

COMPARAÇÃO ENTRE OS ENSAIOS MINI-CBR DE LABORATÓRIO E MINI-CBR DE CAMPO.

Alessandro de Cillos Silva, Anna Silvia Palcheco Peixoto, Daniela Massami Ide. – Engenharia Civil – Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Bauru – Campus de Bauru.

O ensaio de mini-CBR foi desenvolvido com a finalidade de simplificar os procedimentos de compactação e determinação dos índices de capacidade de suporte e expansão, reduzindo a quantidade de material necessário e exigindo menor esforço na execução.

Porém, muitas vezes os resultados obtidos em laboratório não representam as peculiaridades que ocorrem no campo. Dessa maneira, pretende-se nesse trabalho mostrar a comparação entre os resultados obtidos através do ensaio mini-CBR de laboratório e de campo para os dois tipos de solo: um arenoso e outro argiloso.

No laboratório foram realizados os ensaios de massa específica dos sólidos, granulometria conjunta, compactação com energia normal, mini-CBR e mini-MCV.

A partir dos resultados de laboratório, conclui-se que o solo coletado em Bauru (arenoso) foi classificado com comportamento “não laterítico”, ou seja, NS’ (siltoso) e conforme a classificação H.R.B., pertence ao grupo A-2-4.

O solo coletado na região de Piracicaba (argiloso) foi classificado com comportamento “não laterítico”, ou seja, NG’ (argiloso) e conforme a classificação H.R.B., pertence ao grupo A-7-5.

A seguir apresentam-se através das Tabelas 1 a 5, os resultados obtidos através da realização dos ensaios de caracterização geotécnica: compactação, mini-CBR de laboratório e mini-MCV.

Tabela 1. Distribuição granulométrica em porcentagem de ocorrência.

Fração Granulométrica	Solo Arenoso	Solo Argiloso
Argila (%)	12,6	61,0
Silte (%)	2,9	18,1
Areia (%)	84,5	20,9

Tabela 2. Resultados de limites de consistência.

Solo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Arenoso	NL	NP	-
Argiloso	49,10	36,22	12,88

Tabela 3. Parâmetros de compactação.

Solo	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (g/cm ³)	W _{ótima} (%)
Arenoso	2,050	11,63
Argiloso	1,596	27,04

Tabela 4. Resultados do ensaio de mini-CBR de laboratório.

Resultados Mini-CBR de Laboratório	Solo Arenoso	Solo Argiloso
Umidade Ótima (%)	11,3	26,4
Massa Específica Seca (g/cm ³)	1,971	1,628
Mini-CBR Natural (%)	22,0	11,8
Mini-CBR Inundado (%)	5,5	7,6
Expansão (%)	0,0	0,0
Retração (%)	0,3	1,5

Tabela 5. Parâmetros obtidos a partir do ensaio de mini-MCV.

Solo	d'	c'	Pi (%)	e'
Arenoso	13,6	0,90	250,0	1,58
Argiloso	17,0	1,57	112,5	1,32

Antes de se iniciar a realização dos ensaios de campo, foi realizada a execução de dois pequenos aterros. Para ambos (solo arenoso e solo argiloso), utilizou-se o mesmo procedimento de compactação. Inicialmente foram realizadas as coletas dos dois tipos com as quantidades previstas nos respectivos dimensionamentos. Posteriormente, realizou-se uma escavação de 2,20 x 2,20 m de largura e 25 cm de profundidade. Na base da escavação, o solo foi escarificado com o objetivo de promover uma boa ligação com o solo que foi posteriormente compactado e as paredes laterais foram protegidas por tijolos.

O soquete manual construído de concreto e com massa aproximadamente de 15 kg era erguido e posteriormente solto repetidas vezes até ser obtido o grau de compactação desejado. O controle de qualidade da compactação foi realizado pela determinação do teor de umidade no local compactado através do Speed e do ensaio de cilindro cravado para obtenção da massa específica seca.

