

ANO
2018



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PAULO ROBERTO RODRIGUES | MEDIDAS DE DEFLEXÃO EM PAVIMENTOS
ASFÁLTICOS URBANOS COM O DEFLECTÔMETRO DE PESO LEVE

Nas últimas décadas as cidades sofreram desenvolvimento tanto ao nível das infraestruturas existentes, como na construção de novas vias, o que implica na preocupação de conservar e reabilitar pavimentos. Para verificar a necessidade de reabilitação de pavimentos em operação é necessário avaliar sua capacidade de carga, e vários são os parâmetros para esse fim, sendo a medida da deflexão reversível o mais importante. A medição desse parâmetro pode ser feita com vários métodos, e este estudo busca comparar os resultados de levantamento deflectométrico realizado em pistas urbanas, com equipamentos tradicionais para este fim: a viga Benkelman (VB) e o ensaio de carga com placa, com equipamentos, como o *Light Falling Weight Deflectometer* (LFWD). Os levantamentos foram realizados em segmentos amostrais de pistas, da malha rodoviária urbana e pavimentada de Joinville (SC), com a metodologia da aplicação dos três métodos de ensaio. Através de análise de regressão dos resultados, avaliou-se se há correlação entre os valores obtidos por estes equipamentos e se elas são dependentes da composição da estrutura do pavimento, materiais e grau de conservação atual do pavimento. A melhor correlação encontrada foi validada com o emprego das deflexões obtidas com o LFWD no método atual de projeto de restauração de pavimentos flexíveis, na Secretaria de Infraestrutura Urbana do município de Joinville. Verificou-se que a deflexão obtida com o LFWD dá resultado conservador quando comparado a deflexão medido com viga Benkelman. O estudo revelou, mediante o banco de dados obtido, que pavimentos compostos de camada de revestimento $h_r=5\text{cm}$ sobre base granular podem ser avaliados pela correlação de valores de deflexão encontrados com VB e LFWD.

Orientador: Edgar Odebrecht

Coorientadora: Adriana Goulart dos Santos

Joinville, 2018

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MEDIDAS DE DEFLEXÃO EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS URBANOS COM O DEFLECTÔMETRO DE PESO LEVE

PAULO ROBERTO RODRIGUES

JOINVILLE, 2018

PAULO ROBERTO RODRIGUES

**MEDIDAS DE DEFLEXÃO EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS URBANOS COM O
DEFLECTÔMETRO DE PESO LEVE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Edgar Odebrecht.

Coorientadora: Prof^a. Dra. Adriana Goulart dos Santos.

**Joinville, SC
2018**

R696a Rodrigues, Paulo Roberto
Medidas de deflexão em pavimentos asfálticos urbanos com
o deflectômetro de peso leve / Paulo Roberto Rodrigues. –
2018.
133p.: il.; 30 cm

Orientador: Edgar Odebrecht
Coorientadora: Adriana Goulart dos Santos
Bibliografia: p. 95-102
Dissertação (Mestrado) -Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2019.

1. Pavimentos - Manutenção e reparos 2. Engenharia
rodoviária I. Odebrecht, Edgar. II. Santos, Adriana
Goulart dos. III. Universidade do Estado de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil. IV. Título.

CDD: 624

**Medidas de Deflexão em Pavimentos Asfálticos Urbanos com o Deflectômetro
de Peso Leve**

por

Paulo Roberto Rodrigues


Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

Área de concentração em "Engenharia Urbana e da Construção Civil"
e aprovada em sua forma final pelo

CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA CIVIL
DO CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.


Banca Examinadora:



Prof. Dr. Edgar Odebrecht
CCT/UDESC (Orientador/Presidente)



Prof. Dr. Breno Salgado Barra
UFSC



Prof. Dr. Romualdo Theophanes de
França Júnior
CCT/UDESC

Joinville, SC, 12 de dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus queridos pais, Paulo Alves Rodrigues (*in memoriam*) e Sevasti Dröse Rodrigues, por terem sempre, apesar de todas as dificuldades, colocado o aprendizado em alta prioridade nas vidas de seus filhos e, em especial, na minha.

Agradecimento mais do que especial ao meu orientador, professor Dr. Edgar Odebrecht, por ter me acolhido como seu orientado, por sua paciência, dedicação e o seu exemplo de caráter e profissionalismo.

Agradeço à professora Dra. Adriana Goulart dos Santos, por ser muito além de uma excelente mestra e Coorientadora, dividindo comigo, não só todo o seu conhecimento técnico como professora, mas o seu espírito crítico, item fundamental para o crescimento científico.

