

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Avaliação objetiva e estrutural de pavimento com base em ensaios DCP

Vanessa Gabrielle Penha Vilas-Boas

Discente, Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, Brasil, vanessagabriele.penha@hotmail.com

Pedro Henrique Rocha Santana

Engenheiro Civil, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, prof.pedrosantana93@gmail.com

Oisy Hernandez Menendez

Professora, Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, Brasil, oisy.menendez@ufob.edu.br

Vinícius de Oliveira Kühn

Professor, Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, Brasil, vinicius.kuhn@ufob.edu.br

RESUMO: Os pavimentos flexíveis são estruturas que apresentam deterioração funcional e estrutural ao longo do tempo. Estes problemas tendem a comprometer o conforto e segurança nas estradas. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a estrutura e função de um segmento rodoviário localizado em Barreiras na Bahia, Brasil, através do Penetrometro Dinâmico de Cone (DCP - *Dynamic Cone Penetrometer*) em conjunto avaliação objetiva. Para dar suporte aos ensaios de campo foram realizados ensaios laboratoriais de caracterização, compactação, CBR (*California Bearing Ratio*) e DCP. A avaliação em campo foi dividida em dois trechos. Avaliação objetiva do trecho 1 gerou um conceito REGULAR, enquanto que o trecho 2 foi gerado conceito RUIM, sendo boa parte dos defeitos relacionados a camada de revestimento. Os solos apresentaram predominância pedregulhosa e elevado CBR em laboratório. Os perfis estratigráficos obtidos não mostraram uniformidade nas espessuras das camadas de base e sub-base, estando em grande parte com espessuras menores que o projetado. Através da avaliação estrutural de campo e das correlações de laboratório, foi verificado que as capacidades resistentes das camadas ao longo dos trechos estavam dentro das faixas limites estabelecidas.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento flexível, Penetrometro Dinâmico de Cone, Avaliação objetiva, Avaliação estrutural.

ABSTRACT: Flexible pavements are structures that show functional and structural deterioration over time. These problems tend to compromise the comfort and safety of roads. Therefore, this work aims to evaluate the structure and function of a road segment located in Barreiras, Bahia State, Brazil, by means of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) in a joint objective evaluation. To support field tests, laboratory tests of characterisation, compaction, CBR (*California Bearing Ratio*) and DCP tests were performed. The field evaluation was divided into two sections. Objective evaluation of section 1 generated a REGULAR concept, while section 2 generated a BAD concept, with most of the defects related to the surface course. The soils presented predominantly gravelly and high CBR in the laboratory. The stratigraphic profiles obtained did not show uniformity in the thickness of the base and sub-base course, most of them with thicknesses less than projected. Through the field structural evaluation and laboratory correlations, it was verified that the bearing capacity of the layers along the stretches were in accordance with the established limits.

KEYWORDS: Flexible pavements, Dynamic Cone Penetrometer, Objective evaluation, Structural evaluation.

1 Introdução

De acordo com a Confederação Nacional de Transporte - CNT (2016) o modal rodoviário é a principal forma de locomoção de pessoas e cargas no território brasileiro. Dentro desse contexto, encontra-se a região do oeste baiano, que desde o fim dos anos 90, surgiu como um dos principais polos agrícolas do cenário



nacional, sendo responsável por grande parte da produção e distribuição de grãos pelo país. Vale destacar, que a região carece de outras modalidades de transporte para a distribuição dos grãos produzidos, gerando assim uma grande concentração de cargas transportadas por rodovias estaduais e federais. Adicionalmente, grande parte dessas rodovias apresentam más condições do pavimento, que além de não proporcionar conforto e segurança aos usuários, acarreta em maiores custos de operação nos serviços de transporte.

O CNT (2016) aponta que 48,3% das rodovias brasileiras apresentaram algum tipo de problema no pavimento, sendo que destas, 35,8% foram classificadas como regular, 9,9% como ruins e 2,6% em estado péssimo.

Conforme Bernucci *et al.* (2008), o desempenho adequado do conjunto de camadas, relaciona-se a capacidade de suporte, à durabilidade compatível com o padrão da obra e o tipo de tráfego, bem como o conforto ao rolamento e a segurança dos usuários. O desafio de projetar um pavimento reside no fato, portanto, de conceber uma obra de engenharia que cumpra as demandas estruturais e funcionais. Ainda Bernucci *et al.* (2008), definem o critério de avaliação de um pavimento em dois tipos, estrutural e funcional, sendo que o nível mínimo aceitável para este parâmetro define o momento de fazer a intervenção corretiva de restauração ou reforço. Dentro desse contexto, a avaliação estrutural pode ser feita de forma destrutiva, semi-destrutiva ou não destrutiva.

