

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO OBJETIVA E ESTRUTURAL DE PAVIMENTO COM BASE EM
ENSAIOS DE PENETRÔMETRO DINÂMICO DE CONE (DCP) – APLICADO AO
TRECHO DO ANEL VIÁRIO DE BARREIRAS**

VANESSA GABRIELE PENHA VILAS BOAS

BARREIRAS-BA

MAIO-2017

VANESSA GABRIELE PENHA VILAS BOAS

**AVALIAÇÃO OBJETIVA E ESTRUTURAL DE PAVIMENTO COM BASE EM
ENSAIOS DE PENETRÔMETRO DINÂMICO DE CONE (DCP) – APLICADO AO
TRECHO DO ANEL VIÁRIO DE BARREIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador(a): MsC. Vinícius de Oliveira Kühn

BARREIRAS-BA

MAIO-2017

FICHA CATALOGRÁFICA

S237 Vilas Boas, Vanessa Gabriele Penha.

Avaliação objetiva e estrutural de pavimento com base em ensaios de penetrômetro dinâmico de cone (DCP) – aplicado ao trecho do anel viário de Barreiras. – 2017. 90f.

Orientador: Prof. Msc Vinicius de Oliveira Kuhn

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias, Barreiras, BA, 2017.

1. Pavimentos de Estradas. I. Kuhn, Vinicius de Oliveira. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 625.8


VANESSA GABRIELE PENHA VILAS BOAS

**AVALIAÇÃO OBJETIVA E ESTRUTURAL DE PAVIMENTO COM BASE EM
ENSAIOS DE PENETROMETRO DINÂMICO DE CONE (DCP) – APLICADO AO
TRECHO DO ANEL VIÁRIO DE BARREIRAS**


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovado em 02 de maio de 2017.

Banca Examinadora

Orientador(a): 
MSc. Vinícius de Oliveira Kühn
Universidade Federal do Oeste da Bahia


MSc. Kuelson Randelo Dantas Maciel
Universidade Federal do Oeste da Bahia


MSc. Natália Assunção Brasil Silva
Universidade Federal do Oeste da Bahia

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, minha eterna gratidão a Deus por ter aberto portas para mim desde a entrada na universidade e ao longo de todo o curso. Por ter me dado forças para continuar mesmo nos momentos mais difíceis de minha vida e me ajudado a chegar ao final dessa jornada de graduação.

Aos meus pais e minha irmã pelo apoio incondicional em todas as fases desse curso e da minha vida, sem o amor destes não teria sido possível chegar aqui.

Ao meu esposo, pelo companheirismo, incentivo e compreensão em todos os momentos, por não ter me deixado desistir em nenhum instante e por ter feito todos os esforços possíveis para me auxiliar nessa caminhada.

A toda a minha família e amigos pelo apoio em orações, por estarem sempre torcendo pelo meu sucesso.

Ao meu orientador Vinícius Kühn pela disposição, esforço, dedicação, incentivo e confiança para a realização deste trabalho.

De maneira especial agradeço ao meu esposo e meu pai que me ajudaram com seus esforços físicos para realização dos ensaios de campo e aos colegas Rafael Malheiros e Nivaldo Junior pelo auxílio na realização dos ensaios laboratoriais.

À equipe da Gerência de Governo da Caixa (GIGOV), especialmente aos engenheiros Rodrigo Rabelo, Herbert Alves e Marcus Fabrício pela grande contribuição na minha formação acadêmica durante o período estágio.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

RESUMO

Estudos realizados pela Confederação Nacional de Transportes aponta que 48,3% da malha rodoviária brasileira apresentam problemas relacionados às condições do pavimento. A principal causa apontada para esses problemas é o não atendimento às exigências técnicas tanto da capacidade de suporte das camadas do pavimento como da qualidade dos materiais empregados no revestimento. Com isso surge a necessidade de métodos práticos de avaliação tanto para controle de execução quanto para avaliação de pavimentos existentes. Com isso este trabalho propôs a avaliação de um segmento de uma rodovia, o contorno viário de Barreiras/BA, situado na BR 242, com o objetivo de realizar análises estruturais e funcionais através do Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) associado ao método de avaliação objetiva preconizada pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e transportes). Para facilitar a análise dos dados, o segmento foi dividido em dois trechos, visto que parte do pavimento foi construído recentemente e a outra parte refere-se a uma área pavimentada há vários anos atrás (trecho que dá acesso à BA 447). Foram realizadas coletas de amostras deformadas dos materiais usados na estrutura do pavimento, para realização dos ensaios de caracterização, que classificou o solo como granular com predominância de pedregulhos, e então feitos os ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC), e DCP em laboratório visando propor um modelo que relacione o ISC com o índice de penetração (DN). Para a análise estrutural, foram realizados ensaios de DCP em campo para determinação da resistência à penetração e avaliação estratigráfica da estrutura. Como resultado dos ensaios de DCP em campo associado à correlação obtida em laboratório, observou-se que as capacidades resistentes das camadas ao longo do trecho estavam em geral dentro das faixas limites estabelecidas pelo DNIT. 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. A avaliação objetiva gerou um conceito regular para o estado do pavimento no trecho 01 (construído recentemente) e conceito ruim para o trecho 02 (pavimento antigo).

Palavras-chave: pavimento; avaliação estrutural; avaliação objetiva.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- (a) Corte transversal pavimento asfáltico; (b) Esquema de distribuição de tensões no pavimento flexível.....	5
Figura 2- Dimensionamento do pavimento.	10
Figura 3- Determinação das Espessuras do Pavimento.....	11
Figura 4 - Defeitos em pavimentos.....	15
Figura 5 - (a) Poços de Inspeção - ensaio in situ; (b) Poço de Inspeção - coleta das amostras.....	20
Figura 6- (a) Equipamento DCP; (b) Ensaio DCP em campo.....	21
Figura 7- (a) Curva DCP; (b) Diagrama estrutural.....	22
Figura 8- Correlações apresentadas graficamente.....	23
Figura 9- (a) equipamento Panda desmontado; (b) Utilização do Panda em campo.	25
Figura 10- (a) Esquema viga Benkelman pelo DNER – ME 24/94; (b) Viga Benkelman em campo.....	26
Figura 11 - (a) Vista geral do FWD; (b) Detalhe do sistema de carregamento;	28
Figura 12- Mapa com divisão dos trechos de avaliação.	29
Figura 13 - Curvas de distribuição granulométrica dos materiais descritos em projeto. ...	31
Figura 14 - Localização dos pontos de coleta das amostras.	33
Figura 15- (a) Material peneiramento grosso; (b) Peneiramento; (c) Ensaio Casagrande; (d) Ensaio Limite de Plasticidade.	34
Figura 16- Compactação das amostras.	35
Figura 17- Ensaio CBR.....	36
Figura 18- Ensaio DCP no laboratório.....	37
Figura 19- Treliza para realização das medidas de deflexões das trilhas de roda	38
Figura 20 – (a) Remoção da camada de pavimento asfáltico; (b) Seção de abertura do pavimento para realização do ensaio com DCP; (c) Realização do ensaio; (d) Furo após realização do ensaio DCP.	39
Figura 21- Gráfico de distribuição granulométrica dos materiais.....	40
Figura 22- Representação das curvas granulométricas das amostras coletadas com as curvas traçadas com dados granulométricos de projeto.	41
Figura 23 - Curvas de compactação dos materiais.....	43
Figura 24 - Curvas ISC da Amostra 01.	43

Figura 25 - Curvas de ISC da Amostra 02.	44
Figura 26 - Curvas de ISC para a Amostra 03.	44
Figura 27- Relação entre umidade e ISC.	44
Figura 28- Resultados de ensaio CBR para umidades próximas da umidade ótima.	45
Figura 29- Correlação obtida entre DN e CBR.	46
Figura 30 - Patologias no acesso à ponte do anel viário -.....	48
Figura 31- Patologias frequentes trecho 01.....	49
Figura 32- Medidas do afundamento de trilha de roda interna - Trecho 01.....	50
Figura 33- Medidas de afundamento de trilha de roda externa - Trecho 01.	50
Figura 34 - Medidas de afundamentos da trilha de roda interna - trecho 02.	52
Figura 35 - Medidas de afundamentos da trilha de roda externa - trecho 02.	52
Figura 36- Espessuras da base obtidas por meio do DCP.	58
Figura 37 - Espessuras da sub-base obtidas por meio do DCP.....	58
Figura 38- Gráfico das espessuras de base e sub-base.....	58
Figura 39 – Gráfico de Variação do DN.	59
Figura 40- Perfil de resistência da camada de base do contorno viário de Barreiras.....	63
Figura 41- Perfil de resistência da camada de sub-base do contorno viário de Barreiras. .	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Faixa de especificações de granulometria dos materiais para pavimentação.	8
Tabela 2- Coeficiente estrutural para diferentes materiais.....	9
Tabela 3- Espessuras mínimas do revestimento asfáltico.	11
Tabela 4- Tipos de defeitos e notações adotadas pelo DNIT 006/2003 – PRO.....	17
Tabela 5 - Classificação dos defeitos e fatores de ponderação	18
Tabela 6- Conceito de degradação do pavimento DNIT 006/2003 – PRO.....	18
Tabela 7 - Autores e correlações entre CBR e DCP.....	23
Tabela 8- Características técnicas e operacionais da pista.....	30
Tabela 9- Espessuras das camadas do pavimento.....	30
Tabela 10- Características dos materiais descritos em projeto.	32
Tabela 11 - Composição granulométrica dos materiais.....	41
Tabela 12- Limites de consistência dos materiais e Índice de Grupo.....	42
Tabela 13 - Resultados ensaio de compactação.....	43
Tabela 14 - Resumo de dados para construção da correlação entre DN e CBR.	47
Tabela 15- Resumo do cálculo do IGG – Trecho 01.....	49
Tabela 16 - Planilha resumo cálculo IGG - Trecho 02.	51
Tabela 17- Resultados Gerais do ensaio DCP em campo.....	55
Tabela 18- Variações estratigráficas da estrutura.....	57
Tabela 19 - Dados estatísticos dos valores de DN.	59
Tabela 20 - Valores de CBR obtidos através da correlação de laboratório.	62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 GENERALIDADES SOBRE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	5
2.2 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS	7
2.3 DEFEITOS EM PAVIMENTOS E TERMINOLOGIAS	12
2.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS	16
2.5 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS	19
2.5.1 Métodos Destrutivos.....	19
2.5.2 Métodos Semidestrutivos.....	20
2.5.2.1 Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP).....	21
2.5.2.2 Panda	24
2.5.3 Métodos não destrutivos	25
2.5.3.1 Viga Benkelman.....	26
2.5.3.2 “Falling Weight Deflectometer” - FWD	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES PRÉ-EXISTENTES	29
3.2 ENSAIOS LABORATORIAIS.....	33
3.2.1 Solos selecionados para análise	33
3.2.2 Ensaios de Caracterização	33
3.2.3 Ensaios de compactação e CBR.....	35
3.2.4 Ensaios utilizando o DCP em laboratório	36
3.3 AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO.....	37
3.4 ENSAIO DCP EM CAMPO	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1 ENSAIOS LABORATORIAIS.....	40
4.1.1 Ensaios de Caracterização	40
4.1.2 Ensaios de compactação e CBR.....	42
4.1.3 Ensaio de DCP em laboratório	45
4.2 AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO.....	47

4.3 ENSAIOS COM DCP EM CAMPO.....	53
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
6. REFERÊNCIAS	67
ANEXOS	80

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2016), o transporte rodoviário é ainda a principal modalidade de transporte no Brasil, tanto de pessoas como de cargas, sendo responsável pela maior parte do escoamento de cargas do país. Dentro deste cenário encontra-se a região oeste da Bahia, responsável por grande parcela da produção de grãos do país, essa região não dispõe de meios alternativos para o transporte dessas cargas, sendo assim, a condução precisa ser feita unicamente pelas rodovias federais e estaduais, no entanto, boa parte dessas rodovias apresentam condições de tráfego comprometidas pelas más condições do pavimento, que além de não proporcionar conforto e segurança aos usuários, acarreta em maiores custos de operação nos serviços de transporte com manutenção de veículos, aumento no consumo de combustível, desgaste de pneus, maior tempo de viagem, entre outros.

A cidade de Barreiras, considerada a capital do oeste baiano, é cortada pela BR 242 que atravessa o centro da cidade. Durante anos Barreiras vivenciou a problemática do tráfego lento devido ao alto fluxo de carretas e caminhões carregados que precisavam atravessar a cidade, já que não havia outra rota disponível, até que um projeto antigo saiu do papel e tornou-se realidade. Em 2015 foi entregue a obra do contorno viário, que possibilitou o desvio do tráfego de veículos pesados do centro da cidade, entretanto, pouco tempo após a entrega da obra diversos problemas relacionados à qualidade da estrutura do pavimento começaram a surgir.

Pesquisas realizadas pela CNT no ano de 2016 identificaram que 48,3% das rodovias brasileiras apresentam algum tipo de problema no pavimento, sendo 35,8% classificados como regular, 9,9% como ruim e 2,6% em estado péssimo, comprometendo significativamente o desempenho operacional e a segurança dos usuários. A CNT aponta que no Brasil, um dos problemas encontrados relacionados à estrutura dos pavimentos flexíveis, é o não atendimento às exigências técnicas tanto da capacidade de suporte das camadas do pavimento como da qualidade dos materiais empregados no revestimento.

Os pavimentos são estruturas que apresentam deterioração funcional e estrutural acumulada a partir de sua abertura ao tráfego, e vão se desenvolvendo ao longo do ciclo de utilização da via. A parcela estrutural é associada aos danos ligados à capacidade de carga do pavimento. Falhas construtivas acarretam num processo de deformação mais

acelerado, resultando em maiores custos com a reparação desses pavimentos para atingir condições ideais de tráfego.

Um pavimento pode ser submetido a diversas formas de avaliação estrutural. Para esse fim, atualmente tem sido mais frequente o uso de ensaios pouco invasivos, que não comprometem a estrutura avaliada. Entre os métodos alternativos para esse tipo de avaliação, vem se destacando o uso do Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP), um equipamento de ensaio semidestrutivo, com custo relativamente baixo e de fácil operação. O aparelho DCP é largamente utilizado em diferentes aplicações, no campo da pavimentação pode ser utilizado para obtenção da capacidade resistente do solo e seu perfil estratigráfico, possibilitando identificação das espessuras das camadas da estrutura do pavimento. Com isso, este ensaio se torna uma boa alternativa para simplificar avaliações do estado de compactação de solos.

Tendo isto em vista a praticidade do uso do aparelho DCP, este trabalho tem como objetivo principal a realização da avaliação estrutural do pavimento do contorno viário de Barreiras com o uso do aparelho DCP associado à análise do estado de superfície da via pavimentada através do método de avaliação objetiva preconizado pelo DNIT.

Entre objetivos específicos dessa pesquisa pode-se destacar:

- Realização do levantamento de defeitos existentes na superfície do pavimento através da avaliação objetiva;
- Caracterização do solo empregado na construção do pavimento;
- Realização de ensaios de compactação, CBR e DCP em laboratório para construção de uma equação que correlacione os índices de penetração (obtidos pelo ensaio de DCP) com a capacidade de suporte do solo (CBR);
- Realização de ensaios com DCP em campo para obtenção da capacidade resistente da estrutura bem como seu perfil estratigráfico.

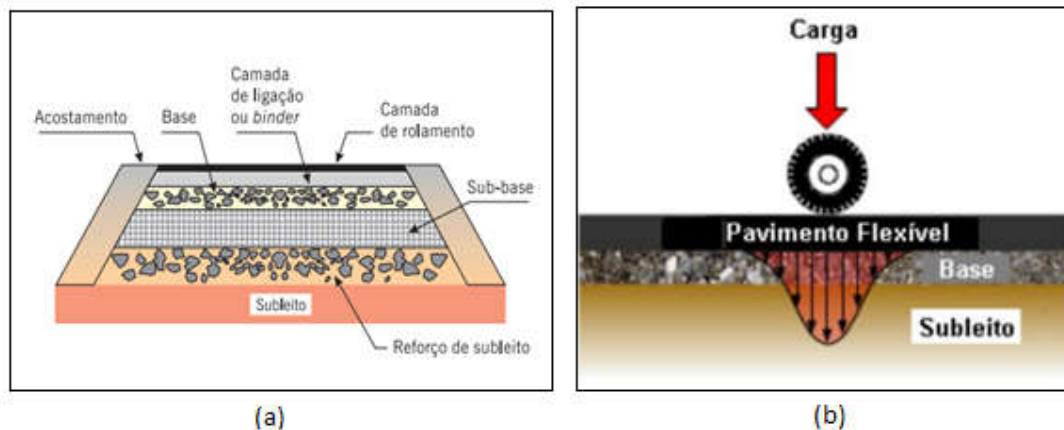
2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Generalidades sobre pavimentos flexíveis

Os pavimentos flexíveis são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. Constituído de diversas camadas, quando solicitado sofre deformação elástica significativa, gerando pequenas áreas de distribuição de carga e grande pressão na fundação do pavimento, conforme afirma Silva Jr. (2005) e ilustrado na Figura 1 (b).

As principais camadas do pavimento flexível são: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito, conforme se pode observar na Figura 1 (a) e são elas que garantem a resistência estrutural do pavimento, bem como os materiais utilizados para a construção das mesmas, no qual a rigidez e resistência são fundamentais.

Figura 1- (a) Corte transversal pavimento asfáltico; (b) Esquema de distribuição de tensões no pavimento flexível.



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2008) e (Moura, 2014).

Reis (2009) caracteriza as camadas do pavimento como:

- Camada de Revestimento: é a camada superior do pavimento onde o tráfego atua diretamente, constituída por uma mistura de agregados e betume, sendo os agregados em maior proporção (85 a 90%), com a função resistir ao desgaste imposto pelas solicitações, suportar e transmitir as cargas provenientes do tráfego para a camada de base. O betume constitui o restante material com cerca de 10 a

15% e tem como função ligar os agregados e impermeabilizar a camada. Por se tratar da camada de rolamento deve apresentar uma superfície lisa, regular, não derrapante e resistente ao desgaste contínuo do tráfego, conferindo as condições de segurança e conforto para os usuários.

- Base: em geral é constituída por material granular compactado e é a camada estrutural mais importante do pavimento flexível. Tem como função receber as cargas transmitidas pela camada de regularização, uniformizar as tensões e posteriormente transmitir para a camada de sub-base.
- Sub-base: esta camada é utilizada para reduzir a espessura da base e tem como funções receber os esforços provenientes da camada de base e redistribuir os esforços para a fundação, drenar as infiltrações que poderão ocorrer nas camadas superiores e impedir a ascensão da água capilar evitando que atinjam as camadas nobres do pavimento.
- Reforço do subleito: camada destinada a reduzir espessuras elevadas da sub-base, quando o subleito possui baixa capacidade de suporte de cargas. É feito com material estabilizado granulometricamente, executado sobre o subleito devidamente regularizado e compactado.

O desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se à capacidade de suporte e 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 (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Todos os veículos que passam por um trecho pavimentado são “registrados” na estrutura uma vez que cada passagem de carga contribui para o desenvolvimento do estado de deterioração do pavimento ao longo de sua vida útil, além de fatores como a natureza do solo de subleito, a frequência e as práticas de manutenção aplicadas ao longo do tempo, as condições de drenagem e aspectos ambientais, conforme afirma Gonçalves (1997). Portanto, a superfície sofre alterações que deterioram seu estado de superfície e causam desconfortos crescentes aos usuários. Com o conforto da via prejudicado, os

veículos sofrem intensamente as consequências desses defeitos, acarretando em maiores custos operacionais relacionados à manutenção dos mesmos, maior consumo de combustível e de pneus, maior tempo de viagem, entre outros. Portanto, atender o conforto ao rolamento também significa economia nos custos de transporte.

Uma avaliação do pavimento permite acompanhar o desempenho dos materiais constituintes e a partir disso, desencadear ou não, ações de restauração do mesmo. Portanto, para corrigir ou minimizar um defeito, deve-se levantar elementos que permitam diagnosticar em detalhes os problemas apresentados pelo pavimento, esclarecendo os mecanismos que levaram à sua deterioração, bem como caracterizar a estrutura existente de forma suficientemente completa para que se possa dimensionar o pavimento restaurado dentro de um nível de confiabilidade aceitável.

Gonçalves (1997), afirma que, deve ser analisada a relação existente entre o desempenho apresentado pelo pavimento até o momento de sua avaliação com parâmetros estruturais (estrutura do pavimento e resposta da estrutura às cargas do tráfego) e o tráfego solicitante, com alguma consideração quanto aos fatores climáticos e de drenagem, quando necessário.

2.2 Métodos de dimensionamento de pavimentos

O projeto de um pavimento consiste inicialmente do dimensionamento, ou seja, determinação da espessura total da estrutura e de cada uma das suas camadas constituintes (revestimento, base, sub-base, reforço do subleito). Para isso, são levados em conta fatores como, cargas dos veículos e sua frequência de ocorrência prevista ao longo da vida de projeto (para tanto deve ser realizado um estudo do tráfego na via que será projetada), as características geotécnicas do subleito, materiais disponíveis como fonte de matéria prima para construção das diversas camadas, condições ambientais ou regionais. Além disso, é de suma importância prever os elementos de drenagem, tanto subterrânea quanto superficial, de acordo com as condições geotécnicas, hidrológicas e de estrutura do pavimento para que se possa garantir a vida útil do mesmo.

O manual de pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes (DNIT, 2006) aponta as faixas granulométricas adequadas para os materiais granulares usados nos pavimentos, conforme mostra a Tabela 1. Além disso, traz

especificações para os materiais que devem ser empregados na construção da estrutura dos pavimentos.

- a) Materiais para reforço do subleito, os que apresentam CBR (California Bearing Ratio) maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$;
- b) Materiais para sub-base, os que apresentam CBR $\geq 20\%$, índice de grupo (IG) igual a zero e expansão $\leq 1\%$;
- c) Materiais para base, os que apresentam CBR $\geq 80\%$, expansão $\leq 0,5\%$, limite de liquidez $\leq 25\%$ e índice de plasticidade $\leq 6\%$.

Tabela 1- Faixa de especificações de granulometria dos materiais para pavimentação.

Tipos de Peneiras	I				II	
	A	B	C	D	E	F
	% em peso passando					
2"	100	100	-	-	-	-
1"		75-90	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-
Nº4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
Nº10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
Nº40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
Nº200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25

Fonte: DNIT, 2006.

