

Elaboração de levantamentos deflectométricos utilizando o FWD (Falling Weight Deflectometer) e estudos de retroanálise do pavimento com ensaios complementares de laboratório na Rodovia BR-232 – Lote II (Recife/Caruaru) – km 71,5 ao km 129,9

**Edson Martins da Silva – edson_msilva@hotmail.com
Engenharia Rodoviária
Instituto de Pós-Graduação - IPOG
Jaboatão dos Guararapes, PE, 27/08/2022**

Resumo

O presente trabalho baseia-se no estudo de levantamentos deflectométricos utilizando o FWD (Falling Weight Deflectometer), bem como na apresentação de estudos de retroanálise do pavimento com ensaios complementares de laboratório na Rodovia BR-232 – Lote II (Recife/Caruaru) – km 71,5 ao km 129,9 realizado em junho/2008. Esta pesquisa teve como objetivo identificar possíveis problemas estruturais ocorridos no pavimento da referida rodovia, bem como apresentar soluções eficazes caso esta hipótese venha a ser confirmada. A pesquisa foi desenvolvida em cima do método com o equipamento chamado FWD (Deflectômetro de impacto modelo 8002, onde foram coletados os dados de deflexões recuperáveis ao longo da rodovia, bem como utilizados equipamentos para ensaios em campo e laboratório. Também foram coletadas várias amostras para a realização dos referidos ensaios e para referência normativa foram utilizadas as normas da ABNT e DNIT. No referida pesquisa, de acordo com os resultados encontrados, há a ocorrência de problemas nas palacas de concreto de cimento Portland da rodovia.

Palavras-chave: Levantamento deflectométrico. BR-232. ABNT. DNIT. Cimento portland

1. Introdução

A BR-232 interliga a capital (Recife), o Agreste e o Sertão do Estado, até o encontro com a BR-316, no município de Parnamirim. Por ser usada no transporte de cargas entre Recife e os estados do Piauí, Maranhão, Tocantins e oeste da Bahia, é considerada uma das mais importantes rodovias federais em Pernambuco. Licitada por meio das Concorrências nº 001/2000 e nº 1873/2000, a obra custeada em parte com recursos oriundos da venda da Celpe, teve início em agosto de 2000, no governo de Jarbas Vasconcelos, com apoio do Governo Federal, e sob a responsabilidade do Departamento de Estradas de Rodagem de Pernambuco (DER) e do Departamento Nacional de Estradas de Rodagens (DNER).

A restauração e duplicação ocorreram pela importância da rodovia para o Estado e devido ao esgotamento da capacidade de tráfego no local. Entretanto, somente veio a ser concluída em outubro de 2007, devido a uma série de atrasos no cronograma. Além da duplicação das pistas, a obra incluiu a construção de viadutos;

da ponte Cascavel, com 50m de altura e 450m de extensão; e do túnel Plínio Pacheco, com 374m de comprimento.

O impacto observado com a duplicação da BR-232 não se restringiu apenas a questões de mobilidade. Um grande ganho social foi observado a partir de sua implementação. Em Caruaru, apenas entre 2001 e 2005, a quantidade de empresas instaladas nos distritos industriais cresceu 104,8% e a área ocupada, nesses locais, aumentou 139%. Em Bezerros, o crescimento registrado foi de 42%.

Os resultados também favoreceram o emprego no setor industrial da região, repercutindo um incremento de 97% em Caruaru e de 23% em Bezerros, na rede hoteleira, na abertura de restaurantes, construção de condomínios, expandindo o comércio e o turismo local, e garantindo mais receita aos municípios da região.

Para a pesquisa em tela, a Rodovia BR-232, entre Gravatá e Caruaru, subtrecho entre os km 71,5 e km 129,9, foi dividido em dois lotes de Supervisão:

- Lote 5: km 71,5 – km 114,9 (Gravatá – Rio Bitonho)
- Lote 6: km 114,9 – km 129,9 (Rio Bitonho – Caruaru)

Considerando a avaliação estrutural dos pavimentos o Lote 5 foi subdividido nos seguintes segmentos, nos sentidos Gravatá – Caruaru e Caruaru – Gravatá:

- 5.1 Lado Direito: km 71,5 (placa 1) – km 86 (placa 1980);
- 5.1 Lado Esquerdo: km 71,5 (placa 1) – km 86 (placa 920);
- 5.2 Lado Direito: km 86 (placa 1980) – km 114,9 (placa 6745);
- 5,2 Lado Esquerdo: km 86 (placa 920) – km 101,6 (placa 1148).