Agradecimentos aos professores Dr. Romualdo Theophanes de França Jr. e Dr. Breno Salgado Barra, pelas contribuições técnicas que enriqueceram este trabalho na etapa da qualificação.

Agradecimentos à Prefeitura Municipal de Joinville, Geoforma Engenharia Ltda., pela gentileza em ceder trechos experimentais, material de pesquisa, além de contribuir com todo o *know-how* na área de pavimentação.

Agradecimentos especiais aos professores do DEC, professora Dra. Elisa Henning e professora Dra. Mônica Gonçalves, por terem despertado em mim a paixão pelo conhecimento.

Agradecimentos aos grandes amigos engenheiros Eduardo Mendes Simões de Freitas e Cassiano Garcia da Silva pela parceria nos estudos, e ao meu amor, Cristiane Stolle, pelo apoio, paciência e intermináveis discussões técnicas.

Agradecimentos aos meus irmãos. Aos demais amigos e familiares pelo apoio, carinho e paciência.

RESUMO

Nas últimas décadas as cidades sofreram desenvolvimento tanto ao nível das infraestruturas existentes como na construção de novas vias. Este desenvolvimento implica também na preocupação de conservar e reabilitar os pavimentos. Para verificar a necessidade de reabilitação de pavimentos em operação é necessário avaliar a sua capacidade de carga. Vários são os parâmetros para esse fim, sendo a medida da deflexão reversível o mais importante. A medição desse parâmetro de análise pode ser feita recorrendo a vários métodos, alguns mais eficientes e modernos do que outros. Este estudo busca comparar os resultados de levantamento deflectométrico, realizado em pistas urbanas, com equipamentos tradicionais para este fim: a Viga Benkelman (VB), o ensaio de carga com placa e o *Light Falling Weight Deflectometer* (LFWD). Os levantamentos foram realizados em segmentos amostrais de pistas da malha rodoviária urbana e pavimentada de Joinville (SC), com a metodologia da aplicação dos três métodos de ensaio. Através de análise de regressão dos resultados foi avaliado se há correlação entre os valores obtidos por estes equipamentos e se eles são dependentes da composição da estrutura, materiais e grau de conservação atual do pavimento. Apresentaram-se correlações entre as medidas de deflexão obtidas com os três equipamentos permitindo, assim, obter-se o valor da deflexão que seria medida com a viga e com a placa a partir de leituras efetuadas com o LFWD. A melhor correlação encontrada foi validada com o emprego das deflexões obtidas com o LFWD no método atual de projeto de restauração de pavimentos flexíveis, na Secretaria de Infraestrutura Urbana do município de Joinville. Verificou-se que a deflexão obtida com o LFWD proporciona resultado conservador quando comparado à deflexão medida com Viga Benkelman. O estudo revelou, mediante o banco de dados obtido, que pavimentos compostos de camada de revestimento $h_r=5\text{cm}$ sobre base granular podem ser avaliados pela correlação de valores de deflexão encontrados com VB, placa e LFWD.

Palavras-chave: Avaliação Estrutural. Deflectômetro de Impacto Leve. Pavimentos urbanos.

ABSTRACT

In the last decades the cities have undergone development both in terms of existing infrastructures and in the construction of new roads. This development also implies the concern of conserving and rehabilitating pavements. To verify the need for rehabilitation of pavements in operation it is necessary to evaluate their load capacity. There are several parameters for this purpose, the most important of which is reversible deflection measurement. The measurement of this parameter of analysis can be made using several methods, some more efficient and modern than others. This study aims to compare the results of a deflectometric survey carried out on urban runways with traditional equipment for this purpose: the Benkelman Beam (VB), the load test with the plate and the Light Falling Weight Deflectometer (LFWD). The surveys were carried out in sample segments of the urban and paved road network of Joinville (SC), using the methodology of the three test methods. Through regression analysis of the results was evaluated if there is correlation between the values obtained by these equipments and if they are dependent on the composition of the structure, materials and current degree of conservation of the pavement. Correlations were made between the deflection measurements obtained with these three equipments, thus allowing to obtain the value of the deflection that would be measured with the beam and the plate from readings made with the LFWD. The best correlation found was validated with the use of the deflections obtained with the LFWD in the current method of restoration project of asphalt concrete pavements, in the Urban Infrastructure Secretariat of the city of Joinville. It was found that the deflection obtained with the LFWD provides a conservative result when compared to the deflection measured with Benkelman Beam. The study revealed, through the obtained database, that the composite pavements of coating layer $h_r = 5\text{cm}$ on granular base can be evaluated by the correlation of values of deflection found with VB and LFWD.