Os métodos de dimensionamento de pavimentos podem ser classificados segundo Silveira Neto (2004) genericamente em:

- **Métodos Empíricos:** São os que se utilizam de correlações entre um parâmetro mensurável, como por exemplo, a deflexão ou a capacidade de suporte do subleito, e a espessura, de modo a permitir que o desempenho do pavimento tenha sucesso ao suportar o volume de tráfego previsto;
- **Métodos Teóricos – Mecanísticos:** Correlacionam valores teóricos calculados de tensões e de deformações em alguns pontos da estrutura, com a vida útil prevista ou com o número de repetições do eixo padrão (N) até o final da vida útil do pavimento;
- **Métodos Mecanísticos – Empíricos:** São baseados em modelos de previsão de desempenho do tipo mecanístico-empírico, através de observação de trechos experimentais concebidos.

No Brasil, o método usual de dimensionamento é o método empírico, tendo como principal parâmetro de caracterização mecânica o Índice de Suporte Califórnia (ISC), mais

conhecido como “CBR”, devido à nomenclatura americana *California Bearing Ratio*, usado no dimensionamento convencional do DNIT. O método do CBR relaciona a capacidade de suporte do subleito e a intensidade do tráfego com a espessura mínima necessária para o pavimento. Este método é baseado no trabalho do Corpo do Exército Americano (U.S.A.C.E) e em conclusões obtidas na pista experimental da Associação Norte-Americana de especialistas rodoviários e de transporte (AASHTO).

Baseados nos resultados experimentais feitos pela AASHTO, para cada tipo de material empregado na estrutura do pavimento adota-se um fator de equivalência estrutural (K), conforme mostrado na Tabela 22.

Tabela 2- Coeficiente estrutural para diferentes materiais

COMPONENTES DO PAVIMENTO	COEFICIENTE K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimentos de pré-misturado a quente, grad. densa	1,70
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, grad. densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas Granulares	1,00
Solo-cimento, RC_7 (resistência a compressão em 7 dias) $> 45 \text{ kg/cm}^2$	1,70
Solo-cimento, $28 \text{ kg/cm}^2 < RC_7 < 45 \text{ kg/cm}^2$	1,40
Solo-cimento, $21 \text{ kg/cm}^2 < RC_7 < 28 \text{ kg/cm}^2$	1,20

Fonte: (DNIT, 2006)

A capacidade de suporte do subleito e das camadas subsequentes é obtida pelo CBR, através de ensaios em corpos de prova indeformados ou moldados em laboratório com condições de umidade e massa específica aparente especificada para o serviço (DNIT, 2006). É importante ressaltar que o grau de compactação especificado deve ser controlado rigorosamente.

Conforme especificado no Manual de Pavimentação do DNIT (2006), o pavimento é dimensionado em função de um número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido. Com esse número de solicitações, o CBR das camadas e os valores do coeficiente estrutural, forma-se, mediante análise do ábaco de dimensionamento (Figura 3), um sistema de inequações, conforme descritas adiante, para obtenção das espessuras das camadas, esquematizadas na Figura 2. Para obtenção dessas espessuras das camadas deve ser seguido o roteiro abaixo:

1. Com o valor de suporte do Subleito, com o auxílio do ábaco da figura 3 encontra-se H_m ;
2. Com o valor de suporte do Reforço de subleito encontra-se H_n ;
3. Com valor de suporte da Sub-base fixo em 20 encontra-se H_{20} ;
4. Com o valor da espessura do Revestimento (R) tirada da Tabela 3, calcula-se a espessura de Base (B) a partir da inequação (1);
5. Com o valor calculado de B, determina-se a espessura da camada de sub-base (h_{20}) pela inequação (2);
6. Com os valores de R, B e h_{20} calcula-se finalmente a espessura da camada de reforço (h_n), inequação (3);

$$K_R \cdot R + K_B \cdot B \geq H_{20} \quad \text{Eq. (1)}$$

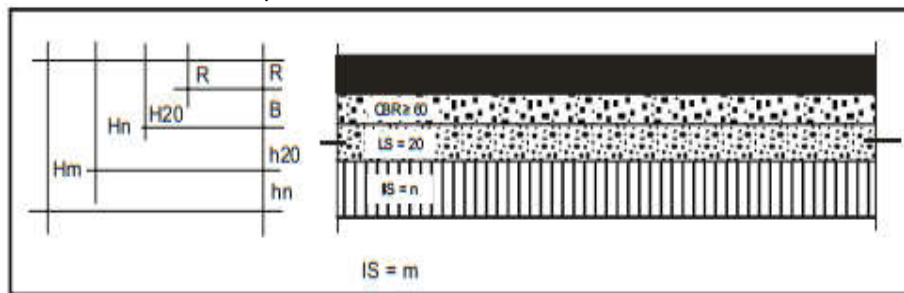
$$K_R \cdot R + K_B \cdot B + K_S \cdot h_{20} \geq H_n \quad \text{Eq. (2)}$$

$$K_R \cdot R + K_B \cdot B + K_S \cdot h_{20} + K_{ref} \cdot h_n \geq H_m \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

- K = Coeficiente estrutural para cada material;
- R = Espessura do revestimento;
- B = Espessura da Base;
- h_{20} = Espessura da sub-base;
- h_n = Espessura do reforço do subleito;

Figura 2- Dimensionamento do pavimento.



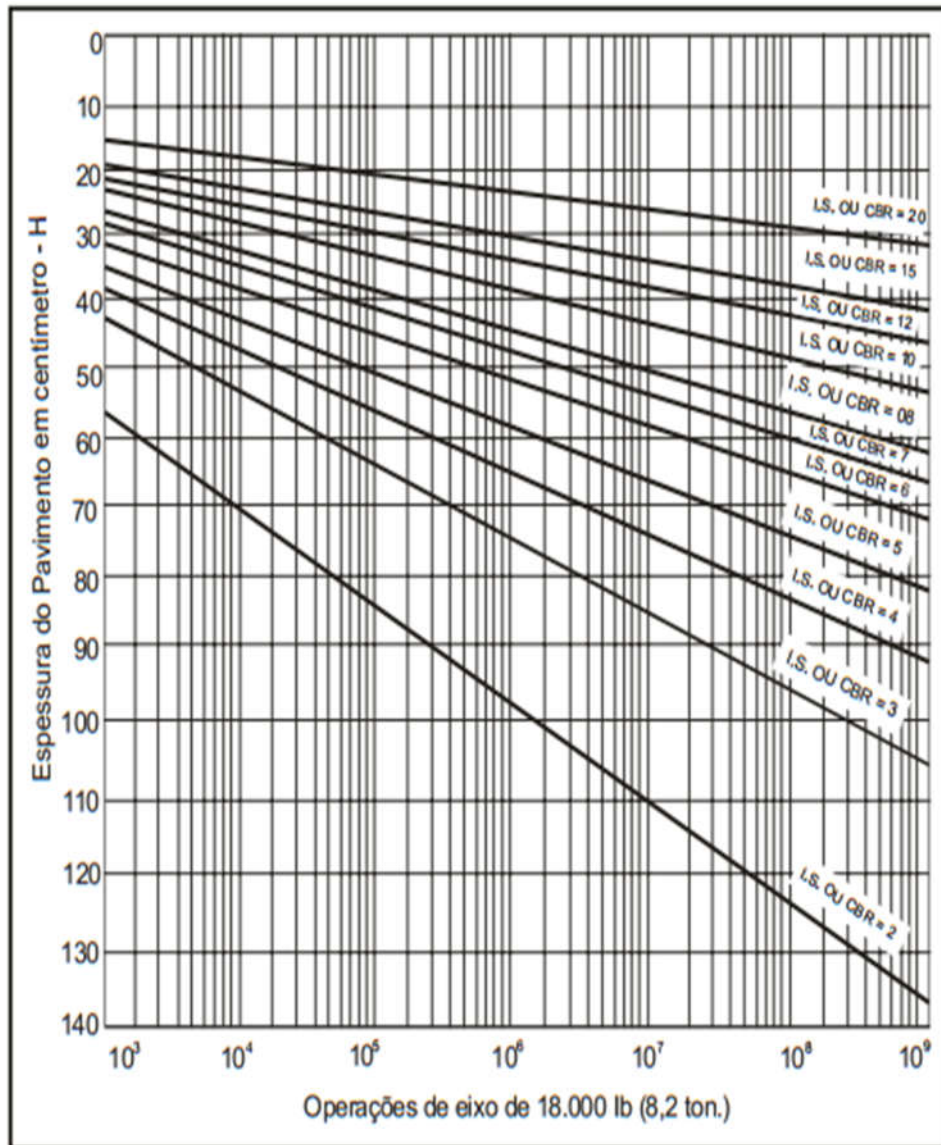
Fonte: DNIT, 2006.

Tabela 3- Espessuras mínimas do revestimento asfáltico.

N	ESPESSURA MÍNIMA DO REVESTIMENTO BETUMINOSO
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 \leq N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT, 2006.

Figura 3- Determinação das Espessuras do Pavimento.



$$H_i = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598}$$

Fonte: DNIT, 2006.

2.3 Defeitos em pavimentos e terminologias

Os defeitos de superfície são os danos ou deteriorações na superfície dos pavimentos asfálticos que podem ser identificados a olho nu. A norma do TER 005 (DNIT, 2003a) define os termos técnicos empregados em defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis e semirrígidos, com isso é possível realizar uma avaliação do estado de conservação do pavimento e fazer o diagnóstico da situação funcional do mesmo e enfim estudar a solução mais adequada para sua restauração.

As patologias em pavimentos flexíveis podem aparecer precocemente devido a erros ou inadequações no projeto, na seleção, dosagem, ou produção dos materiais, erros construtivos e até mesmo conservação e manutenção deficientes. A médio, ou longo prazo, a utilização pelo tráfego e efeitos das intempéries, são os principais responsáveis pelo aparecimento das patologias.

Os tipos de defeitos apontados pela norma brasileira TER 005 (DNIT, 2003a) são: fendas, afundamentos, ondulação ou corrugação, exsudação, desgaste, panela ou buraco e remendos. Estes defeitos são caracterizados pela mesma norma conforme descrição abaixo.

- a) Fenda: qualquer descontinuidade na superfície do pavimento que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas. As fendas são classificadas como:
- Fissura: Fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível à vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m. As fissuras são fendas incipientes que ainda não causam problemas funcionais ao revestimento, não sendo assim consideradas quanto à gravidade nos métodos atuais de avaliação das condições de superfície. Podem ser causa de fissuras: excesso de finos no revestimento, má dosagem do ligante betuminoso; compactação excessiva e/ou com mistura muito quente;
 - Trinca: Fenda existente no revestimento, facilmente visível à vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada;

- Trinca isolada transversal: Trinca isolada que apresenta direção predominantemente ortogonal ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca transversal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca transversal longa;
- Trinca isolada longitudinal: Trinca isolada que apresenta direção predominantemente paralela ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca longitudinal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca longitudinal longa;
- Trinca de retração: Trinca isolada não atribuída aos fenômenos de fadiga e sim aos fenômenos de retração térmica ou do material do revestimento ou do material de base rígida ou semi-rígida subjacentes ao revestimento trincado;
- Trinca interligada do tipo “Couro de Jacaré”: Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas;
- Trinca interligada do tipo “Bloco”: Conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas. Nas trincas em blocos ocorre o endurecimento (envelhecimento) e contração térmica do revestimento asfáltico. São também causadas por contração de base tratadas com cimento ou com utilização de solos tropicais.

b) Afundamento: deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento ou de suas camadas subjacentes, incluindo o subleito, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação, conforme descritos abaixo:

- Afundamento plástico: afundamento causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de sollevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico local; quando a extensão for superior a 6 m e estiver

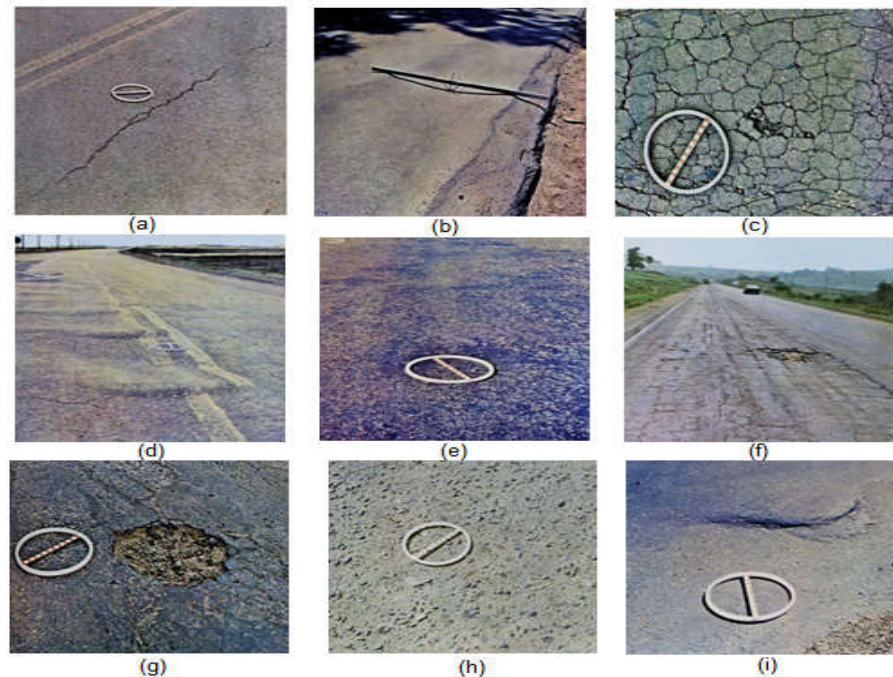
localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda;

- Afundamento de consolidação: afundamento de consolidação é causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de levantamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento de consolidação local; quando a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda.
- c) Corrugação/Ondulação: são ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base.
- d) Exsudação: defeito caracterizado pelo excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento.
- e) Desgaste: efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.
- f) Panela ou buraco: Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.
- g) Remendo: caracteriza-se pelo preenchimento de painelas ou de qualquer outro orifício ou depressão com uma ou mais camadas de pavimento, na operação denominada de “tapa-buraco”. Quando há substituição do revestimento e, eventualmente, de outras camadas é chamado de remendo profundo. Caso seja feita apenas uma correção da superfície com material betuminoso o remendo é denominado superficial.

Machado (2013), em sua dissertação discutiu os defeitos de superfície de pavimentos apontados pelo DNIT comparados a normas francesas e americanas. Em seu trabalho observou que as normas brasileiras apresentam algumas incoerências com relação à definição dos defeitos podendo gerar dúvidas ou dificuldades no momento da avaliação. Um exemplo disso são as trincas, que apesar da importância dada são pouco detalhadas comparadas às normas dos EUA e da França. A norma francesa, conforme cita a autora, diferencia a trinca devido à fadiga das demais, visto que as trincas por fadiga são consideradas um defeito estrutural enquanto as outras são originadas por fatores não estruturais. Com isso seria de grande importância a diferenciação nas normas brasileiras entre os defeitos com origem estruturais e não estruturais, facilitando assim o levantamento das patologias, as tomadas de decisões e evitando avaliações estruturais caras quando seriam desnecessárias.

No Anexo A é apresentado o quadro resumo de defeitos e suas codificações definidos pela norma do DNIT (2003).

Figura 4 - Defeitos em pavimentos. (a) trinca isolada longitudinal; (b) afundamento da trilha de roda; (c) Trincas tipo couro de jacaré; (d) ondulação; (e) exsudação; (f) defeitos diversos; (g) panela; (h) desgaste; (i) escorregamento.



Fonte: DNIT 005/2003 – TER.

2.4 Métodos de avaliação objetiva da superfície de pavimentos

A avaliação de superfície de um pavimento para sua completa caracterização consiste do registro da extensão, frequência e severidade dos defeitos de superfície existentes e serve como etapa preliminar à avaliação estrutural. Existem diferentes metodologias para realização de levantamentos deste tipo na verificação da presença de defeitos, que aparecem na superfície dos pavimentos, entre os quais três métodos normatizados pelo DNIT.

No Brasil, de modo geral, o estado de superfície dos pavimentos flexíveis é avaliado em termos do Índice de Gravidade Global (IGG), procedimento baseado no documento base PRO 006 (DNIT, 2003b). Este procedimento especifica as condições de avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos, mediante determinação de medidas de afundamentos em trilhas de roda e levantamentos visuais da superfície do pavimento, efetuados com o propósito de se identificar e quantificar os defeitos existentes na superfície do pavimento (GONÇALVES, 1997), esse método foi recentemente utilizado por Hómez (2014) em seu trabalho para avaliar rodovias goianas restauradas com a técnica de reciclagem a frio in situ.

A Tabela 4 aponta os tipos de defeitos e suas respectivas. O DNIT (2003b) agrupa os defeitos em oito classes e cada classe corresponde um fator de ponderação, conforme mostra a Tabela 5. Para as medidas das flechas nas trilhas de rodas internas e externa são estabelecidos fatores de ponderação para a média e variância das medidas, que segue os seguintes critérios:

- a) Quando a média aritmética das médias das flechas for igual ou inferior a 30, o fator de ponderação é igual a $4/3$; quando superior a 30, o Índice de Gravidade Individual é igual a 40;
- b) Quando a média das variâncias das flechas for igual ou inferior a 50, o fator de ponderação é igual a 1 (um); quando superior a 50, o Índice de Gravidade Individual é igual a 50.

O levantamento dos defeitos é feito manualmente, por amostragem, através do caminhamento da seção. A medida da deformação permanente é realizada utilizando uma treliça de alumínio. As superfícies de avaliação têm 6 metros de comprimento e devem ser localizados, em rodovias de pista simples, a cada 20 metros alternados em

relação ao eixo da pista (de 40 em 40 metros em cada faixa de tráfego), em rodovias de pista dupla, a cada 20 metros na faixa de tráfego mais solicitada de cada pista. Desta forma, a amostragem atinge 15% da área total da rede viária em estudo (DANIELESKI, 2004).

Tabela 4- Tipos de defeitos e notações adotadas pelo DNIT (2003b).

DEFEITOS	NOTAÇÃO
Fissuras	FI
Trincas isoladas transversais curtas	TTC
Trincas isoladas transversais longas	TTL
Trincas isoladas longitudinais curtas	TLC
Trincas isoladas longitudinais longas	TLL
Trincas interligadas tipo couro de jacaré sem erosão acentuada nos bordos	J
Trincas interligadas tipo couro de jacaré com erosão acentuada nos bordos	JE
Trincas isoladas devido à retração térmica	TRR
Trincas em bloco sem erosão acentuada nos bordos	TB
Trincas em bloco com erosão acentuada nos bordos	TBE
Afundamentos plásticos locais	ALP
Afundamentos plásticos nas trilhas de rodas	ATP
Afundamento de consolidação local	ALC
Afundamento de consolidação nas trilhas de roda	ATC
Corrugação – ondulações transversais	O
Escorregamento do revestimento betuminoso	E
Exsudação	EX
Desgaste Acentuado	D
Panelas	P
Remendos existentes – (superfície e/ou profundos)	R

Fonte: DNIT 006/2003 – PRO.

Tabela 5 - Classificação dos defeitos e fatores de ponderação

CLASSE	CODIFICAÇÃO DOS DEFEITOS	FATOR DE PONDERAÇÃO
1	FC-1 (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	0,2
2	FC-2 (JE, TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE)	0,8
4	ALP e ATP	0,9
5	O e P	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Fonte: DNIT 006/2003 – PRO.

Para obtenção do IGG, inicialmente calcula-se o IGI (Índice de Gravidade Individual), dado pela equação (4), multiplicando-se a frequência relativa, calculada pela equação (5), pelo fator de ponderação respectivo. Então, através do somatório dos IGI, equação (6), pode-se obter o IGG.

$$IGI = f_r \cdot f_p \quad \text{Eq. (4)}$$

$$f_r = \frac{f_a \cdot 100}{n} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$IGG = \sum^n IGI \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

- f_r = frequência relativa;
- f_p = fator de ponderação;
- f_a = frequência absoluta;
- n = número de estações inventariadas;

O método classifica a condição do pavimento em função do Índice de Gravidade Global, conforme é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6- Conceito de degradação do pavimento DNIT 006/2003 – PRO

CONCEITOS	LIMITES
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: DNIT 006/2003 – PRO.

A norma do PRO 007 (DNIT, 2003c) adota o procedimento de levantamento das patologias detalhadamente com registros dos tipos, severidades e extensões dos defeitos. Uma ficha é preenchida com dados de uma tabela, onde devem ser registrados dados numéricos correspondentes às áreas levantadas dentro de cada superfície de avaliação. No campo destinado à indicação dos defeitos devem ser locadas e enumeradas as áreas levantadas.

A Norma PRO 008 (DNIT, 2003d) fixa os procedimentos exigíveis na avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos pelo processo de Levantamento Visual Contínuo (LVC), processo baseado na determinação do valor do Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos (ICPF), ao mesmo tempo em que proporciona também os elementos necessários para o cálculo do Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE) e do Índice do Estado de Superfície (IES). No levantamento visual contínuo deve ser usado um veículo equipado com velocímetro/odômetro calibrado para aferição da velocidade de operação e das distâncias percorridas (HÓMEZ, 2014).

2.5 Métodos para avaliação estrutural de Pavimentos

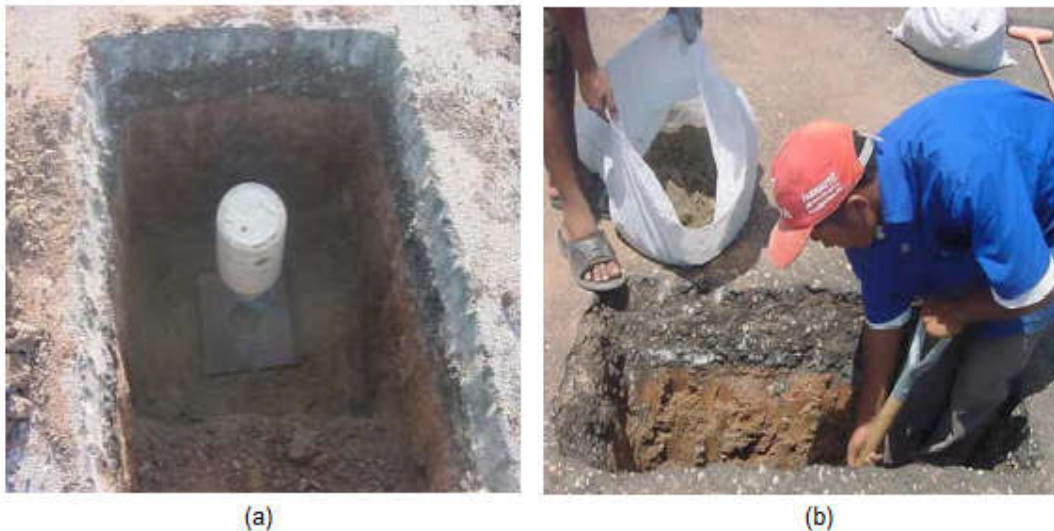
Na avaliação estrutural de um pavimento são empregados métodos que possibilitam a análise do comportamento mecânico do mesmo, o desempenho dos materiais constituintes, entre outros, possibilitando assim o estudo da necessidade de intervenções corretivas ou preventivas na estrutura. Essa avaliação pode ser feita por métodos destrutivos, semidestrutivos ou não destrutivos.