Para o Lote 6, na pista do lado direito (Rio Bitonho – Caruaru), foi construído, entre os km 127,9 e 129,9, um overlay de placas de concreto sobre o pavimento em concreto asfáltico existente. Daí a divisão desse lote em dois segmentos:

- 6.1 Lado Direito: km 114,9 (placa 1) – km 115,3 (placa 66);
km 127,5 (placa 67) – km 127,9 (placa 132);
- 6.2 Lado Direito: km 127,9 (placa 133) – km 129,9 (placa 5720).

Quanto aos serviços de campo, foram realizadas as seguintes etapas:

- Levantamento deflectométrico com o FWD, nas placas de concreto e nos acostamentos e segmentos restaurados com pavimento composto;
- Sondagens, densidades “in situ” e coletas de amostras nos acostamentos;
- Sondagens rotativas para extração de corpos de prova no centro das placas e nas bordas externas sobre as juntas transversais.

O parâmetro principal dos métodos de projetos de avaliação estrutural de pavimentos com base analítica, é a deflexão recuperável cuja medida deve ser muito precisa e obtida a várias distâncias do centro de aplicação da carga.

A deflexão é um parâmetro de fácil medição em campo e representa de maneira eficaz e precisa o estado de tensões e deformações a que um pavimento está sujeito quando solicitado por uma carga transitando em sua superfície.

No intuito de obter as deflexões do pavimento com rapidez e elevado nível de confiabilidade, utilizou-se no levantamento da BR-232/PE (km 71,5 – km 129,9) um

deflectômetro de impacto, modelo 8002 FWD, com um sistema Processador e PC/Impressor 9000, constituindo-se assim no mais novo e sofisticado Dynatest FWD Test Systems, o qual preenche todos os requisitos constantes nas Especificações ASTM D-4694 e D-4695.

O Falling Weight Deflectometer – FWD é um deflectômetro de impacto desenvolvido na Dinamarca e aperfeiçoado nos Estados Unidos da América, projetado para simular o efeito de passagem da carga de um veículo nas condições de tráfego reais.

O aparelho é montado sobre um reboque e conduzido durante a realização dos ensaios por uma pick-up marca Ford, modelo Ranger 2002.

O ensaio consiste na queda de um conjunto de massas, a partir de uma altura pré-fixada, sobre um sistema de amortecedores de borracha que transmite a força aplicada a uma placa circular apoiada no pavimento. A carga do impulso pode ser variada, pela modificação da altura de queda ou da configuração da massa utilizada. Na placa circular existe uma célula de carga que mede a “carga do impacto” proveniente da queda do conjunto de massas; a duração do pulso de carga varia de 0,25 a 0,30 s, o que equivale, aproximadamente, a um veículo em movimento a 70 km/h. As cargas de impacto por roda variam até 120 kN.

Os deslocamentos recuperáveis gerados na superfície do pavimento (bacia de deflexões) são medidos por geofones (transdutores) instalados na placa de carga e ao longo de uma barreira metálica.

Em cada estação de ensaio, é possível obter a variação ao longo do tempo das deflexões lidas em cada geofone, a forma de pulso de carga aplicada na placa e as temperaturas do ambiente e da superfície do pavimento.

O sistema do FWD permite a medida de 7 (sete) deflexões por ensaio. Um dos geofones, geralmente o primeiro, mede a deflexão no centro da placa de carga, e os seis restantes são instalados em posições deslocáveis ao longo de uma barra com 2,25m de comprimento, a qual movimentada-se na vertical automaticamente com a placa de carga. A operação de elevação e queda do conjunto de massas sobre os amortecedores de borracha é controlada por um sistema eletro-hidráulico (bomba hidráulica controlada por sistema eletrônico).

A informações dos sete geofones da célula de carga e os sinais de controle são enviados ao processador que grava informações obtidas e controla toda operação do ensaio. Pela tela do computador pode-se observar a variação ao longo do tempo das deflexões lidas nos sete geofones além da forma do pulso de carga aplicado. O conjunto de dados medidos (valores de pico das respostas) é mostrado no vídeo para inspeção, sendo em seguida armazenado e/ou enviado para a impressora com as identificações necessárias.

O processador é pré-calibrado para cada geofone, garantindo a leitura das deflexões quaisquer que sejam: o tipo de pavimento, espaçamentos dos geofones e as alturas de quedas utilizadas. Esta calibração é feita por períodos de 6 a 12 meses.

O FWD 8002 tem os seguintes opcionais acoplados a sua estrutura:

- Medidor de distância com uma resolução de 1,0 m;

- Medidor automático de temperaturas do ar e do pavimento, conectado ao processador 9000 SP, com uma resolução de 0,5 °C e uma acurácia de +/- 1°C (entre -18 e +70 °C)
- Barra de extensão para medida de transferência de carga nas juntas de pavimento de concreto de cimento Portland.



