

CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA CONTROLE DE QUALIDADE DE CAMADAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS COM BASE EM CORRELAÇÕES CBR x DCP

Marcos Fábio Porto de Aguiar
Instituto Federal do Ceará (IFCE)
marcosporto@ifce.edu.br

Marcel Moreira Barbosa Gomes Teixeira
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)
marcel@jrmedeiros.com.br

Anderson Lourenço de Oliveira
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)
ander.eng1@gmail.com

Alfran Sampaio Moura
Universidade Federal do Ceará (UFC)
alfransampaio@ufc.br

RESUMO

O presente trabalho estuda a viabilidade da utilização do Penetrômetro Dinâmico de Cone ou DCP (“Dynamic Cone Penetrometer”) em auxílio ao controle tecnológico de execução das camadas de pavimentos flexíveis. O DCP se caracteriza por ser um equipamento simples, de baixo custo, portátil e que possibilita ensaios semidestrutivos de simplificada execução que aferem a capacidade de suporte do solo “in situ”, compactado ou em seu estado natural. A avaliação da resistência do solo, como é proporcionada pelo DCP, revela-se muito vantajosa na engenharia rodoviária, visto que, em relação ao método do Índice de Suporte Califórnia (ISC), por exemplo, há ganhos em tempo, recursos e praticidade. Uma investigação do solo por meio de ensaios DCP e ISC, conduzidos com amostras provenientes de camadas de base reciclada, sub-base e subleito de pavimentos de rodovias federais possibilitou o desenvolvimento de modelos de regressão, correlacionando a capacidade de suporte obtida por meio de ambos os ensaios. O estudo propõe a elaboração de metodologia para seleção de uma curva adequada a cada tipo de solo e camada de pavimento. A constatação consiste na possibilidade de se poder complementar as técnicas de controle de qualidade de nossas obras viárias com a utilização do aparelho DCP, bastando, para tanto, a elaboração de um acervo de curvas de calibração correlacionando os valores de ISC e os índices de penetração do DCP

(DN) para os tipos de solos utilizados nas rodovias brasileiras.

Palavras-chave: Pavimentos Flexíveis. Controle de qualidade. ISC. DCP. Rodovias.

ABSTRACT

The present study focus on the feasibility of using Dynamic Cone Penetrometer (DCP) to aid technological control in the implementation of flexible pavement layers. The DCP is characterized as being a simple and low cost portable equipment which allows easily performed semi-destructive testing to assess compacted or in natural state soil strength "in situ". The evaluation of soil resistance, as provided by the DCP, is very advantageous in road engineering, considering the California Bearing Ratio (CBR) test, for example, there are gains in time, resources and practicality. A soil investigation through CBR and DCP tests, made on samples of recycled-base, subbase and subgrade layers of pavement in federal roads, enabled the development of regression models, correlating the bearing capacity obtained from both trials. The study proposes the development of a methodology for the selection of an appropriate curve for each soil type and pavement layer. The results consist on the possibility of complementing the quality control techniques of our road constructions with the use of the DCP device. In order to do so, it is only required the elaboration of a calibration curve database correlating the CBR results and the DCP penetrating rates for the different types of soil used in Brazilian roads.

Keywords: Flexible. Pavement. Quality Control. ISC. DCP. Highways.

1 INTRODUÇÃO

Nas obras de pavimentação rodoviária, um fator de atuação constante é o do controle tecnológico realizado durante a execução das camadas do pavimento, atividade esta que possui a relevante incumbência de assegurar o sucesso do empreendimento, garantindo a eficiente aplicação dos recursos e o desempenho estrutural previsto pelo dimensionamento.

Os processos adotados no controle tecnológico das obras de pavimentação mantêm, atualmente, procedimentos e metodologias convencionais que

não fornecem suficientes subsídios técnicos para uma avaliação das propriedades mecânicas das camadas do pavimento e da estrutura como um todo. Além disto, tais processos de controle vêm se tornando ineficazes em face da elevada produtividade dos novos métodos e equipamentos de construção rodoviária [9].

É notório o volume de obras de pavimentação que apresentam problemas prematuros em relação às expectativas de projeto; sabendo-se disto é de extrema importância a aplicação de novos métodos que favoreçam o controle de qualidade das obras.

