

**Diagnóstico de manifestações patológicas em pavimento flexível****Diagnosis of patologic manifestations in flexível pavimento**

DOI:10.34117/bjdv5n8-095

Recebimento dos originais: 14/07/2019

Aceitação para publicação: 23/08/2019

**Daniela Josefa da Silva Nascimento**

Mestre em Engenharia Civil, Professora do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
Instituição: Ceará IFCE

Endereço: Av. José de Freitas Queiroz, 5000, Quixadá-CE - CEP: 63902-580, Brasil.  
Email: daniela.silva@ifce.edu.br

**Agostinho Gomes Marinho**

Mestre em Engenharia Civil  
Instituição: Universidade de Pernambuco UPE  
Endereço: Rua Benfica, 455, Recife-PE - CEP: 50.720-001, Brasil  
E-mail: agostinhomarinho@yahoo.com.br

**João Ricardo Pereira da Silva**

Mestre em Engenharia Civil, Professor de engenharia civil  
Instituição: Faculdade Integrada de Recife FACIPE, unidade Dom Bosco  
Endereço: Rua Dom Bosco, nº 687 boa vista, Recife-Pe, Brasil  
E-mail: eng\_jrps@hotmail.com

**Esley Barboza da Silva**

Pós Graduado em Engenharia civil  
Instituição: Universidade Pernambuco UPE  
Endereço: Rua Benfica, 455, Recife-PE - CEP: 50.720-001, Brasil  
E-mail: esleyb@gmail.com

**Gustavo José Gouveia Pereira**

Engenheiro civil, Tecomat  
Endereço: Rua Serra da Canastra, 391, Cordeiro - Recife - PE, Brasil  
E-mail: gustavo@tecomat.com.br

**RESUMO**

A pesquisa desenvolvida apresenta um estudo de caso de duas vias, identificadas como Secundária 2A e Secundária 2B, executadas no interior de um condomínio de galpões e áreas de armazenamento, localizado no Município do Cabo de Santo Agostinho - PE. Apesar das vias em estudo disporem pouco tempo de utilização foi identificado danos ao longo do pavimento, conduzindo assim à necessidade de conhecimento dos fatores responsáveis. O tráfego considerado no dimensionamento do projeto originalmente concebido para execução das vias foi  $N = 5 \times 106$ , sendo então este tráfego considerado nas análises. Para avaliação das condições dos pavimentos foram realizados levantamentos deflectométricos com o uso de

equipamento do tipo FWD e abertura de janelas de inspeção. Para cada janela de inspeção foram avaliadas as camadas de reforço do subleito, sub-base e base. A camada de revestimento asfáltico não foi avaliada por apresentar-se, em muitos pontos, bastante danificada e contaminada com o solo local. Os resultados obtidos indicam a utilização de materiais de baixa qualidade e o emprego de procedimentos de execução inadequados. Estas constatações foram feitas a partir da obtenção de dados de deflexões excessivas, camadas muito espessas, reduzidos graus de compactação, elevada umidade e solo com baixa capacidade de suporte e alta plasticidade.

**Palavra Chave:** Pavimento flexível, Avaliação estrutural, Deflexões.

## ABSTRACT

The research developed here presents a case study of two routes, identified as Secondary and Secondary 2A 2B, performed inside a condominium warehouses and storage areas, located in the city of Cabo de Santo Agostinho - PE. Despite oping study dispose short term use was identified damage along the pavement, leading to the need for knowledge of the factors responsible. The traffic considered in the project design originally designed to run the routes was  $N = 5 \times 10^6$ , so this traffic being considered in the analysis. To assess the condition of the floors were made deflectométricos surveys using equipment FWD type and opening inspection windows. For each inspection window were evaluated subgrade reinforcement layers, sub-base and base. The asphalt coating layer has not been evaluated by presenting, in many places, badly damaged and contaminated with the local soil. The results indicate the use of low quality materials and the use of inadequate enforcement procedures. These findings were made from obtaining excessive deflections data, very thick layers, reduced compaction degrees, high humidity and soil with low bearing capacity and high plasticity.

**Keywords:** Flexible pavement, Structural evaluation, Deflections.

## 1. INTRODUÇÃO

A construção de um pavimento visa melhorar as condições de rolamento nos quesitos comodidade e segurança, sendo necessário para isto que o pavimento resista aos esforços a ele transmitidos e às intempéries do ambiente. De acordo com Domingues (1993), quando um pavimento compromete a segurança e conforto dos usuários, ou quando a sua estrutura está sobremodo ameaçada, é imprescindível algum tipo de reparo ou de reabilitação. O planejamento da recuperação de pavimentos requer, contudo, um diagnóstico das causas que conduziram aos danos existentes, possibilitando assim a elaboração de projetos de recuperação com maior eficiência. Esta pesquisa descreve os estudos realizados durante elaboração de diagnóstico do pavimento flexível de duas vias de acesso existentes no interior de um complexo de galpões e áreas de armazenamento em construção no Município do Cabo de Santo Agostinho – PE. Apesar das vias em estudo disporem pouco tempo de utilização foi identificado diversos danos ao longo do pavimento. A identificação dos fatores responsáveis

pelos danos será de grande importância para o planejamento da recuperação do pavimento, bem como para a prevenção de ocorrência de danos nos pavimentos a serem construídos na área estudada.