Figura 1 – Modelo do FWD 8002 Dynatest



Figura 2 e 3 – Detalhes dos geofones do FWD 8000 Dynatest



Figura 4 – FWD sendo rebocado por uma caminhonete

2. Desenvolvimento

Na avaliação estrutural do pavimento de concreto das pistas da BR-232/PE, foi empregada a seguinte metodologia, onde as medidas das bacias de deflexão foram efetuadas a cada 20 placas (120m), no eixo de cada uma das quatro faixas de tráfego, no bordo externo e nos acostamentos, de acordo com os seguintes procedimentos:

- no centro geométrico das placas e nas juntas transversais (antes e após), de acordo com o esquema da figura 5, observando o posicionamento dos geofones nas juntas conforme a figura 6;
- no bordo da faixa externa, com uma medida no meio da placa e nas juntas transversais (antes e depois), de acordo com o esquema da figura 5;
- nos acostamentos externos, afastados cerca de 1,0 m do bordo da pista, no alinhamento da junta transversal da estação analisada de acordo com o esquema da figura 5;
- nas pistas revestidas com CBUQ, apenas na faixa mais carregada (semi-pista externa), figura 6.

O levantamento nos bordos das faixas externas (pista da direita e da esquerda), foi feito em três níveis de carregamento equivalentes a 40kN, 50kN e 60kN. Para os demais levantamentos o nível da carga de impacto utilizada foi equivalente a 40 kN. Para a localização dos pontos avaliados, utilizou-se a numeração das placas grafadas em tinta vermelha nos bordos da pista.

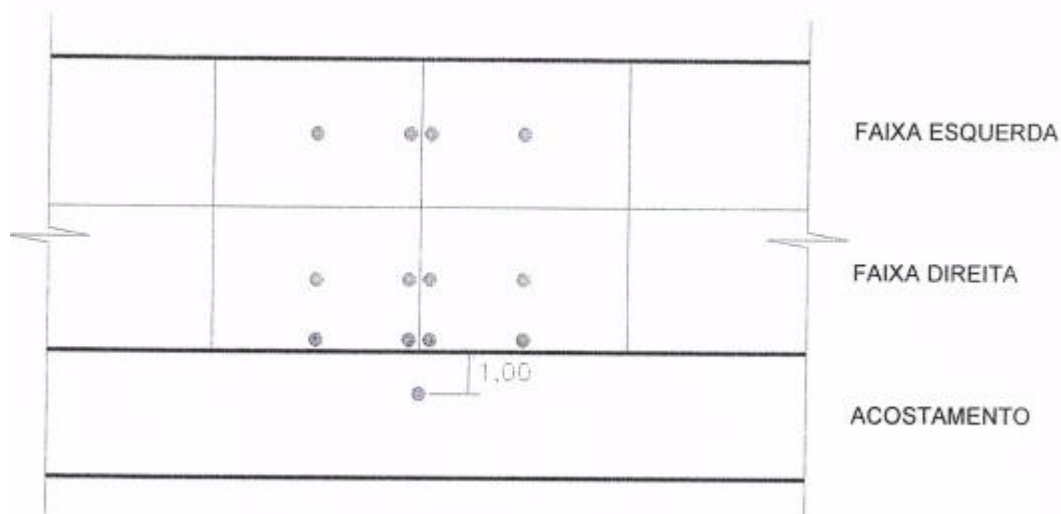


Figura 5 – Esquema de execução do levantamento deflectométrico nas placas.