Dentre os métodos semi-destrutivos, pode-se destacar o Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP - *Dynamic Cone Penetrometer*), equipamento que possui custo relativamente baixo e de fácil operação. Outras características importantes do DCP, inclui o fato do aparelho ser aplicado em diversas situações, sendo que no campo da pavimentação, pode ser utilizado para a obtenção da capacidade resistente do solo e seu perfil estratigráfico, com identificação das espessuras das camadas da estrutura do pavimento.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a estrutura e funcionalidade de dois trechos do pavimento do anel viário de Barreiras (no oeste baiano), com a utilização do aparelho DCP, além da análise do estado da superfície. Adicionalmente, foram realizados ensaios de caracterização, compactação, CBR (*California Bearing Ratio*) e DCP em laboratório.

2 Materiais e Métodos

A via selecionada para os estudos foi o trecho do anel viário de Barreiras, localizado no Oeste da Bahia. Com a finalidade de melhorar a análise dos resultados, as avaliações foram divididas em dois trechos (Figura 1). O primeiro trecho referente ao segmento do anel viário que vai do cruzamento com a BR 135 (saída para a cidade de Riachão das Neves-BA) até o entroncamento com o acesso a BA 447 (acesso para o município de Angical-BA). O segundo trecho foi compreendido pela parte do anel viário que vai do entroncamento com a BA 447 até o encontro com a BR 242. O trabalho foi conduzido em duas vertentes, uma de campo e uma de laboratório.



Figura 1. Mapa com a divisão dos trechos de avaliação e pontos de coleta de amostras, Fonte: Google Maps.

2.2 Avaliação objetiva e Ensaios de campo

A metodologia de campo compreende a avaliação objetiva do pavimento, através da análise dos defeitos da superfície, e a execução do ensaio semi-destrutivo para avaliação estrutural, através do DCP. O estado superficial dos pavimentos flexíveis foi avaliado através do Índice de Gravidade Global (IGG), conforme PRO



006 (DNIT, 2003). Esse procedimento especifica as condições de avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos, mediante a determinação de medidas de afundamentos em trilhas de roda e levantamentos visuais da superfície do pavimento, efetuados com o propósito de identificar e quantificar os defeitos existentes na superfície do pavimento (GONÇALVES, 1997).

Os ensaios DCP em campo foram realizados em 28 pontos ao longo dos 2 trechos. Sendo o primeiro trecho dos pontos 1 ao 15 e o segundo trecho entre os pontos 16 ao 28. O ensaio foi realizado de 200 m em 200 m de maneira alternada entre o bordo esquerdo e direito da pista. Os pontos de ensaio ímpares foram realizados do lado esquerdo e os pares do lado direito. Inicialmente foi feita a remoção da camada do pavimento asfáltico com auxílio de marreta e talhadeira até alcançar a camada da base, a seção de abertura foi de aproximadamente 7 cm x 7 cm. Posteriormente foi realizada a perfuração com o DCP. O critério de parada adotado foi adentrar toda a estrutura do pavimento (base e sub-base) e alguns centímetros do subleito, em torno de 35 cm de perfuração ou caso fossem dados quatro golpes e não houvesse penetração o ensaio era encerrado para prevenir que a ponta do aparelho fosse danificada. Após o encerramento dos ensaios os furos foram preenchidos com solo-cimento, obtido pela mistura de solo, cimento na proporção de 1:10 (uma parte do cimento para outras partes de areia). Na camada superficial foi usada uma argamassa com traço forte e após secagem foi feita a impermeabilização com pintura asfáltica.

2.3 Ensaios de laboratório

Para a análise laboratorial foram realizados os ensaios de caracterização, compactação e CBR do solo, além da determinação do DCP em laboratório. As amostras foram coletadas em três pontos diferentes do acostamento do trecho em estudo, conforme apresentado na Figura 1. Para a execução dos ensaios foram utilizados as seguintes normas: NBR 6457 (ABNT, 2016a), NBR 7181 (ABNT, 2017a), NBR 6459 (ABNT, 2016b), NBR 7180 (ABNT, 2016c), NBR 6458 (ABNT, 2017b), ME 164 (DNIT, 2013), ME 172 (DNIT, 2016). Optou-se por não realizar o ensaio de expansão previamente ao CBR, para que as amostras tenham resultados de CBR mais próximos dos valores de campo e melhor correlação com os ensaios de DCP, assim como recomenda García Hómeiz (2014).