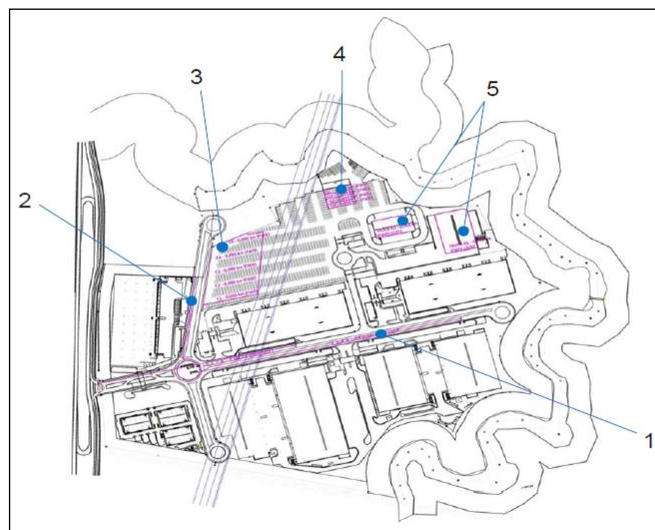
## **2. METODOLOGIA**

Estudo de caso baseado em recomendações citadas na Norma DNER (1979) Devido à presença de danos ao longo dos pavimentos estudados tais como: deformações excessivas; fissuras; e até rupturas, conduziram à necessidade de realização de levantamento deflectométricos e abertura de janelas de inspeção. O levantamento deflectométrico foi realizado com o emprego de equipamento FWD, com pontos de ensaio a cada 20m de distância ao longo da via. As janelas de inspeção foram utilizadas para a realização de ensaios de densidade in situ, determinação da umidade do solo, determinação da espessura das camadas de terraplenagem e coleta de amostras deformadas de solo. Estas amostras de solo foram conduzidas a laboratório onde foram realizados ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC), granulometria por peneiramento e limites de consistência.

## **3. ÁREA DE ESTUDO**

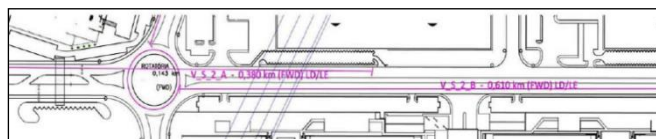
A área de estudo aqui apresentada está incluída dentro de um Condomínio de galpões e áreas destinadas a alugueis comerciais, localizado no Município do Cabo de Santo Agostinho – PE. A construção deste condomínio foi fundamentada na necessidade de armazenamento de artigos produzidos na Região Metropolitana do Recife, bem como apoiar a logística de transporte através do Porto de Suape, localizado no Município vizinho de Ipojuca – PE. O objetivo do levantamento desenvolvido por uma empresa de consultoria e projetos de pavimentação, contratada pelo Condomínio, foi mapear as condições do pavimento de 5 diferentes áreas, como apresenta a Figura 1. Estas áreas apresentavam no momento do estudo, problemas estruturais diversos no pavimento e na terraplenagem como: fissuras, trincas isoladas, placas e afundamento de consolidação. As áreas citadas apresentam projetos de pavimento diversos, a depender da finalidade do uso, sendo as Áreas 1 e 2 referentes a pavimentos flexíveis projetados como vias de acesso; Área 3 referente a pavimento flexível tendo sua área destinada ao armazenamento de containers vazios; Área 4 composta de pavimento flexível destinada ao armazenamento de containers cheios; e a Área 5, composta de pavimento de blocos de concreto intertravados, destinada ao estacionamento de caminhões. Vale destacar que, no momento do estudo aqui realizado, apenas as Áreas 1, 2 e 3 apresentavam-se com todo o pavimento finalizado já no estágio de uso. Devido aos problemas

estruturais apresentados nestas áreas, a diretoria do Condomínio decidiu por avaliar as condições de terraplenagem já executada nas demais áreas para só então avaliar a finalização destas obras, ciente de que poderia assim já haver a proposta de recuperação da terraplenagem. Todo o solo utilizado na terraplenagem das camadas do pavimento foi proveniente de áreas de corte localizadas no interior do próprio condomínio, realizando assim a compensação corte-aterramento. A escolha do solo utilizado foi baseada na redução de custos e na agilidade devido à disponibilidade de material existente dentro do próprio condomínio. Destaca-se, no entanto, a baixa qualidade do solo local para finalidade de execução de camadas de reforço do subleito e sub-base do pavimento.



**Figura 1** – Áreas envolvidas no estudo do Condomínio

Para apresentação desta pesquisa, foi tomada como referência apenas a Área 1, identificada como Via Secundária 2A e Via Secundária 2B, conforme apresenta a Figura 2.



**Figura 2** – Área 1 estudada nesta pesquisa (Via Secundária 2A e Via Secundária 2B)

Durante o período da realização deste estudo o pavimento identificado como Via Secundária 2A, encontrava-se com as atividades de execução do pavimento paralisadas, estando concluída parcialmente com apenas 380m de comprimento finalizado com camada de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). A retomada das atividades nesta Via estava

dependente do diagnóstico a ser apresentado neste estudo. Toda a Via Secundária 2A foi projetada com extensão de 820m. A Via Secundária 2B, no momento do levantamento aqui apresentado encontrava-se com todo o pavimento flexível já executado, sendo já finalizada a camada de CBUQ. Esta Via, contudo, mesmo com o curto período de tempo em operação (aproximadamente 6 meses), apresentava-se com graves problemas estruturais, tendo inclusive em alguns pontos, todo o seu revestimento de CBUQ já removido devido às grandes deformações ocorridas. De um total de 820m de comprimento, esta Via teve 610m submetidos a esta inspeção.