Keywords: Light Impact Deflectometer. Load Capacity. Urban flooring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Aquisição dos dados pelo método destrutivo.....	31
Figura 2	– Esquematização do ensaio de placa.....	37
Figura 3	– Representação esquemática da Viga Benkelman.....	38
Figura 4	– Esquema de carregamento da Viga Benkelman.....	39
Figura 5	– Pontos de avaliação da Viga Benkelman.....	40
Figura 6	– Deflectógrafo <i>Lacroix</i>	42
Figura 7	– DYNAFLECT.....	44
Figura 8	– Constituição de um LFWD.....	48
Figura 9	– Mapa de situação.....	56
Figura 10	– Trechos.....	59
Figura 11	– Perfil da estrutura do segmento 1.....	60
Figura 12	– Perfil da estrutura do segmento 2.....	61
Figura 13	– Perfil da estrutura do segmento 3.....	62
Figura 14	– Perfil da estrutura do segmento 4.....	62
Figura 15	– Marcação das estações de ensaio (segmento 2).....	63
Figura 16	– Calibração da carga de reação e Viga Benkelman utilizada.....	65
Figura 17	– Execução do ensaio de carga com placa e Viga Benkelman e pormenor da montagem da mesma sob o caminhão (carga de reação).....	67
Figura 18	– Ensaio de LFWD no segmento 01 (Av. Santos Dumont).....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estruturas com uma e duas camadas de revestimento em CAUQ....	58
Quadro 2 – Leitura de campo do ensaio de carga com placa.....	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Bacias de deflexão obtidas no ensaio da Viga Benkelman (RUA SÃO BORJA).....	66
Gráfico 2 – SEGMENTO S-01a (VB X LFWD).....	77
Gráfico 3 – SEGMENTO S-01a (ENSAIO DE PLACA X LFWD).....	77
Gráfico 4 – SEGMENTO S-01b (VB X LFWD).....	78
Gráfico 5 – SEGMENTO S-01b (PLACA X LFWD).....	78
Gráfico 6 – SEGMENTO S-02 (VB X LFWD).....	79
Gráfico 7 – SEGMENTO S-02 (ENSAIO DE PLACA X LFWD).....	79
Gráfico 8 – SEGMENTO S-03 (VB X LFWD).....	80
Gráfico 9 – SEGMENTO S-03 (ENSAIO DE PLACA X LFWD).....	80
Gráfico 10 – SEGMENTO S-04 (VB X LFWD).....	81
Gráfico 11 – SEGMENTO S-04 (PLACA X LFWD).....	81
Gráfico 12 – Correlação VB X LFWD.....	82
Gráfico 13 – Correlação PLACA X LFWD.....	83
Gráfico 14 – Correlação com todos os valores (D_0 e $D_{MÁX}$) para estruturas com 5,0cm de espessura.....	84
Gráfico 15 – Correlação com todos os valores (D_0 e $D_{MÁX}$) para estruturas com 10,0cm de espessura.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição pelo número de camadas asfálticas.....	58
Tabela 2 – Estruturas selecionadas e estações de ensaio.....	63
Tabela 3 – Segmentos amostrais analisados (localização, data e temperatura). ..	64
Tabela 4 – Especificações técnicas do LFWD utilizado.....	70
Tabela 5 – Resultados das deflexões obtidas com Viga Benkelman, placa e LFWD para o segmento 1.....	73
Tabela 6 – Resultados das deflexões obtidas com Viga Benkelman, placa e LFWD para o segmento 2.....	74
Tabela 7 – Resultados das deflexões obtidas com Viga Benkelman, placa e LFWD para o segmento 3.....	74
Tabela 8 – Resultados das deflexões obtidas com Viga Benkelman, placa e LFWD para o segmento 4.....	74
Tabela 9 – Resultados da regressão.....	76
Tabela 10 – Resultados da regressão linear tipo $D_{VB} = \alpha D_{LFWD}$ e $D_{PL} = \alpha D_{LFWD}$..	80
Tabela 11 – Análise estatística de todos os valores das deflexões (D_0).....	82
Tabela 12 – Resultados estatísticos das deflexões para as estruturas com 5,0cm e 10cm de espessura de camada asfáltica.....	84
Tabela 13 – Resumo dos modelos de correlação obtidos.....	86
Tabela 14 – Correlações válidas para este estudo.....	87
Tabela 15 – Ensaios auxiliares no segmento 4.....	88
Tabela 16 – Valores deflectométricos obtidos em campo e por correlação.....	89
Tabela 17 – Espessura de reforço (DNER 11/79) com dados de campo.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO	American Association of State Highway Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BGS	Brita graduada simples
BGTC	Brita graduada tratada com cimento
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
CV	Coeficiente de variação (%)
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DC_{LFWD}	Deflexão característica obtida através do emprego do LFWD, resultado da soma da deflexão média mais o desvio padrão
D_{CVB}	Deflexão característica obtida através do emprego da Viga Benkelman, resultado da soma da deflexão média mais o desvio padrão
DER-SP	Departamento de Estradas de Rodagem do estado de São Paulo
D_{FWD}	Deflexão obtida através do emprego do LFWD
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagens
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
D_{VB}	Deflexão obtida através do emprego da Viga Benkelman
FWD	Falling Weight Deflectometer
FHWA	Federal Highway Administration
HDM	Highways Design and Maintenance Standards Mode
H_R, h_B, h_{SB}	Espessura do revestimento betuminoso, da base e da sub-base
h_{ref}, h_{PMQ}	Espessura do reforço de subleito, da camada de pré-misturado a quente.
CBR	Índice Suporte Califórnia
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PAR	Paralelepípedo
PMF	Pré-misturado a frio
PMQ	Pré-misturado usinado a quente
S-1 a S-4	Segmentos amostrais de 500 m, objetos de estudo desta dissertação
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
VB	Viga Benkelman