As curvas granulométricas das amostras são apresentada na Figura 2. Os limites de Atterberg, índice de grupo e propriedades de compactação são apresentados na Tabela 1. As amostras 1 e 3 apresentam características pedregulhosa (43,3 e 53,4%, respectivamente), seguido de areia (33,4 e 23,4%, respectivamente), com baixo índice de plasticidade. Já a amostra 2 apresenta 44% de silte e argila, menor fração de pedregulho 14,9%, e maior índice de plasticidade. A amostra 2 foi utilizada apenas como função de aterro da via, o que justifica as diferenças das propriedades geotécnicas.

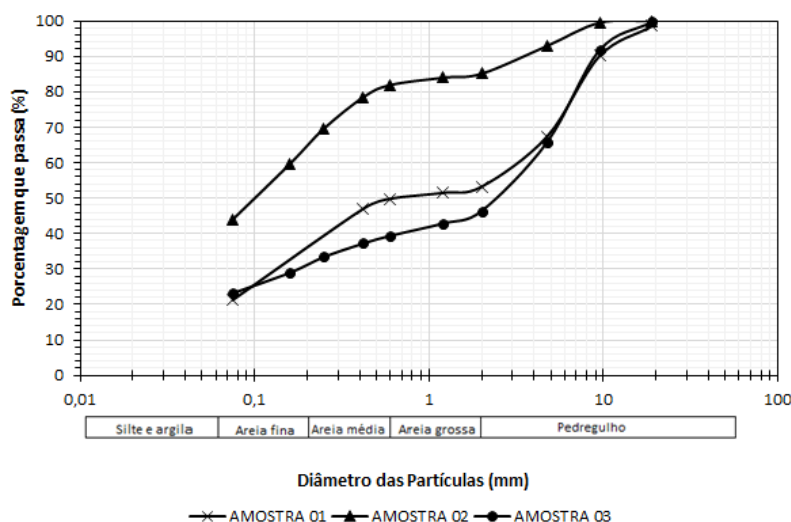


Figura 2. Curvas granulométricas das amostras.



As condições de compactação mostram que as amostras 1 e 3 apresentam menores valores de umidade ótima e maior ρ_{dmax} comportamento típico de materiais pedregulhosos. Além disso os valores de CBR são maiores nessas duas amostras em comparação com a amostra 2 (Tabela 1).

Tabela 1. Limites de Atterberg, índice de grupo, classificação HRB e propriedades de compactação das amostras.

Amostra	w _L (%)	w _p (%)	IP	IG	HRB	ρ_{dmax} (g/cm ³)	w _{ótima} (%)	CBR (%)
01	20,4	17,5	2,9	0	A-1-b	1,38	8,0	153
02	25,5	16,8	8,7	0	A-5	1,26	11,2	61
03	20,6	16,3	4,3	0	A-1-b	1,42	7,0	182

Após as amostras terem sido submetidas ao ensaio de compactação, foram realizados os ensaios de CBR e o ensaio de DCP (em laboratório) com o intuito da determinação do índice de Penetração do DCP (DN) (mm/golpe). A equação 1 obtida relaciona o DN com o CBR das 3 amostras. O R² obtido foi 0,81. Importante ressaltar que a correlação foi estabelecida com a amostra na umidade pós compactação.

$$CBR = 2,57 DN^2 - 47,30DN + 250,11 \quad (1)$$

3 Resultado e Discussões

3.1 Avaliação objetiva da superfície do pavimento

Durante a avaliação do primeiro trecho foram observadas patologias de forma esporádica, sendo em sua grande maioria trincas curtas e isoladas, exsudação e em alguns pontos foram detectados desgaste no pavimento. Contudo, a parte que mais se destacou pela frequência de diversas patologias foi nas imediações da ponte, onde foram observadas trincas tipo bloco, couro de jacaré, trincas transversais longas, afundamento local significativo e remendos. As patologias encontradas nesse primeiro trecho não são de origem estrutural, são defeitos associados aos erros de dosagem do revestimento betuminoso, compactação diferenciada entre as camadas de revestimento, excesso de ligante, perda de elasticidade do material por tempo de mistura incorreto e contrações térmicas do revestimento ou contrações devido à variação do teor de umidade com relação as camadas inferiores. Nesse trecho, o afundamento da trilha de roda interna médio foi de 4,28 mm e externo de 3,62 mm. A Figura 3a apresenta os afundamentos das trilhas de roda externa por estaca. O conceito gerado pelo IGG foi de REGULAR.