#### **4. RESULTADO E DISCUSSÕES**

Devido à existência de rupturas prematuras presentes ao longo de toda a via estudada, foram realizados ensaios deflectométricos com o FWD bem como abertura de poços de inspeção para realização de ensaios de densidade *in situ*, determinação da umidade do solo e coletas de amostras deformadas de solo. Estas amostras de solo foram armazenadas em sacos plásticos, identificadas e encaminhadas para laboratório onde foram realizados ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC), granulometria por peneiramento e limites de consistência. O levantamento deflectométrico e os ensaios realizados nas janelas de inspeção e nas amostras de solo foram posteriormente avaliados conjuntamente. Com base no Projeto de Pavimentação apresentado pela Empresa que projetou o pavimento, o tráfego considerado no dimensionamento do pavimento foi de  $N = 5 \times 10^6$ .

##### **4.1 LEVANTAMENTO DEFLECTOMÉTRICO**

A determinação das deflexões foi realizada utilizando-se o deflectômetro de impacto do tipo *Falling Weight Deflectômetro* (FWD). Os procedimentos utilizados no levantamento das deflexões em campo foram adotados de acordo com a Norma DNER (1996). Os pontos de ensaio com o FWD foram escolhidos ao longo de cada Via estudada. Estes pontos foram escolhidos com espaçamento de 20m. Estes pontos foram nomeados de Estaca com numerações de 0 a 19, no caso da Via Secundária 02A, e numerações de 0 a 31 no caso da Via Secundária 02B. As medidas das bacias de deflexões recuperáveis foram realizadas em faixas alternadas. As deflexões máximas no centro da aplicação da carga foram utilizadas para definição dos segmentos homogêneos. Após definidos os pontos de aplicação de carga com o FWD, para medidas da deflexão, estes pontos foram demarcados ao longo da via, com suas respectivas identificações, conforme apresentam as Figuras 3 e 4.



**Figura 3** – Realização do levantamento deflectométrico



**Figura 4** – Realização do levantamento

#### 4.2 DEFLEXÃO ADMISSÍVEL X DEFLEXÃO MEDIDA COM FWD

A partir do número N, foi determinada a deflexão máxima admissível, de acordo com as equações propostas pelas normas citadas a seguir:

- DNER (1979):  $\text{Log } D_{\text{adm}} = 3,01 - 0,176 \text{ Log } N$ ;
- DNER (1994b):  $\text{Log } D_{\text{adm}} = 3,148 - 0,188 \text{ Log } N$ .

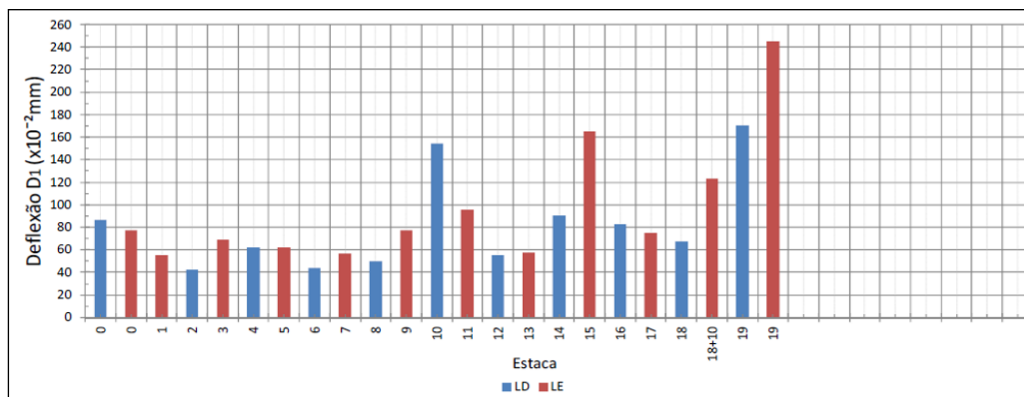
O Quadro 1 apresenta uma síntese dos parâmetros utilizados na avaliação do pavimento estudado e a Deflexão Admissível, de acordo com as normas já citadas.

**Quadro 1** – Parâmetros utilizados na avaliação

Trecho	Volume Médio Diário (VMD)		Fator de Equivalência	Deflexão admissível (x 10 <sup>-2</sup> mm)	
	1º ano	10º ano		Norma DNER-PRO 011/79	Norma DNER-PRO 269/94
Acesso Principal	2.750	4.702	1,60 E+08	38	40

De acordo com a empresa responsável pela recuperação do pavimento, a Deflexão Admissível será aquela proposta pela Norma DNER (1994):  $D_{adm} = 40 \times 10^{-2}$  mm.

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam, respectivamente, o gráfico das deflexões obtidas em campo, o histograma de distribuição definidos através do agrupamento das deflexões recuperáveis, e a Deflexão média para cada intervalo definido pelo histograma de deflexões, todos referentes à Via Secundária 02A.