O aterro experimental foi dividido em três áreas, as quais foram compactadas com três teores de umidade diferentes: $W_{ót}$, $\Delta W = -2\%$ e $\Delta W = +2\%$. As áreas e os teores de umidade de compactação estão apresentados na Figura 1. O propósito deste procedimento foi dispor de uma variação maior de teores de umidade, visando uma comparação entre os resultados dos ensaios de mini-CBR de campo com os de laboratório mais consistente e confiável.

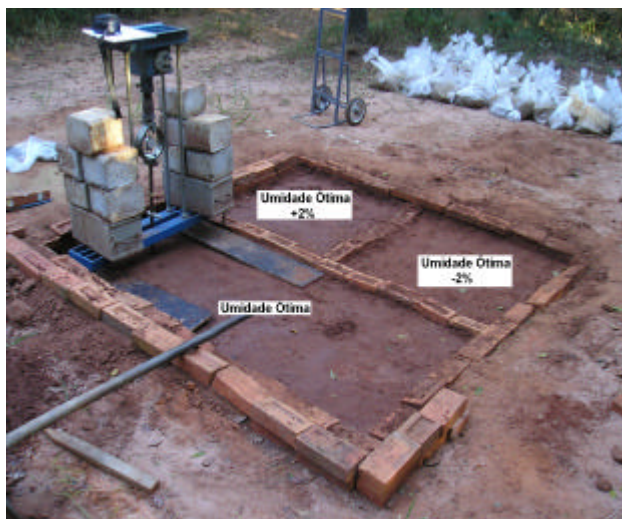


Figura 1. Divisão das diferentes umidades de compactação no aterro com solo arenoso e equipamento para realização do ensaio de mini-CBR de campo.

Os ensaios mini-CBR foram executados segundo as seguintes metodologias: para o laboratório DNER-ME 254/97; para o campo DER M 198-88.

No ensaio de campo, o suporte do macaco de aplicação de carga foi posicionado de forma a manter a vertical que passa pela ponta do macaco o mais próximo possível do ponto em que fora realizada a penetração. Como o suporte do macaco utilizado foi do tipo leve, realizou-se o nivelamento do equipamento com ele descarregado, para então iniciar o carregamento com o material apropriado. Conseqüentemente foi conectado o extensômetro e o pistão de penetração, ficando por último o assentamento da sobrecarga padrão.

As leituras do extensômetro do anel dinamométrico, foram realizadas para as seguintes penetrações: 0,5 , 1,0 , 1,5 , 2,0 , 2,5 , 3,0 , 3,5 , 4,0 , 4,5 , 5,0 mm.

Para se realizar a comparação entre os dois resultados, mini-CBR de laboratório e mini-CBR de campo, seria necessário que os dois ensaios fossem realizados exatamente no mesmo teor de umidade. Como na prática isso não é possível de ser executado, optou-se por obter linhas de tendência dos ensaios de laboratório. De posse das respectivas equações, aplicou-se os valores dos teores de umidade obtidos no campo e obteve-se, assim, o valor correspondente ao ensaio de laboratório, apresentados nas Tabelas 6 e 7.

A partir dos dados obtidos nas Tabelas 6 e 7, é possível visualizar através das Figuras 2 e 3, as curvas de mini-CBR de campo e de laboratório v_s teor de umidade, para o solo arenoso e argiloso respectivamente, na situação natural.

Ao analisar as Figuras 2 e 3, constata-se que para o ensaio de laboratório, a queda do valor de mini-CBR com o aumento do teor de umidade foi mais pronunciada, ou seja, apresentou-se de forma mais coerente. Este fato deve-se ao melhor controle de parâmetros envolvidos quando se realiza o ensaio em laboratório. Além disso, ao analisar os resultados dos ensaios de campo, observa-se que os valores de mini-CBR, para um mesmo intervalo de W , sofrem maior variação com aumento do teor de umidade.

Tabela 6. Valores de mini-CBR de campo e laboratório para o solo arenoso.

W (%)	Mini-CBR _{campo} (%)	Mini-CBR _{laboratório} (%)
9,6	11,03	27,00
9,7	10,00	26,77
10,3	9,66	25,30
11,8	9,93	21,16
12,0	8,85	20,56
12,3	8,32	19,64
13,2	11,21	16,70
13,4	9,18	16,02
13,5	8,52	15,67

Tabela 7. Valores de mini-CBR de campo e laboratório para o solo argiloso.