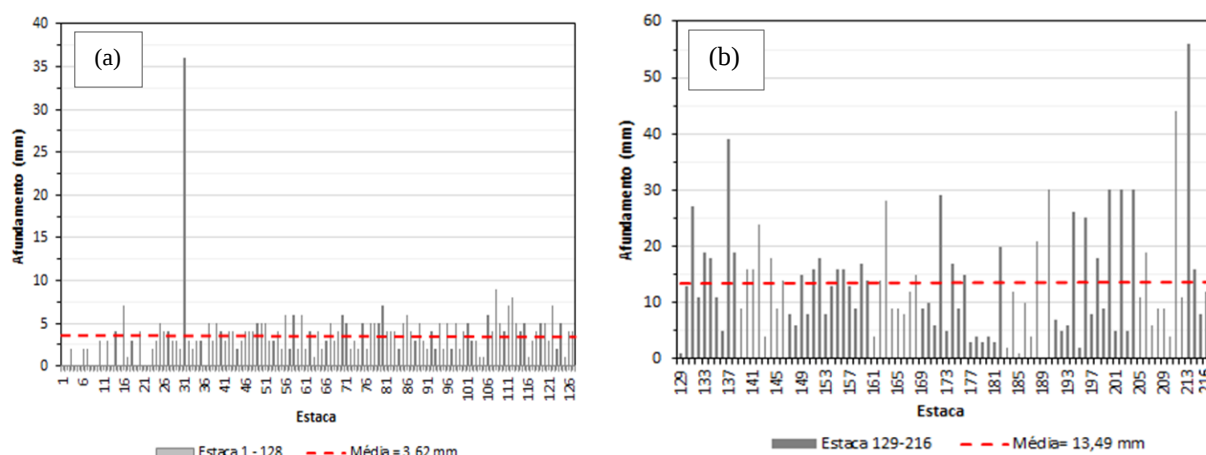


Figura 3. Afundamento da trilha de roda externa: (a) 1º trecho; (b) 2º trecho.

O trecho 02 da rodovia pode ser considerado em situação mais delicada. Foram detectados os mais diversos tipos de patologias e em maior intensidade. Contudo, os defeitos que mais contribuíram para o IGG



foram os afundamentos nas trilhas de roda. Esse tipo de patologia é caracterizada pela consolidação diferencial nas camadas do pavimento ou subleito, sendo este defeito de origem estrutural. Neste caso, como o trecho foi construído antes da concepção do contorno viário, as espessuras das camadas de pavimento não foram calculadas levando em consideração a quantidade de veículos pesados que circula atualmente por esses trechos. Além disso, o pavimento se encontra em um estado de deterioração avançado, havendo a necessidade de reforço e restauração do trecho. O afundamento da trilha de roda interna obteve um valor médio de 10,12 mm e externo de 13,49 mm (Figura 3b). Como resultado do conjunto de defeitos, o IGG chegou ao valor de 147,23, resultando assim no conceito “RUIM”.

3.2 Ensaio de DCP em campo

A Figura 4 apresenta as espessuras das camadas de base e sub-base obtidas pelo ensaio DCP. As espessuras obtidas da base e sub-base em geral foram inferiores às espessuras de projeto (linhas em vermelho). Em apenas 7 pontos dos 28 ensaios a estrutura alcançou os 30 cm projetados, sendo que desses 7 apenas 1 estava localizado no primeiro trecho 01.