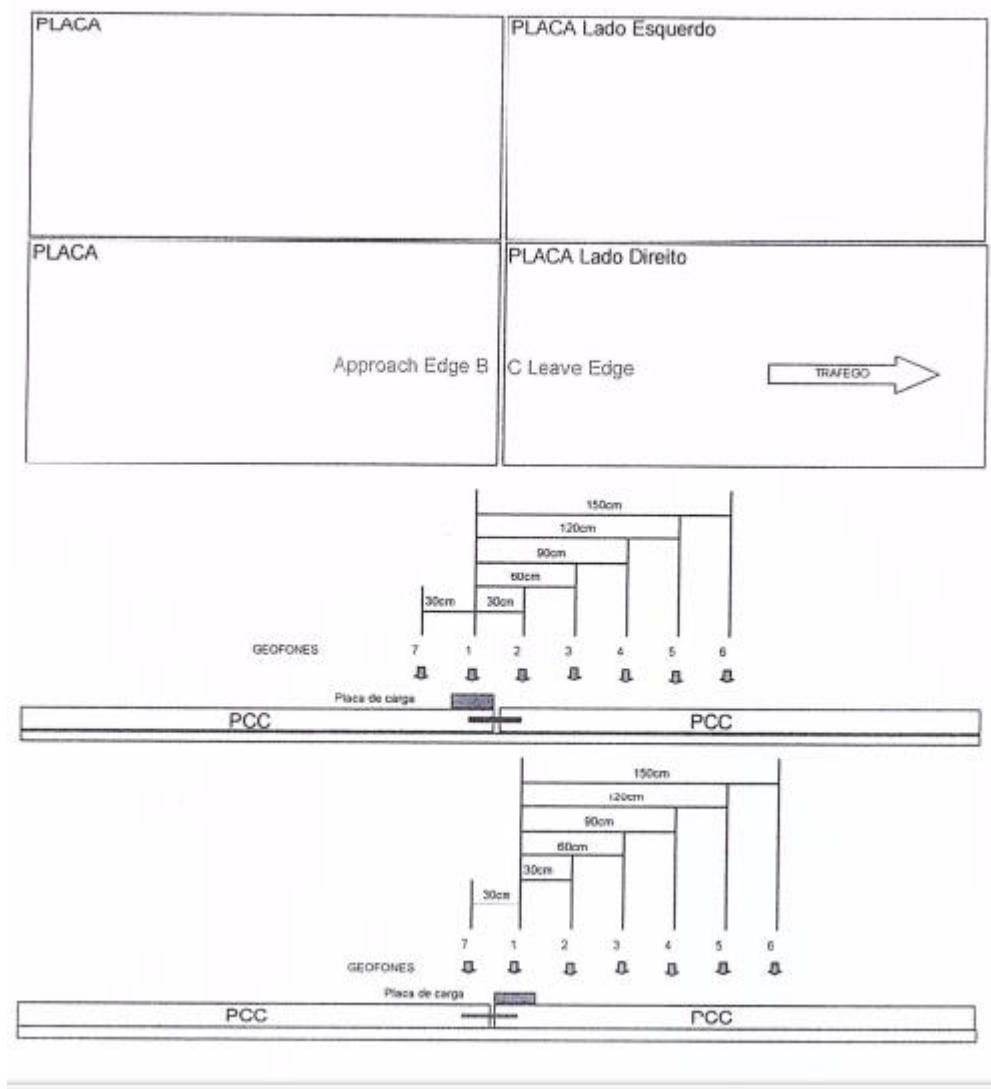


Figura 6 – Posições dos geofones no levantamento deflectométrico realizado nas proximidades da junta transversal.

As extensões de medida de deflexão foram executadas no centro geométrico das placas internas e externas e nas juntas transversais antes, approach edge, e após, leave edge; nos bordos externos das placas externas, com três níveis de carregamento, nos acostamentos das placas e na pista com pavimento asfáltico, de acordo com o esquema das figuras 5 e 6 e a distribuição a seguir:

Lote 5:

- Placas: 144,270 km
- Acostamento: 48,090 km
- Pavimento composto: 35,510 km
- TOTAL: 228,870 km

Lote 6

- Placas: 55,296 km
 - Acostamento: 18,432 km
 - Pavimento composto: 11,668 km
 - TOTAL: 85,396 km
-
- TOTAL GERAL: 314,226 km

No intuito de obter dados mais precisos e balizar o diagnóstico sobre a situação da estrutura do pavimento da BR-232/PE, foram realizadas sondagens rotativas e coleta de amostras para posterior ensaio.

Na pista, foram executadas sondagens e coletas de testemunhos nas placas de concreto e CCR (Concreto compactado com rolo) e efetuados ensaios de laboratório para caracterização dos materiais constituintes dos pavimentos das pistas conforme o seguinte procedimento e o esquema do desenho da figura 7:

- Sondagem rotativa

Executaram-se 24 furos com sonda rotativa no centro e nos bordos das placas, envolvendo as camadas de concreto das placas e de concreto compactado com rolo (CCR), conforme esquema apresentado no desenho da figura 7 e nos locais indicados na tabela 1. Os furos no centro e nos bordos das placas foram executados com diâmetro igual a 100mm, uma vez que essas amostras seriam ensaiadas em laboratório.

Após a retirada ou durante a extração desses corpos de prova, não se verificou a aderência entre os materiais da placa e do concreto compactado a rolo.

Os testemunhos extraídos foram devidamente identificados no campo, durante as sondagens, gravando-se sobre eles as respectivas numerações de identificação, de acordo com as cavas de sondagens apresentadas na tabela 1.