W (%)	Mini-CBR _{campo} (%)	Mini-CBR _{laboratório} (%)
25,4	7,03	12,30
25,9	6,23	12,17
26,1	6,21	12,09
27,0	7,51	11,62
27,3	7,30	11,41
27,7	7,18	11,09
27,9	7,85	10,91
28,5	7,31	10,31
28,8	7,30	9,98

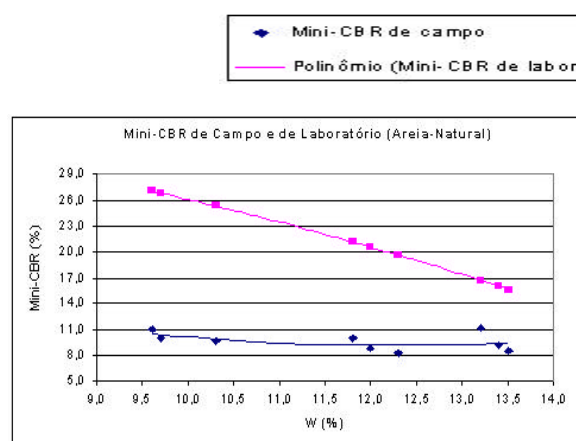


Figura 2. Gráfico comparativo entre mini-CBR de campo e de laboratório (areia-natural).

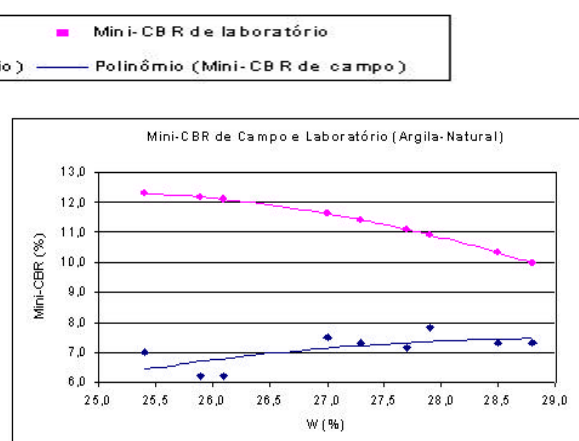


Figura 3. Gráfico comparativo entre mini-CBR de campo e de laboratório (argila-natural).

Por fim, realizou-se a relação entre os valores de mini-CBR de laboratório e de campo, através das equações obtidas nas Figuras 2 e 3, apresentadas na Tabela 8. Consequentemente obteve-se um coeficiente para cada relação. Em seguida foi calculado a média dos coeficientes (Mc), o desvio padrão (Sd) e o coeficiente de variação (Cv), Tabela 9.

Tabela 8. Equações do mini-CBR de campo e laboratório.

Solo	Mini-CBR	Equações
Arenoso	Campo	$y=0,1992x^2-4,8578x+38,787$
	Laboratório	$y=-0,1482x^2+0,5187x+35,679$
Argiloso	Campo	$y=-0,0811x^2+4,6938x-60,449$
	Laboratório	$y=-0,1432x^2+7,078x-75,095$

Tabela 9. Média, desvio padrão e variação dos coeficientes.

Solo/Condição	Mc	Sd	Cv (%)
Arenoso/Natural	2,3	0,2892	12,74
Argiloso/Natural	1,6	0,1593	9,69

Considerando os resultados de desvio padrão, observa-se que o coeficiente apresentou uma melhor correlação para o ensaio realizado com o solo argiloso. Ao analisar o comportamento do coeficiente para o ensaio com o solo arenoso, observa-se que apresentou uma maior variabilidade.

Assim sendo, para comparar os resultados obtidos com os dois solos estudados, na condição inundada por 24 horas, foi realizada uma análise relacionando a redução no valor de mini-CBR, tanto para o ensaio de campo como para o ensaio de laboratório. Os resultados desta análise apresentam-se na Tabela 10.