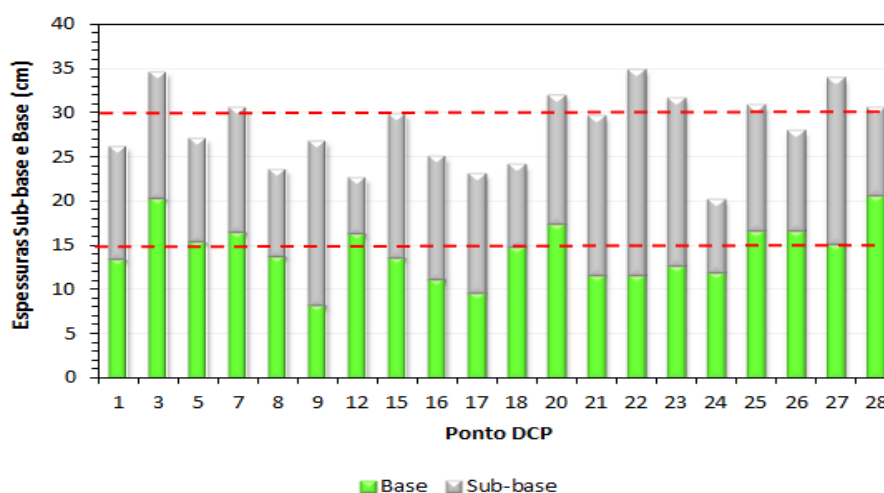


Figura 4. Espessura da base e sub-base obtida pelo ensaio DCP.

A Figura 5 apresenta a variação do DN (mm/golpe) para os pontos estudados. É possível notar que os valores de DN crescem a partir do ponto 15, quando acaba o primeiro trecho. Esse crescimento é mais significativo na sub-base e subleito. Em especial destaca-se o ponto 20, onde foram obtidos os maiores índices de penetração, sendo esse o local mais crítico estruturalmente. Pôde-se observar que no segundo trecho (a partir do ponto 16) os índices de penetração no lado direito da pista são maiores que do lado esquerdo, propondo uma falha no controle de compactação em campo, causando diferença nas resistências entre as duas faixas de rolamento, com isso o a faixa do lado direito (sentido BR 135 à BR 242) é sujeita a apresentar mais falhas estruturais que o lado oposto.

A Tabela 2 apresenta os valores estatísticos do DN e os valores de CBR médios. Verifica-se que o trecho 01 possui em média um CBR maior que o trecho 02 em todas as camadas estruturais, o que pode justificar a maior incidência de manifestações patológicas no segundo segmento. No segundo trecho há também uma maior variação dos valores de DN em torno da média, resultando em desvio padrão elevado para todas as camadas. Com isso entende-se que apesar de apresentar uma condição geral menos resistente existem pontos onde a estrutura possui uma alta capacidade de suporte, um exemplo disso é o ponto 19, que apresentou uma boa resistência à penetração atingindo valores de DN igual a 2,03 para a base e sub-base.

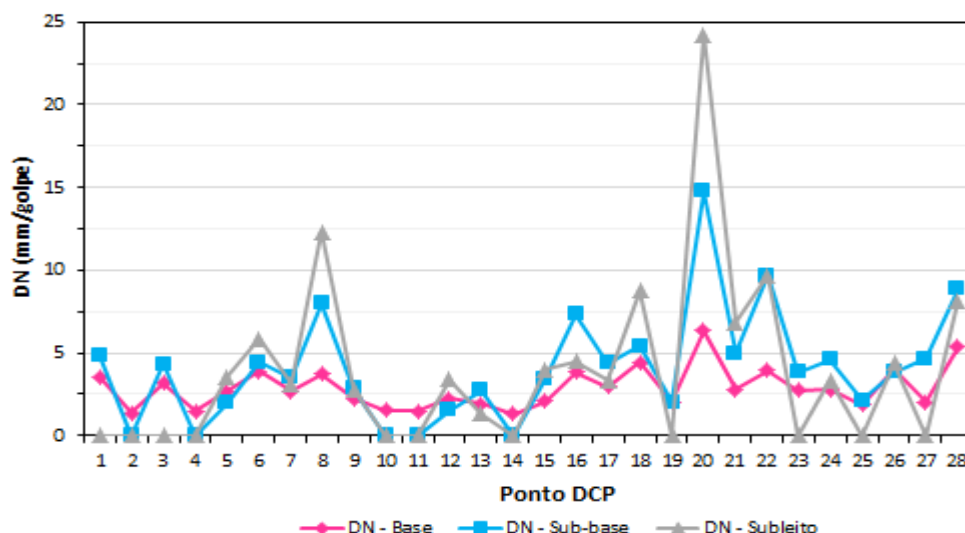


Figura 5. Variação do DN (mm/golpe) para os pontos estudados.

Tabela 2. Valores estatísticos do DN e CBR dos trechos.