2.5.1 Métodos Destrutivos

Um método destrutivo é aquele que investiga a condição estrutural, características físicas e mecânicas dos materiais, de cada camada que compõe o pavimento, através da abertura de trincheiras ou poços de sondagem, permitindo recolher amostras indeformadas e deformadas de materiais, que são levados para realização de ensaios em laboratório. Alguns ensaios também podem ser realizados *in situ*, como a análise da capacidade de carga e massa específica aparente.

Esses métodos têm como principal vantagem retratar melhor em laboratório as condições dos materiais em campo, no entanto, devido à natureza destrutiva só pode ser empregado em alguns poucos pontos selecionados como representativos de cada segmento a ser avaliado, além disso, há uma preocupação com relação à interferência no trânsito, o que acarreta muito desconforto aos usuários, também o fato desses ensaios interferirem na própria estrutura do pavimento, podendo assim ser responsáveis por danos adicionais, o custo elevado das operações de extração das amostras, a demora dos ensaios. Com isso, tem-se aumentado a preferência pelos métodos semidestrutivos e não destrutivos.

Figura 5 - (a) Poços de Inspeção - ensaio *in situ*; (b) Poço de Inspeção - coleta das amostras.



Fonte: GUEDES, 2008.

2.5.2 Métodos Semidestrutivos

Os métodos semidestrutivos são aqueles que procuram caracterizar tanto a estrutura como os materiais do pavimento pela realização de furos de menor abertura na estrutura do pavimento com uso de equipamentos de pequeno porte e portáteis. A partir desses ensaios, é possível obter algumas correlações com parâmetros tradicionais como o CBR (METOGO, 2015).

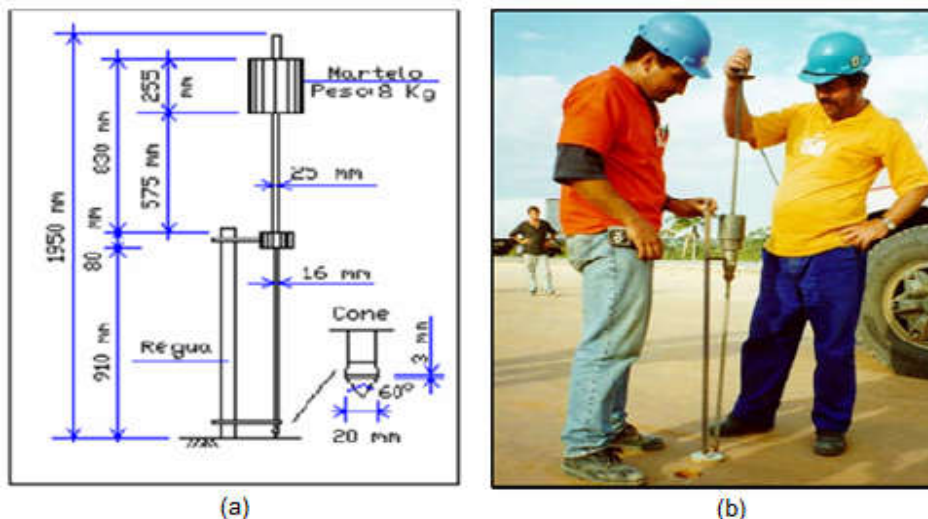
Entre os ensaios mais conhecidos nesta categoria destacam-se o Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) e o Panda, um penetrômetro dinâmico ultraleve desenvolvido

pelo *Centre Universitaire des Sciences de Techniques* de Clermont-Ferrant na França no início da década de noventa.

2.5.2.1 Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP)

O equipamento DCP consiste em uma barra de aço de 16 mm de diâmetro, a qual possui fixada na ponta um cone de aço com 20 mm de diâmetro de base e ângulo de 60°. O cone e a barra são introduzidos no solo pelo impacto de um martelo de aço, com peso de 8 Kg, que desliza por uma barra de aço de 25 mm de diâmetro, com uma altura de queda de 575 mm. A Figura 6 mostra o equipamento descrito. Na lateral da barra de 16 mm, é ajustada uma régua de aço graduada na qual são realizadas as leituras da profundidade de penetração do cone para cada série aplicada de golpes. São necessários apenas dois operadores para a realização do ensaio, além disso, o DCP tem a vantagem de o equipamento ter custo acessível e ser de fácil utilização. Os resultados obtidos no ensaio são anotados em planilha onde é indicada para cada série de golpes, a penetração do cone.

Figura 6- (a) Equipamento DCP; (b) Ensaio DCP em campo.



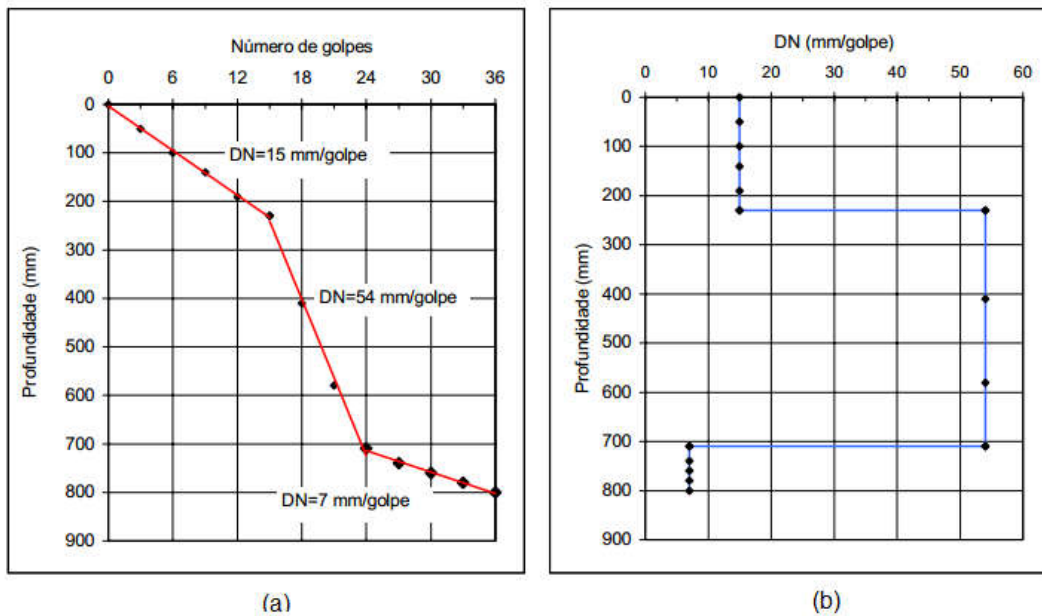
Fonte: ALVES, 2002.

A partir dos resultados levantados obtém-se a Curva DCP que consiste em uma representação do número de golpes acumulado para a penetração do equipamento com a profundidade. A Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.**7 (a) mostra um

exemplo desta curva DCP, onde são indicadas as profundidades e o número acumulado de golpes para alcançar estas profundidades (ordenada e abscissa, respectivamente) (ALVES, 2002). A inclinação das retas representa o DN, Índice de penetração (mm/golpe), a mudança de inclinação mostra a diferença de resistência no perfil, seja, pela variação de umidade, condições de compactação ou tipo de material. Tendo identificado a variação de resistência no perfil do solo, é possível elaborar o diagrama estrutural representando nas abscissas o índice de penetração DN e nas ordenadas, a profundidade de penetração do cone (METOGO, 2015), conforme ilustrado na Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.7 (b)**.

Há na literatura estudos de correlações entre o CBR e o do DCP, baseando-se na relação entre a resistência e a profundidade de penetração, isso permite, dentre outros aspectos, efetuar-se uma melhor interpretação da distribuição de resistência na estrutura do pavimento. Na Tabela 7 podem-se verificar algumas destas correlações encontradas em diversas referências bibliográficas.

Figura 7- (a) Curva DCP; (b) Diagrama estrutural.



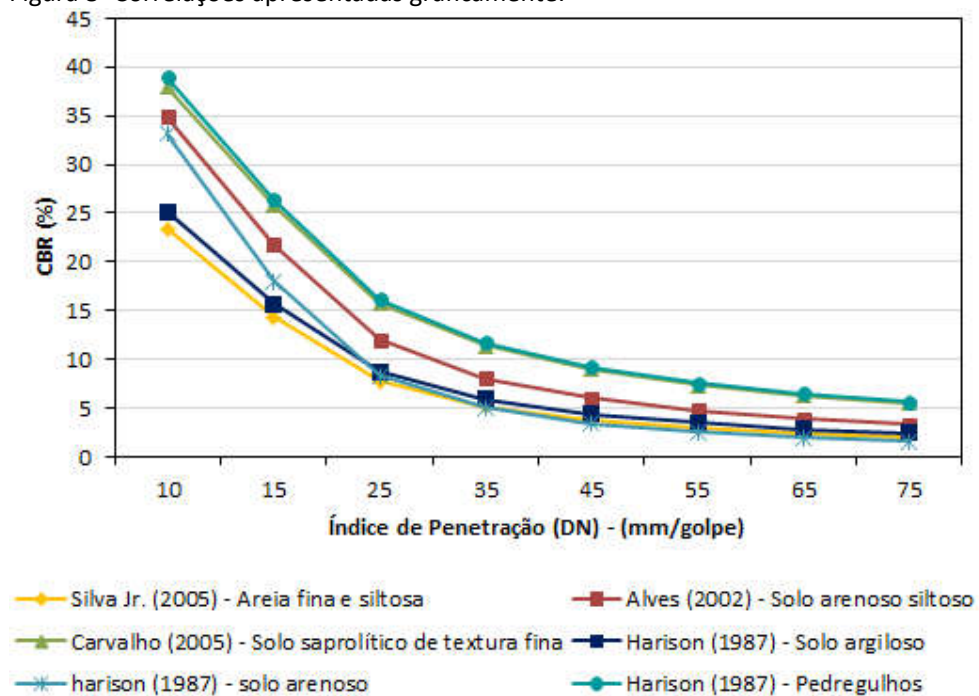
Fonte: ALVES, 2002.

Tabela 7 - Autores e correlações entre CBR e DCP.

Tipo de Solo	Correlação	R ²	Fonte
Areia fina e Siltosa	$\log(\text{CBR}) = 2,5743 - 1,206\log(\text{DN})$	0,7187	SILVA JR. (2005)
Solo arenoso siltoso	$\text{CBR} = 516,49 \times \text{DN}^{-1,17}$	0,94	ALVES (2002)
Cascalho Laterítico com incorporação de brita	$\text{CBR} = 1,05 \text{DN}^2 - 23,34\text{DN} + 187,71$	0,9183	HOMEZ (2014)
Solos saprolíticos de textura fina	$\log(\text{CBR}) = 2,54 - 0,96\log(\text{DN})$	0,90	CARVALHO (2005)
Argilosos	$\log(\text{CBR}) = 2,560 - 1,16\log(\text{DN})$	0,97	Harison (a987)
Arenosos	$\log(\text{CBR}) = 3,03 - 1,51\log(\text{DN})$	0,92	apud Alves (2002)
Pedregulhos	$\log(\text{CBR}) = 2,55 - 0,96\log(\text{DN})$	0,96	

Homez (2014), em sua avaliação de rodovias goianas recicladas com a técnica de reciclagem a frio utilizou o DCP para obtenção do DN das bases e assim pôde estimar o valor do CBR de campo utilizando a equação resultante do estudo realizado em laboratório com as amostras coletadas e assim correlacionou os dois parâmetros. O autor conclui que embora o parâmetro obtido não seja suficiente para uma avaliação estrutural conclusiva, pode ser uma importante ferramenta nessa análise mostrando alguns sinais de alerta para as rodovias estudadas.

Figura 8- Correlações apresentadas graficamente.



2.5.2.2 Panda

Guedes (2008) descreve o penetrômetro Panda como um dos equipamentos mais modernos, de uso rápido, barato e que apresenta todo um potencial de penetração suficiente para realização do ensaio desejado atualmente. Em sua pesquisa o autor estudou a viabilidade de utilização do DCP, Panda e o Cone de Penetração Estática (CPE) para dimensionamento de pavimentos urbanos e nos resultados obtidos o penetrômetro Panda foi o que apresentou resultados de resistência à penetração mais precisa por ser um equipamento moderno e eletrônico e, também, por apresentar uma capacidade de penetração (até 6 m) maior do que a do DCP e do CPE, obtendo dessa maneira maiores informações de resistência dos materiais constituintes do subleito em sua profundidade.

O aparelhamento é composto por um martelo que serve para aplicar golpes sucessivos sobre um cabeçote acoplado a um trilho de hastes de 50 ou 100 cm de comprimento, munido na sua extremidade penetrante por uma ponteira cônica de 2, 4 ou 10 cm² de área. O procedimento de ensaio é descrito por Guedes (2008), que relata que, a ideia principal do ensaio é a inserção das hastes de aço no solo por meio manual, com ajuda de um martelo padrão. Para cada golpe dado, existe um sensor que mede a velocidade do martelo no momento do impacto, o qual permite determinar a energia proporcionada ao resto do dispositivo. Um sensor mede o valor da penetração da ponta (medida através de uma correia que possui uma extremidade fixada no sensor de velocidade de impacto, e a outra extremidade conectada a uma caixa enroladora) e outro registra as informações e calcula instantaneamente a resistência de ponta, armazenando para cada golpe do martelo o par, penetração *versus* resistência correspondente. Esses dados são transmitidos a um microcomputador (uma espécie de central de aquisição ou armazenamento dos dados) e, posteriormente, são processados com ajuda do software PANDAWin. Os dados de resistência do solo podem ser obtidos pela fórmula holandesa descrita na equação

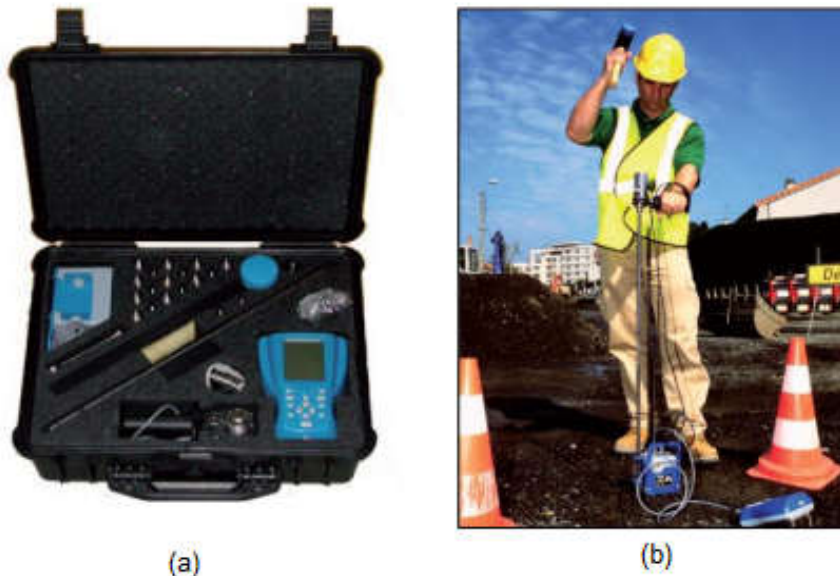
$$q_d = \frac{MV^2}{2Ae(1 + \frac{P}{M})} \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde:

e = penetração provocada pelo golpe;

- A = Área da ponteira;
- M = massa do martelo;
- P = Massa do conjunto do equipamento;
- V = Velocidade de impacto;

Figura 9- (a) equipamento Panda desmontado; (b) Utilização do Panda em campo.



Fonte: AFNOR, 2000 apud METOGO, 2008.

2.5.3 Métodos não destrutivos

Os equipamentos utilizados em avaliações não destrutivas (NDT – nondestructive deflection testing) estudam as propriedades dos pavimentos sem agredir sua estrutura, para que isso seja possível, são realizadas medições e análises das deflexões elásticas da superfície dos pavimentos. Além de não danificar a estrutura, segundo Metogo (2015), esses métodos costumam ser relativamente baratos e de rápida execução.

Os equipamentos para a medição dos deslocamentos usados pelo NDT podem ser classificados em função do tipo de carregamento aplicado, que nesse caso pode ser: quase estático, por impacto ou vibratório.

Bernucci *et al* (2008) afirma que os equipamentos de medição de deflexão do pavimento – defletômetros – mais utilizados no Brasil são a viga Benkelman e os equipamentos de peso batente (*falling weight deflectometer*) – FWD.

2.5.3.1 Viga Benkelman

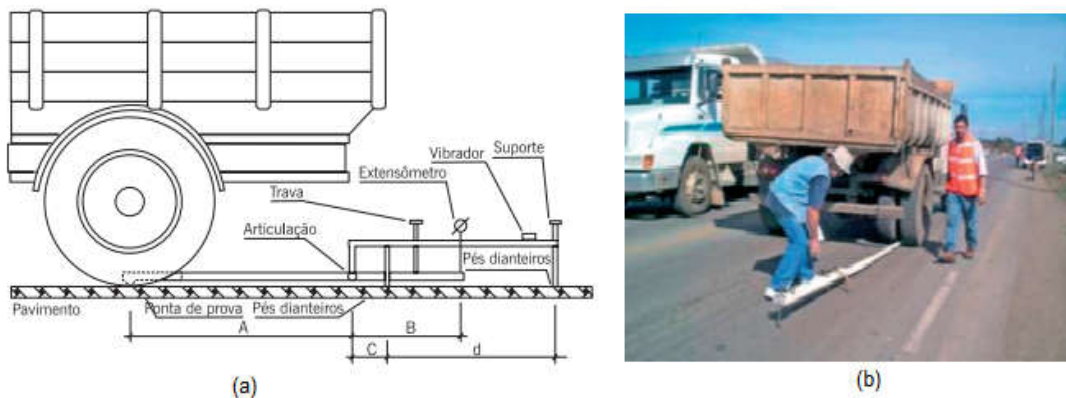
A viga Benkelman consiste de um equipamento simples que necessita de um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla carregado com 8,2t, para aplicar a carga sob a qual será medida a deformação elástica (BERNUCCI, et al., 2018). A ponta de prova da viga é inserida a meia distância das rodas de uma das trilhas, geralmente a externa, então nesse momento, é feita uma primeira leitura, a leitura inicial L_0 . Em seguida, o caminhão é afastado e posicionado a uma distância escolhida de forma que não se verifique mais a sua influência na deflexão do ponto de prova, geralmente 10 metros. Assim posicionado, é feita a leitura final L_f (METOGO, 2015). A partir desses dados, determina-se a deflexão máxima do pavimento no ponto de prova D_0 a partir da Equação 8.

$$D_0 = (L_0 - L_f) \times \frac{a}{b} \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde:

- D_0 = Deflexão máxima em 0,01 mm;
- L_0 = Leitura inicial, em 0,01 mm;
- L_f = Leitura final, em 0,01 mm;
- a/b = Relação entre os braços maior e menor da viga;

Figura 10- (a) Esquema viga Benkelman pelo DNER – ME 24/94; (b) Viga Benkelman em campo.



Fonte: BERNUCCI, et al, 2010.

Durante a realização do ensaio, também podem ser feitas leituras intermediárias entre a inicial e a final. Com essas medidas materializa-se a linha elástica de deflexão ou

bacia deflectométrica do pavimento, importante para a realização da retro análise dos pavimentos. No entanto, Bernucci, *et al* (2008) afirma que na maioria das vezes medem-se somente a deflexão máxima e mais um ponto, em geral a 25 cm do inicial (D_{25}), para cálculo do chamado raio de curvatura, que representa um arco de parábola que passa pelos dois pontos. A partir da expressão (9), indicada para cálculo do raio de curvatura R com as deflexões em centésimos de milímetro, obtém-se o raio em metros:

$$R = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})} \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde:

- R = Raio de curvatura, em m;
- D_0 = Deflexão máxima, em 0,01mm;
- D_{25} = Deflexão medida a 25 cm do ponto de carga, em 0,01mm;

Para que não surjam trincas no revestimento do pavimento o manual de conservação rodoviária do DNIT (2005), preconiza que a deflexão máxima do pavimento D_0 não supere a deflexão admissível determinada pela Equação 10.

$$D_{adm} = 10^{(3,01 - 0,176 \log N)} \quad \text{Eq.(10)}$$

Onde:

- D_{adm} = Deflexão admissível, em 0,01 mm;
- N = Número de solicitações do eixo padrão esperado;

Homez (2014) afirma que a desvantagem deste aparelho é a lentidão na execução no ensaio, a maior acurácia do método depende da experiência e habilidade da equipe na sincronização dos movimentos e leitura do extensômetro.

2.5.3.2 “Falling Weight Deflectometer” - FWD

As normas DNER-PRO 273 e ASTM D 4695 descrevem o uso desse tipo de equipamento, que é totalmente automatizado, sendo rebocado por um veículo utilitário leve que carrega parte do sistema de aquisição de dados feito por computador,

conectado aos sensores instalados na parte rebocada, que é o defletômetro propriamente dito (BERNUCCI, *et al*, 2008).