Tabela 10. Redução nos valores de mini-CBR		
Solo	Redução _{natural} (%)	Redução _{inundada} (%)
Arenoso	59,1	43,6
Argiloso	38,1	43,4

A redução é a diferença entre os valores de laboratório e campo, dividida pelo valor de laboratório, e por fim multiplicado por 100.

Baseado na Tabela 10, conclui-se que a redução no valor de mini-CBR na condição natural foi de 59,1% para o solo arenoso e 38,1% para o solo argiloso. Na condição inundada a redução no valor de mini-CBR foi de 43,6% para o solo arenoso e 43,4% para o solo argiloso.

As repetibilidades dos ensaios foram analisadas segundo a ISO 5725 (1986). Para o cálculo da repetibilidade foi considerada uma equação: $r = a + b \cdot m$, sendo m a média e os coeficientes a e b obtidos segundo a referida norma. Considerou-se como ensaios repetíveis aqueles em que 95% da diferença entre os resultados foram menores que um determinado valor de repetibilidade, ou seja, a probabilidade de ocorrência, P , deveria ser maior que esses 95%.

Apresentam-se nas Tabelas 11 e 12, as probabilidades (P) com análise da repetibilidade para os resultados de teor de umidade e mini-CBR de campo para o solo arenoso e argiloso, respectivamente. Em seguida apresenta-se a mesma análise para a repetibilidade de laboratório, realizada por Ide (2005), Tabela 13.

Comparando-se os resultados da análise de repetibilidade dos ensaios de campo com os de laboratório, é possível concluir que os valores de mini-CBR são repetíveis tanto no laboratório como no campo.

Porém, contrariando-se o que se era esperado, os valores de teores de umidade no campo foram repetíveis e os de laboratório não repetíveis.

Tabela 11. Valores das probabilidades do solo arenoso.

Equações	Teor de Umidade	Mini-CBR de Campo
2	P=100%	P=100%

Tabela 12. Valores das probabilidades do solo argiloso.

Equações	Teor de Umidade	Mini-CBR de Campo
2	P=100%	P=100%

Tabela 13. Valores das probabilidades de laboratório.

Ensaios	Eq. 2
Teor de Umidade sem Imersão	P=78%
Teor de Umidade Imerso 24 Horas	P=22%
Teor de Umidade Imerso 48 Horas	P=56%
Mini-CBR sem Imersão	P=100%
Mini-CBR Imerso 24 Horas	P=100%
Mini-CBR Imerso 48 Horas	P=78%

As análises mostraram a dificuldade de se correlacionar os resultados do ensaio de mini-CBR de campo com mini-CBR de laboratório, devido as variáveis intrínsecas aos ensaios. Porém, em uma avaliação preliminar, mas não conclusiva, se nota que existe uma tendência da diferença dos dois valores diminuir com a quantidade de finos.

Assim sendo, ficou claro através dessas análises que a mesma deve ser realizada com um maior número de solos com caracterizações geológico-geotécnicas diferentes.

Também se recomenda que, para a utilização do ensaio de campo, deve-se sempre tomar como base os resultados dos ensaios de laboratório do solo específico que se pretende estudar, tornando possível uma correlação direta do material a ser compactado na referida obra.

Referências Bibliográficas

- Ide, D. M.; Peixoto, A. S. (2005). *Estudo da Estabilização de Solo da Região de Bauru e Controle de sua Capacidade de Suporte*. Congresso de Iniciação Científica da Unesp.
- Nogami, J. S. (1972). *Determinação do Índice de Suporte Califórnia com equipamento de dimensões reduzidas (ensaio de Mini-CBR)*. In: 2ª Reunião das Organizações Rodoviárias. Brasília.
- Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. (1997). *Solos Compactados em Equipamento Miniatura – Mini-CBR e expansão. Método de Ensaio*. DNER – ME 254/97. 14p.
- Departamento de Estradas e Rodagens. *Solos Compactados em Equipamento Miniatura – Mini-CBR de Campo. Método de Ensaio*. DER - M 198-88. 14p.