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	ENQUADRAMENTO TEMÁTICO	23
1.2	OBJETIVOS	24
1.3	CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO.....	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1	PAVIMENTOS ASFÁLTICOS URBANOS	27
2.2	AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS	28
2.2.1	Avaliação Funcional do Pavimento.....	28
2.2.2	Avaliação Estrutural do Pavimento	29
2.2.2.1	<i>Método Destrutivo.....</i>	<i>30</i>
2.2.2.2	<i>Método Não Destrutivo</i>	<i>31</i>
2.2.3	Retroanálise	34
2.3	EQUIPAMENTOS PARA MEDIDA DAS DEFLEXÕES	35
2.3.1	Equipamentos de Carregamento Estático	36
2.3.1.1	<i>Ensaio de Carga com Placa</i>	<i>36</i>
2.3.1.2	<i>Viga Benkelman.....</i>	<i>37</i>
2.3.1.3	<i>Viga Benkelman Automatizada.....</i>	<i>41</i>
2.3.2	Equipamentos de Carregamento Vibratório.....	42
2.3.2.1	<i>Dynaflect.....</i>	<i>43</i>
2.3.2.2	<i>Road Rater</i>	<i>44</i>
2.3.3	Equipamentos de Carregamento por Impulso	44
2.3.3.1	<i>Deflectômetro de Impacto (FWD)</i>	<i>45</i>
2.3.3.2	<i>Deflectômetro de Impacto Leve (LFWD)</i>	<i>47</i>
2.4	FATORES QUE INFLUENCIAM NOS VALORES DE DEFLEXÃO	49
2.5	CORRELAÇÕES ENTRE DEFLEXÕES MEDIDAS POR DIFERENTES EQUIPAMENTOS.....	53
3	DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO	55
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL.....	55
3.2	ENSAIOS COM VIGA BENKELMAN.....	65
3.3	ENSAIO DE CARGA COM PLACA	66
3.4	ENSAIOS COM DEFLECTÔMETRO DE IMPACTO LEVE (<i>LIGHT FALLING WEIGHT DEFLETOMETER</i>)	68

3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	71
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	73
4.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	73
4.2	CORRELAÇÕES.....	76
4.2.1	Entre as Deflexões de cada Segmento Homogêneo	76
4.2.2	Entre as Deflexões de todos os Segmentos	81
4.2.3	Entre as Deflexões Obtidas para Revestimentos com Camada de 5,0cm e 10,cm de Espessura	83
4.2.4	Resumo das Correlações Obtidas	86
4.2.5	Influência da Utilização da Deflexão Obtida com o LFWD e aquela Obtida pela Correlação no Dimensionamento da Espessura de Reforço do Pavimento	87
4.2.6	Metodologia DNER-PRO 11/79.....	90
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	91
	REFERÊNCIAS	95
	ANEXO A.....	103
	APÊNDICE A.....	109
	APÊNDICE B	111
	APÊNDICE C	131
	APÊNDICE D	133

1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo posiciona a pesquisa para contextualizar a problemática e a justificativa do tema adotado.