Nos acostamentos, foram executadas sondagens, coletas de amostras dos materiais constituintes dos acostamentos externos dos pavimentos das pistas, além de sondagens para investigação do nível d'água do subleito, conforme o seguinte procedimento e o esquema do desenho da figura 7:

- Sondagem: Execução de 12 cavas/sondagens no acostamento externo, junto ao bordo da placa de acordo com a tabela 1. Em cada cava, além da verificação das espessuras das camadas, anotou-se, quando necessário, a presença de água e identificando o provável caminhamento do fluxo de percolação, quando houver;
- Nas 12 cavas, executaram-se sondagens a trado, complementar, até a profundidade de 1,50m para a verificação da existência de nível d'água, totalizando 18,0m de sondagem;
- Execução de ensaios de densidade in situ e umidade natural nas camadas de base e subleito, num total de 24 ensaios;

- Coleta de material da camada de base e subleito para a execução de ensaios em laboratório.

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA			
LOTE	CAVA	Localização	
		km	Placa Nº
5	5.1	74	42
	5.2	74,1	73
	5.3	74,4	118
	5.4	82,6	1480
	5.5	107	5539
	5.6	107	5549
	5.7	107	5551
	5.8	80,4(LE)	700
6	6.1	116	180
	6.2	121,2	1045
	6.3	124	1520
	6.4	129,4 (LD)	434

Tabela 1 – Discriminação das cavas de sondagem realizadas
Fonte: Relatório Técnico da Sagepa Engenharia Ltda (2008)

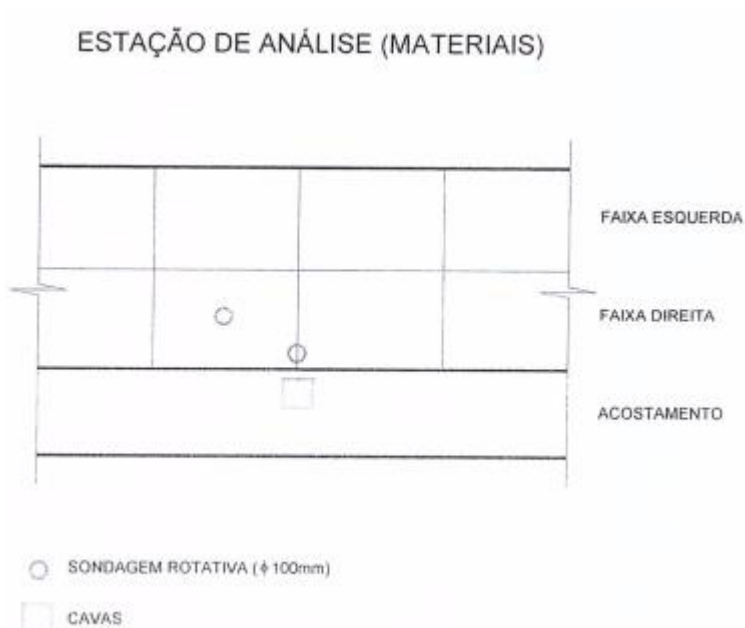


Figura 7 – Posicionamento dos pontos de realização dos ensaios geotécnicos de campo e de coleta de material

Ensaio de laboratório sobre as amostras coletadas

Nas pistas, sobre os corpos de prova de concreto extraídos nos centros das placas foram executados os seguintes ensaios:

- Resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova extraídos das placas de concreto de cimento Portland;
- Resistência à compressão simples dos corpos de prova extraídos das placas e do concreto compactado a rolo.

Nos acostamentos, sobre os materiais de base e subleito, extraídos dos acostamentos, foram executados os seguintes ensaios:

- Compactação e CBR, nas energias solicitadas, 55 golpes por camada para as bases dos acostamentos dos lotes 5 e 6. Para os ensaios do subleito adotou-se a energia do Proctor Normal (12 golpes por camada) para os dois lotes de Supervisão;
- Granulometria com sedimentação: ensaios de granulometria por sedimentação sobre amostras de base e subleito dos acostamentos.

As quantidades de ensaios sobre os materiais coletados nos acostamentos, referente a camada de base e o subleito, foram:

- Compactação e CBR: 24 ensaios;
- Granulometria com sedimentação: 24 ensaios;
- Densidades in situ: 24 ensaios.

Ensaio de laboratório sobre as amostras coletadas

Estaremos apresentando neste momento, os resultados obtidos referentes aos ensaios geotécnicos, ficando os resultados dos levantamentos deflectométrico para serem tratados mais adiante no que se refere a retroanálise.

Nas pistas, nos ensaios de laboratório, as principais características das 24 amostras extraídas das placas e da camada de concreto compactado com rolo (CCR) constam de:

- Localização dos pontos de extração das amostras, com indicação do lote de supervisão, do número da cava (furo) e da estaca;
- Espessuras da placa e da camada de CCR, extraídas dos centros das placas e dos bordos sobre a junta entre duas placas;
- Resultados dos ensaios de resistência à tração diametral e compressão simples;
- Todas essas informações estão consubstanciadas na tabela 3, a seguir.