**Figura 5** – Gráfico das deflexões obtidas em campo para a Via Secundária 02A

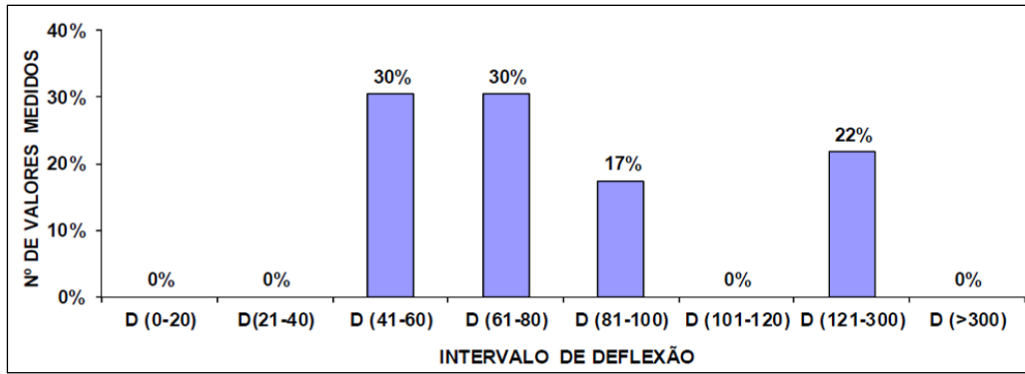


Figura 6 – Histograma de distribuição das deflexões medidas na Via Secundária 02ª

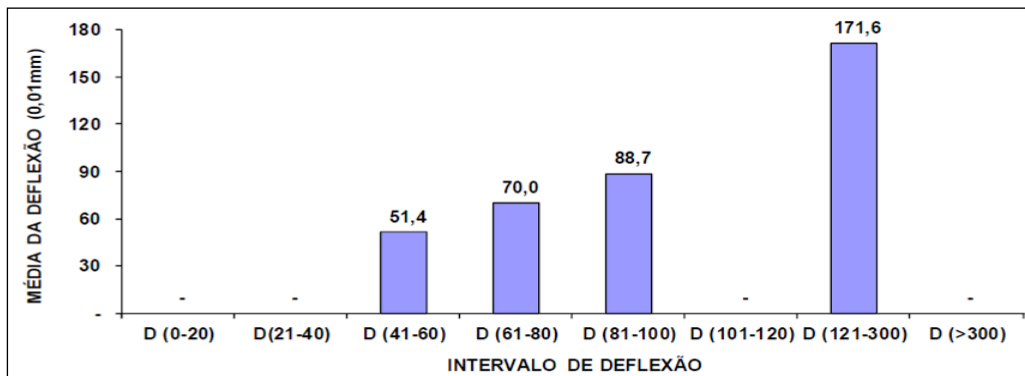


Figura 7 – Deflexão média por intervalo de deflexões – Via Secundária 02 A

De acordo com os gráficos apresentados acima, em torno de 78,26% das deflexões apresentam valores abaixo de  $100 \times 10^{-2}$  mm e 60,87% das deflexões apresentam valores abaixo de  $80 \times 10^{-2}$  mm. As Figuras 8, 9 e 10 apresentam, respectivamente, o gráfico das deflexões obtidas em campo, o histograma de distribuição definidos através do agrupamento das deflexões recuperáveis, e a Deflexão média para cada intervalo definido pelo histograma de deflexões, todos referentes à Via Secundária 02B.

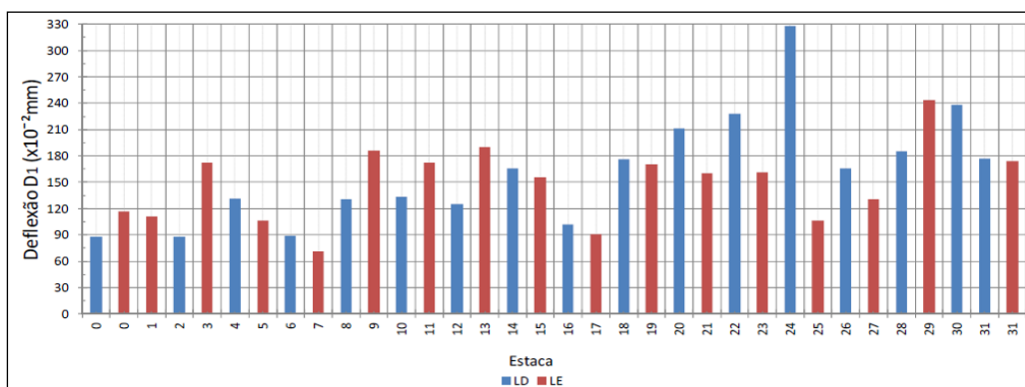
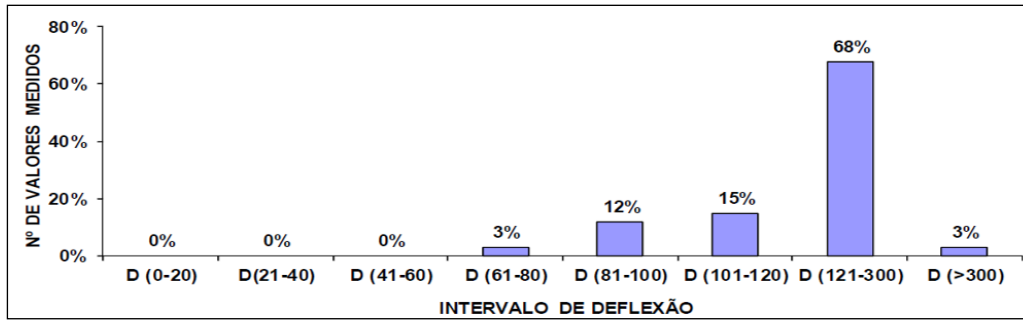
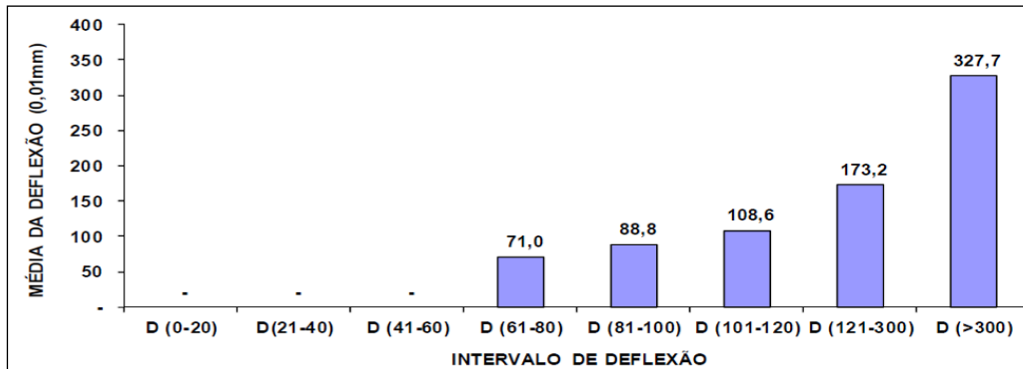