1.1 ENQUADRAMENTO TEMÁTICO

O primeiro passo na avaliação estrutural de pavimentos é a medida da deformação vertical, por aplicação de carga; esse parâmetro é a deflexão, e caracteriza estruturalmente os pavimentos. A medida da deflexão permite informar a capacidade das camadas do pavimento em resistir aos efeitos deteriorantes produzidos pela repetição das cargas do tráfego.

No Brasil, as metodologias oficiais destinadas a medir a deflexão foram desenvolvidas com base na Viga Benkelman. Esse equipamento substituiu, a partir de 1960, o ensaio de prova de carga com placa, que por questões de trabalhabilidade e custo apresentava-se bastante limitado (SANTANA et al., 1998).

A eficácia da medida de deflexão não tem relação direta com a complexidade ou sofisticação do método usado para avaliação dos pavimentos. Técnicas simples, mas bem elaboradas metodologicamente, são preferíveis aos sistemas complexos (HUDSON, 1987) evitando-se gastos desnecessários. Este princípio constitui a base deste trabalho.

Em paralelo, os pavimentos executados nas cidades – quase sempre em desacordo com as exigências de projeto, ou mesmo sem projeto – não possuem métodos que avaliem a sua deterioração, gerando aumento dos custos diretos e indiretos relacionados à operação do sistema.

O diagnóstico e avaliação de vias urbanas tem se baseado, fundamentalmente, nos resultados derivados de levantamentos visuais com adaptações de procedimentos e técnicas, recomendados por órgãos rodoviários como os Departamentos Estaduais de Estradas (DERs) e o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT).

Apesar dos organismos financiadores de obras públicas como o Banco Mundial, que utilizam o modelo HDM (*Highways Design and Maintenance Standards Mode*), ainda aceitarem dados da viga Benkelman como entrada para medidas de deflexão, Balbo (1997), ressalta a importância da utilização de projetos de

manutenção compatíveis com a situação urbana e que permitam encaminhar soluções adequadas às necessidades estruturais do pavimento.

Com o uso cada vez mais intenso de deflectores de impacto, devido a uma série de vantagens em relação aos ensaios com carregamento estático (menor interferência no trânsito, rapidez, ferramenta portátil, etc.), apresenta-se a expectativa de conversão das deflexões obtidas por esses equipamentos em deflexões equivalentes da Viga Benkelman. Considerando também que, devido à viga ter sido o equipamento mais utilizado nas últimas quatro décadas, existe um enorme banco de dados, e é interessante que estes dados históricos disponíveis sejam aproveitados na aplicação de novas metodologias que surgem com o emprego de equipamentos novos.

Através da literatura especializada pode-se concluir que não há uma correlação única para conseguir a conversão destes valores. Esta correlação é excessivamente dependente da estrutura ensaiada, das condições climáticas, do modo de carregamento e da metodologia de ensaio empregada. No Brasil, Pinto (1991) estudou trechos da BR-101/RJ (Niterói – Manilha) e BR-040/RJ (Areal – Moura) obtendo correlações entre o *Falling Weight Deflectometer* (FWD) e Viga Benkelman (VB). Na Índia, deflectores dinâmicos portáteis foram utilizados para avaliação estrutural e controle de qualidade de estradas de baixo volume de tráfego por Senseney e Mooney (2010); Tehrani e Meehan (2010).

Pela sazonalidade das estruturas de pavimentos, as correlações obtidas podem não ser válidas para as rodovias urbanas, visto que não foram realizados ainda estudos específicos para estes pavimentos. Por isso este estudo – a partir da seleção de segmentos característicos de estradas urbanas da cidade de Joinville-SC, com diferentes composições de camadas e idades – mediu e analisou as deflexões com carregamentos estáticos (VB e ensaio de carga com placa) e dinâmicos (*Light Falling Weight Deflectometer*).

1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é a utilização do deflectômetro de peso leve (LFWD) para leituras de deflexão em pavimentos asfálticos delgados (urbanos). As deflexões obtidas com esse equipamento foram correlacionadas com as da Viga Benkelman e as do ensaio de carga com placa.

Com as correlações, o estudo buscou converter as deflexões medidas com o deflectômetro de Impacto Leve (*Light Falling Weight Defletometer* – LFWD) em deflexões equivalentes do ensaio com a Viga Benkelman, do ensaio de carga com placa.

As expressões analíticas que possam ser aplicadas aos resultados obtidos por um método de ensaio foram empregadas de forma a obter os resultados equivalentes aos de outro método.

Importa ainda aferir as correlações no dimensionamento da espessura de reforço do pavimento com a metodologia DNER-PRO 11/79 e para restauração de pavimentos flexíveis.