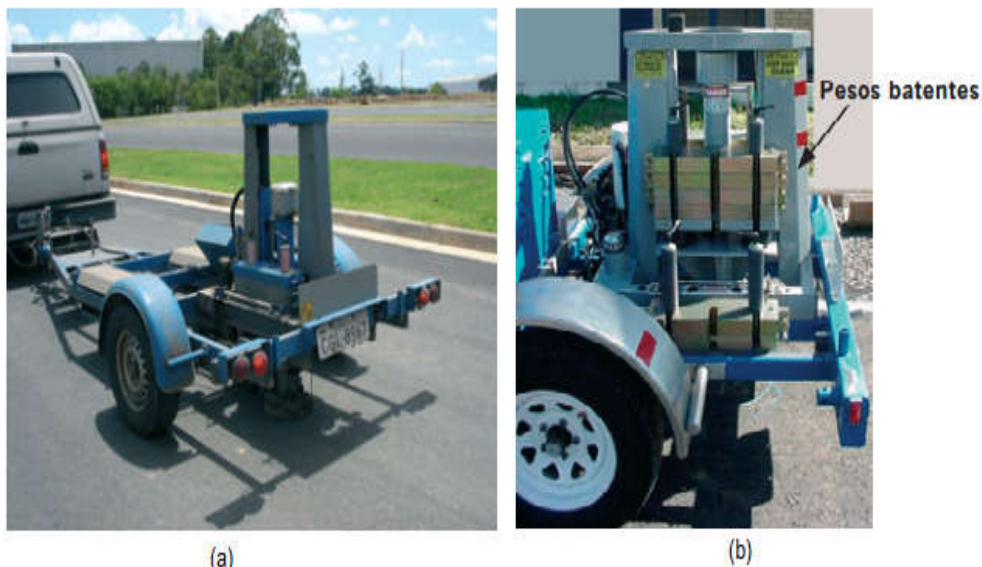
O equipamento FWD utiliza um impulso a modo de carregamento à superfície do pavimento simulando as cargas produzidas pela rodagem dos veículos. Seu funcionamento é dado pela queda livre de um conjunto de pesos de uma altura especificada sobre um sistema de amortecimento o qual transfere a carga do impacto a uma placa circular que se encontra apoiada no pavimento, os impactos causam deflexões que são automaticamente registradas pelos sensores posicionados radialmente ao redor da placa (HOMEZ, 2014).

Bernucci, *et al* (2008) ainda destaca como principais vantagens do FWD em relação à viga Benkelman os seguintes pontos:

- Acurácia nas medições;
- Possibilidade de aplicação de vários níveis de carga;
- Maior produtividade (mais pontos levantados por dia);
- Ensaio não influenciado pelo operador;
- Registro automático de temperatura e de distâncias dos pontos de ensaio.

Entre as desvantagens o autor cita o custo do equipamento, necessidade de calibrações mais sofisticadas e diferenças de resultados entre marcas.

Figura 11 - (a) Vista geral do FWD; (b) Detalhe do sistema de carregamento;



Fonte: BERNUCCI, *et al*, 2010.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em duas vertentes: uma de campo e outra de laboratorial. A metodologia de campo consiste na avaliação objetiva do pavimento com análise dos defeitos da superfície e execução do ensaio semi-destrutivo para avaliação estrutural através do DCP. A análise laboratorial seguirá com ensaios de caracterização das amostras de solo, compactação, determinação do Índice de Suporte Califórnia (CBR) e DCP em laboratório.

A via selecionada para os estudos foi o trecho do anel viário de Barreiras. Com a finalidade de melhorar a análise dos resultados as avaliações foram divididas em dois trechos. O primeiro trecho é referente ao segmento do anel viário que vai do cruzamento com a BR 135 (saída para Riachão das Neves) até o entroncamento com o acesso à BA 447 (acesso para o município de Angical). O segundo trecho é compreendido pela parte do anel que vai do entroncamento com a BA 447 até o encontro com a BR 242.

Figura 12- Mapa com divisão dos trechos de avaliação.



Fonte: Google maps.

3.1 Levantamento de Informações Pré-existentes

Preliminarmente foi realizado um levantamento de dados referentes ao projeto executivo de engenharia para implantação e pavimentação do contorno viário de Barreiras. O acesso a esses projetos foi cedido pelo 4º Batalhão de Engenharia Civil (BEC). Os projetos são do DNIT e foram realizados por empresa terceirizada. Nas Tabelas 8, 9 e

10 seguem os dados levantados nos projetos referentes às características de materiais, operacionais e técnicas. A classificação dos materiais apresentados em projeto, A-2-4 e A-2-5, são referentes a solos que apresentam bom desempenho para uso em camadas estruturais de pavimentos. As umidades ótimas obtidas foram altas, indicando teor considerável de material fino e os índices de suporte são baixos, com isso, o único material adequado para uso em pavimentação, pelo CBR, conforme descrito no item 2.2, seria o solo da jazida 01, com uso indicado apenas para uso em subleito. Os materiais de modo geral são pouco plásticos e apenas o material de empréstimo da jazida 06 obteve um índice de grupo diferente de zero.

Na Figura 13 são apresentadas as curvas de distribuição granulométrica dos materiais descritos em projeto. As curvas, na maior parte dos casos são descontínuas, com exceção do material da jazida 01 que apresenta granulometria mais uniforme. Segundo as faixas granulométricas especificadas pelo DNIT (2006), o único material com características para uso em camadas estruturais de pavimento é o da jazida 01.

Com base nas informações podem ser observadas algumas incoerências com relação à classificação dos materiais, por exemplo, os materiais de empréstimo 02 e 04 possuem uma porcentagem passante na peneira nº 200 maior que 40%, por isso não podem ser classificados como material A-2-4, e sim como A-4.

Tabela 8- Características técnicas e operacionais da pista

Características Técnicas e Operacionais	
Largura da pista de rolamento	7,20 m
Largura da Faixa de rolamento	3,60 m
Largura do Acostamento	2,50 m
Extensão (BEC)	3.663,20 m

Fonte: DNIT, 2012.¹

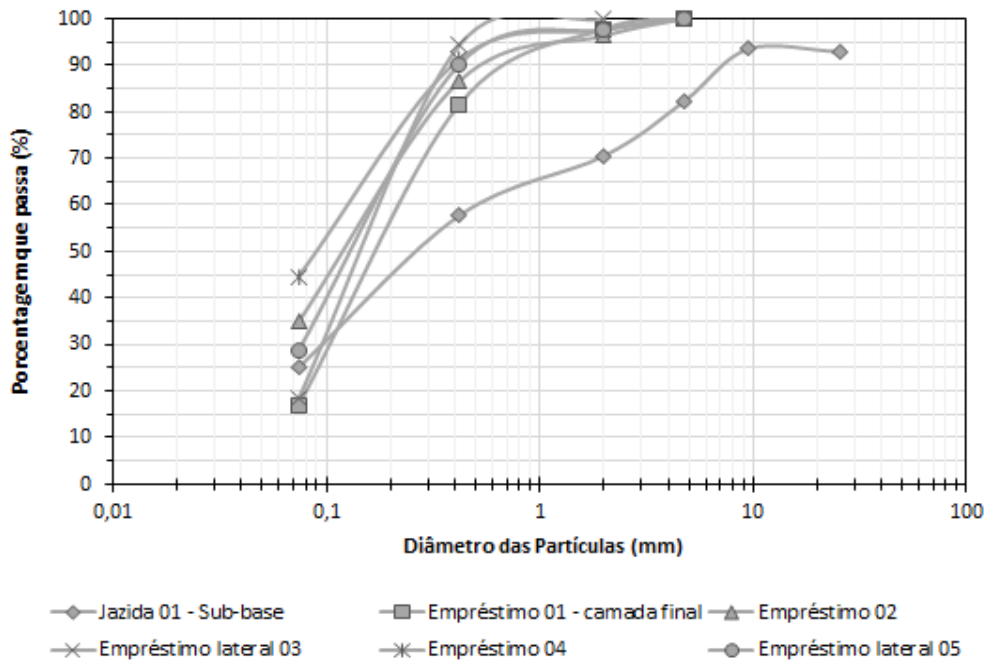
Tabela 9- Espessuras das camadas do pavimento

Camadas do Pavimento	Espessuras
Sub-base	15 cm
Base	15 cm
Revestimento – CBUQ	10 cm
Revestimento acostamento - CBUQ	5 cm

Fonte: DNIT, 2012.

¹ Fonte referente ao acesso visual dos projetos de pavimentação do contorno viário.

Figura 13 - Curvas de distribuição granulométrica dos materiais descritos em projeto.



Fonte: DNIT, 2012.²

² Fonte referente ao acesso visual dos dados de projetos e especificações de materiais para pavimentação do contorno viário.

Tabela 10- Características dos materiais descritos em projeto.

Descrição	Finalidade	Classificação	Densidade Máxima (g/cm ³)	Umidade ótima (%)	ISC (%)	EXP.	LL	IP	IG
JAZIDA 01	SUB-BASE	A-2-4	1,96	11,80	47,10	0,09	-	-	-
EMPRÉSTIMO 01	TERRAPLANAGEM CAMADA FINAL	A-2-4	1,68	10,20	10,00	-	-	-	-
EMPRÉSTIMO 02	TERRAPLANAGEM	A-2-5	1,86	11,60	10,30	0,06	27,00	6,00	-
EMPRÉSTIMO LATERAL 03	TERRAPLANAGEM CAMADAS FINAIS	A-2-4	1,91	17,20	10,40	-	-	-	-
EMPRÉSTIMO 04	TERRAPLANAGEM CAMADA DE ATERRO	A-2-4	1,87	10,80	9,90	-	24,60	5,00	-
EMPRÉSTIMO LATERAL 05	CORPO DE ATERRO CAMADAS FINAIS	A-2-5	1,88	10,40	9,30	0,10	26,60	6,90	-
EMPRÉSTIMO LATERAL 06	TERRAPLANAGEM	A-2-4	1,78	12,90	10,00	0,10	36,60	9,10	2,10

Fonte: DNIT, 2012.

3.2 Ensaios Laboratoriais

3.2.1 Solos selecionados para análise

Para análise laboratorial foram feitas coleta de amostras representativas em três pontos diferentes do acostamento do trecho de estudo, com a finalidade de caracterizar e avaliar as propriedades tecnológicas destes materiais. As amostras coletadas foram previamente secas até a umidade higroscópica, de 2,25% em média, e posteriormente preparadas conforme descrito na NBR 6457 (ABNT, 1986).

Figura 14 - Localização dos pontos de coleta das amostras.



3.2.2 Ensaios de Caracterização

Os procedimentos para caracterização das amostras de solo foram executados conforme as normas preconizadas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Os ensaios realizados foram:

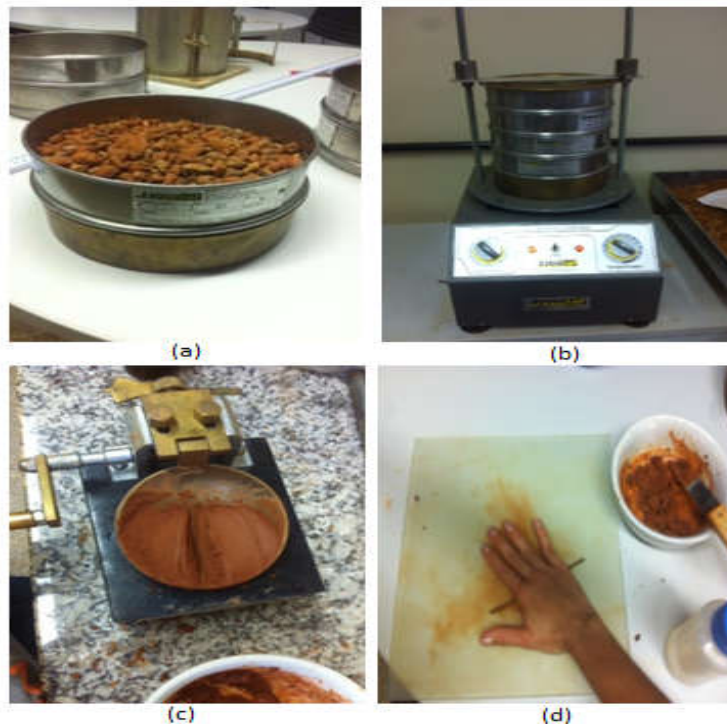
- Granulometria: tem por objetivo a obtenção da curva granulométrica do solo, onde podem ser estimadas as percentagens correspondentes a cada fração granulométrica do solo, dados de fundamental importância para a caracterização geotécnica do mesmo. Neste caso, as classificações dos solos foram feitas baseadas no sistema unificado e sistema rodoviário de classificação (Anexo B).

Para este estudo, as amostras coletadas foram de solos predominantemente granular, por isso a curva granulométrica foi inteiramente determinada utilizando-se somente peneiramento. O ensaio seguiu todas as instruções da NBR 7181

(ABNT, 1984a). Foram tomados 4kg de solo para a realização do ensaio. O peneiramento grosso foi realizado com a quantidade de solo retido na peneira #10 (2,0 mm). Do solo que passou na #10 (2,00mm) foram retirados 3 amostras de 100g para a determinação da umidade higroscópica e 120g para realização do peneiramento fino. Após separação dessas frações de solo, as amostras foram lavadas, colocadas em estufa por um período de 24 horas, peneiradas com auxílio do agitador de peneiras e então determinadas a massa de solo retida em cada peneira.

- Limites de consistência: visa avaliação das características de plasticidade do solo, limites de plasticidade e de liquidez, determinantes para a correta previsão do comportamento do solo, o qual depende fortemente da presença de água. Foram separados 200 gramas de material (seco ao ar) que passava na peneira #40 (0,42mm) para a realização destes ensaios, sendo que 100g para limite de liquidez e 100g para o ensaio de limite de plasticidade. Os procedimentos de realização dos ensaios seguiram todas as recomendações das normas NBR 6459 (ABNT; 1984b) e NBR 7180 (ABNT, 1984c).

Figura 15- (a) Material peneiramento grosso; (b) Peneiramento; (c) Ensaio Casagrande; (d) Ensaio Limite de Plasticidade.



3.2.3 Ensaios de compactação e CBR

Com o material coletado em campo, foram executados ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e DCP em laboratório visando obter um modelo que relacione o CBR com o índice de penetração a partir de corpos de prova compactados. Para isso, foram executados os ensaios de compactação para obtenção da umidade ótima do material. Todo o procedimento do ensaio foi feito de acordo com estabelecido na norma ME 164 (DNIT, 2013). Os ensaios foram realizados todos com a energia intermediária, 26 golpes por camada, conforme preconiza a norma.

O ensaio de compactação foi importante para o conhecimento da faixa de umidade próxima da umidade ótima, em que se obteriam maiores variações do CBR das amostras, com a finalidade de buscar uma maior abrangência da correlação entre DN e CBR.

Figura 16- Compactação das amostras.



Posteriormente à compactação das amostras foi realizado o ensaio para determinação do Índice de Suporte Califórnia, padronizado pela norma ME 172 (DNIT, 2016). Esse procedimento determina a relação, em porcentagem, entre a pressão necessária a uma determinada penetração de um cilindro padrão no corpo-de-prova compactado com a pressão necessária à mesma penetração numa mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente. Após o ensaio de CBR os mesmos corpos de prova foram submetidos ao ensaio com o DCP.

A norma preconiza que antes dos ensaios de CBR, deve-se realizar o ensaio de expansão com imersão das amostras compactadas em água por 4 dias, medindo-se possíveis variações de altura dos corpos de prova. No caso dessa pesquisa, optou-se por não realizar o ensaio de expansão para que as amostras tenham resultados de ISC mais próximos dos valores de campo e haja uma maior correlação com os ensaios de DCP.

Figura 17- Ensaio CBR.



3.2.4 Ensaio utilizando o DCP em laboratório

A metodologia empregada para realização dos ensaios de DCP em Laboratório é a mesma que utilizada por Homez (2014), bem como Alves (2002) e Silva Jr. (2005).

O ensaio de penetração foi realizado com os mesmos corpos de prova compactados para o ensaio de determinação do índice de Suporte Califórnia, ainda nos cilindros. O aparelho DCP foi colocado no corpo de prova de forma que a ponta de penetração não ficasse localizada na área afetada pelo pistão da prensa.

Os ensaios eram encerrados quando o cone alcançava penetração de 10 cm para evitar que a ponta fosse danificada num possível contato com a parte inferior do cilindro. A cada golpe do martelo do DCP a penetração era anotada em uma planilha auxiliar, assim, o DN (mm/golpe) foi encontrado através da média das penetrações por golpe. A Figura 18 demonstra a execução desses ensaios.

Figura 18- Ensaio DCP no laboratório



3.3 Avaliação objetiva da superfície do pavimento

A avaliação objetiva foi realizada de acordo com as orientações do documento base PRO 006 (DNIT, 2003b).

O trecho do anel viário possui aproximadamente 5,8 km de pista simples, por isso a avaliação foi realizada em subtrechos de 6 m de comprimento localizados a cada 20 metros alternados em relação ao eixo da pista (de 40 em 40 metros em cada faixa de rolamento). Desta forma, atingimos um total de 108 subtrechos em cada faixa, 216 no total. As determinações de medidas de afundamentos em trilhas de roda foram feitas com auxílio de uma treliça metálica com régua acoplada conforme mostrado na Figura 19 e anotados na planilha de campo (Apêndice B e C), bem como os levantamentos visuais da superfície do pavimento. Com estes dados em mãos foram atribuídos valores numéricos que indicam o estado geral do pavimento através do cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG), explicitado no item 2.4.

Figura 19- Treliça para realização das medidas de deflexões das trilhas de roda



3.4 Ensaio DCP em campo

O procedimento para o uso do DCP em campo foi em conformidade com o descrito no item 2.5.2.1. O ensaio foi realizado de 200 m em 200 m de maneira alternada entre o bordo esquerdo e direito da pista. Dessa maneira, foram obtidos 28 ensaios para realização das análises.

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.

Os dados coletados foram anotados em uma planilha auxiliar, onde eram registradas as penetrações, em milímetros, correspondente a cada golpe aplicado. Com isso além do índice de penetração (DN), é possível identificar a estratigrafia do pavimento e estimar o CBR da base, auxiliado dos resultados dos ensaios de laboratório através das correlações obtidas entre os parâmetros CBR e DN.

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) e um pouco de água, compactado em camadas com auxílio de

uma vareta. Na camada superficial foi usada uma argamassa com traço forte e após secagem foi feita a impermeabilização com pintura asfáltica.

Figura 20 – (a) Remoção da camada de pavimento asfáltico; (b) Seção de abertura do pavimento para realização do ensaio com DCP; (c) Realização do ensaio; (d) Furo após realização do ensaio DCP.



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaios Laboratoriais

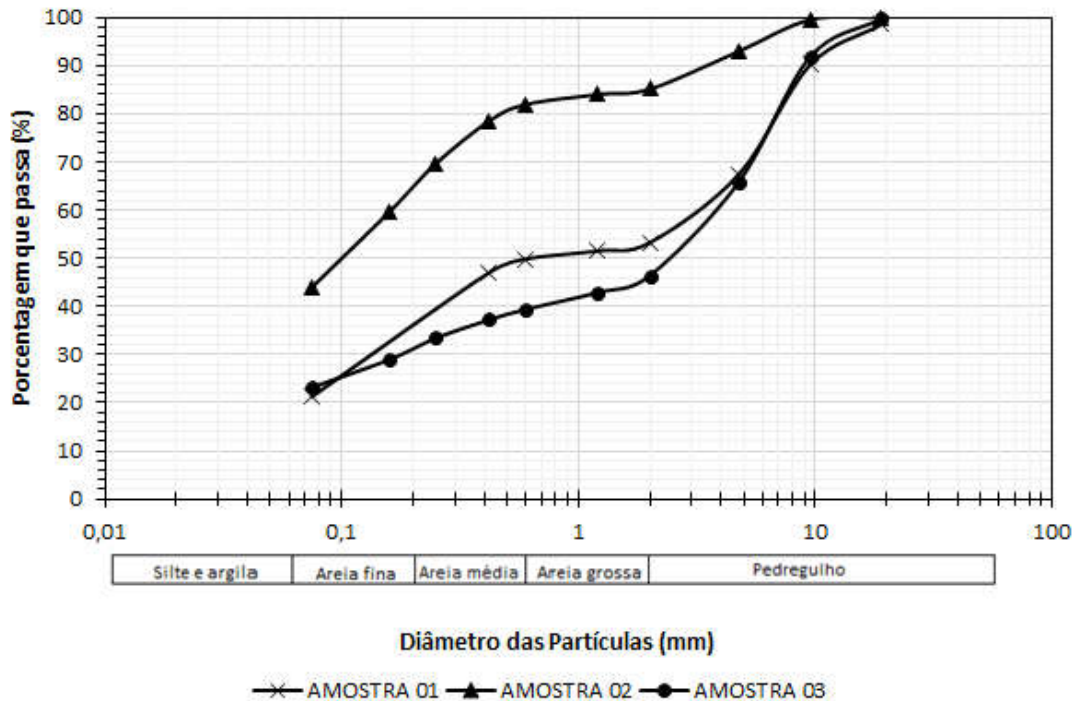
São apresentados nesse item os resultados dos ensaios de caracterização, compactação, ISC e DCP das amostras de solo coletadas, bem como a equação obtida para correlacionar os Índices de Penetração (DN em mm/golpe) com o Índice de Suporte Califórnia.

4.1.1 Ensaios de Caracterização

Através das características geotécnicas dos solos pode-se obter através da literatura correlações entre DCP e CBR, por isso buscou-se obter essas características por meio dos ensaios de granulometria e limites de consistência dos materiais, para que assim fosse possível fazer comparações entre a correlação obtida neste estudo com as correlações existentes para o mesmo tipo de solo.

Após o peneiramento fino e grosso, para cada amostra de solo coletado, foram obtidas as curvas de distribuição granulométrica apresentadas pela Figura 21.

Figura 21- Gráfico de distribuição granulométrica dos materiais.



A Figura 22 contém a representação das curvas das amostras coletadas in loco no mesmo gráfico das curvas obtidas dos dados citados em projeto. Pode-se notar que as amostras 01 e 03 estão mais próximas da curva da Jazida 01, de material usado para sub-base. Já o solo da amostra 02, possui características mais próximas do solo do empréstimo 04, material utilizado nas camadas de aterro, o que se justifica pela localidade da coleta do solo (um talude construído com material de empréstimo).

Figura 22- Representação das curvas granulométricas das amostras coletadas com as curvas traçadas com dados granulométricos de projeto.