Equipamentos para testes de penetração de solos são utilizados há muito tempo; o primeiro registro da utilização de um destes equipamentos data do final do século XVII, criado por Nicholas Goldmann na Alemanha. Desde então foram desenvolvidos vários instrumentos de penetração de solo, quando em 1936, Künzel, também na Alemanha, criou o que ficou conhecido como “Prüfstab”, em alemão, o Bastão de Teste. Posteriormente, em 1964, esse equipamento seria padronizado quando conhecido como “Light Penetrometer”. O Cone de Penetração Dinâmico ou DCP (Dynamic Cone Penetrometer), atualmente utilizado, foi concebido em 1956 na Austrália por Scala [5].

O Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) surge no panorama da qualidade executiva em pavimentação, como uma opção estimável, quando, mediante estudos mais aprofundados do método, pode-se conseguir correlações entre os índices de penetração do DCP (DN) e o Índice de Suporte Califórnia (ISC) que possibilitem uma aferição acurada, rápida e direta, além do estado de compactação do solo, a resistência, diferentemente dos métodos utilizados comumente para aferir esta condição. Em relação a métodos como o do frasco de areia, ensaio realizado para medir o grau de compactação em campo, o DCP é mais facilmente aplicado devido à simplicidade de manuseio do equipamento, conferindo, assim, agilidade ao controle tecnológico, conseqüente de um menor tempo necessário para sua execução que possibilita maior frequência de realização do ensaio.

Vários estudos, em diferentes regiões do Brasil, foram desenvolvidos contribuindo para identificação de correlações que traduzem a relação de valores de DN com resultados de ISC, confirmando-se que, por meio do DCP, é possível a identificação de um índice que reflete o comportamento mecânico da camada [1] [2] [3] [4] [5] [8] [10] [11] [12].

2 METODOLOGIA

Sabendo-se que é necessária a criação de correlações para cada tipo de solo analisado [2] [3] foi adotada a separação de amostras, de acordo com a camada de onde provêm e, em seguida, realizada a classificação TRB (Transportation Research Board).

Inicialmente, foram coletadas 4 amostras de rodovias federais por intermédio da Superintendência Regional do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes no estado do Ceará (DNIT/CE). Destas, uma foi retirada de uma camada de base em reciclagem; outra, de uma camada de subleito; e as outras duas, de camadas adequadas a sub-base.

Após a coleta das amostras, estas foram encaminhadas para o laboratório de mecânica dos solos do DNIT/CE, onde foram realizados todos os ensaios para obtenção dos dados necessários à elaboração das curvas de correlação entre os valores de ISC e os índices obtidos com o DCP ou DN, os quais consistem em: ensaios de compactação [6] ensaios de ISC [7] e ensaios com o equipamento DCP.

Além dos ensaios mencionados, foram realizadas análises granulométricas, e determinados os Limites de Atterberg para a classificação das amostras sob os critérios do TRB (Transportation Research Board). Concomitantemente, executaram-se 12 ensaios de compactação (Figura 01) um para cada energia: normal intermediária e modificada [6]; sendo 4 amostras em cada situação, traçando-se as curvas de compactação para cada solo, a fim de se determinar as melhores condições de compactação.



Figura 01 - Ensaio de compactação.

Efetuararam-se 12 ensaios de determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) [7] em uma prensa Califórnia padrão, conforme ilustrado na Figura 02.



Figura 02 - Ensaio de CBR.

Com o aparelho DCP foram ensaiados 12 corpos de prova (Figura 03) os quais foram preparados de forma idêntica à dos corpos de prova utilizados nos ensaios ISC, nas mesmas condições de moldagem, mantendo-se mesma umidade ótima e peso específico aparente seco máximo e mesmo período de submersão em água (4 dias).



Figura 03 - Ensaio de DCP.

De posse das leituras obtidas nos ensaios ISC, partiu-se para a elaboração dos gráficos, *Pressão x Deformação*, os quais foram corrigidos, quando necessário, para obtenção do Índice de Suporte Califórnia de cada amostra nos três níveis de energia de compactação [6] [7].

Com o ensaio DCP, foi traçado o seu gráfico característico, o qual se relaciona com a profundidade atingida no solo, ao longo do ensaio e o número da sequência de percussão. A partir disto, calculou-se o Índice DN, que consiste na penetração média atingida a cada golpe e refletese na inclinação da reta obtida no gráfico

3 RESULTADOS E ANÁLISES

As análises granulométricas realizadas por peneiramento, e os Limites de Atterberg encontrados mostraram que o material da camada de base reciclada, com incorporação do revestimento demolido, corresponde ao grupo A1-b, as duas amostras de sub-base correspondem ao grupo A-2-4 e o solo retirado do subleito se enquadra no grupo A-6.