Este trabalho tem ainda objetivos específicos, nomeadamente no que concerne às limitações de aplicabilidade do LFWD. Ou seja, pretende-se avaliar quais as situações em que as medidas de deflexão com esse equipamento podem ser consideradas válidas, tendo em conta as estruturas de pavimentos e os materiais que as constituem aqui avaliados.

1.3 CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO

Para a apresentação dos resultados a dissertação foi organizada da forma como segue:

No Capítulo 2 apresenta-se uma fundamentação conceitual sobre a avaliação funcional e estrutural do pavimento, os equipamentos existentes para medida das deflexões de campo, os fatores que influenciam nos valores de deflexão e as correlações encontradas na literatura pesquisada.

O Capítulo 3 relata a metodologia de seleção dos segmentos amostrais da malha urbana onde se procedeu o levantamento das deflexões com os três equipamentos, e descreve-se como foi realizado o levantamento deflectométrico no campo.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados a partir dos modelos de correlação originados pelo estudo e a influência da utilização das correlações VB/LFWD nos projetos de dimensionamento de espessuras de reforço em estruturas de pavimento.

O Capítulo 5 é destinado às conclusões e recomendações de novos estudos.

O trabalho compõem-se, ainda, da seção de Referências Bibliográficas e de Anexos e Apêndices, contendo as planilhas com os resultados dos levantamentos de campo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção faz-se um debate bibliográfico sobre aspectos importantes para a plena compreensão do que aqui se estuda.

2.1 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS URBANOS

É possível encontrar várias definições para o termo pavimento, sendo todas atreladas à sua função estruturante e operacional. A literatura define pavimento como uma estrutura composta por camadas sobrepostas, de diferentes materiais, que atendam estrutural e operacionalmente ao tráfego (CNT, 2017). Quando o revestimento desta composição é mistura de material pétreo e ligante betuminoso, o pavimento é dito asfáltico.

Ocorre que não há um conceito específico para pavimento urbano considerando os seus diferentes horizontes, sazonalidades e tampouco a necessidade de serviços de manutenção preventiva, corretiva ou de reabilitação.

Historicamente, os pavimentos urbanos no Brasil sofreram um acentuado impulso desde a promulgação da Constituição em 1988 (dada a melhor organização dos municípios brasileiros), bem como pelo início de destinação de verba, pelo governo federal, para as prefeituras executarem obras de infraestrutura (PREGO, 2001).

Nesta linha, acentua Balbo (1997), o impulso na pavimentação nas cidades brasileiras revela, salvo raras exceções, que as prefeituras vêm executando pavimentos da mesma forma e apresentando resistência a inovações que permanecem sem investigação ou conhecimento. Em alguns municípios, dependendo da capacidade de suporte do subleito, uma ou mais camadas que constituem o pavimento são suprimidas (DER/SP, 2006).

Em paralelo, vem à preocupação ambiental com a reutilização e reciclagem de materiais existentes nas cidades, tais como: pneus, areias de fundição; resíduo de demolição e provenientes de fresagem asfáltica. Assim, do ponto de vista estrutural e econômico, torna-se necessário o estudo e a caracterização da capacidade de carga desses pavimentos, considerando as suas diferenças e buscando maior rigor no controle tecnológico.

2.2 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS

Os pavimentos em serviço são avaliados com o objetivo de determinar quais ações devem ser tomadas para estimar e prolongar a sua vida funcional, evitar acentuadas deteriorações, antecipar eventuais problemas estruturais e dimensionar demandas para restaurações futuras (DYNATEST, 2018). Esta avaliação consiste na análise de suas condições quanto ao aspecto funcional e estrutural. A condição funcional descreve a qualidade da rodovia em termos de conforto, segurança, custo ao usuário, influência do meio ambiente e aspectos estéticos, procurando-se associar a natureza dos defeitos às causas determinantes. A condição estrutural está relacionada à capacidade de suporte do pavimento, abrangendo as características de resistência e deformabilidade das camadas do pavimento e do subleito sob a ação das cargas atuantes (BORGES, 2001).

No Brasil, existem diversas metodologias para a avaliação da qualidade dos pavimentos. Normalmente estas metodologias estão incorporadas às especificações de materiais ou em procedimentos de serviços dos diversos órgãos competentes. Entretanto, observa-se a necessidade de atualização e ampliação dessas técnicas, principalmente com relação aos critérios de uso em pistas das cidades, onde o controle da execução não alcançou patamares mais elevados de qualidade e de desempenho.

