (Mpa)
1	3,83	0,315	2,703	107,32	0,85
2	3,69	0,417	2,598	80,94	0,39
3	4,19	0,319	2,772	106,00	1,83
4	2,78	0,952	3,691	35,55	1,70
5	1,63	0,351	2,549	96,19	1,92
6	5,15	0,434	3,146	77,93	3,59
7	2,11	1,270	3,384	27,32	4,52
8	3,82	1,134	3,712	29,77	0,42
9	2,90	0,709	2,439	47,72	2,36
10	3,26	0,231	2,568	146,43	0,95
11	2,97	0,590	3,023	57,26	0,15
12	7,14	0,540	3,006	62,58	1,10
13	9,52	1,221	3,614	28,03	3,23
14	3,40	0,285	2,933	119,38	9,44
15	6,93	0,421	2,613	80,33	2,39

ao solo valores de módulo de deformabilidade elevados quando na verdade o solo apresenta pouca resistência à deformação. O autor ainda comenta que a sucção poderia explicar a alta variabilidade nos valores de LWD obtidos nas condições “*in situ*”.

O teor de umidade é um dos fatores que influenciam no valor do módulo de deformabilidade, onde a ação da sucção capilar, no caso de solos que apresentam valores de teor de umidade baixo, pode inferir ao solo uma resistência adicional fazendo com que o solo apresente um valor de módulo de deformabilidade dinâmico alto. É importante destacar que provavelmente os solos observados apresentam um valor baixo de sucção, em função das características dos solos por se tratar de solos predominantemente classificados como A-2-4.

A influência da sucção em relação a variação do módulo de deformabilidade só poderia ser confirmada caso estivesse sido medido os valores de sucção capilar dos solos observados, isto não foi realizado nesta pesquisa.

3.2.2 CBR “*In Situ*”

Os valores apresentados na Tabela 5 representam o valor do índice de CBR médio obtido *in situ* para cada camada de subleito estudada.

O menor valor de índice de CBR “*in situ*” obtido foi igual a 10 % (solo 13) e o maior valor de CBR “*in situ*” foi de 70 % (solo 10).

Verifica-se na Tabela 5, que o maior valor de módulo de deformabilidade obtido foi para o solo 10, que também

apresentou um dos maiores valores de índice de CBR “*in situ*”. O solo 13 apresentou um dos menores valores de módulo de deformabilidade, e de índice de CBR “*in situ*” e maior valor de teor de umidade (Tabela 4 e Tabela 5), estando em acordo com o que foi observado por Varghese *et al.* (2009), onde o módulo de deformabilidade medido pelo LWD e os valores de CBR diminuem com o aumento do teor de umidade.

3.3 Análises Estatísticas dos Resultados Obtidos

A análise estatística dos resultados foi realizada a fim de verificar a existência de uma relação entre as variáveis (módulo de deformabilidade e CBR “*in situ*”) e a partir do modelo de análise de regressão, determinar uma equação que correlacione os parâmetros estudados.

3.3.1 LWD Versus CBR “*In Situ*”

A partir dos dados apresentados nas Tabela 4 e Tabela 5, valores do módulo de deformabilidade (LWD) e índice de CBR “*in situ*”, respectivamente, foi possível obter os gráficos apresentados nas Figura 3 a 6.

A Figura 3 apresenta o comportamento dos valores de módulo de deformabilidade (LWD) e CBR “*in situ*” para cada solo observado. Nota-se que os gráficos apresentam tendências semelhantes, ou seja, os valores de CBR “*in situ*” e módulo de deformabilidade são diretamente proporcionais, isto é esperado, pois valores de módulo

Tabela 5 Resultados dos ensaios de CBR “*in situ*”.

Amostras de Solos	Teor de Umidade <i>in situ</i> (%) - ESTUFA julho/2016	CBR “ <i>in situ</i> ” (%)	Desvio Padrão (%)
1	3,83	52	2,10
2	3,69	27	1,72
3	4,19	49	0,53
4	2,78	12	0,31
5	1,63	53	5,60
6	5,15	35	3,63
7	2,11	11	1,06
8	3,82	25	2,37
9	2,90	35	0,86
10	3,26	70	2,27
11	2,97	45	1,87
12	7,14	17	0,00
13	9,52	10	0,08
14	3,40	58	1,21
15	6,93	30	6,23

de deformabilidade alto indicam que o solo irá deformar menos quando solicitado, sendo assim, apresentam uma resistência maior a deformação, expressa pelo valor alto de índice de CBR.