RODOVIA BR-232-PE: RESULTADOS DE ENSAIO NAS PLACAS E CCR											
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA				ENSAIOS							
				CENTRO DA PLACA				BORDO DA PLACA			
LOTE	CAVA	Localização		PLACA			CCR		PLACA		CCR
		km	Placa Nº	Espessura (cm)	RTD (MPa)	RTF (MPa)	Espessura (cm)	fck (MPa)	Espessura (cm)	fck (MPa)	
5	5.1	74	42	24,0	3,9	5,7	10,0	NR	23,0	NR	NR
	5.2	74,1	73	23,2	4,6	6,7	10,0	16,2	22,5	9,8	18,7
	5.3	74,4	118	22,7	4,7	6,8	10,0	16,5	22,7	8,0	13,8
	5.4	82,6	1480	24,0	4,6	6,7	9,0	15,4	22,6	8,3	11,3
	5.5	107	5539	23,0	3,2	4,6	8,4	8,8	22,6	8,4	12,4
	5.6	107	5549	23,8	4,1	6,0	8,1	11,0	23,5	8,4	11,5
	5.7	107	5551	23,5	3,9	5,7	9,0	NE	23,4	8,2	20,8
	5.8	80,4(LE)	700	25,0	3,5	5,1	9,2	21,6	24,2	8,8	NE
6	6.1	116	180	22,5	4,4	6,4	9,5	NE	23,6	10,2	14,8
	6.2	121,2	1045	23,7	4,3	6,2	9,5	11,8	24,0	NR	NR
	6.3	124	1520	23,0	3,3	4,8	9,5	19,4	23,5	9,4	NE
	6.4	129,4 (LD)	434	23,5	4,0	5,8	Asfalto	-	21,2	Asfalto	-
Média				23,49	4,04	5,87	9,29	15,09	23,07	8,83	14,76
Desvio Padrão				0,68	0,51	0,74	0,63	4,33	0,82	0,78	3,68
CV				0,03	0,13	0,13	0,07	0,29	0,04	0,09	0,25
NR = amostra não recuperada ou recuperada parcialmente;											
NE = amostra não ensaiada no laboratório.											

Tabela 3 – Resumo dos resultados dos ensaios nas placas de concreto e CCR
Fonte: Relatório Técnico da Sagepa Engenharia Ltda (2008)

Os testemunhos do CCR do centro e da borda da placa 42 não foram recuperados integralmente. Os testemunhos do CCR do centro da placa 5551 e 1045 foram danificados durante as operações de preparação no laboratório.

Por se tratar de um overlay em placas de concreto sobre um pavimento asfáltico, os testemunhos da placa 434 não foram recuperados.

Pelos resultados obtidos, conforme a tabela 3 observa-se que os coeficientes de variação de todos os parâmetros estatísticos, de ordem geométrica e mecânica foram inferiores a 15%, demonstrando uma homogeneidade tanto executiva quanto do material aplicado.

Nos acostamentos externos, foram realizados os ensaios de granulometria, densidade "in situ", compactações e CBR, seguiram as instruções solicitadas.

Ensaio de campo

No campo foram executadas as 12 cavas (furos), 8 (oito) no Lote 5 e 4 (quatro) no Lote 6 de supervisão, localizadas no acostamento próximas a borda da pista, coletando amostras da camada de base e subleito, medindo as espessuras das camadas, efetuando ensaios de densidade "in situ", anotando a presença de água e identificando o provável caminamento do fluxo de percolação, quando houver, e fazendo sondagem a trado até 1,50m de profundidade. Segue comentários tecidos para cada um dos serviços:

- **Sondagem**

As sondagens executadas nas bordas da pista permitiram: determinar as densidades "in situ", verificar as espessuras das camadas e observar a presença de água e o seu provável fluxo de percolação. Concluídas as densidades "in situ", executaram-se as sondagens a trado, até 1,50m abaixo da cota do pavimento.

Durante a execução das densidades "in situ", destacaram-se em duas cavas a presença de água e o seu caminho de percolação:

Cavas 5.1 (km 74), placas 74-75 e 5.3 (km 74,3), placas 118 e 119: na madrugada do dia 11/10/2008 choveu até as 9:00h quando foi iniciada a escavação da cava 5.1 das placas 74-75. Durante esse período as águas que se infiltraram no pavimento saíram pela junta longitudinal no contato borda da pista/acostamento, numa extensão da ordem de 6,0m. Esse fluxo de água, com aquela chuva, se prolongou por um período de 12h, aproximadamente. Essa água infiltra-se no pavimento através das juntas longitudinais da borda do pavimento, pelas juntas das placas com deficiência de selagem e pelas trincas das placas quebradas. Pelo que se pode observar, a baixa permeabilidade da camada de base de brita não permite que essa água se escoe para fora dos acostamentos ou para uma faixa de segurança de cerca de 1,0m além da borda da pista. A constância dessa ocorrência ao longo do tempo e a passagem do tráfego de veículos de carga, ocasiona a perda de suporte das camadas subjacentes e a ocorrência do fenômeno de bombeamento dos finos, deixando progressivamente vazios sob as placas, favorecendo um maior acúmulo de água livre nessa região.