Figura 8 – Gráfico das deflexões obtidas em campo para a Via Secundária 02B





**Figura 9** – Histograma de distribuição das deflexões recuperáveis medidas na Via Secundária 02B



**Figura 10** – Deflexão média por intervalo de deflexões – Via Secundária 02 B

De acordo com os gráficos apresentados acima, aproximadamente 29,41% das deflexões apresentam valores abaixo de  $120 \times 10^{-2}$  mm, 14,71% apresentam valores abaixo de  $100 \times 10^{-2}$  mm e apenas 2,94% das deflexões apresentam valores abaixo de  $80 \times 10^{-2}$  mm.

Com o objetivo de conhecer as características físicas dos materiais utilizados nas camadas de terraplenagem, foram realizadas janelas de inspeção, com dimensões aproximadas de 1,00 x 1,00m (largura x comprimento), a profundidade destas janelas apresentaram-se em dimensões variadas a depender da espessura das camadas de terraplenagem e, da umidade do solo local. O Projeto de Pavimentação apresentado pela Empresa que projetou o pavimento indicava a composição das camadas conforme ilustrado na Figura 11.



**Figura 11** – Composição do pavimento conforme o Projeto

Fonte: Magalhães (2012)

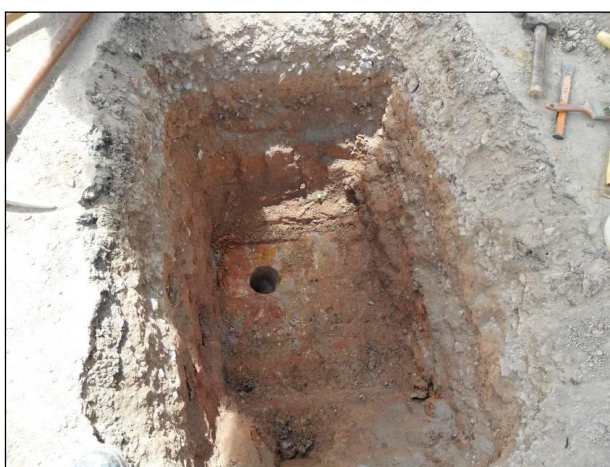
Ao realizar as janelas de inspeção em campo, foi verificado que, muitas das camadas avaliadas, apresentavam espessuras superiores àquelas indicadas no projeto do pavimento. As espessuras verificadas nas janelas de inspeção foram então anotadas para posterior avaliação. Para cada uma das camadas verificadas nas janelas de inspeção, foi anotada a espessura da camada, realizados ensaios de densidade *in situ* e verificada a umidade do solo. Amostras do material utilizado nas camadas foram também coletados e encaminhados a laboratório onde foram realizados ensaios. As Figuras 12, 13, 14 e 15 apresentam fotografias da realização da inspeção em cada uma das janelas estudadas, sendo assim observadas a medição das camadas e a realização dos ensaios de densidade *in situ*.



**Figura 12** – Janela de Inspeção localizada na Estaca 09



**Figura 13** – Verificação da espessura da camada na Janela



**Figura 14** – Janela de Inspeção localizada na Estaca 10



**Figura 15** – Janela de Inspeção localizada na Estaca 30

O Quadro 02 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de campo e laboratório, bem como a espessura de cada uma das camadas executadas e ensaiadas.