O modelo matemático adotado para relacionar o módulo de deformabilidade com o CBR “*in situ*”, baseado em referências bibliográficas (Nazzal, 2003; Nageshwar *et al.*, 2008 e Varghese *et al.*, 2009), é: $CBR \text{ “in situ”} = a(LWD) + b$ (modelo linear). Outros modelos de análise de regressão também foram observados, entretanto o que mais se adequou aos dados foi o modelo linear.

Com os resultados obtidos obteve-se as correlações para os solos do tipo A-2-4 (método HRB) e os solos do tipo SM (método da SUCS). As Figuras 4, 5 e 6 apresentam as correlações para os casos considerados.

A partir da análise de regressão realizada pode-se obter as Equações 7, 8 e 9, que correlacionam os valores de CBR obtidos “*in situ*” com os valores de LWD. A Equação 7 considera todos os solos observados nesta pesquisa, para a Equação 8 foram considerados apenas os solos classificados como solos A-2-4 e na Equação 9 os valores analisados são para solos do tipo SM. As Equações propostas são para módulo de deformabilidade variando $27,32 < LWD < 146,43$ MPa.

$$CBR = 0,4527(LWD) + 1,8468 \text{ com } R^2 = 0,7918 \quad (7)$$

$$CBR = 0,4732(LWD) + 2,3298 \text{ com } R^2 = 0,7867 \quad (8)$$

$$CBR = 0,4613(LWD) + 2,7246 \text{ com } R^2 = 0,8342 \quad (9)$$

Na Figura 4 percebe-se que à medida que o valor do módulo de deformabilidade aumenta o valor do índice de CBR “*in situ*” também aumenta para todos os dados observados.

Em seu trabalho, Chase & Brown (1992) apresentam a Tabela 6 que transcreve os valores de coeficiente de correlação aceitáveis de acordo com o nível de significância adotado e o número de amostras observadas. Em acordo com os dados dos autores, para os quinze dados observados nesta pesquisa considerando o nível de significância de $\alpha = 5\%$ tem-se que o valor de coeficiente de correlação esperado é de 0,514. Para os dados observados considerando apenas os solos do tipo A-2-4 o valor crítico para um número amostral igual a 10 a nível de significância de 5% deve ser superior a 0,632 e para os solos do tipo SM o valor crítico, considerando um valor amostral igual a 13 a 5% de nível de significância deve ser superior a 0,553. Sendo assim todos os dados observados apresentaram coeficientes de correlação acima dos valores críticos.

Varghese *et al.* (2009) também realizou os ensaios de LWD e CBR estando a amostra de solo no mesmo estado de confinamento, umidade e densidade. Deste modo, o desempenho do modelo desenvolvido nesta pesquisa (Figura 4) foi comparado ao modelo proposto e formulado pelos autores, mencionados acima. A comparação gráfica entre os resultados desta pesquisa e os resultados obtidos por Varghese *et al.* (2009) está apresentada na Figura 7.

Observa-se que o modelo desenvolvido nesta pesquisa para todos os tipos de solos ensaiados, se comporta de forma semelhante ao modelo representados pela Equação 5, proposto por Varghese *et al.* (2009) que encontrou um $R^2 = 0,82$.