Como exemplo dessa necessidade pode-se citar o fato de que, se fossem seguidos os procedimentos de controle de qualidade utilizados atualmente em obras de pavimentação no Brasil, não restaria às cidades alternativa senão a reconstrução integral dos pavimentos.

2.2.1 Avaliação Funcional do Pavimento

Esta avaliação se refere à capacidade do pavimento de satisfazer a sua principal função, que é fornecer uma superfície adequada em termos de qualidade de rolamento. Gontigo et al. (1994), associam a avaliação funcional do pavimento ao conforto do rolamento, condição da superfície, interação pneu-pavimento, defeitos e irregularidades.

A avaliação da condição funcional da pista é verificada ainda de forma subjetiva, dependendo muito da experiência e destreza do avaliador – apesar da

evolução das técnicas de medidas de irregularidade, com equipamentos medidores acoplados a veículo, por exemplo. Essas novas técnicas permitem uma avaliação objetiva da pista, reproduzindo a percepção do usuário quanto às condições de trafegabilidade.

Segundo o DNIT (BRASIL, 2011), a avaliação funcional tem sido realizada pelo Levantamento Visual Contínuo (LVC), que determina o Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis (ICPF), e atribui notas de 0 a 5 ao pavimento, classificando limites e ações de manutenção segundo critérios de aceitabilidade e trafegabilidade.

2.2.2 Avaliação Estrutural do Pavimento

Apesar da classificação visual denunciar a qualidade de rolamento da via, é a avaliação estrutural que determina a capacidade de carga das camadas no interior do pavimento, e está diretamente vinculada ao seu projeto e dimensionamento. Segundo Gontigo et al. (1994), este tipo de avaliação permite realizar a detecção das causas atribuíveis da degradação no pavimento, o que levaria à definição das operações e procedimentos que devem ser empregados no processo de restauração da via.

A avaliação estrutural pode ser realizada de forma empírica, quando se observa o comportamento dos pavimentos, ou analiticamente, quando se determina a capacidade de carga da pista (FRANCISCO, 2012). Na determinação da capacidade de carga, o princípio básico dos ensaios é a medida da deflexão. A deflexão é a deformação vertical lida no pavimento, quando este é submetido à ação de uma carga, e segundo Khazanovich et al. (2014) é um bom indicador da capacidade que o mesmo tem para suportar as cargas do tráfego.

Considera-se ainda que, ao longo do tempo de operação do pavimento, ocorre uma evolução das deflexões, causada por fatores climáticos ou pela ação do tráfego. Estas tendem a diminuir ao longo dos anos de serviço do pavimento, apresentando, na fase final da vida do pavimento, um aumento significativo (MIRANDA; PEREIRA, 1999).

Assim, com as deflexões medidas em campo pode-se estimar necessidade de manutenção (reforço) ou mesmo a reconstrução do pavimento. Para avaliação da condição estrutural do pavimento, a literatura preconiza a utilização de métodos de ensaios, que podem ser destrutivos ou não.

2.2.2.1 Método Destrutivo

Esse método consiste na coleta de amostras das camadas do pavimento para posterior caracterização física da estrutura do mesmo em laboratório; requer a sondagem da pista, através da abertura de poços ou trincheiras. Devido à sua natureza, só pode ser empregado em alguns poucos pontos selecionados como representativos de cada segmento.

Conforme Marcon (1996), bem como Pitta e Trichês (2000), a avaliação é chamada destrutiva porque invalida, para futuros testes, as áreas do pavimento onde foram feitas as remoções. Ou ainda, é aquela em que há a remoção de um corpo de prova integrante do pavimento como forma de obtenção de amostras para ensaios de verificação das qualidades estruturais do leito rodoviário.

Este tipo de ensaio destina-se à determinação em laboratório de índices de caracterização (CBR – Índice de Suporte Califórnia, limite de liquidez, limite de plasticidade), propriedades físicas (granulometria, densidade) ou propriedades e características mecânicas dos materiais (módulo de deformabilidade, resistência à tração ou compressão, comportamento sob fadiga e deformação permanente) (MACÊDO, 1996).

Segundo Henrique (2013), neste tipo de ensaio é possível ainda determinar o estado de envelhecimento do ligante, por extração do mesmo e posterior caracterização química e ou física. Também verifica se há intrusão do material de subleito nas camadas de base ou sub-base, entre outros. Informações essas inviáveis apenas a partir de avaliações de defeitos superficiais.

Esse método pode ser executado manual ou mecanicamente, e os processos mais empregados são: abertura de cavas à pá e picareta como na Figura 1; abertura de furos a trado, concha ou helicoidal; abertura de trincheiras transversais à pista; extração de amostras de revestimentos e bases com sondagens rotativas.