Quadro 02 – Resultados dos ensaios realizados em campo e laboratório

LOCALIZAÇÃO DA JANELA	CAMADA	PROFUNDIDADE DA CAMADA (cm)	GRANULOMETRIA							LIMITES DE CONSISTÊNCIA (%)			CLASSIFICAÇÃO TRB	COMPACTAÇÃO		IND. SUP.		DENSIDADE "IN SITU"		
			PESO PASSANDO NAS PENEIRAS (%)							LL	LP	IP		DENS. AP. SECA MÁX. (kg/m <sup>3</sup> )	UMID. ÓTIMA (%)	CBR (%)	EXP. (%)	DENS. AP. SECA DE CAMPO (kg/m <sup>3</sup> )	UMID. SPEEDY (%)	GC (%)
			2*	1*	3/8*	n°4	n°10	n°40	n°200											
Estaca 9 (VIA DE ACESSO 02A)	BASE	8-23	100,0	100,0	88,8	53,0	31,1	13,0	6,5	NL	NP	-	A-1-A	2.066	6,9	179,0	0,0	2.062	8,8	99,8
	SUB-BASE	23-38	100,0	100,0	69,6	60,5	47,7	39,5	29,6	NL	NP	-	A-2-4	2.078	8,1	139,9	0,0	2.025	9,4	97,4
	3ª MS	38-58	100,0	74,4	63,5	60,4	56,0	33,4	24,0	25	22,4	2,6	A-2-4	2.016	8,4	6,3	0,0	1.987	9,2	98,6
	2ª MS	58-78	100,0	100,0	99,6	99,1	96,7	58,8	43,9	33,2	25,4	7,8	A-4	1.904	9,7	2,8	3,3	1.823	16,0	95,7
	1ª MS	78-93	100,0	100,0	100,0	99,7	98,0	65,7	50,7	39,6	30,1	9,5	A-4	1.880	11,3	2,8	4,4	1.777	16,2	94,5
Estaca 18+10 (VIA DE ACESSO 02A)	BASE	7 a 22	100,0	97,7	88,8	85,1	79,8	61,0	44,8	NL	NP	-	A-4	2.119	5,8	153,3	0,0	2.028	10,0	95,7
	SUB-BASE	22 a 42	100,0	100,0	90,6	86,2	79,7	45,5	32,7	43,6	22,4	21,2	A-2-7	2.037	7,3	19,4	1,7	1.966	12,0	96,5
	3ª MS	40 a 60	100,0	100,0	99,5	98,5	94,2	57,7	43,5	42,8	26,6	16,2	A-7	1.886	11,6	5,7	1,5	1.801	15,6	95,5
	2ª MS	60 a 80	100,0	100,0	96,2	89,7	85,2	81,7	76,7	52,2	43	9,2	A-5	1.545	10,8	10,7	2,1	CAMADA MUITO ÚMIDA		
ESTACA 10 (VIA DE ACESSO 02B)	BASE	7-27	100,0	91,5	49,4	39,2	29,0	18,2	11,5	NL	NP	-	A-1-A	2.099	8,9	71,6	0,1	2.029	8,2	96,7
	SUB-BASE	22-42	100,0	94,1	84,8	81,3	76,9	68,3	59,7	34,6	28,2	6,4	A-4	1.921	10,9	5,4	1,5	1.902	11,0	99,0
	3ª MS	27-47	100,0	99,1	83,2	77,5	71,6	58,6	42,0	39,0	27,5	11,5	A-6	1.961	9,8	11,4	0,9	1.920	20,5	97,9
	2ª MS	47-77	100,0	100,0	100,0	99,1	97,3	87,3	73,9	31,9	24,8	7,1	A-4	1.870	11,9	16,5	0,1	1.805	21,0	96,5
	1ª MS	77-100	100,0	100,0	99,7	99,1	98,0	87,3	78,4	49,9	41,6	8,3	A-5	1.449	19,6	3,7	4,7	1.450	24,0	100,1
ESTACA 20 (VIA DE ACESSO 02B)	BASE	16-31	100,0	91,9	71,4	65,2	59,3	33,2	19,1	NL	NP	-	A-2-4	2.114	8,1	120,7	0,2	1.948	8,0	92,1
	SUB-BASE	31-47	100,0	100,0	92,3	86,7	75,5	53,1	41,9	37,8	29,4	8,4	A-4	1.754	12,5	2,6	7,0	1.626	17,4	92,7
	3ª MS	47-71	100,0	100,0	99,1	91,4	86,9	84,5	80,4	47,8	41,8	6,0	A-5	1.393	23,1	12,2	1,3	1.314	18,0	94,3
	2ª MS	71-91	100,0	100,0	99,8	99,2	98,4	96,5	92,2	58,7	46	12,7	A-7	1.429	24,6	4,2	5,1	1.360	26,8	95,2
	1ª MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CAMADA SATURADA	
ESTACA 30 (VIA DE ACESSO 02B)	BASE	0-13	100,0	79,6	42,4	34,4	25,1	9,8	5,7	NL	NP	-	A-1-A	2.140	4,2	147,1	0,9	CAMADA SATURADA		
	SUB-BASE	13-53	100,0	100,0	99,4	99,0	98,1	63,8	49,7	39,7	27,6	12,1	A-6	1.945	9,5	26,9	1,8			
	3ª MS	53-68	100,0	100,0	94,7	90,3	85,1	32,6	12,0	30,7	24,9	5,8	A-2-4	1.860	12,5	15,0	0,4			
	2ª MS	68-88	100,0	100,0	99,9	99,6	99,3	93,9	82,9	42,1	19,8	22,3	A-7-6	1.736	14,9	16,5	0,8			
	1ª MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com as medições de deflexões em campo verifica-se que todos os pontos de ensaio, tanto na Via de Acesso 02A, como na Via de Acesso 02B, apresentaram deflexões superiores à Deflexão Máxima Admissível ( $D_{adm}$ ). De acordo com as recomendações do Projeto de Recuperação do Pavimento, e com a Norma DNER (1994b), a  $D_{adm}$  é igual a  $40 \times 10^{-2}$  mm. Os gráficos apresentados nas Figuras 15 e 18 indicam o estudo estatístico realizado com as deflexões medidas em campo para as Vias de Acesso 02A e 02B, respectivamente. A avaliação estrutural através do Deflectômetro de Impacto FWD indicou que as estruturas

executadas estão com deslocamentos verticais (deflexões) excessivos. Os projetos modernos de pavimentação visam não somente determinar a resistência dos materiais, mas também limitar as deformações e tensões de tração que podem causar a fadiga do revestimento e o aparecimento de fissura precocemente. Portanto, o controle rigoroso das deflexões deverá minimizar os riscos de ruptura prematura do revestimento e de camadas cimentada. A estrutura existente não suportará o tráfego previsto, podendo ocorrer a ruptura precoce, fato este inclusive já observado em alguns pontos da Via. O Quadro 03 apresenta o resumo das deflexões máximas obtidas para o sensor localizado no centro de carga. Verifica-se que as deflexões são elevadas para o tipo de pavimento e a carga prevista.