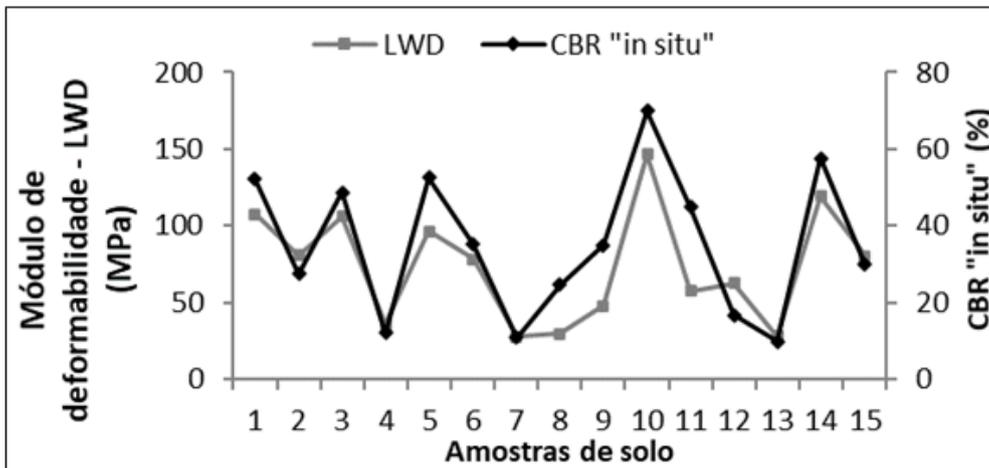


Figura 3 Módulo de deformabilidade (LWD) e CBR "in situ".

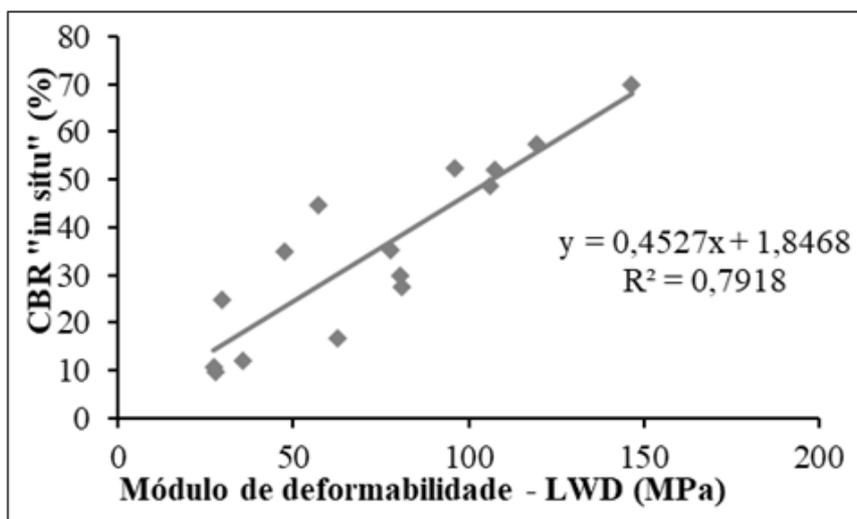


Figura 4 Correlação CBR "in situ" e LWD - Todos os solos ensaiados.

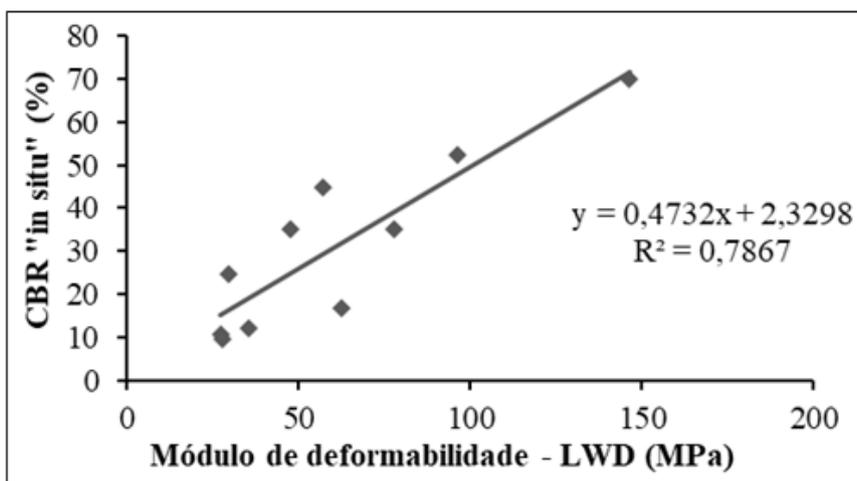


Figura 5 Correlação CBR "in situ" e LWD – Solos do tipo A-2-4.