Trecho	01			02		
DN (mm/golpe)	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito
DN médio	2,44	4,07	4,54	3,44	5,23	7,78
Mediana	2,25	3,49	3,57	2,88	4,47	4,38
Desvio Padrão	0,89	1,94	2,99	1,35	3,3	6,99
Erro Padrão	0,21	0,46	0,7	0,32	0,78	1,65
Coeficiente de variação	0,37	0,48	0,66	0,39	0,63	0,9
CBR médio (%)¹	150	100	88	118	73	38
CBR médio (%)²	150	92	83	108	72	50

¹ CBR médio utilizado a equação 1 desta pesquisa; ² CBR médio utilizando a equação de Harison (1987) para solos pedregulhosos.

O CBR dos trechos é calculado através da equação 1 e a equação de Harison (1987) para solos pedregulhosos ($R^2=0.96$). Através da Tabela 2, observa-se que os valores são muito próximos dos valores obtidos pela correlação dessa pesquisa, o que garante confiabilidade à correlação encontrada.

A Figura 6a,b apresenta o CBR obtido pelas correlações para os pontos DCPs ensaiados para as camadas de base e sub-base, respectivamente. O trecho 01, apresentou em geral valores de CBR significativamente acima do valor mínimo exigido pelo órgão rodoviário. Na camada de base, para a maioria dos pontos deste primeiro trecho, foram obtidos valores de CBR acima de 100% (exceção do ponto 06). O trecho 02 apresentou maiores oscilações nos valores de CBR tanto para a camada de base como para sub-base, em geral, os valores da sub-base foram inferiores aos obtidos para o primeiro trecho de avaliação. Além disso, pôde-se notar que os valores de CBR para o lado direito (pontos pares) da pista foram geralmente menores que os valores obtidos para o lado esquerdo (pontos ímpares).

No entanto, em ambos os trechos os valores de CBR são elevados. Nesse sentido, os defeitos encontrados, principalmente no segundo trecho podem ser atribuídos ao revestimento. Importante destacar que ao longo da avaliação objetiva notou-se que as deformações permanentes ao longo da trilha de roda estavam sempre acompanhadas de elevações laterais paralelas ao tráfego indicando assim uma ruptura por cisalhamento.

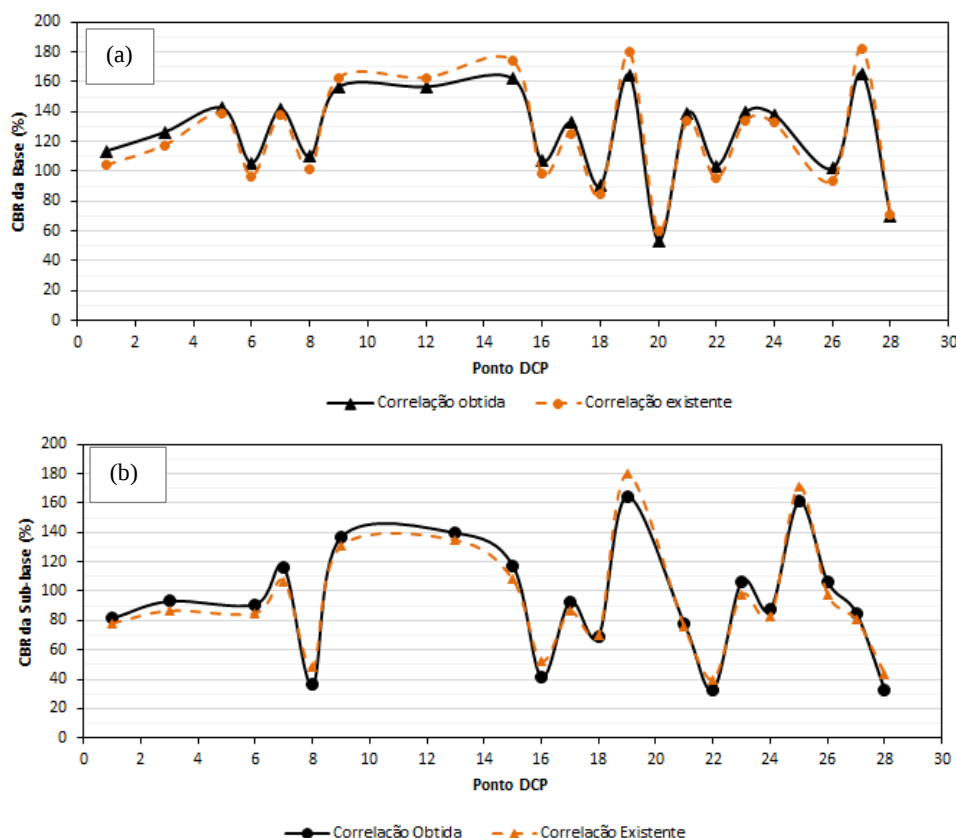


Figura 6. CBR obtido pelas correlações para os pontos DCPs ensaiados: (a) base; (b) sub-base.