Os ensaios com equipamento de DCP, realizados para cada nível de energia de compactação, de cada amostra, forneceram dados que geraram os gráficos referentes aos três grupos de solo analisados, apresentados nas Figuras 04, 05, 06 e 07.

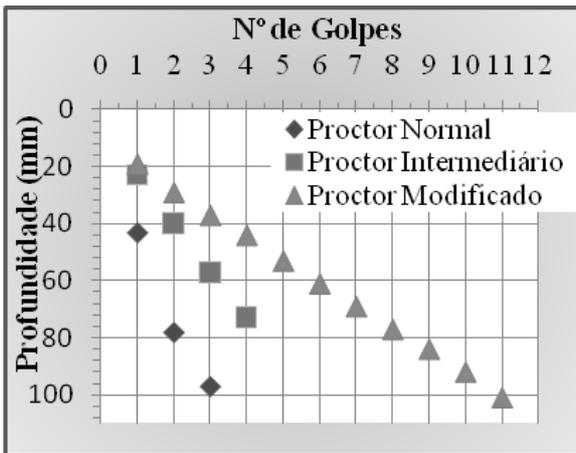


Figura 04 - Gráfico DCP da camada de solo A-6 (subleito).

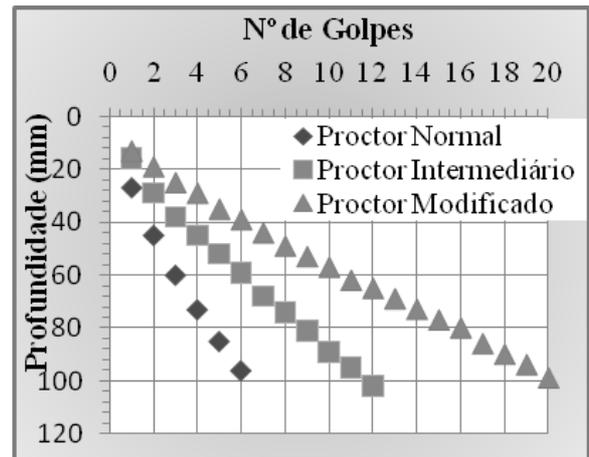


Figura 07 - Gráfico DCP da camada de solo A-1 (base reciclada).

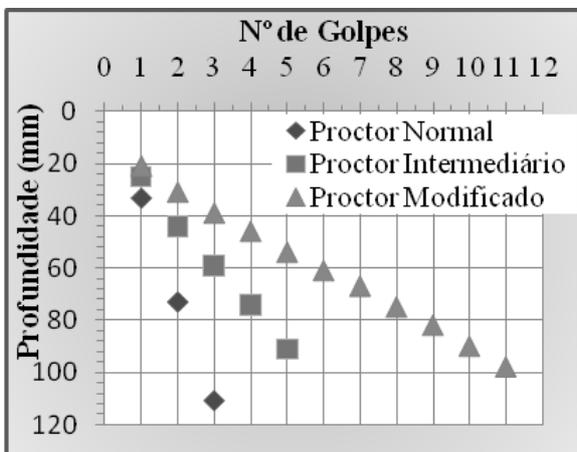


Figura 05 - Gráfico DCP da camada de solo A-2-4 (sub-base AM1).

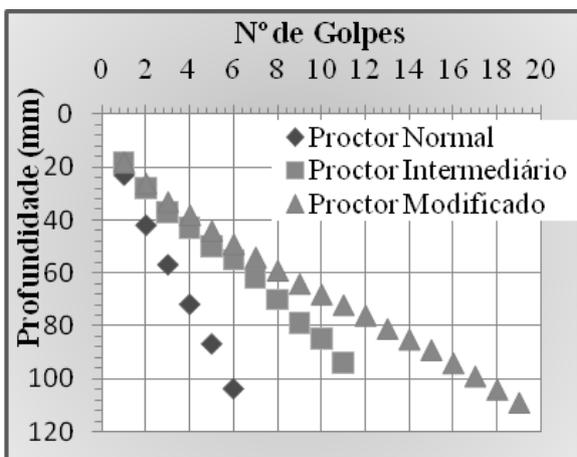


Figura 06 - Gráfico DCP da camada de solo A-2-4 (sub-base AM2).