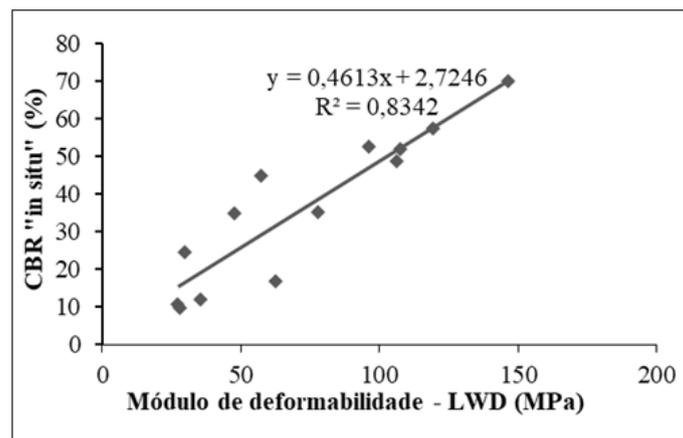


Figura 6 Correlação CBR "in situ" e LWD – Solos do tipo SM.

Tabela 6 Valores críticos para controle do coeficiente de correlação (R^2), para níveis de significância ($1 - \alpha$) e N observações (Chasse & Brown, 1992).

N	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 1\%$	N	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 1\%$
4	0,95	0,999	20	0,444	0,561
6	0,811	0,917	24	0,404	0,515
7	0,754	0,875	26	0,388	0,496
8	0,707	0,834	28	0,374	0,479
9	0,666	0,798	29	0,368	0,470
10	0,632	0,765	30	0,361	0,463
11	0,602	0,735	40	0,312	0,402
12	0,576	0,708	50	0,279	0,361
13	0,553	0,684	60	0,254	0,330
14	0,532	0,661	90	0,205	0,239
15	0,514	0,641	100	0,196	0,256
16	0,497	0,623	250	0,124	0,163
17	0,482	0,606	500	0,088	0,115
18	0,456	0,575	1000	0,062	0,081
19	0,456	0,575			

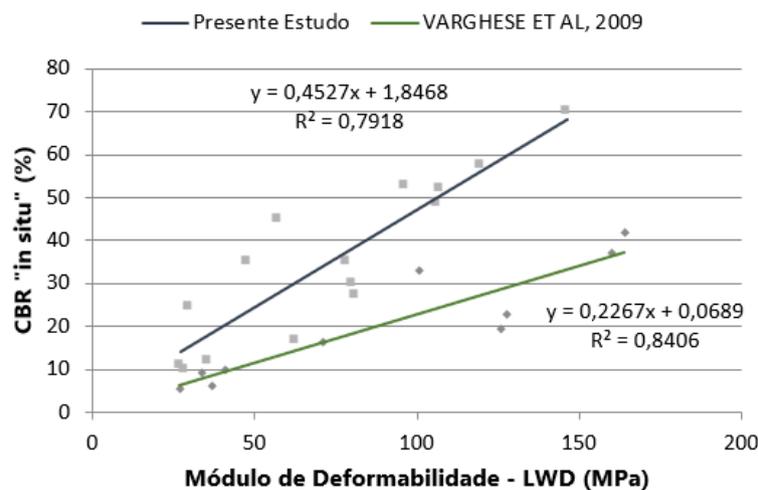


Figura 7- Comparação CBR "in situ" e LWD entre o presente estudo e adaptado VARGHESE et al, 2009

4 Conclusões

A partir da realização desta pesquisa pode-se concluir que:

Ao realizar a caracterização dos solos que compõem os materiais de subleito de ruas distribuídas na cidade de Campina Grande pode-se verificar que houve uma predominância de solos granulares com finos siltosos de baixa compressibilidade (A-2-4/SM) compondo os materiais de subleito. Isto pode indicar que na região de estudo os subleitos podem ser constituídos de forma predominante por solos arenosos com finos siltosos.

Ao considerar os dados de todas as amostras de solo viu-se que a correlação, com linha de tendência linear, entre o CBR “in situ” e o LWD foi de 79,18%. Considerando apenas os valores para solos classificados como A-2-4 (HRB) e os valores de solos classificados como SM (SUCS) o coeficiente de correlação foi de 78,67% e 83,42% respectivamente. A aproximação destes valores é justificada pela predominância dos solos classificados como A-2-4/SM nos solos observados.