- **Coleta de amostras**

As amostras foram coletadas nas camadas de base e no subleito. As camadas de base dos Lotes 5 e 6 são constituídas de brita.

- Sondagem a trado

Após a execução das densidades “in situ”, prosseguia-se com um trado de 100mm de diâmetro, até a profundidade de 1,50m. Em nenhum dos furos executados o material coletado indicava umidade excessiva.

- Densidades “in situ”

Essas densidades foram executadas nas camadas de base e subleito, cujos resultados estão apresentados na tabela 4, abaixo.

As densidades “in situ” das camadas de brita graduada, foram corrigidas tendo em vista a apreciável quantidade de partículas com diâmetro maior que $\frac{3}{4}$ de polegada e que os ensaios de compactação normais as excluem. A não introdução desta correção pode ocasionar erros significativos nas determinações das densidades “in situ”. Este é um procedimento adotado normalmente no controle das densidades “in situ”, principalmente quando se trata de base de brita graduada.

LOTE	CAVA	Localização		BASE DE BRITA GRADUADA			SUBLEITO		
				DENSIDADES		GC (%)	DENSIDADES		GC (%)
		km	Placa Nº	Laboratório	“in situ”		Laboratório	“in situ”	
5	5.8	80,4(LE)	700	2135	2186	102	1830	1836	100
	5.1	74	42	2204	2174	99	2140	1906	89
	5.2	74,1	73	2150	2219	103	1990	1868	94
	5.3	74,4	118	2126	2175	102	2070	2056	99
	5.4	82,6	1480	2106	2104	100	1999	2025	102
	5.5	107	5539	2121	2092	99	2016	2008	100
	5.6	107	5549	2113	2162	102	1900	1906	100
	5.7	107	5551	2138	2054	96	2025	2020	100
6	6.1	116	180	2150	2149	100	1900	1912	101
	6.2	121,2	1045						
	6.3	124	1520	2150	2169	101	1930	1933	100
	6.4	129,4 (LD)	434	2070	2144	104	-	-	-

Tabela 4 – Resumo dos resultados das Densidades in situ
Fonte: Relatório Técnico da Sagepa Engenharia Ltda (2008)

Verifica-se nessa tabela que nas cavas das placas 42 e 73 o subleito apresenta baixa densificação e na cava da placa 42 a umidade do subleito é excessiva. A umidade da camada de base da cava da placa 73 apresenta-se excessiva (12,3% de campo, contra 6,4% de laboratório). Todas essas cavas estão localizadas na área de surgência de água pelas bordas das placas/acostamento.

Na cava da placa 5551 a camada de base apresenta-se com baixa densificação. Esta placa apresenta-se trincada e já foi substituída.

Avaliação estrutural do pavimento

A análise dos resultados dos estudos e ensaios de laboratório permitirá uma avaliação estrutural dos pavimentos executados nos dois Lotes 5 e 6 de supervisão e analisar o funcionamento estrutural do pavimento, procurando estimar a vida útil remanescente.

Para melhor avaliar os pavimentos dos trechos e tendo em vista alguns aspectos observados nas inspeções ao campo e nos resultados das análises dos elementos existentes, necessitou-se subdividir os Lotes 5 e 6 em segmentos.

Os defeitos que se observam nas pistas de pavimento de concreto são:

- Placas com trincas transversais (predominante) e longitudinais;
- Placas com defeitos que foram substituídas parcial e totalmente e muitas delas já estão trincadas;
- Bordas da pista com pontos de afundamento por onde fluem as águas que se infiltram no pavimento;
- Placa remendada com afundamento indicando perda de suporte da fundação.

Na tabela 5, abaixo, constam as placas com defeitos nos segmentos dos Lotes 5 e 6:

LOTE	Gravatá - Caruarú			Caruarú - Gravatá		
	Total de Placas	Placas com defeitos	% de Placas com defeitos	Total de Placas	Placas com defeitos	% de Placas com defeitos
5.1	404	92	23,00	192	21	10,9
5.2	930	11	1,20	66	24	36,4
TOTAL	1334	103	7,72	258	45	17,4
6.1	40	3	7,50	-	0	-
6.2	80	1	1,30	-	0	-
6.0	-	-	-	518,0	3	0,6
TOTAL	120	4	3,33	518,0	3	0,6

Tabela 5 – Resumo do percentual de defeitos encontrado nas placas da pista da BR-232

Fonte: Relatório Técnico da Sagepa Engenharia Ltda (2008)

No Lote 5 essa tabela mostra que os segmentos 5.1 (lado direito), com 23% de placas com defeito e segmentos 5.2 (lado esquerdo) com 10,9% de placas com defeitos e o segmento 5.2 (lado esquerdo) com 36,4% de placas quebradas, constituem a travessia de Gravatá, entre os km 74,5 – km 86. O segmento

denominado Lote 5.2 (lado direito) apresenta uma quantidade de placas defeituosas, equivalente a 1,2%, numa extensão de 28,9km.