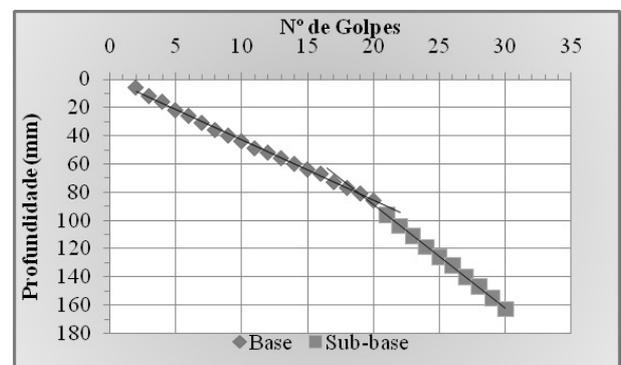


Figura 08 - Efeito causado pela mudança de camada.

Conforme se pode visualizar nos gráficos obtidos, as camadas de pavimento apresentaram uma taxa de penetração constante, fazendo com que os pontos se disponham linearmente. A inclinação da reta formada pela tendência linear de dispersão dos pontos representa o índice de penetração (DN) refletindo a resistência daquela camada à penetração. Observa-se que a inclinação dos ajustes ou DN diminui de acordo com a utilização de mais energia de compactação e indica melhores características mecânicas do estrato.

A diferenciação das camadas é facilmente identificada quando se observa variação da inclinação de reta resultante do ensaio DCP, como é apresentado esquematicamente, sem profundidades reais, na Figura 8, evidenciando a menor resistência da camada de sub-base (A-2-4) em relação à camada de base (A1-b) como é esperado.

Na prática, este fenômeno pode ser explorado para melhor controle da execução de diferentes camadas sobrejacentes, pois oferece condição de avaliar a conformidade da dimensão de cada camada. Este tipo de análise é interessante na previsão e prevenção de futuros problemas do pavimento, servindo também para a sua manutenção.

Com os valores coletados dos ensaios ISC e juntamente com os obtidos mediante o equipamento o DCP elaborou-se a Tabela 01 a seguir.

Tabela 01 - Valores obtidos por meio dos ensaios ensaios de CBR e DCP para cada amostra.

Grupos	A6			A-2-4 (AM1)		
Energia	Norm.	Int.	Mod.	Norm.	Int.	Mod.
CBR (%)	6	15	21	39	60	72
DN (mm/golpe)	35,00	16,67	8,20	16,20	7,60	5,06
Grupos	A-2-4 (AM2)			A1-B		
Energia	Norm.	Int.	Mod.	Norm.	Int.	Mod.
CBR (%)	11	29	60	32	88	133
DN (mm/golpe)	37,00	16,50	7,70	13,80	7,82	4,53

Foi analisada a relação entre os índices e percebeu-se, entre eles, um comportamento inversamente proporcional, fato que coincide com a projeção esperada, em virtude de o ensaio DCP fornecer um valor diretamente proporcional à facilidade de penetração apresentada pela camada submetida ao ensaio; portanto quanto maior for este, menor será a capacidade de suporte, menor o Índice de Suporte Califórnia.

Tal fenômeno pode ser visualizado no gráfico da Figura 9.

Analisando-se a nuvem de dados resultante dos ensaios, dispostos em gráfico DN x ISC, observou-se que o ajuste mais acurado, considerando-se a distinção por camada de pavimento, é realizado com regressão logarítmica, apresentando valores de R² consideravelmente satisfatórios.

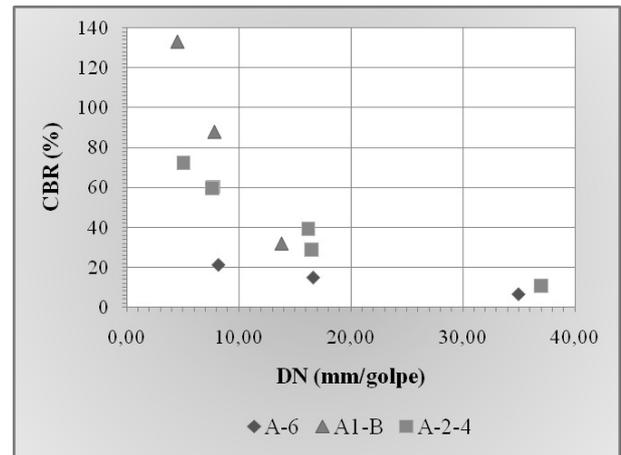


Figura 09 - Pontos adquiridos para correlações CBR x DCP das camadas estudadas.

As equações de correlação formuladas para os três grupos de solo, bem como seus respectivos R², são mostradas na Tabela 02.

Tabela 02 - Correlações para as classificações dos solos utilizados.