Diante do exposto pode-se afirmar que a alternativa de utilizar o LWD para determinação da capacidade de suporte de subleitos em campo é uma alternativa viável, tendo em vista que facilitaria a obtenção deste parâmetro geotécnico considerando que o ensaio LWD é um ensaio de fácil e rápida execução.

5 Referências

ASTM. 2009. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM International. ASTM D4429–Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Soils in Place. West Conshohocken, PA. 7p.

ASTM. 2015. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM International. ASTM E2583, Standard Test Method for Measuring Deflections with a Light Weight Deflectometer (LWD). West Conshohocken, PA. 3p.

ABNT. 2016a. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457– Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro– RJ, 8 p.

ABNT. 2016b. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508– Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica e os procedimentos para determinação do Limite de Plasticidade e Limite de Liquidez. Rio de Janeiro – RJ, 8 p.

ABNT. 2016c. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459 – Solo: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro – RJ, 9 p.

ABNT. 2016d. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180 – Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro – RJ, 7 p.

ABNT. 2016e. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181 – Solo: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro – RJ, 16 p.

ABNT. 2016f. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182 – Solo: Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro – RJ, 9 p.

ABNT. 2016g. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7185 – Solo: Determinação da massa específica aparente, *in situ*, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro– RJ, 8 p.

ABNT. 2016h. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895 – Solo: Índice de suporte Califórnia (ISC). Rio de Janeiro – RJ, 14 p.

Ayyanchira, M.M. 2014. Introduction of Light Weight Deflectometer. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3(4): 303-305.

Commuri, S.; Zaman, M.; Beainy, F.; Singh, D.; Nazari, M.; Imran, S.; Barman, M. 2012. Pavement evaluation using a portable lightweight deflectometer. (Report No. OTCREOS11. 1-14-F). Oklahoma Transportation Center.

Fleming, P.R.; Frost, M.W.; Lambert, J.P. 2007. Review of Lightweight Deflectometer for Routine in Situ Assessment of Pavement Material Stiffness. *Journal of the Transportation Research Board*, 2004(1): 80-87,. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.3141/2004-09>.

Fleming, P.R.; Frost, M.W. & Rogers, C.D.F. 2000. A comparison of devices for measuring stiffness in situ. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON UNBOUND AGGREGATES IN ROADS*, 5., 2000, Nottingham: Unbar, p. 193-200.

Hossain, M.S. & Apegyei, A.K. 2010. Evaluation of the lightweight deflectometer for in-situ determination of pavement layer moduli. Charlottesville: Virginia Transportation Research Council, 35 p.

Heukelom, W. & Klomp, A. 1962. Dynamic testing as a means of controlling pavements during and after construction. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE STRUCTURAL DESIGN OF ASPHALT PAVEMENTS*, Ann Arbor, Michigan, v. 203, p. 495-510.

Nazzal, M.D. 2003. *Field evaluation of in-situ test technology for Qc/Qa during construction of pavement layers and embankments*. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical. Dissertação de Mestrado, 112p.

Nageshwar, R.; Varghese, G. & Shivashankar, R. 2008. PFWD, CBR and DCP evaluation of lateritic subgrades of Dakshina Kannada. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR COMPUTER METHODS AND ADVANCES IN GEOMECHANICS (IACMAG)*, 4, Goa, p. 4417- 4423.

Powell, W.D.; Potter, J.F.; Mayhew, H.C. & Nunn, M.E. 1984. *The structural design of bituminous roads*. Department of Transport TRRL Report LR 1132. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, United Kingdom, 66p.

Varghese, G.; Nageshwar, R. & Shivashankar, R. 2009. Investigations on unsoaked blended laterite using PFWD, PBT, DCP and CBR tests. *Journal of the Indian Roads Congress*, 556: 223-233

Recebido em: 10/07/2020

Aprovado em: 18/12/2020

Como citar:

Rodrigues, T.N.; Lucena, A.E.F.L.; Guerra, T.D.; Silvério, L.C. & Guedes, S.B. 2021. Estudo Comparativo do CBR “in situ” & LWD para Determinação da Capacidade de Suporte de Subleitos. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44: 35022. DOI 1982-3908_2021_44_35022