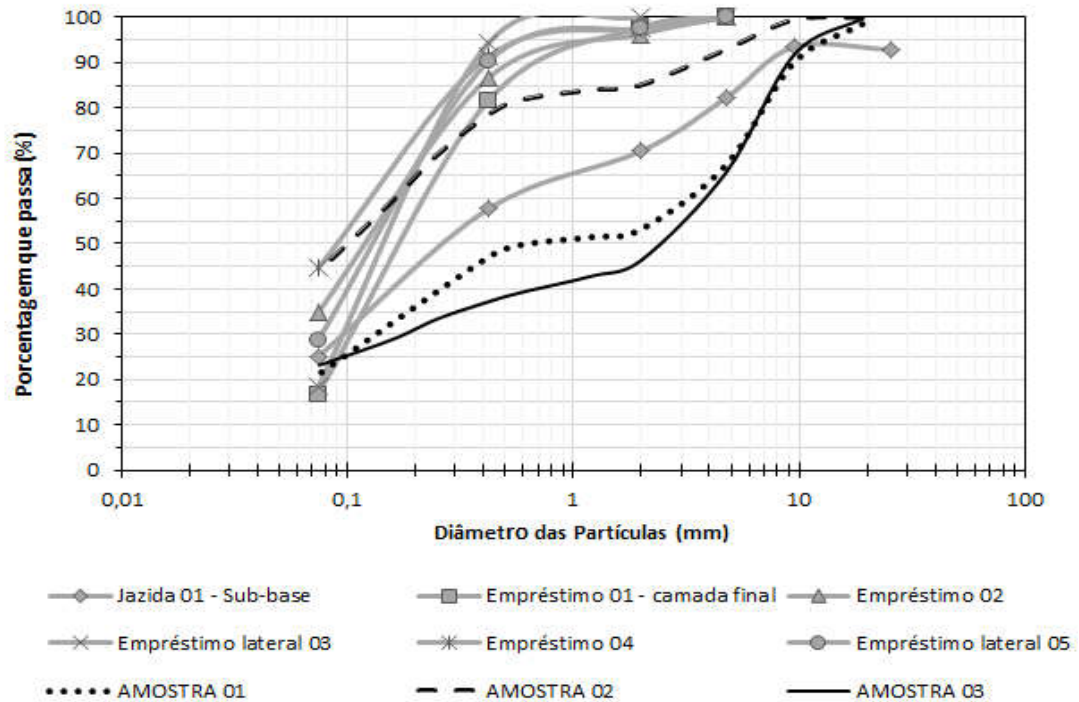


Tabela 11 - Composição granulométrica dos materiais.

Material	Amostras		
	01	02	03
Silte e Argila	21,29%	44,01%	23,19%
Areia fina	14,17%	17,99%	5,06%
Areia média	15,84%	19,9%	11,37%
Areia Grossa	3,39%	3,20%	7,01%
Pedregulho	45,31%	14,90%	53,37%

A Tabela 12 apresenta os resultados dos ensaios de limite de liquidez e plasticidade, bem como o índice de plasticidade relativo a cada material e o resultado dos índices de grupo.

Tabela 12- Limites de consistência dos materiais e Índice de Grupo.

Parâmetros	Amostras		
	01	02	03
Liquidez	20,40%	25,50%	20,60%
Plasticidade	17,54%	16,86%	16,34%
Índice de Plasticidade	2,86%	7,18%	4,26%
Índice de Grupo	0	0	0

A partir dos resultados do índice de plasticidade, as amostras de solo 01 e 03 podem ser classificadas como “solo fracamente plástico” ($1 < IP < 7$) e a amostra 02 como “solo medianamente plástico” ($7 < IP < 15$).

Segundo o manual de pavimentação do DNIT (2006), os limites de liquidez e índices de plasticidade máximos para utilização do material para base e sub-base é 25% e 6% respectivamente. Esse fato reforça a conclusão de que o material da amostra 02 foi utilizado apenas para fins de aterro, já que os dois parâmetros ultrapassam os valores pré-estabelecidos pelo órgão rodoviário.

De acordo com o sistema rodoviário de classificação as amostras 01 e 03 classificam-se como material granular com predominância de pedregulho e areia, compreendido pela faixa de classificação A-1-b, material com desempenho excelente para uso em subleitos. A amostra 02, para o mesmo sistema de classificação enquadrou-se como material A-5, um solo siltoso, com comportamento de regular a mau para uso em subleito.

A faixa de especificação de granulometria do DNIT, mostrado na Tabela 1 do item 2.2, que melhor se enquadra aos materiais coletados usados nas camadas estruturais é a faixa granulométrica “I-D”. O material da amostra 02 não está enquadrado nas faixas sugeridas pelo DNIT.

4.1.2 Ensaios de compactação e CBR

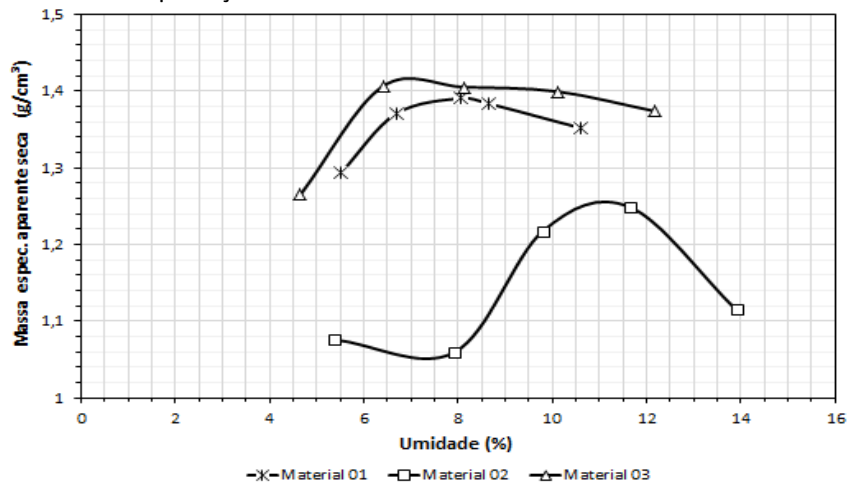
As curvas de compactação obtidas para os três materiais estão apresentadas na Figura 23. Pode-se observar que, os materiais 01 e 03 apresentaram densidade aparente seca significativamente maior que o material 02, isso se justifica pelo tipo de material, visto que materiais granulares, especialmente pedregulhos possuem um desempenho melhor que solos mais finos, como areias. As umidades ótimas e suas respectivas massas

aparentes seca estão exibidas na Tabela 13. Em comparação com a massa específica aparente seca

Tabela 13 - Resultados ensaio de compactação.

Material	Massa Espec. Aparente Seca (g/cm^3)	Umidade ótima (%)
01	1,38	8,00%
02	1,26	11,20%
03	1,42	7,00%

Figura 23 - Curvas de compactação dos materiais.



Para uma análise do comportamento destes solos submetidos a carregamentos, foram realizados os ensaios de Índice de Suporte Califórnia para cada um dos cilindros de cada amostra. Os resultados seguem nas figuras abaixo.

Figura 24 - Curvas ISC da Amostra 01.

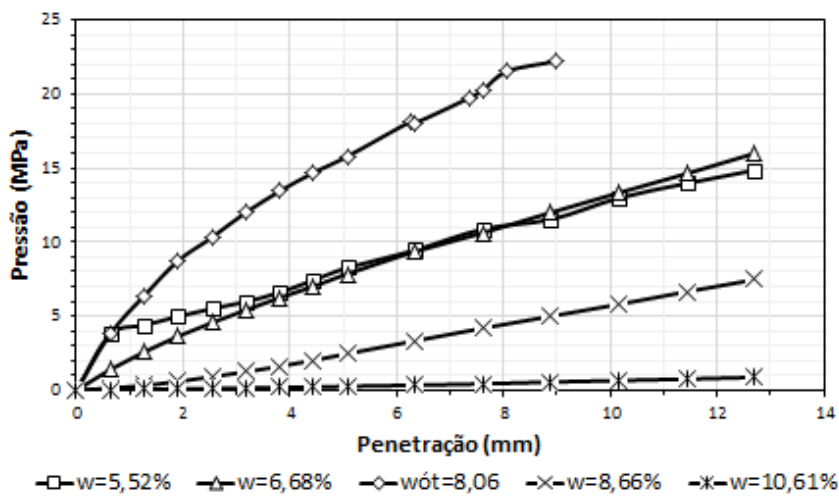


Figura 25 - Curvas de ISC da Amostra 02.

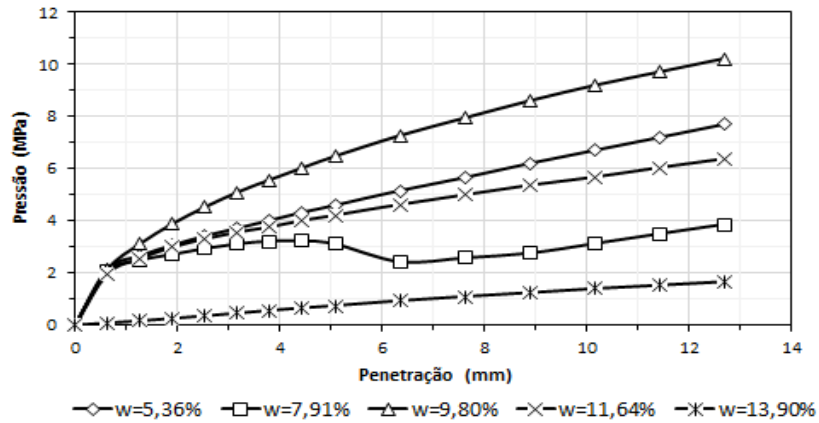


Figura 26 - Curvas de ISC para a Amostra 03.

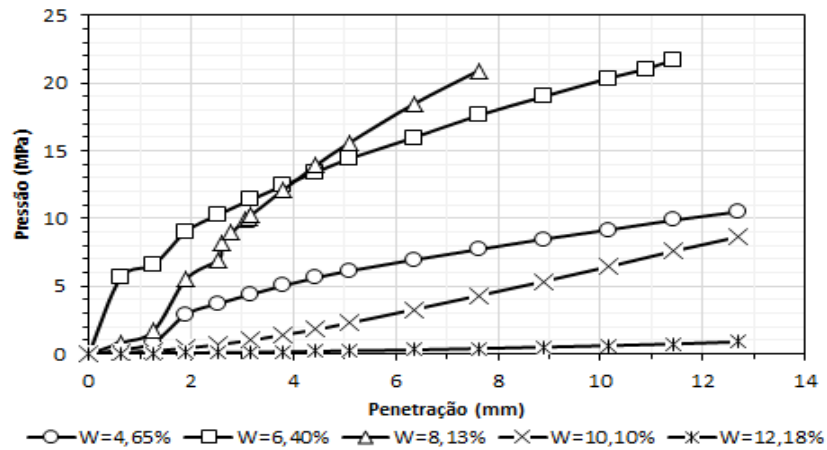
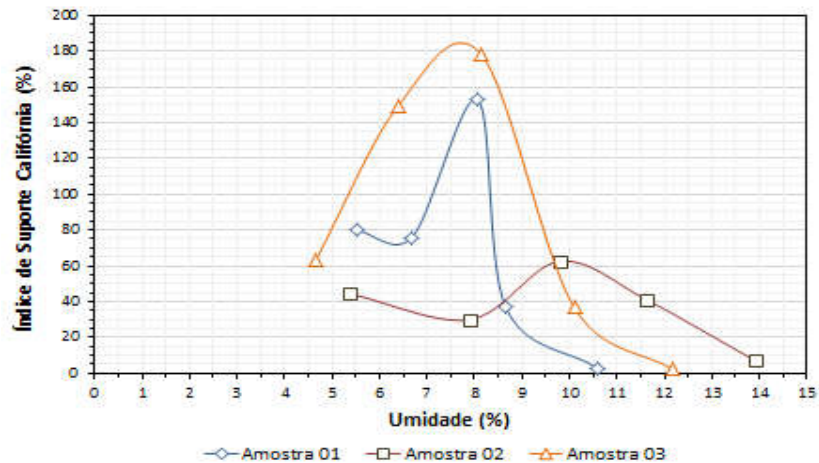


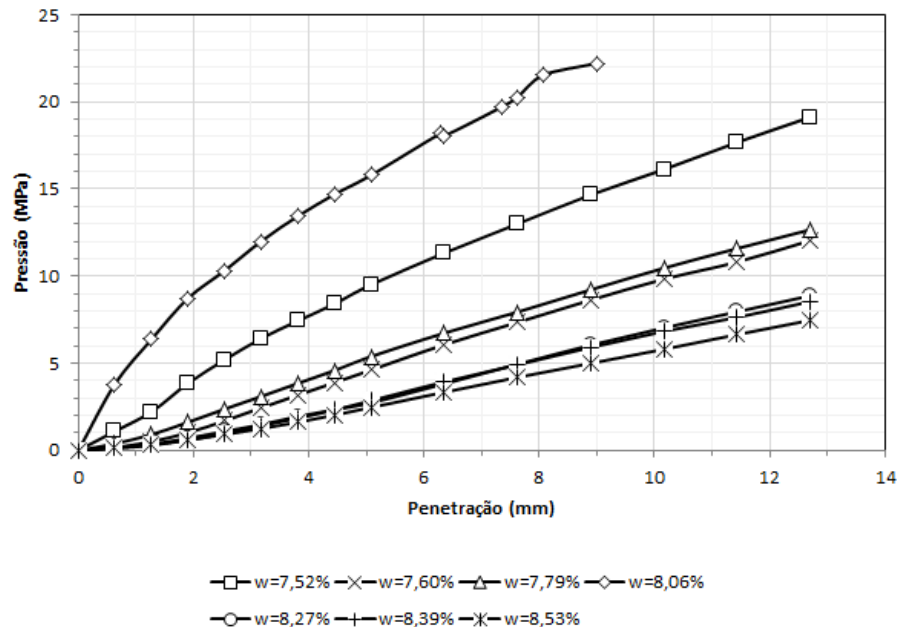
Figura 27- Relação entre umidade e ISC.



Através das informações da Figura 27 pode-se observar que os materiais 01 e 03, solos com predominância de pedregulhos, possuem resistência muito boa quando compactados, alcançando índices de suporte superiores a 140%, já o a amostra 02 (areia siltosa) apresentou um desempenho regular, chegando a valores de CBR em umidade próxima da ótima pouco acima de 60%. Para a construção da correlação entre DN e CBR foi utilizado o solo da amostra 02.

Conhecendo-se as umidades ótimas dos materiais, conforme descrito no item 3.2.3, novos corpos de prova foram moldados com pequenas variações de umidade em torno da ótima para possibilitar a construção da correlação entre o CBR e DN. A Figura 28 apresenta as curvas de CBR para essas amostras. Vale ressaltar que, como esses corpos de provas não foram submetidos aos ensaios de expansão, os valores de CBR podem apresentar uma variação, no entanto, não se espera que essa variação seja grande o suficiente para comprometer a correlação obtida.

Figura 28- Resultados de ensaio CBR para umidades próximas da umidade ótima.



4.1.3 Ensaio de DCP em laboratório

Após os ensaios de CBR os corpos de provas foram submetidos ao ensaio com o Penetrômetro Dinâmico de Cone para a obtenção do DN (mm/golpe).

Na Figura 29 são apresentados os resultados dos ensaios de CBR e DCP para as amostras coletadas. Observa-se que o modelo que apresentou maior coeficiente de determinação (R^2) foi o polinomial, assim como Homez (2014). Portanto, neste trabalho será utilizado o modelo da Equação 11 para estimar os valores de CBR a partir dos valores médios de DN encontrados nos ensaios realizados em campo.

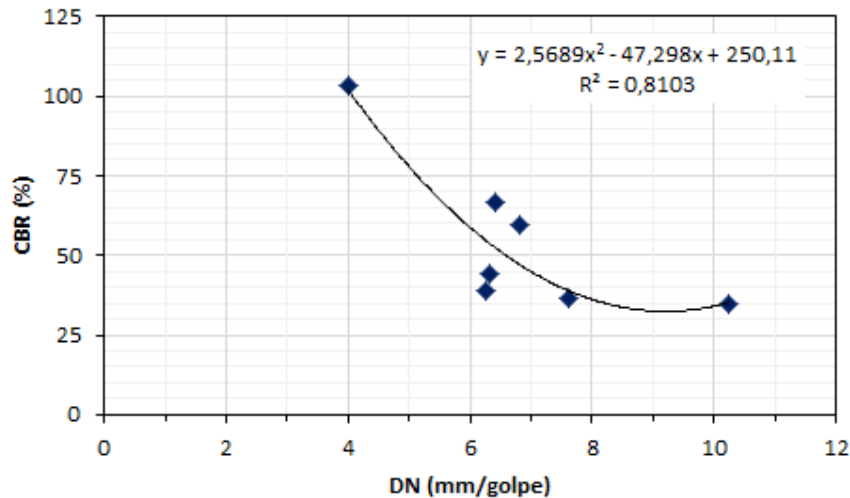
$$CBR = 2,57DN^2 - 47,30DN + 250,11 \quad \text{Eq.(11)}$$

Onde:

CBR = “California Bearing Ratio” (%);

DN = Índice de penetração (mm/golpe).

Figura 29- Correlação obtida entre DN e CBR.



A equação obtida mostrou-se válida para valores de DN entre 2,0 a 10,0 (mm/golpe). Essa limitação se deve ao fato de o ensaio ter sido realizado apenas para a energia intermediária, que é a energia de compactação realizada em campo, com isso os valores de CBR e DN obtidos em laboratório foram todos próximos, consequentemente a curva de melhor ajuste ficou limitada, e a equação gerada mostrou erros significativos para valores de DN fora da faixa de validade. No entanto, os resultados do ensaio de penetração em campo, como serão discutidos posteriormente, geraram valores em sua grande maioria dentro da faixa admitida pela equação, com exceção de raros casos. Portanto a equação é representativa para o caso deste estudo.

Na Tabela 14 estão resumidas as umidades, penetrações obtidas através do ensaio de DCP e os valores de CBR encontrados para cada amostra. Foi descartado, para a construção da correlação o CBR do corpo de prova com umidade de 8,06%, visto que seriam necessários pontos mais próximos a este para gerar um maior coeficiente de determinação.

Tabela 14 - Resumo de dados para construção da correlação entre DN e CBR.

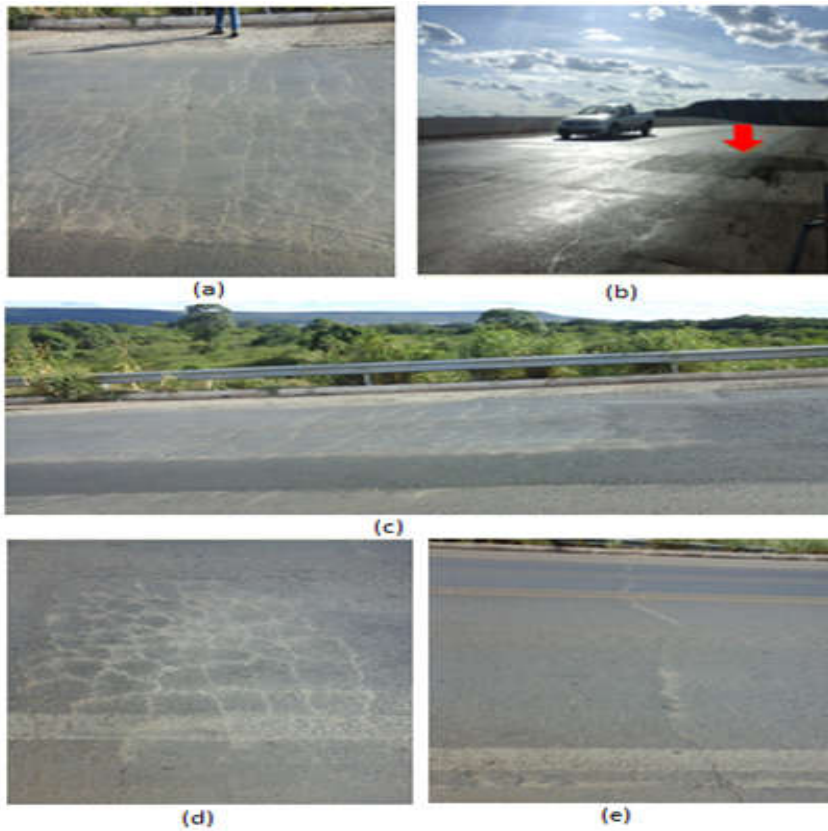
Umidade (%)	DN (mm/golpe)	CBR (%)
7,52	4,00	103,38
7,60	6,80	59,42
7,79	6,40	66,67
8,06	4,58	152,65
8,27	6,27	38,65
8,39	6,33	44,44
8,53	7,63	36,71

4.2 Avaliação objetiva da superfície do pavimento

Conforme explicado no item 3.1, para melhor análise e interpretação dos dados obtidos em campo o segmento de estudo foi dividido em dois trechos. O trecho 01 tem início na BR 135 (saída para Riachão das Neves) até o entroncamento com o acesso à BA 447 (acesso para o município de Angical). O trecho 02 começa no entroncamento do contorno viário com a BA 447 até o encontro com a BR 242

Durante a avaliação do primeiro segmento foram observadas patologias de forma esporádica, em sua maioria trincas curtas isoladas, exsudação e em alguns pontos foram detectados desgaste do pavimento. No entanto, a parte que mais se destacou pela frequência de diversas patologias foi nas imediações da ponte, onde aparecem trincas tipo bloco, couro de jacaré, trincas transversais longas, afundamento local significativo e remendos, conforme mostra a Figura 30.

Figura 30 - Patologias no acesso à ponte do anel viário - (a) Trincas interligadas tipo couro de jacaré; (b) remendo; (c) remendos e trincas interligadas; (d) trinca tipo bloco; (e) trinca transversal longa.



As patologias detectadas neste primeiro trecho em geral não são de origem estrutural, são defeitos associados a erros de dosagem do revestimento betuminoso, compactação diferenciada entre as camadas do 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 às camadas inferiores.

O conceito gerado pelo índice de gravidade global para o primeiro trecho foi um pavimento em estado regular (Tabela 15), sendo que as patologias que tiveram uma maior contribuição para o alcance desse índice foram trincas isoladas.

Figura 31- Patologias frequentes trecho 01 - (a) trincas longitudinais curtas; (b) desgaste; (c) desgaste; (d) exsudação; (e) exsudação; (f) trinca transversal.