4 Considerações finais

A avaliação objetiva gerou um conceito REGULAR para o estado do pavimento no trecho 01 e conceito RUIM para o trecho 02, sendo que para o primeiro trecho os defeitos eram de origem não estrutural e no segundo a grande maioria das patologias eram de origem estrutural. Devido aos afundamentos elevados, o trecho 02 encontrava-se em condições inadequadas de operação. Embora a média dos afundamentos na trilha de roda do trecho 01 tenham ficado abaixo de 5mm, notou-se que em várias estacas esses afundamentos atingiram valores maiores.

Já a correlação entre DN e CBR obtida neste trabalho, mostrou-se relevante para a determinação da capacidade de suporte da estrutura. Os valores de CBR do campo obtidos através da correção do DN e DCP apresentaram valores em média acima de 100% para camadas de base e valores próximos de 90% para sub-base. Como já era esperado, devido ao conceito RUIM gerado na avaliação objetiva, o trecho 02 apresentou menores valores de CBR para a base e sub-base comparados com a capacidade de suporte das camadas estruturais do trecho 01. Ainda no trecho 02, foi observado que a capacidade resistente do lado direito era sempre inferior que o lado esquerdo, indicando diferença no controle compactação entre os dois bordos.

A variação das espessuras das camadas obtidas pelo DCP mostra que os valores foram geralmente inferiores aos valores de projeto. O que ressalta a importância do controle tecnológico durante todo o processo executivo, caso isso não seja feito rigorosamente, essa variação pode interferir no futuro desempenho do pavimento.

De um modo geral, a estrutura do pavimento do contorno viário apresentou alta capacidade resistente nas camadas de base e sub-base, mesmo o trecho 02 apresentando maiores variações de capacidade de suporte e alguns pontos com baixa capacidade, na maioria dos pontos de ensaio foram obtidos CBR's elevados. Por essa razão, as manifestações de defeitos em maior quantidade e intensidade no segundo trecho podem ser atribuídas ao subdimensionamento do revestimento, ou o mesmo está sendo submetido a cargas acima da capacidade projetada.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal do Oeste da Bahia pelo suporte para a realização dessa pesquisa, bem como o 4º Batalhão de Engenharia e Construção pelas informações fornecidas para realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2016a). *NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro/RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2016b). *NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro/RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2016c). *NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro/RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2017a). *NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro/RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2017b). *NBR 7181: Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro/RJ.
- Alves, A.B. (2002). *Avaliação da capacidade de suporte e controle tecnológico de execução da camada final de terraplanagem utilizando o penetrômetro dinâmico de cone*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC.
- Bernucci, L.B. , Motta, L.M, Ceratti, J.A, & Soares, J.B. (2008). *Pavimentação asfáltica , formação básica para novos engenheiros*. Rio de Janeiro.
- Confederação Nacional de Transportes-CNT. (2016). *Pesquisa CNT de rodovias 2016: relatório gerencial*. Brasília, 402p.
- Departamento Nacional de Transportes-DNIT. (2016). *ME 172: Solos – Determinação do índice de suporte califórnia utilizando amostras não trabalhadas*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Transportes-DNIT. (2003). *PRO 006: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirígidos*. Rio de Janeiro.
- García Hómeiz, J. H. (2014). *Avaliação de rodovias goianas restauradas com a técnica de reciclagem a frio in situ*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 173p.
- Gonçalves, F.P. (1997). *Utilização de Expert systems na manutenção de pavimentos*. Tese de doutorado. Instituto de Tecnológico de Aeronáutica-ITA. São José dos Campos-São Paulo. 192p.
- Harison, J. A. (1987). *Correlation between California bearing ratio and dynamic cone penetrometer strength measurement of soil*, Proc. Instn. Civ. Engs. Part 2, 93, Technical Note No. 463.