**Quadro 03** – Resumo estatístico das Deflexões medidas com o FWD

<b>Via</b>	<b>Medidas das Deflexões (x 10<sup>-2</sup> mm)</b>	<b>Desvio Padrão das Deflexões (x 10<sup>-2</sup> mm)</b>	<b>Deflexão Característica (x 10<sup>-2</sup> mm)</b>	<b>Numero de ensaios realizados</b>
Acesso 02A	89,7	50,1	139,8	23
Acesso 02B	155,3	54,3	209,6	34

As Deflexões Características (Média + Desvio Padrão) para as Vias de Acesso 02A e 02B indicam que a estrutura apresenta deformabilidade incompatível com o tráfego previsto. Em todas as situações e trechos estudados as deflexões estão muito além dos valores esperados para as estruturas e materiais empregados. Essa conclusão enseja a possibilidade de deficiência de compactação dos materiais. Os reflexos será a ruptura precoce da camada asfáltica que não tem capacidade de suportar as deformações excessivas identificadas nos ensaios. Para cada uma das camadas do pavimento, foram analisados os resultados dos ensaios apresentados no Quadro 04, fazendo assim a comparação com os valores admissíveis apresentados pelas normas e pelo projeto de pavimentação. De acordo com o Projeto do Pavimento elaborado para a referida obra, esta camada deveria ser realizada com espessura de 15 cm, apresentando o material as qualidades exigidas na Norma DNIT (2010c), com granulometria da mistura enquadrando-se na Faixa B da referida norma. O Projeto indicou também a necessidade de execução desta camada de acordo com as recomendações da norma citada. Após abertura das janelas de inspeção e realização dos ensaios de compactação (energia modificada), ISC

(energia modificada), granulometria por peneiramento e limites de consistência, foi avaliada a qualidade do material de acordo com as recomendações da norma de referência. Os resultados obtidos foram sintetizados e apresentados no Quadro 04.

**Quadro 04** – Avaliação da camada de Base de acordo com a Norma DNIT (2010c)

Localização da Janela	Ensaio realizado (Critério de aceitação)						Situação
	ISC (>80%)	Granulom. (Faixa B)	LL (< 25%)	IP (< 6%)	Expansão (< 0,5%)	Grau de compact. (> 100%)	
Estaca 9 (Acesso 02A)	179,0	Faixa B	NL	NP	0,0	99,8	Grau de comp. inferior ao recomendado.
Estaca 18+10 (Acesso 02A)	153,3	Faixa B	NL	NP	0,0	95,7	Grau de comp. inferior ao recomendado.
Estaca 10 (Acesso 02B)	71,6	Faixa B	NL	NP	0,1	96,7	ISC e Grau de comp. inferior ao recomendado.
Estaca 20 (Acesso 02B)	120,7	Faixa B	NL	NP	0,2	92,1	Grau de compactação inferior ao recomenda
Estaca 20 (Acesso 02B)	147,1	Faixa B	NL	NP	0,9	*	Expansão superior ao recomendado.*Camada saturada.

Conforme registros do controle de execução da obra, a camada de sub-base de solo-brita foi realizada com mistura de solo local na proporção de 85%, com 15% de brita. As camadas de Sub-base de solo-brita, de maneira geral, não atendem às especificações citadas na Norma DNIT (2010b), conforme indica o Quadro 05.

Quadro 05 – Avaliação da camada de Sub-base de acordo com a Norma DNIT (2010b)

Localização da Janela	Ensaio realizado (Critério de aceitação)				Situação
	ISC (>20%)	Índice de Grupo (= 0)	Expansão (< 1,0%)	Grau de compact. (> 100%)	
Estaca 9 (Acesso 02A)	139,9	0	0,0	97,4	Grau de comp. inferior ao recomendado.
Estaca 18+10 (Acesso 02A)	19,4	0	1,7	96,5	ISC e Grau de comp. inferior ao recomendado. Expansão superior ao recomendado.
Estaca 10 (Acesso 02B)	5,4	5	1,5	99,0	ISC e Grau de comp. inferior ao recomendado. Expansão e Índice de Grupo superior ao recomendado.
Estaca 20 (Acesso 02B)	2,6	1	7,0	92,7	ISC e Grau de comp. inferior ao recomendado. Expansão e Índice de Grupo superior ao recomendado.
Estaca 20 (Acesso 02B)	26,9	3	1,8	*	ISC inferior ao recomendado. Expansão e Índice de Grupo superior ao recomendado. * Camada saturada.

As três camadas de reforço do sub-leito (MS) foram avaliadas de acordo com a Norma DNIT (2010a). De acordo com os parâmetros obtidos nos ensaios, verifica-se que o solo apresenta no geral baixa capacidade de suporte (baixo ISC), e variados resultados de expansão, conforme apresenta o Quadro 06. O solo utilizado nestas camadas é de origem local, contudo obtido de diferentes profundidades, sem a ocorrência de um rígido controle na sua seleção antes da execução da compactação. Verificou-se no geral que as camadas apresentavam umidade elevadas, estando, em alguns pontos, a camada totalmente saturada. Foram observados também baixos valores para o grau de compactação em diferentes pontos.