Grupo	Equação	R ²
A1-B	CBR = -90,54 x Ln(DN) + 271,20	0,9975
A-2-4	CBR = -31,53 x Ln(DN) + 123,42	0,9800
A-6	CBR = -10,15 x Ln(DN) + 42,794	0,9957

4 CONCLUSÕES

O equipamento DCP apresentou significativa vantagem de avaliar a capacidade de suporte das camadas de pavimento de forma prática, não destrutiva, rápida, confiável e principalmente direta, diferentemente de outros ensaios que são utilizados na verificação do estado final da compactação de uma camada de pavimento, os quais utilizam referências indiretas com as melhores características de compactação obtidas em laboratório.

Com o presente trabalho, torna-se claro que para cada classificação do solo, conseqüentemente para cada camada de pavimento, há uma correlação específica entre os índices estudados. Sabendo-se disto, cria-se a necessidade de futuros estudos mais aprofundados no que diz respeito à formulação de normatizações que englobem todos os tipos de solos que são utilizados nas obras viárias brasileiras.

Pode-se, por meio do uso do Penetrômetro Dinâmico de Cone, manter um controle tecnológico que contribuirá para a melhor execução das rodovias, tanto no concernente à qualidade técnica quanto a economia de recursos,

dada pela redução de gastos com a reconstrução precoce de pavimentos.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Fortaleza (UNIFOR) por viabilizar a construção do DCP, aos órgãos de fomento: CNPq e FUNCAP pelos recursos para a pesquisa e ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) pelo apoio nos ensaios.

REFERÊNCIAS

- [1] ALMEIDA, D. G.; BARROSO, S. H. A., Verificação de Correlações DCP X CBR para Solos do Baixo Jaguaribe-CE com Finalidades Rodoviárias. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 38. / ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 12., 2007, Manaus. **Anais da 38º Reunião Anual de Pavimentação**. Manaus: Editora: ABPv, 2007.
- [2] ALVES, A. B. C. **Avaliação da Capacidade de Suporte e Controle Tecnológico de Execução da Camada Final de Terraplenagem Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone**. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- [3] BERTI, C. **Avaliação da Capacidade de Suporte de Solos “In Situ” em Obras Viárias Através do Cone de Penetração Dinâmica, Estudo Experimental**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005.
- [4] CARVALHO, R. G., **Correlações entre os Ensaios DCP e CBR para Solos Saprolíticos de Textura Fina**. 141 f. Dissertação (Mestrado em Infraestrutura Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Jose dos Campos, SP, 2005.
- [5] BURNHAM, T.; JOHNSON, D. **In situ Foundation Characterization Using the Dynamic Cone Penetrometer**. Report Documentation. Minnesota-USA. : Minnesota Department of Transportation, 1993.
- [6] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGENS. **Solos – Ensaio de Compactação Utilizando Amostras Trabalhadas**, DNER-ME 162/94, 1994a.
- [7] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGENS. **Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras Não Trabalhadas**, DNER-ME 049/94, 1994b.
- [8] LIMA, L. C., **O Ensaio DCP Aplicado no Controle de Qualidade de Compactação de Obras Viárias Executadas com Solos Lateríticos de Textura Fina**. 149 p. Dissertação (Mestrado em Infraestrutura Aeronáutica). Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, São Paulo, 2000.
- [9] PREUSSLER, L. A., **Contribuição ao Estudo da Deformabilidade de Camadas de Pavimento**. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- [10] SILVA JÚNIOR, F. A.; RODRIGUES, J. K. G.; MORAIS, C. A. S.. Cone de Penetração Dinâmica (DCP): Uma Alternativa ao Dimensionamento de Pavimentos Urbanos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 36., 2005, Curitiba-PR. **Anais da 36ª Reunião Anual de Pavimentação**. Curitiba-PR: ABPv, 2005. CD-ROM.
- [11] SILVA JÚNIOR, F. A.; RODRIGUES, J. K. G.; SOUZA NETO, P. N.. Correlação entre o Ensaio de Cone de Penetração Dinâmica (DCP) e Ensaio de CBR “in situ”, para Subleitos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 36., 2005, Curitiba-PR. **Anais da 36ª Reunião Anual de Pavimentação**. Curitiba-PR: ABPv, 2005. CD-ROM.
- [12] TRICHÊS, G.; CARDOSO, A. B.. Utilização do Penetrômetro Dinâmico de Cone no Controle Tecnológico de Camadas Finais de Aterros Rodoviários e na Avaliação da sua Capacidade de Suporte. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 31., 1998, São Paulo. **Anais da 31º Reunião Anual de Pavimentação**. Rio de Janeiro: ABPv, 1998. p. 686-698.