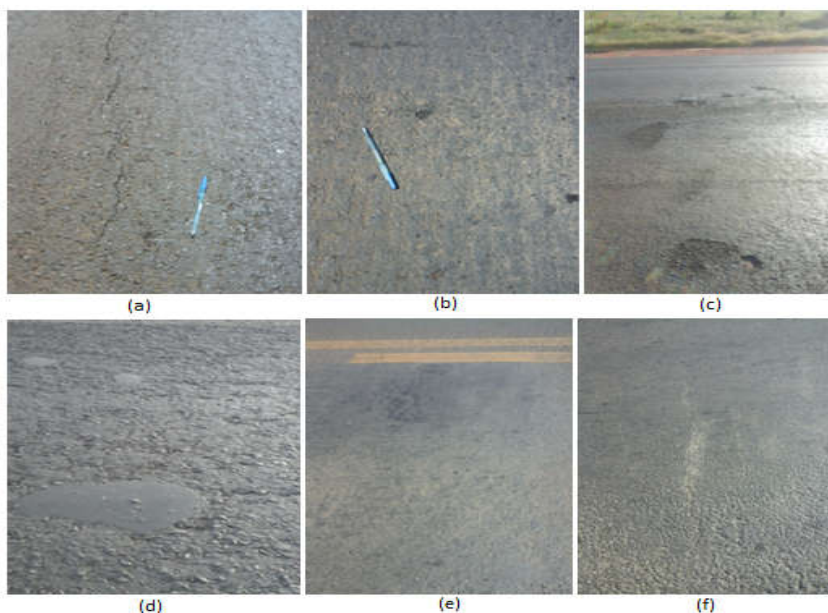


Tabela 15- Resumo do cálculo do IGG – Trecho 01.

RODOVIA: BR 242 TRECHO: 1				Estaca ou Quilômetro
PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)				1 - 128
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequencia relativa	Índice de gravidade individual
1	Trincas isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	131	102,34	20,47
2	(FC-2) J, TB	2	1,56	0,78
3	FC-3 (JE e TBE)	6	4,69	3,75
4	ALP, ATP, ALC, ATC	1	0,78	0,70
5	O e P	2	1,56	1,56
6	EX	30	23,44	11,72
7	D	11	8,59	2,58
8	R	2	1,56	0,94
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	TRE= 3,60 TRI = 4,27	F= 3,93	5,24
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv= 11,90 TRIV= 4,23	FV= 8,06	8,06
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n= 128	∑ IGI = IGG=	55,81 REGULAR

Nas Figuras 32 e 33, pode ser observado o perfil dos afundamentos de trilha de roda interno (TRI) e externo (TRE) respectivamente, referente ao primeiro trecho. As medidas de afundamento da trilha interna foram em média maiores que a trilha externa, chegando ao valor médio de 4,28 mm, enquanto a TRE alcançou média de 3,62 mm. O afundamento da TRE na estaca 31 refere-se ao acesso à ponte, local mais crítico do segmento.

Figura 32- Medidas do afundamento de trilha de roda interna - Trecho 01.

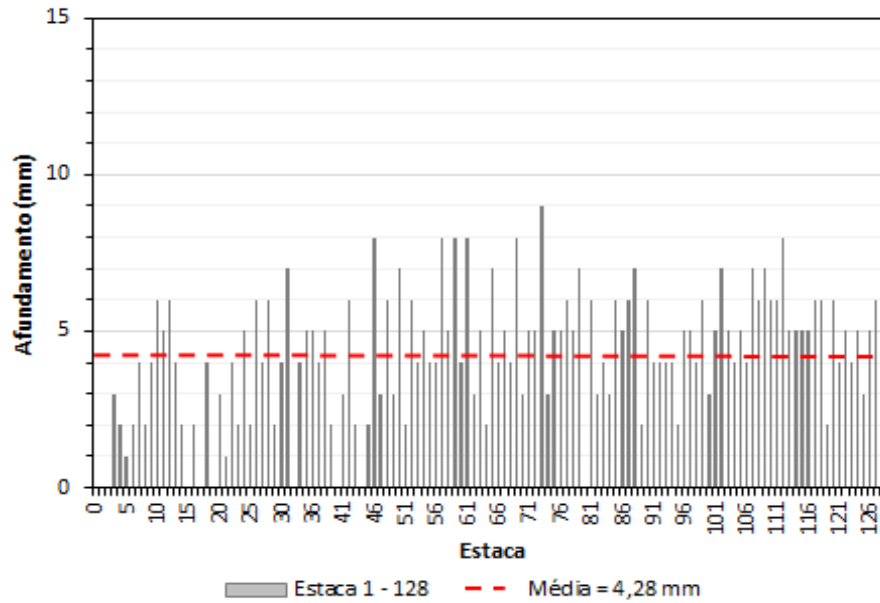
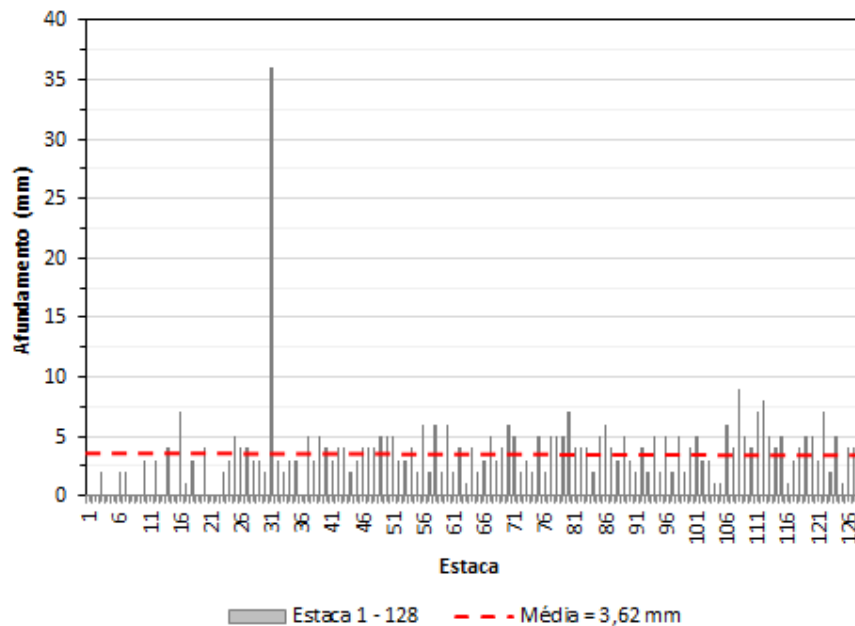


Figura 33- Medidas de afundamento de trilha de roda externa - Trecho 01.



O segundo trecho da rodovia pode ser considerado em situação mais delicada. Foram detectados os mais diversos tipos de patologias e em maior intensidade. No entanto os defeitos que contribuíram mais significativamente para o índice de gravidade foram os afundamentos nas trilhas de roda. Esse tipo de patologia é caracterizado pela consolidação diferencial nas camadas do pavimento ou do subleito, defeito de origem estrutural, neste caso, como esse trecho foi construído antes da concepção do contorno viário, as cargas para o dimensionamento da estrutura do pavimento não foram previstas na proporção que ele suporta atualmente, além disso, o pavimento está num estado de deterioração avançado devido ao tempo de projeto, fatores que podem explicar esse comportamento, havendo assim necessidade de reforço e restauração do trecho. Como resultado do conjunto de defeitos, o IGG chegou a 147,23, o que gerou o conceito “ruim” para o pavimento, como pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16 - Planilha resumo cálculo IGG - Trecho 02.

RODOVIA: BR 242 - ANEL VIÁRIO				Estaca ou Quilômetro:	
TRECHO: 2				129 - 216	
PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)					
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência relativa	Índice de gravidade individual	
1	Trincas isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	51	57,95	11,59	
2	(FC-2) JE, TB	7	7,95	3,98	
3	FC-3 (JE e TBE)	8	9,09	7,27	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	58	65,91	59,32	
5	O e P	4	4,55	4,55	
6	EX	53	60,23	30,11	
7	D	31	35,23	10,57	
8	R	6	6,82	4,09	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	TRE= 13,51 TRI= 10,13	F= 11,82	15,76	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv= 53,44 TRIV= 99,49	FV= 76,47	50	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n= 88	∑ IGI = IGG=	147,23	
				RUIM	

Os perfis dos afundamentos de trilha de roda interna e externa deste trecho encontram-se nas Figuras 34 e 35 respectivamente. A média dos afundamentos da trilha interna foi de 10,12 mm e 13,49 mm para a trilha externa. Diferente do primeiro trecho, os afundamentos são maiores na trilha externa.

Figura 34 - Medidas de afundamentos da trilha de roda interna - trecho 02.

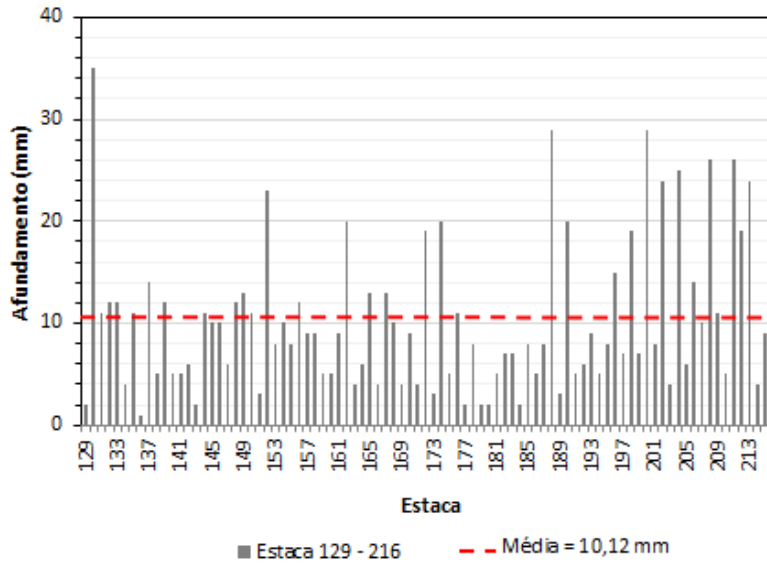
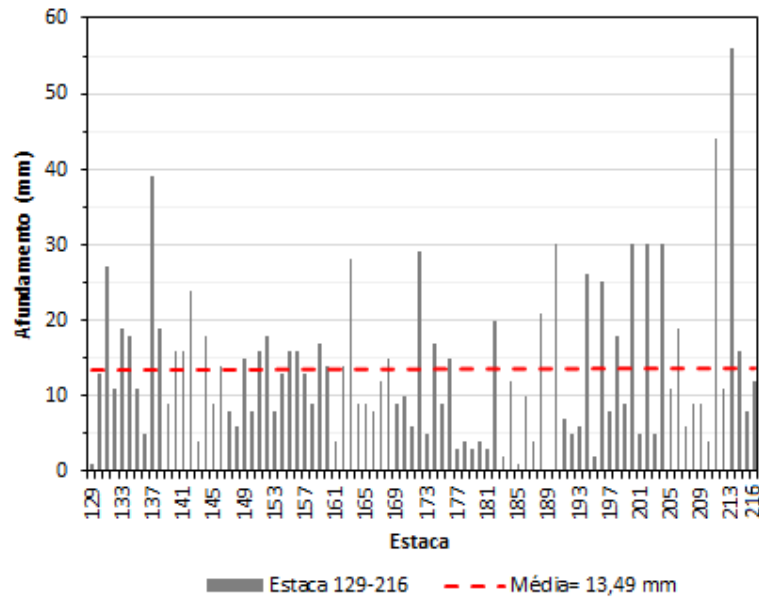


Figura 35 - Medidas de afundamentos da trilha de roda externa - trecho 02.



O manual de conservação rodoviária do DNIT (2005) especifica valores mínimos exigidos para que o pavimento apresente condições favoráveis de operação. Dentre essas condições, os valores de afundamentos de trilha de roda não devem ser superiores a 5mm. O mesmo manual indica que os valores de IGG não devem ultrapassar 30. Portanto, devido os afundamentos elevados, o trecho 02 encontra-se em condição inadequada de operação. Embora a média dos afundamentos na trilha de roda interna do trecho 01 tenha ficado abaixo de 5mm nota-se que em várias estacas esses afundamentos atingiram valores maiores. Nenhum dos segmentos se enquadrou no IGG máximo exigido pelo DNIT. No entanto o trecho 01 se mostra em condições, até então, satisfatórias para tráfego, porém exige manutenção, especialmente nas trincas, para evitar a percolação de água no pavimento e o surgimento de defeitos que comprometam a trafegabilidade e a afete a estrutura.

A avaliação objetiva mostrou-se um estudo eficiente no sentido de qualificação da via, no entanto gera dúvidas e dificuldades no momento da avaliação visto que a severidade e extensão dos defeitos não são levadas em conta. Em certos casos, quando a patologia possuía uma extensão ou severidade muito grande foi quantificada como mais de uma ocorrência, para que o conceito final não ficasse mascarado pela quantificação.

O conceito gerado pelo IGG para o anel viário de Barreiras em sua extensão total (sem a divisão por trechos) foi “ruim”, no entanto, esse conceito foi alcançado devido à quantidade de manifestações patológicas do trecho 02 do estudo.

4.3 Ensaios com DCP em campo

Na execução do ensaio DCP em campo foram coletados os dados de profundidade de penetração para cada série de golpes e anotados em planilha. Com esses dados foi possível plotar os gráficos para cada ponto, onde o eixo das abcissas é representado pela quantidade de golpes e o das ordenadas pela penetração em milímetros. Neste gráfico é possível determinar a tendência de variação de inclinação das retas, o que significa uma mudança no perfil de resistência das camadas da estrutura do pavimento, podendo então ser obtida a estratigrafia do mesmo. Os gráficos de perfil de resistência estão apresentados no Anexo F. Na maior parte dos casos as mudanças de inclinações das retas

se deram de maneira suave, indicando variações de resistência pequenas entre as camadas.

Em termos de estratigrafia, na maioria dos pontos ensaiados foi possível fazer a identificação das camadas de base e sub-base, e em alguns casos o subleito, com isso foi possível fazer uma comparação das espessuras projetadas para cada camada com os dados de projeto. Em pontos isolados, como no caso dos pontos de ensaio 06 e 19, no gráfico gerado, não foi identificada variação de inclinação da reta, o que significa uma uniformidade de resistência entre as camadas.

Os principais resultados obtidos no ensaio com o penetrômetro dinâmico de cone em campo são apresentados pela Tabela 17. O índice de penetração (DN em mm/golpe) representado pela variação na inclinação das retas foi obtido através da razão entre a profundidade e o número de golpes necessário para penetrar cada camada.

Na execução do DCP, para trecho 01 em torno de 30% dos ensaios precisaram ser interrompidos pelo critério de parada (4 golpes sem deslocamento da ponta) devido à alta resistência à penetração. No segundo trecho esse fato ocorreu em apenas um dos ensaios, no ponto 25, localizado em frente à Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf), inclusive, essas imediações foi o local que apresentou melhor estado de conservação e que menos apresentou manifestações de defeitos de superfície, como pode ser observado nas planilhas de avaliação objetiva (Anexo C) para as estacas 191, 192 e 193. Os afundamentos de trilha neste local também foram consideravelmente menores comparados aos outros pontos deste mesmo trecho, chegando ao máximo de 9 mm na trilha de roda interna e 7 mm na trilha de roda externa.

Na Tabela 18 é possível observar a variação estratigráfica das camadas estruturais. Para o trecho 01, compreendido pelos pontos de ensaio de 01 a 15, foram obtidos por meio do DCP uma média de espessura de base de 13,17 cm e sub-base de 13,10 cm, sendo que a espessura de projeto é de 15 cm para as duas camadas. Já para o trecho 02 (pontos 16 a 28), foram obtidas espessuras maiores para as camadas estruturais, 14,33 cm para base e 15,07 cm para sub-base. Entretanto, os índices de penetração para este segundo segmento foram maiores que para o trecho 01, o que significa que embora as camadas estejam mais espessas elas se mostram menos resistentes.

Tabela 17- Resultados Gerais do ensaio DCP em campo.

Ponto DCP	Estaca	Lado	Espessura das Camadas (cm)				DN (mm/golpe)			Observações
			Revestimento*	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito	
1	1-8	E	8,4	13,4	12,7	-	3,58	4,84	-	Não alcançou o subleito
2	9-17	D	29,7	3,2	-	-	1,39	-	-	Ensaio interrompido pelo critério de parada
3	18-26	E	8,7	20,3	14,2	-	3,16	4,34	-	Não identificada mudança no perfil de resistência da sub-base para o subleito
4	27-34	D	9	5,6	-	-	1,48	-	-	Ensaio interrompido pelo critério de parada
5	34-42	E	12	15,4	11,6	4,3	2,66	1,98	3,57	-
6	43-50	D	7	-	-	-	4,23	4,23	4,23	Não identificada mudança no perfil de resistência das camadas
7	51-57	E	7,3	16,4	14	2,3	2,68	3,49	3,13	-
8	58-66	D	6,5	13,7	9,8	10,1	3,7	8,00	12,33	-
9	67-74	E	6,5	8,1	18,6	6,5	2,25	2,83	2,79	-
10	75-82	D	8,5	5,3	-	-	1,55	-	-	Ensaio interrompido pelo critério de parada
11	83-90	E	8,2	5,6	-	-	1,48	-	-	Ensaio interrompido pelo critério de parada
12	91-98	D	7,9	16,2	6,3	9,5	2,25	1,55	3,41	-
13	199-107	E	7,4	9,5	8,3	1,8	1,89	2,74	1,33	Ensaio interrompido pelo critério de parada
14	108-116	D	7,9	3,3	-	-	1,29	-	-	Ensaio interrompido pelo critério de parada
15	116-124	E	12,5	13,5	16,2	2,3	2,1	3,45	4	-
16	125-131	D	6	11	13,9	7,1	3,81	7,32	4,47	-
17	132-138	E	6	9,5	13,5	9,5	2,96	4,35	3,33	-
18	139-146	D	8,1	14,7	9,3	8,8	4,45	5,41	8,73	-
19	147-153	E	5	-	-	-	2,03	2,03	-	Não identificada mudança no perfil de resistência das camadas
20	153-159	D	7,9	17,3	14,6	4,9	6,33	14,78	24,25	-

* A espessura do revestimento refere-se ao acostamento da pista pavimentada.

Tabela 17 - Continuação.

Ponto DCP	Estaca	Lado	Espessura das Camadas (cm)				DN (mm/golpe)			Observações
			Revestimento*	Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito	
21	160-166	E	7,5	11,5	18	3,1	2,76	5	6,83	-
22	166-172	D	7,7	11,5	23,3	-	3,93	9,08	9,08	Não identificada mudança no perfil de resistência da sub-base para o subleito
23	173-179	E	7,4	12,6	19	-	2,75	3,83	-	Não identificada mudança no perfil de resistência da sub-base para o subleito
24	180-186	D	8,5	11,9	8,2	14	2,79	4,58	3,33	-
25	187-193	E	7	16,5	14,2	-	1,88	2,13	-	Ensaio interrompido pelo critério de parada
26	194-202	D	8	16,6	11,2	6,4	4	3,83	4,38	-
27	203-210	E	7	15	18,8	-	2	4,67	-	Não identificada mudança no perfil de resistência da sub-base para o subleito
28	210-216	D	7	20,5	13,2	3	5,38	8,85	8,14	-

* A espessura do revestimento refere-se ao acostamento da pista pavimentada.

Tabela 18- Variações estratigráficas da estrutura.

Trecho	01		02		
	Espessura (cm)	Base	Sub-base	Base	Sub-base
Máxima		16,40	19,60	20,50	23,30
Média		13,17	13,10	14,33	15,07
Mínima		8,10	6,30	11,50	8,20

Ao longo de todo o contorno do anel viário observou-se que não houve grande variação das espessuras de revestimento para o acostamento, todavia, como não foram realizados os ensaios na pista de rolamento não se pode afirmar essa uniformidade ao longo da pista. Aparentemente, o trecho 01 apresentava camada de revestimento acima da camada do acostamento maior que o trecho 02, embora neste segundo trecho poucas vezes essa observação pôde ser feita visto que em boa parte da pista os afundamentos na trilha de roda eram acompanhados pelo levantamento do revestimento não possibilitando uma comparação mais concreta. Em um caso específico do trecho 01, no segundo ponto de ensaio, foi constatada no acostamento uma camada de revestimento com espessura muito grande.

Nota-se 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 sujeito a apresentar mais falhas estruturais que o lado oposto.

As Figuras 36, 37 e 38 exibem graficamente as espessuras das camadas estruturais. As espessuras obtidas da base e sub-base em geral foram inferiores às espessuras de projeto. 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. Contudo não é possível afirmar que seja uma tendência visto que no primeiro trecho possui uma extensão maior e apenas em metade dos ensaios foi possível penetrar todas as camadas do pavimento devido à alta resistência.

A variação das espessuras em torno da espessura de projeto mostra a importância do controle durante todo o processo executivo, caso isso não seja feito rigorosamente, essa variação pode interferir no futuro desempenho do pavimento.

Figura 36- Espessuras da base obtidas por meio do DCP.

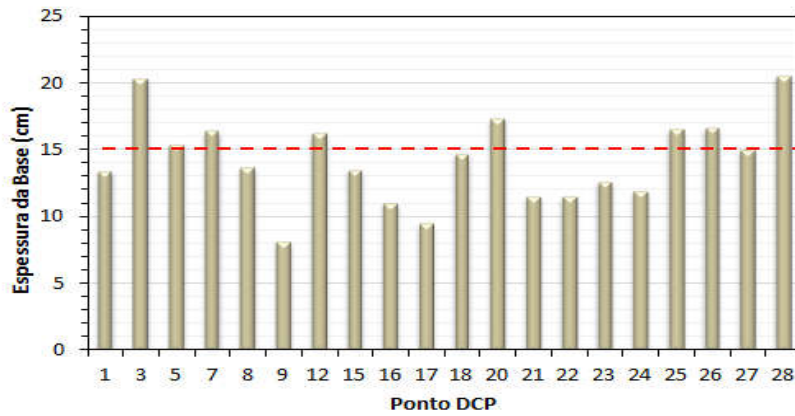


Figura 37 - Espessuras da sub-base obtidas por meio do DCP.