Quadro 06 – Avaliação das camadas de reforço do sub-leito de acordo com a Norma DNIT (2010a)

Localização da Janela	Camada	Ensaio realizado (Critério de aceitação)			Situação
		ISC (> 10%)	Expansão (< 2,0%)	Grau de compact. (> 100%)	
Estaca 9 (Via de Acesso 02A)	3ª MS	6,3	0,0	98,6	Camadas com ISC e Grau de Comp. inferiores ao recomendado em norma. Expansão para as 2ª e 3ª camadas superiores ao recomendado.
	2ª MS	2,8	3,3	95,7	
	1ª MS	2,8	4,4	94,5	
Estaca 18+10 (Via de Acesso 02A)	3ª MS	5,7	1,5	96,5	3ª camada com ISC e Grau de Comp. baixos. 2ª camada com expansão e Grau de Comp. baixos.
	2ª MS	10,7	2,1	95,5	
	1ª MS	-	-	-	Camada muito úmida.
Estaca 10 (Via de Acesso 02B)	3ª MS	11,4	0,9	97,9	3ª e 2ª camadas com Grau de Comp. baixos. A 1ª camada apresentou valores para o ISC e a expansão em desacordo com as recomendações.
	2ª MS	16,5	0,1	96,5	
	1ª MS	3,7	4,7	100,1	
Estaca 20 (Via de Acesso 02B)	3ª MS	12,2	1,3	94,3	As camadas apresentaram todos os índices em desacordo com a Norma.
	2ª MS	4,2	5,1	95,2	
	1ª MS	-	-	-	Camada saturada.
Estaca 20 (Via de Acesso 02B)	3ª MS	15,0	0,4	-	O material atende aos parâmetros exigidos para o ISC e a expansão, contudo a camada apresentou-se saturada.
	2ª MS	16,5	0,8	-	
	1ª MS	-	-	-	Camada saturada.



## 6. CONCLUSÕES

O controle rigoroso das deflexões durante o período de execução das camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico deve sempre ser realizado de forma a identificar possíveis problemas em tempo hábil de correção e/ou adoção de possíveis ajustes ao projeto do pavimento executado. Estes procedimentos visam minimizar os riscos de ruptura prematura do pavimento, promovendo assim uma maior vida útil. Conforme recomendações do DNIT, estes procedimentos podem ser adotados com baixo custo para a obra, podendo ser realizado através de controle deflectométrico com a Viga *Benkelman*.

Os pavimentos flexíveis aqui estudados indicam que a estrutura existente não suportará o tráfego previsto com ruptura precoce, fato este, inclusive já observado em alguns pontos da via. Durante a abertura das janelas de inspeção, verificou-se a baixa resistência da camada de revestimento, podendo esta ser removida facilmente com o uso de pá e picareta como apresentado na Figura 24.

De maneira geral, as deflexões excessivas estão diretamente relacionadas com vícios construtivos devido à qualidade dos materiais empregados (solos, misturas estabilizadas granulometricamente e Concreto Betuminoso a Quente), deficiência de compactação e desrespeito ao controle da umidade dos materiais utilizados nas camadas de terraplenagem.

Os valores de ISC dos materiais ensaiados estão, no geral, abaixo do recomendado em projeto e nas Especificações do DNIT, sendo este fato observado nas camadas de base, sub-base e reforço do subleito. Os materiais da sub-base e camadas de reforço do sub-leito apresentam, no geral, excesso de finos e elevados índices de expansão, que ao entrar em contato com a água apresenta perda de resistência e deformações plásticas excessivas.

Muitos dos ensaios de densidade *in situ* (realizados pelo método do frasco de areia) indicam camadas com espessuras elevadas, graus de compactação baixos e umidades elevadas, refletindo problemas no processo executivo. Estes dados obtidos nos ensaios de densidade *in situ* indicam grandes perspectivas do pavimento apresentar ao longo de sua vida útil baixa estabilidade volumétrica, baixa resistência à compressão, elevada permeabilidade e elevada deformabilidade.

## REFERÊNCIAS

- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L.M .G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES,J.B. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Petrobras, ABEDA, Rio de Janeiro, 2007.
- BORGES, C. B. S. **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com Viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina**. Dissertação de mestrado, UFSC, Florianópolis, 2001.
- DNER. **Procedimento PRO 011/79 - Avaliação estrutural de pavimentos flexíveis**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro/RJ, 1979.
- DNER. **Método de Ensaio ME 024/94 - Determinação das Deflexões no Pavimento pela Viga Benkelman**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro/RJ, 1994a.
- DNER. **Procedimento PRO 269/94 - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro/RJ, 1994b.
- DNER. **Procedimento PRO 273/96 - Determinação de Deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo “Falling Weight Deflectometer” – FWD**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro/RJ, 1996.
- DNIT. **Manual de Pavimentação**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 3. ed. – Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT. **Especificação de Serviço ES 137/2010 - Pavimentação – Regularização do subleito**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Rio de Janeiro/RJ, 2010a.
- DNIT. **Especificação de Serviço ES 139/2010 - Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Rio de Janeiro/RJ, 2010b.
- DNIT. **Especificação de Serviço ES 141/2010 - Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Rio de Janeiro/RJ, 2010c.
- DOMINGUES, F. A. A. **MID – Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos**. 1ª ed. São Paulo – SP, 1993.

MACÊDO, J. A. G. **Interpretação de Ensaio Deflectométricos para Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis.** Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1996.

MAGALHÃES, S. T. **Relatório de Diagnóstico de Pavimentos Flexíveis.** Empresa de Consultoria PDCA Engenharia Ltda. Recife/PE, 2012.