No Lote 6, entre os km 114,9 e 129,9, (sentido Gravatá – Caruaru, lado direito), o segmento 6.1 apresenta-se com 7,5% de placas quebradas e Lote 6.2, onde foi construído o pavimento com overlay de concreto (km 127,5 – km 129,9), com 1,3% de placas com defeitos. Ainda para o Lote 6, entre os km 114,9 e km 129,9 (sentido Caruaru – Gravatá, lado esquerdo), a incidência de placas com defeito é de 0,6%.

Quanto aos vazios sob as placas, os mesmos foram avaliados nos bordos das placas externas com três níveis de carregamento (40-50-60 kN), de acordo com o procedimento preconizado no AASHTO/93.

LOTE	Gravatá-Caruaru	Caruaru-Gravatá
	% de Placas com Vazios	% de Placas com Vazios
5.1	11,22	13,90
5.2	1,80	4,50
TOTAL	13,02	18,40
6.1	1,94	-
6.2	0,00	-
6.0	-	3,93
TOTAL	1,94	3,93

Tabela 6 – Resumo do percentual de placas com vazios
Fonte: Relatório Técnico da Sagepa Engenharia Ltda (2008)

Observa-se que 37,3% das placas apresentam um certo grau de vazios sob as mesmas, com o segmento 5.1 (km 74,5 – km 86) do lote 5, apresentando 25,12% das placas com vazios, correspondendo a travessia de Gravatá.

3. Conclusão

As principais não conformidades ou anomalias com os padrões de solidez e segurança da obra, surgidos durante a sua execução foram:

- Nas placas de concreto de cimento Portland ocorreram fissuras e trincas de várias espécies, placas quebradas, desnivelamento de placas e selagem das juntas;
- Nos acostamentos e nas pistas restauradas, ocorreram fissuras e trincas de várias espécies, panelas, recalques e borrachudos.

● **SOBRE AS CAUSAS DAS NÃO CONFORMIDADES**

- A qualidade do concreto das placas, onde se utilizou o cimento pozolânico, provocando o aumento da retração volumétrica no período de cura do concreto, é conseqüentemente, o responsável pelo surgimento precoce das trincas e fissuras;
- A deficiência do sistema de selagem das juntas, agravada pelo descaso da Construtora em retardar a sua execução, ao invés de efetuar logo após da serragem das juntas, também é considerado outro fator responsável pelos defeitos;
- Nas placas de concreto de cimento Portland a infiltração d'água, através das trincas e juntas, combinada com a ausência de um sistema de drenagem sub-superficial são responsáveis pela maioria dos defeitos ocorridos;
- O procedimento operacional adotado pela Construtora para correção dos defeitos reclamados, retardando-os ou não os executando a contento, representa mais um elemento para agravamento dos problemas surgidos;
- Nos acostamentos/restauração, a infiltração d'água, saturando as estruturas das camadas do pavimento em conjunto com ausência de dispositivos de drenagem sub-superficial adequados são responsáveis pelos principais defeitos ocorridos, tais como, a baixa densificação da camada de base e subleito, provocando recalques, borrachudos, panelas, trincas e fissuras, ondulações, etc;
- A falta de previsibilidade de dispositivos de drenagem sub-superficial no Projeto Executivo de Engenharia, capaz de absorver, conduzir e descarregar toda a água infiltrada no pavimento, representa também uma deficiência responsável por uma série das ocorrências de defeitos.

Referências

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

DNIT, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT047_2004_ES**: Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte. Rio de Janeiro, 2004.

DNIT, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – IPR 719**. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **MANUAL DE IMPLANTAÇÃO BÁSICA – IPR 742**. Rio de Janeiro, 2010.

DNIT, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **MANUAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA– IPR 710**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6028**: resumo: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: formatação de trabalhos acadêmicos. Rio de Janeiro, 2002.

LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia Científica** . São Paulo: Atlas, 1997.

MORAES, Irani Novah. **Elaboração da Pesquisa Científica** . Rio de Janeiro: Ateneu, 1996.

SALOMON, Décio Vieira. **Como fazer uma monografia**. São Paulo: Martins Fonte, 1995.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Cortez, 1996.