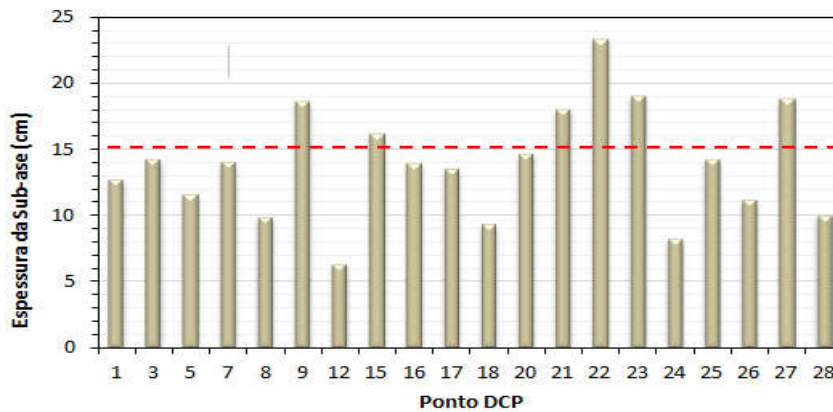
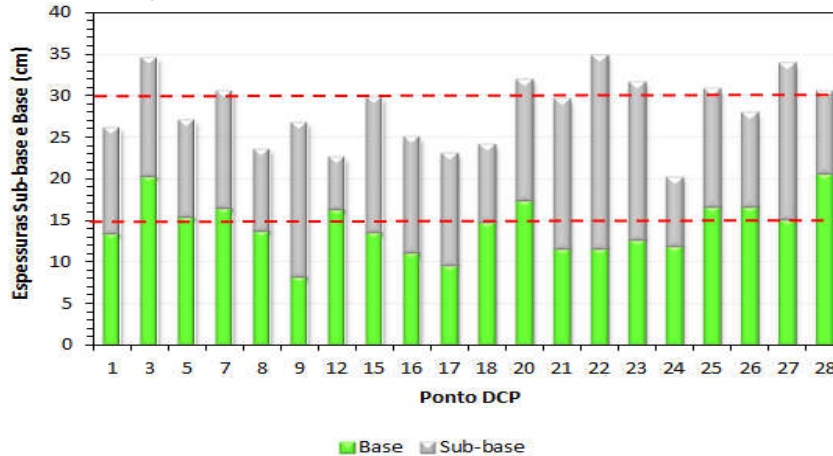


Figura 38- Gráfico das espessuras de base e sub-base.



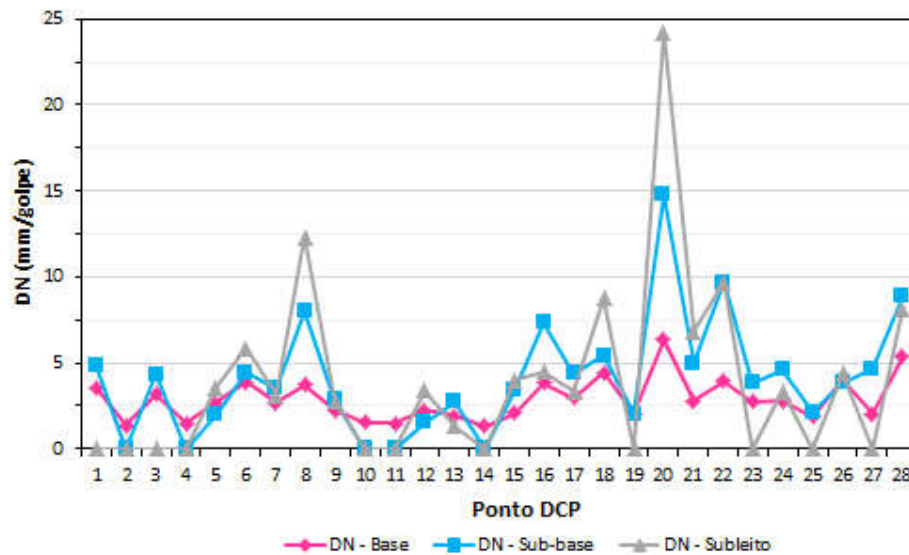
A Tabela 19 apresenta os resultados médios do ensaio DCP em termos de DN de cada camada. Além disso, são apresentados outros parâmetros estatísticos tais como mediana, desvio padrão, erro padrão e coeficiente de variação.

Tabela 19 - Dados estatísticos dos valores de DN.

Trecho	01			02		
	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

Embora no Brasil não exista norma técnica que defina valores limites de DN, a lógica é que quanto menor o índice de penetração maior é a capacidade resistente do solo. Verifica-se através da Tabela 19 que o trecho 01 possui em média uma capacidade de suporte 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 39 – Gráfico de Variação do DN.



A Figura 39 apresenta os valores de DN em lineares. 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 em todo o contorno viário.

A Tabela 20 apresenta os valores de CBR obtidos para cada ponto de ensaio do DCP, obtidos pela equação 11. Vale ressaltar que devido à faixa limite de validade da correlação encontrada (valores DN entre 2 mm/golpe e 10 mm/golpe), não foram apresentados na tabela os resultados para pontos com DN fora desta faixa. No entanto sabe-se que para índices de penetração abaixo de 2 mm/golpe o CBR é elevado, acima de 180% e para DN acima de 10mm/golpe obtém-se CBR abaixo de 34%.

Segundo o DNIT (2006), para materiais de base é exigido valores de CBR maiores que 80%. Já para as materiais de sub-base o valor mínimo de CBR é 20%, conforme apresentado no item 2.1. Esses valores de referência de suporte são para solos em condição de saturação, quando os mesmos tendem a sofrer uma perda de resistencia. Visto que os ensaios foram feitos para solos não saturados os valores de CBR devem superar os valores mínimos estabelecidos pelo DNIT.

O trecho 01, compreendido pelos pontos de ensaio de DCP de 1 a 15, 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 índice de suporte califórnia acima de 100% (excessão do ponto 06). O ponto de ensaio 06 apresentou CBR da base inferior aos demais, mas pelos perfis de afundamentos (Figuras 34 e 35) não há consolidação diferencial neste local, indicando que o pavimento está resistindo bem as cargas de tráfego. No ponto 8, a sub-base apresentou um CBR de 36,14%, mostrando um ponto frágil na estrutura se comparado aos resultados obtidos nos outros pontos de ensaio do mesmo trecho, que apresentaram em média CBR's acima de 80%. Além disso, neste ponto especificamente, a sub-base não alcançou, pelo perfil estratigráfico obtido pelo ensaio de DCP, a espessura projetada, conforme mostra a Figura 37. Com relação aos perfis de afundamentos, embora nessas imediações tenham sido obtidos medidas maiores que 5 mm não se pode afirmar que esse afundamento deve-se à baixa capacidade de suporte do subleito já que vários pontos deste trecho apresentaram medidas de afundamentos próximas ou superiores.

Contudo, neste local pode haver um comprometimento do pavimento ao longo de sua vida útil, podendo aparecer manifestações patológicas precocemente devido à diferença na capacidade resistente da estrutura.

O trecho 02 apresentou maiores oscilações nos valores de CBR tanto para a camada de base como para sub-base, em geral o ISC da sub-base foi inferior aos obtidos para o primeiro trecho de avaliação. Além disso, pode-se notar que os valores de CBR para o lado direito da pista são menores que os valores obtidos para o lado esquerdo. O ponto 20, ensaio DCP, foi o que chamou mais atenção devido à baixa capacidade resistente de suas camadas estruturais. O valor de CBR para a base neste local não passou de 53,65%, bem abaixo do recomendado pelo DNIT (2006) o que leva a uma sobrecarga na camada inferior, exigindo uma maior capacidade de suporte da mesma. No entanto, para a sub-base e subleito os valores de DN foram tão altos que ficaram fora da faixa limite de validação da correlação construída em laboratório. Tomando a correlação existente para solos com predominância de pedregulhos, proposta por Harison (1987), os valores de CBR obtidos foram 26,74% e 16,62% para sub-base e subleito respectivamente. Fazendo uma análise conjunta com a avaliação objetiva nota-se que as imediações do ponto apresenta afundamentos de trilha de roda, trincas interligadas isoladas e remendos, com isso, a origem desses defeitos podem ser atribuídas à baixa capacidade de carga do pavimento neste local. O ponto de ensaio 28 também apresentou CBR abaixo de 80% para base, a sub-base e subleito atingiram CBR pouco maior que 30%, valores baixos comparados aos outros pontos de ensaio para o segmento. Na área em torno deste ponto de ensaio o defeito predominante é a deformação permanente na trilha de roda, chegando a afundamentos de 56 mm.

Um fato que chama a atenção são as altas capacidades resistentes da sub-base ao longo de todo o segmento, o que de alguma forma pode compensar um suporte menor na camada de base ou uma sobrecarga do pavimento, posto que no Brasil, devido à deficiência no sistema de fiscalização do peso, boa parte dos caminhões trafegam com excesso de carga, o que causa aceleração dos níveis de deterioração e consequente redução da vida útil dos pavimentos. Entretanto, a camada que recebe as cargas diretamente é o revestimento e caso este não suporte as cargas advindas do tráfego, o surgimento de defeitos poderão expor as camadas estruturais inferiores e estas submetidas à ação de intempéries perdem boa parte de sua capacidade resistente.

Tabela 20 - Valores de CBR obtidos através da correlação de laboratório.

Ponto DCP	Estacas	DN (mm/golpe)			CBR - Correlação obtida		
		Base	Sub-base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito
1	1-8	3,58	4,84	-	113,71	81,37	*
3	18-26	3,16	4,34	-	126,30	93,22	*
5	34-42	2,66	1,98	3,57	142,47	**	114,00
6	43-50	3,86	4,43	5,83	96,00	96,00	96,00
7	51-57	2,68	3,49	3,13	141,80	116,33	127,23
8	58-66	3,70	8,00	12,33	110,28	36,14	***
9	67-74	2,25	2,83	2,79	156,69	136,83	138,15
12	91-98	2,25	1,55	3,41	156,69	**	118,70
13	199-107	1,89	2,74	1,33	**	139,80	**
15	116-124	2,10	3,45	4,00	162,11	117,51	102,02
16	125-131	3,81	7,32	4,47	107,20	41,54	90,02
17	132-138	2,96	4,35	3,33	132,62	92,97	121,09
18	139-146	4,45	5,41	8,73	90,50	69,41	32,98
19	147-153	2,03	2,03	-	164,68	164,68	*
20	154-159	6,33	14,78	24,25	53,65	***	***
21	160-166	2,76	5,00	6,83	139,14	77,84	46,90
22	166-172	3,93	9,71	9,71	103,91	33,05	33,05
23	173-179	2,75	3,83	-	139,47	106,64	*
24	180-186	2,79	4,58	3,33	138,15	87,37	121,09
25	187-193	1,88	2,13	-	**	161,02	*
26	194-202	4,00	3,83	4,38	102,02	106,64	92,23
27	203-210	2,00	4,67	-	165,79	85,25	*
28	210-216	5,38	8,85	8,14	70,00	32,73	35,32

*Valores de DN não obtidos;

**Valores de DN abaixo do limite de validade da correlação entre DN e CBR indicando camada muito resistente;

*** Valores de DN acima do limite de validade da correlação entre DN e CBR indicando camada com baixa resistência;

As Figuras 40 e 41 apresentam os perfis de CBR, base e sub-base respectivamente, obtidos para todo o contorno viário a partir da correlação construída através dos ensaios laboratoriais e também por correlação existente para solos com mesma classificação. A correlação usada para comparação, no caso de solos pedregulhosos, foi obtida por Harison (1987), conforme mostrado no item 2.5.2.1. Pode-se notar que o comportamento da correlação proposta neste trabalho não se diferencia muito da proposta por Harison. Os pontos os quais os valores apresentam seus picos são os mesmos e crescem e decrescem da mesma forma com ângulos semelhantes, indicativos estes que mostram que a correlação encontrada neste trabalho é válida.

Figura 40- Perfil de resistência da camada de base do contorno viário de Barreiras.

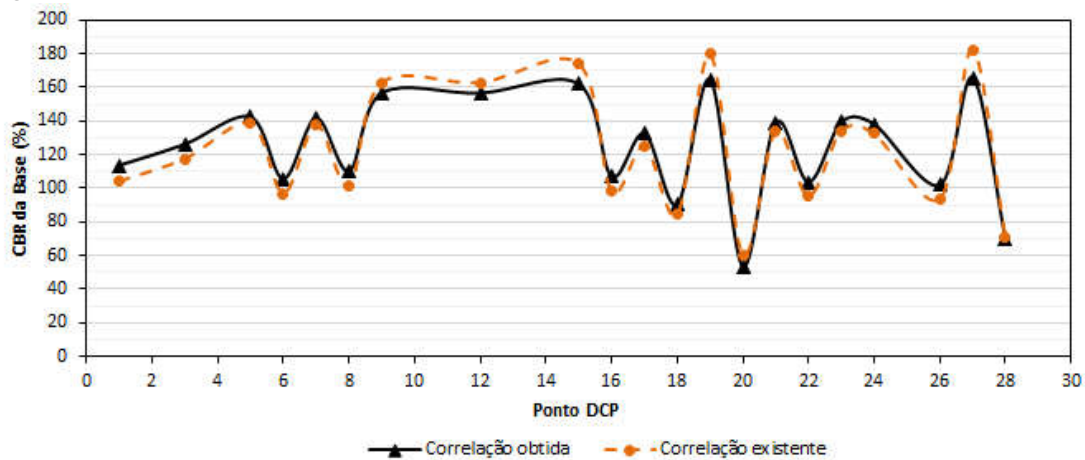
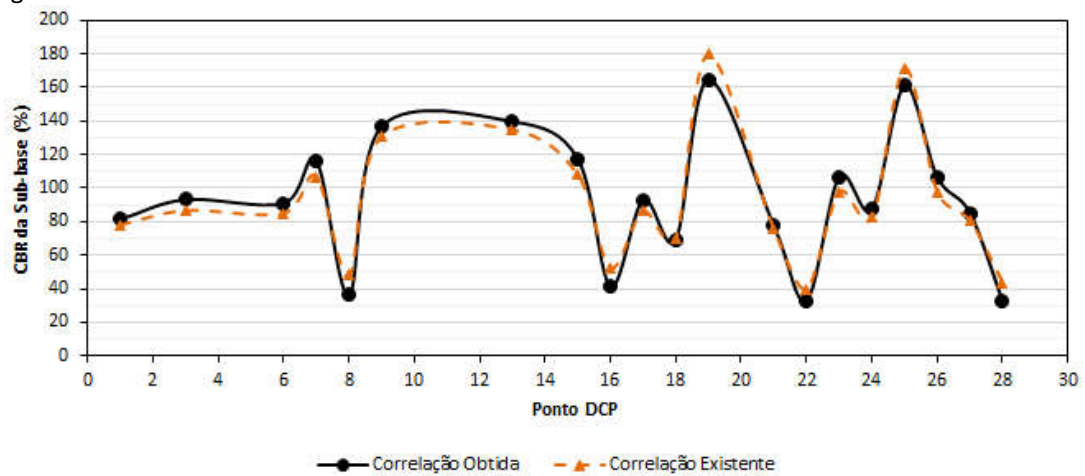


Figura 41- Perfil de resistência da camada de sub-base do contorno viário de Barreiras.



Os gráficos de perfis de resistência mostram que tanto para as camadas de base quanto para a sub-base as maiores variações ocorrem depois do ponto de ensaio 15, referente ao trecho 02 do estudo. Essa variação sugere um possível comprometimento da estrutura, devido o tempo de utilização da mesma e às elevadas intensidades de cargas a que o pavimento está sendo submetido.

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 (o que de fato ocorre já que trecho foi construído antes da concepção do anel viário) e essa camada superficial não consegue absorver as cargas para distribuir ao longo da base, em consequência disso ocorre o surgimento de trincas pelo fenômeno de fadiga. Além disso, 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. A ruptura por cisalhamento próxima à superfície de pavimento, conforme explica Núñez *et al* (2011), é um fenômeno complexo originado pelas tensões de contato pneu-pavimento, características do concreto asfáltico e as condições ambientais, neste caso a situação é agravada por temperaturas elevadas visto que diminui a viscosidade do ligante asfáltico e a coesão da mistura, um fator desfavorável já que a região possui temperaturas elevadas ao longo de praticamente todo o ano.

5. 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 trecho a grande maioria das patologias era de origem estrutural. Devido os afundamentos elevados, o trecho 02 encontra-se em condição inadequada de operação. Embora a média dos afundamentos na trilha de roda interna do trecho 01 tenha ficado abaixo de 5mm nota-se que em várias estacas esses afundamentos atingiram valores maiores. Nenhum dos segmentos se enquadraram no IGG máximo exigido pelo DNIT.

Durante os ensaios algumas dificuldades com relação ao método de avaliação objetiva foram questionadas, visto que o mesmo leva em conta apenas as quantificações de defeitos não considerando a severidade e extensão destes. Com relação à trafegabilidade, o trecho 01, mostra-se em boas condições, embora haja necessidade de manutenção, especialmente nas trincas existentes para que a percolação de água nas mesmas não venha comprometer severamente a estrutura do pavimento e refletindo no surgimento posterior de panelas, entre outros defeitos mais agressivos. Já o trecho 02, estava em condições de tráfego comprometida devido principalmente aos afundamentos acompanhados de elevações laterais do revestimento betuminoso, exigindo assim medidas emergenciais de restauração e reforço da estrutura. Vale ressaltar que no momento de conclusão deste trabalho o trecho 02 começou a passar por obras de recuperação.

A correlação entre DN e CBR obtida neste trabalho mostrou-se relevante para determinação da capacidade de suporte da estrutura, embora tenha validade apenas para valores de DN entre 2 e 10 (mm/golpe). Essa limitação se deu devido à realização de compactação para apenas um nível de energia, no caso a intermediária.

Os valores de CBR do campo obtidos através da correção DN e DCP apresentaram valores em média acima de 100% para camadas de base e valores próximos de 90% para sub-base, vale lembrar que esses valores são para ensaios de CBR sem imersão dos corpos de prova. Com já era esperado, devido ao conceito ruim gerado pela avaliação objetiva, trecho 02 apresentou menores valores de CBR para a base e sub-base comparados à capacidade de suporte das camadas estruturais do trecho 01, no entanto

de maneira geral os valores de CBR mínimos exigidos pelo DNIT foram alcançados. Dessa forma, os defeitos do segundo trecho de avaliação foram em grande parte atribuídos ao subdimensionamento ou baixa capacidade de carga da camada de revestimento. 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.

As espessuras das camadas estruturais obtidas pelos gráficos DCP foram de maneira geral abaixo da espessura de projeto, especialmente no trecho 01. Isso mostra a importância do controle durante o processo executivo, caso isso não seja feito rigorosamente, essa variação pode interferir no futuro desempenho do pavimento.

Com a finalidade de complementar os trabalhos desenvolvidos nesta pesquisa, são listadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar como a condição de umidade do solo interfere na medição do CBR e do DN obtidos por meio do ensaio de DCP;
- Realizar compactação com níveis de energia diferentes para ampliação da faixa de validade da correlação obtida neste trabalho;
- Propor uma metodologia de campo que leve em conta as diferenças de umidade para a utilização da correlação com CBR e DN mais adequada;
- Realizar ensaios de DCP na faixa de rolamento da pista;
- Realização de ensaios laboratoriais de módulo resiliente como no triaxial dinâmico;
- Propor correção entre DN e módulo resiliente do solo;
- Realizar ensaios de Viga benckelman.

6. REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181 – **Solo – Análise granulométrica**. 13p, ANBT, 1984a.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459 – **Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. 6p, ANBT, 1984b.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180 – **Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. 3p, ANBT, 1984c.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457 – **Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. 9p, ANBT, 1986.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9895 – **Solo – Índice de Suporte Califórnia**. 14p, ANBT, 1987.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: **informação e documentação – referências – elaboração**. Rio de Janeiro, 2002. 24p

ALVES, A. B.. **Avaliação da Capacidade de Suporte e Controle Tecnológico de Execução da Camada Final de Terraplenagem Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M., CERATTI, J. A., & SOARES, J. B. (2008). **Pavimentação Asfáltica, Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás.

CARVALHO, R. G., **Correlações entre os ensaios DCP e CBR para solos saprolíticos de textura fina**. Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2005.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). Pesquisa CNT de rodovias 2016: **relatório gerencial**. 20. ed. Brasília, 2016. 402 p.

DANIELESKI, M. L.. **Proposta de Metodologia Para Avaliação Superficial de Pavimentos Urbanos: aplicação à rede viária de Porto Alegre**. Porto Alegre, 2004.

DNIT, Departamento Nacional de infraestrutura de transportes. **TER 005: Terminologia, Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos**. Rio de Janeiro, 2003a.

DNIT, Departamento Nacional de infraestrutura de transportes. **PRO 006: Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos**. Rio de Janeiro, 2003b.

DNIT, Departamento Nacional de infraestrutura de transportes. **PRO 007: Levantamento para Avaliação da Condição de Superfície de Subtrecho Homogêneo de Rodovias de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos para Gerência de Pavimentos e Estudos e Projetos**. Rio de Janeiro, 2003c.

DNIT, Departamento Nacional de infraestrutura de transportes. **PRO 008: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.** Rio de Janeiro, 2003d.

DNIT, Departamento Nacional de infraestrutura de transportes (2005). **Manual de Conservação Rodoviária.** Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Publicação IPR – 710, 2a edição, Rio de Janeiro, RJ. 564 p. 74

DNIT, Departamento Nacional de infraestrutura de transportes (2006). **Manual de Pavimentação.** Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Publicação IPR – 719, 3a edição, Rio de Janeiro, RJ. 274 p.

DNIT, Departamento Nacional de infraestrutura de transportes. **ME 164: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas.** Rio de Janeiro, 2014.

DNIT, Departamento Nacional de infraestrutura de transportes. **ME 172: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas.** Rio de Janeiro, 2016.

GONÇALVES, F. P. (1997). **Utilização de Expert Systems na Manutenção de Pavimentos.** Tese M.Sc., ITA. São José dos Campos.

GUEDES, S. B. (2008). **Estudo da Viabilidade Técnica do Cone de Penetração Dinâmica (Cpd), do Cone de Penetração Estática (Cpe) E do Penetrômetro Panda do Dimensionamento De Pavimentos Urbanos.** Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

HÓMEZ, J. H. (2014). **Avaliação de Rodovias Goianas Restauradas com a Técnica de Reciclagem a Frio In Situ.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia.

SILVA JÚNIOR, F. A. (2005). **Cone de Penetração Dinâmica (DCP): Uma Alternativa Ao Dimensionamento De Pavimentos Urbanos.** Dissertação (Mestrado Em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande.

SILVEIRA NETO, Rogério Bezerra. Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecanístico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (SP). Universidade de São Paulo. Campo Grande, 2004. 189 p.

MACHADO, D. M. (2013). **Avaliação de Normas de Identificação de Defeitos dará Fins de Gerência de Pavimentos Flexíveis**. São Paulo: Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Infra-Estrutura de Transporte - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

METOGO, D. A. (2015). **Estudos Laboratoriais e Avaliação Estrutural de um Pavimento Asfáltico Construído com Misturas De Solo Tropical, Fosfogesso e Cal**. Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

NÚÑEZ, W. P.; CERATTI, J. A. P.; PINTO, P. R. R. **Afinal porque Pavimentos Novos Estão Rompendo Precocemente? Um Estudo Sobre Causas de Degradações Prematuras na Superfície de Pavimentos Asfálticos**. Palestra CBRC & BRASVIAS. Foz do Iguaçu, PR, 2011.

REIS, N. F. (2009). **Análise Estrutural de Pavimentos Rodoviários**. Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre – Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

APÊNDICE B

INVENTÁRIO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO - TRECHO 02- ANEL VIÁRIO																										
Estaca ou Km	Seção Terrap.	ok	TRINCAS						AFUNDAMENTOS				OUTRO DEFEITOS								TRIILHAS RODAS		OBSERVAÇÕES			
			ISOLADAS			INTERLIGADAS			PLÁSTICO		CONSOLIDADO										TRI	TRE				
			FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	J	TB	JE	FC-3	TBE	ALP	ATP	ALC	ATC	O	P	E	EX	D		R	8	mm
1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	7	8	8					
1													1											35	13	
2													1											11	27	
3						1										1			1					12	11	
4																1								12	19	
5																1				1	1			4	18	
6																1			1	1				11	11	
7					20											1				1	1			1	5	
8										1						1								14	39	
9																1						3	1	5	19	
10																1								12	9	
11																1								5	16	
12																				1	1			5	16	
13																				1				6	24	
14																				1	1			2	4	
15																								11	18	
16					9											1				3	1			10	9	
17																1								10	14	
18																1			5	1				6	8	
19																1			2					12	6	
20																1					1			13	15	
21																1								11	8	
22																1				1	1			3	16	
23																1			4					23	18	
24																1				1	1			8	8	
25																1				2				10	13	
26																								8	16	
27																1						1		12	16	
28						1										1							1	9	13	
29																1								1	9	9
30																1								5	17	
31																1				2	1	2		5	14	
32																				2				9	4	
33																						1		20	14	
34																1								4	28	
35																1								6	9	
36																								13	9	
37																								4	8	
38																								13	12	
39																						1		10	15	
40																				2				4	9	
41																								9	10	
42																								4	6	
43																1								19	29	
44																								3	5	
45																				1				20	17	
46																				2				5	9	
47																								11	15	
48																								2	3	
49																								8	4	
50																								2	3	
51																								2	4	
52																								5	3	
53																								7	20	
54																								7	2	
55																								2	12	
56																								8	1	
57																								5	10	
58																								8	4	

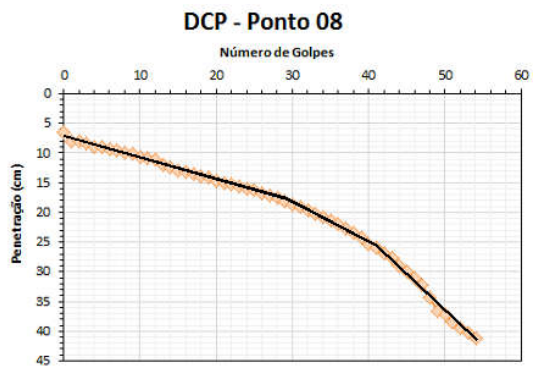
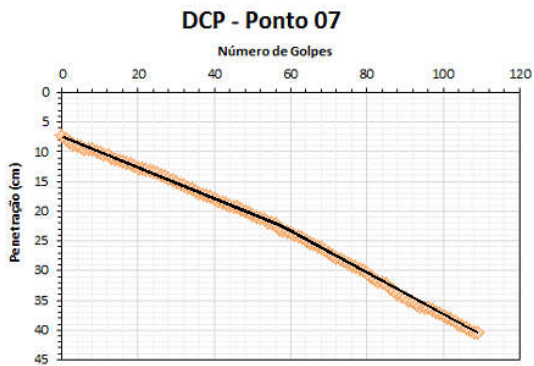
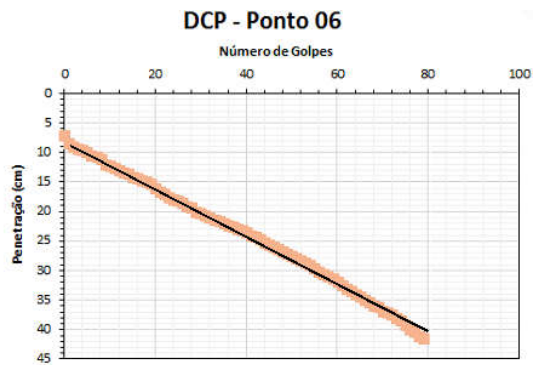
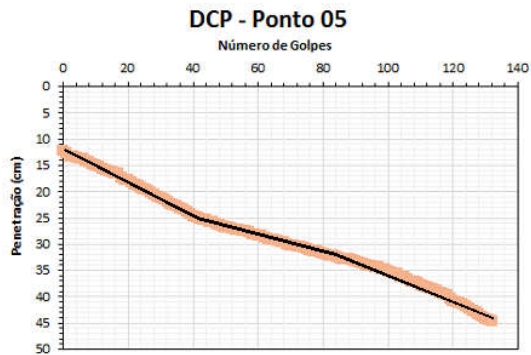
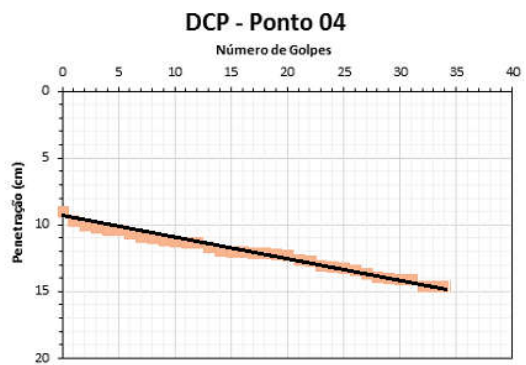
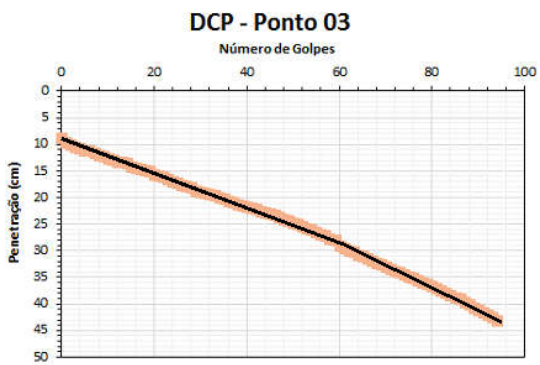
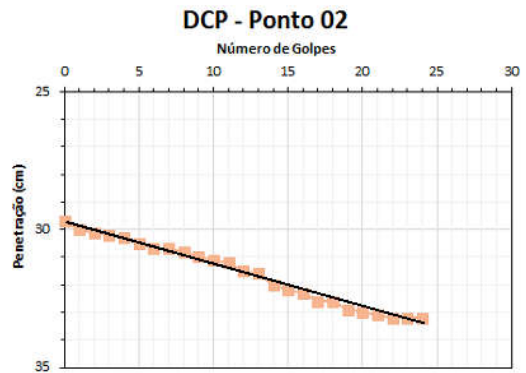
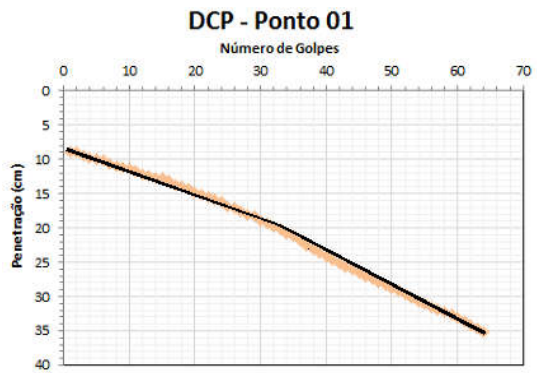
APÊNDICE C

RODOVIA: BR 242 – ANEL VIÁRIO						Data: 02/02/2017	Folha: 01
TRECHO: 01						Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						1	128
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequencia absoluta considerada	Frequencia relativa	Fator de ponderação	índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	131		102,34	0,2	20,47	
2	(FC-2) J, TB	2		1,56	0,5	0,78	
3	FC-3 (JE e TBE)	6		4,69	0,8	3,75	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	1		0,78	0,9	0,70	
5	O e P	2		1,56	1	1,56	
6	EX	30		23,44	0,5	11,71	
7	D	11		8,59	0,3	2,57	
8	R	2		1,56	0,6	0,94	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	TRE= 3,60	TRI= 4,27	F= 3,93	1 A () 1 B ()	5,24	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv= 11,89	TRIV= 4,23	FV= 8,06	2 A () 2 B ()	8,06	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n= 128	Σ IGI = IGG=			55,81	Conceito REGULAR

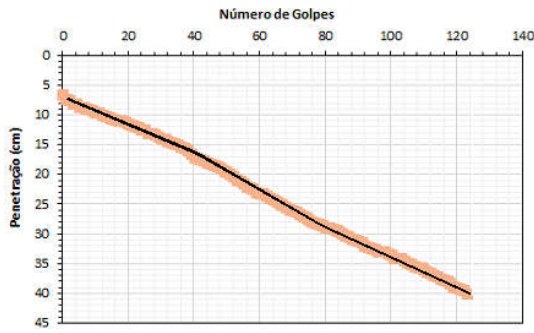
APÊNDICE D

RODOVIA: BR 242		PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)				Data: 02/02/2017	Folha: 02
TRECHO: 02						Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
SUB-TRECHO:						129	216
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequencia absoluta considerada	Frequencia relativa	Fator de ponderação	índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	51		57,95	0,2	11,59	
2	(FC-2) JE, TB	7		7,95	0,5	3,98	
3	FC-3 (JE e TBE)	8		9,09	0,8	7,27	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	58		65,91	0,9	59,32	
5	O e P	4		4,55	1	4,55	
6	EX	53		60,23	0,5	30,11	
7	D	31		35,23	0,3	10,57	
8	R	6		6,82	0,6	4,09	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	TRE= 13,51	TRI= 10,13	F= 11,82	1 A () 1 B ()	15,76	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv= 53,44	TRlv= 99,49	FV= 76,47	2 A () 2 B ()	50	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n= 88	Σ IGI = IGG=			147,23	Conceito RUIM

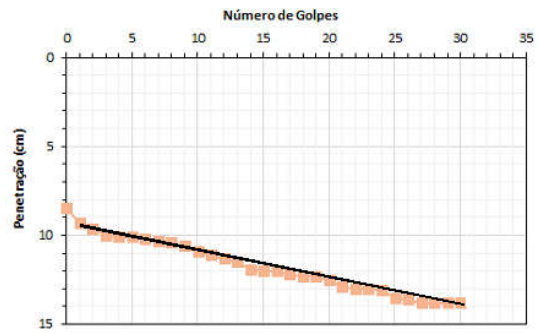
APÊNDICE E



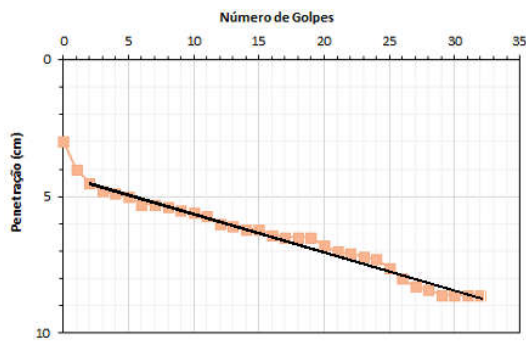
DCP - Ponto 09



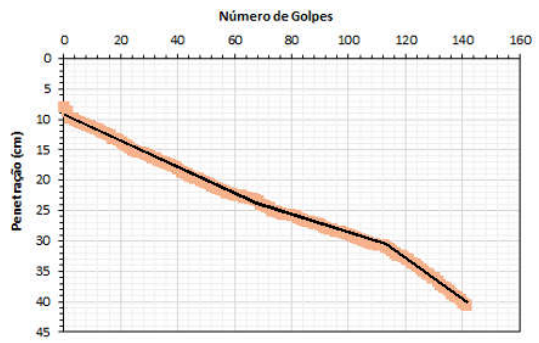
DCP - Ponto 10



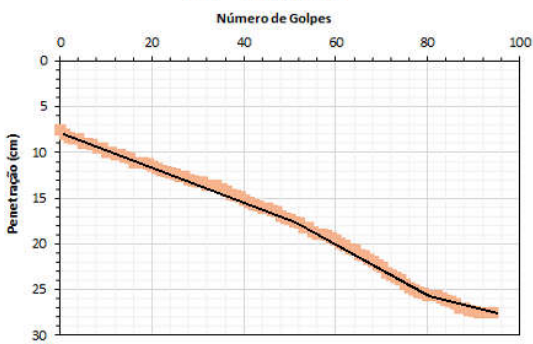
DCP - Ponto 11



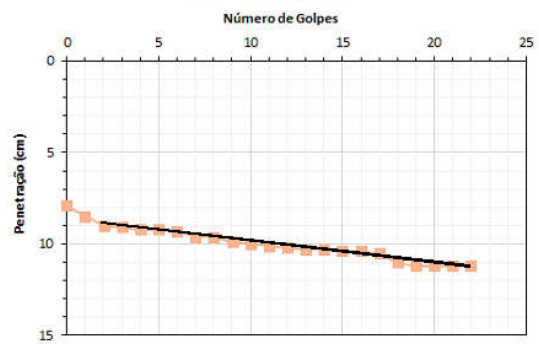
DCP - Ponto 12



DCP - Ponto 13



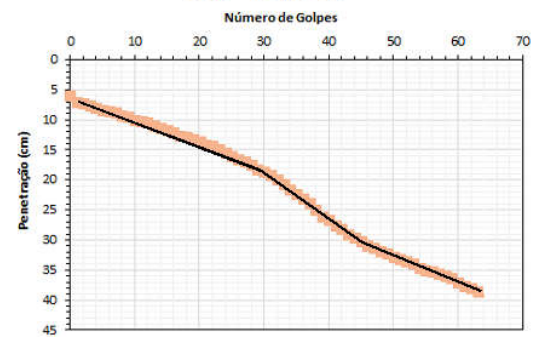
DCP - Ponto 14



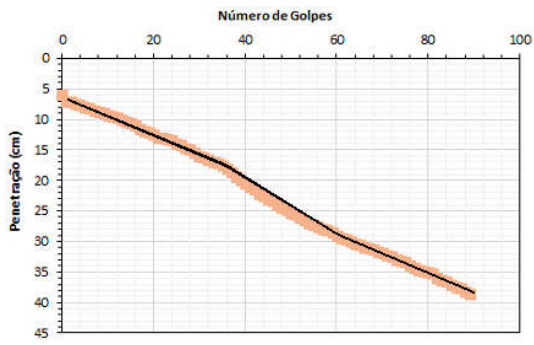
DCP - Ponto 15



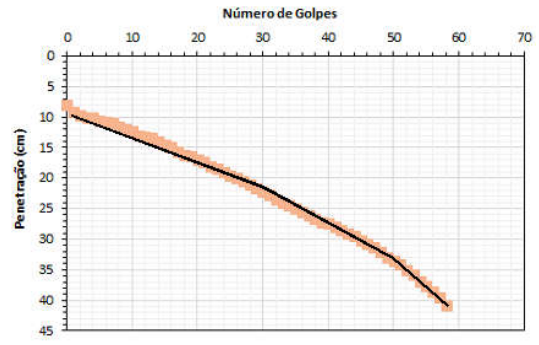
DCP - Ponto 16



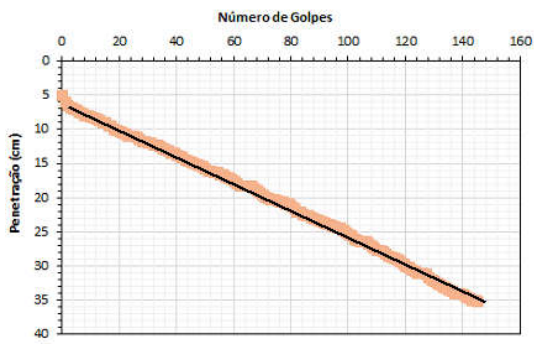
DCP - Ponto 17



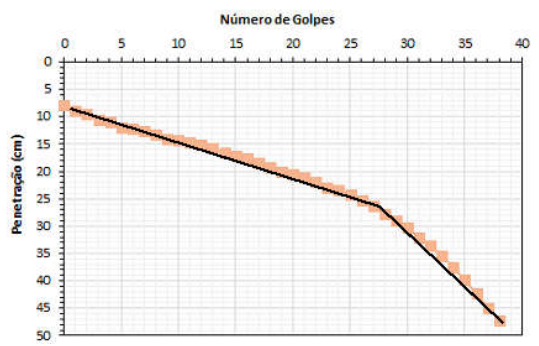
DCP - Ponto 18



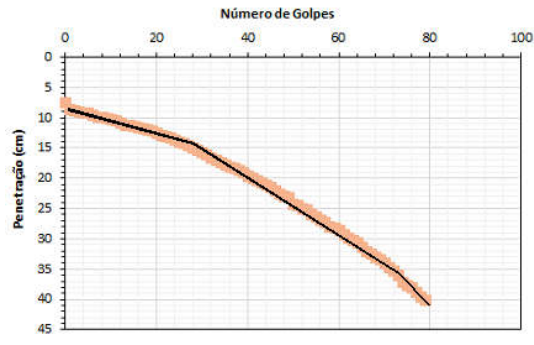
DCP - Ponto 19



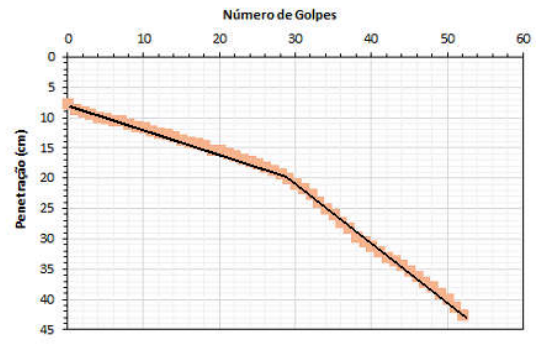
DCP - Ponto 20



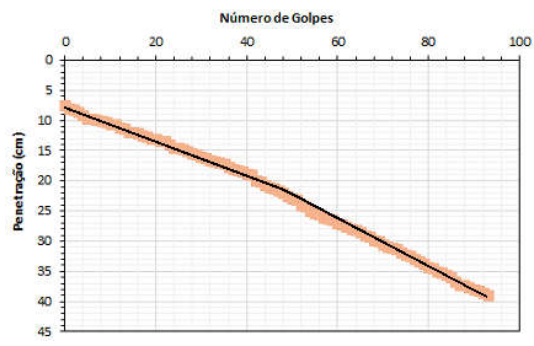
DCP - Ponto 21



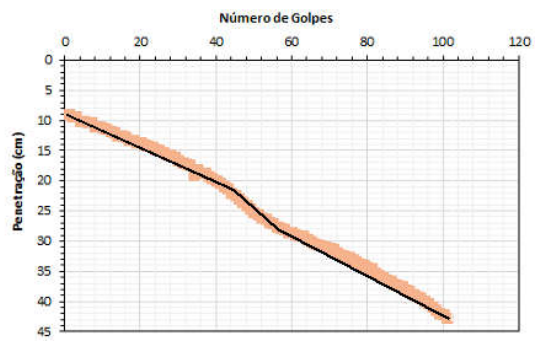
DCP - Ponto 22



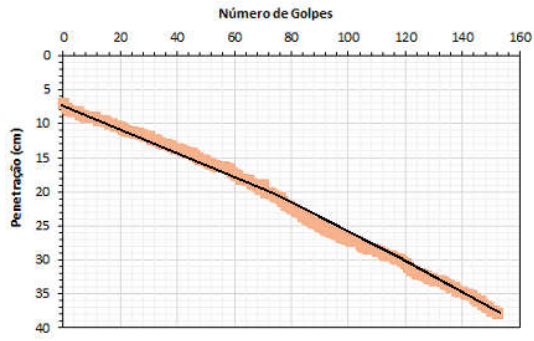
DCP - Ponto 23



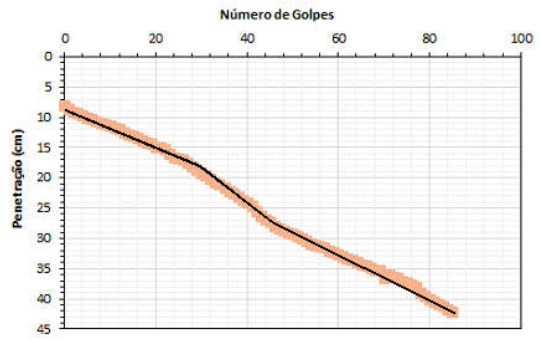
DCP - Ponto 24



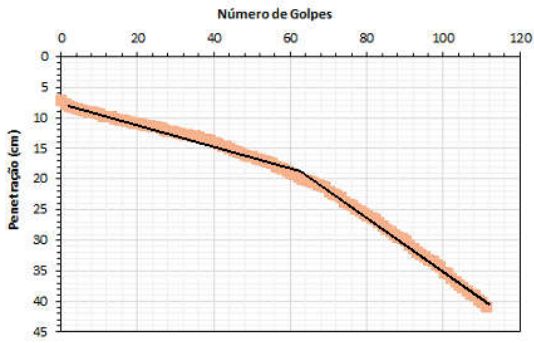
DCP - Ponto 25



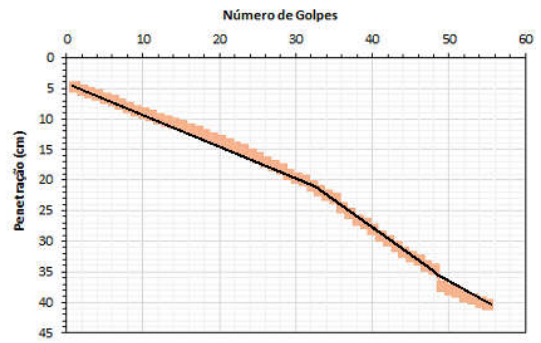
DCP - Ponto 26



DCP - Ponto 27



DCP - Ponto 28



ANEXO A

Quadro resumo dos defeitos – codificação e classificação – TER 005 (DNIT, 2003).

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3

OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P
Remendos			Remendo Superficial	RS
			Remendo Profundo	RP

ANEXO B

PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO RODOVIÁRIA DE SOLOS

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			