Figura 1 – Aquisição dos dados pelo método destrutivo



Fonte: O Autor (2017)

2.2.2.2 Método Não Destrutivo

Apesar de vários procedimentos laboratoriais para ensaios de pavimento terem sido uma prática padrão por muitos anos na engenharia, os testes não destrutivos (*Non Destructive Testing*, NDT) constituem técnicas que estão se tornando cada vez mais populares hoje em dia, pois oferecem a alternativa da avaliação ser rápida, econômica, confiável e de menor interferência ao tráfego (NAZARIAN; STOKOE, 1989).

Aponta-se como vantagem dos NDT o fato de que as medições podem ser consideradas verdadeiramente *in situ*, uma vez que é possível medir a resposta real do pavimento à carga aplicada sem submeter a restante da estrutura às perturbações que a extração da amostra pode causar, dispensando ainda todo o seu manuseio e preparação para ensaio posterior.

Outro benefício, segundo Macêdo (1996), está associado ao fato de os dados recolhidos por esse método representarem o comportamento da estrutura em uma área abrangente do pavimento, podendo ainda ser repetido no mesmo local, a qualquer tempo.

São diversos os equipamentos para realização dos NDT. Todavia, pode-se classificá-los pelo modo de aplicação da carga na pista. Os equipamentos que utilizam a carga pontual para a realização dos ensaios são designados por deflectômetros e podem medir uma deformação vertical (deflexão) resultante de um

impacto (dinâmico) ou de carregamento (estático) de uma massa, ambos sobre um determinado ponto da superfície do pavimento.

Por outro lado, os ensaios realizados por carregamentos designados de carga rolante utilizam equipamentos que, através de uma carga aplicada pela passagem de um eixo de um veículo pesado, permitem obter uma linha de influência de carga relativamente a um ponto fixo (FRANCISCO, 2012).

Estes procedimentos fazem parte da metodologia de projetos de reforço de várias organizações mundiais e, no Brasil, estão regulamentados através das normatizações DNIT 133/2010-ME e 162/2012-PRO (para carga rolante) e DNER-PRO 273/96 e DNIT 410/2017-ME (para carga pontual), por exemplo.

Departamentos estaduais de estradas no Brasil (AGETOP-GO, DER-SP), em seus manuais para restauro e conserva de pavimentos asfálticos, indicam que os parâmetros deflectométricos empregados na avaliação estrutural devem ser a deflexão máxima, raio de curvatura (da deformada) e módulos de resiliência obtidos por retroanálise.

Em sua dissertação de Mestrado, Borges (2001) afirma que a deflexão máxima é, de maneira genérica, o dado mais utilizado no meio rodoviário para avaliação estrutural de pavimentos, representando a resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento. Expõe ainda, que geralmente, seu valor diminui com a profundidade e com o distanciamento do ponto de aplicação da carga.

Não obstante, o procedimento DNER-PRO 11/79 requer que, para o ensaio não destrutivo com Viga Benkelman, mais leituras além da deflexão máxima sejam realizadas – normalmente leituras com a carga afastadas de 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 e 200 centímetros do ponto de prova da viga. A partir dessas medições, calculam-se as deflexões correspondentes (D_{25} , D_{50} , D_{75} , D_{100} , D_{125} , D_{150} , D_{175} e D_{200}) materializa-se a linha elástica, bacia deflectométrica, ou ainda, deformada do pavimento.

Existe esta necessidade porque somente a deflexão máxima D_0 não é suficiente para explicar sozinha o comportamento estrutural e o processo de distribuição de cargas no interior do pavimento. Leituras adicionais, afastadas do ponto inicial de aplicação da carga, permitem o cálculo do raio de curvatura da deformada.

A forma assumida pela deformada ou bacia de deformação indica a qualidade estrutural do pavimento, apontando como acontece a distribuição das cargas nas camadas subjacentes do pavimento.

De forma a simplificar o ensaio, o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) do DNIT, estabeleceu analiticamente que a bacia de deformação tem a forma aproximada a uma parábola do 2º grau até uma distância de 25cm do ponto de aplicação da carga, podendo o raio ser definido pela expressão da fórmula (1):

$$R = \frac{3125}{(D_0 - D_{25})} \quad (1)$$

Onde:

R = raio de curvatura da bacia de deformação, em m;

D_0 = deflexão recuperável no ponto de aplicação da carga, em 10^{-2} mm; e,

D_{25} = deflexão recuperável a 25cm do ponto de aplicação da carga em 10^{-2} mm.

Entretanto, a literatura é rica no cálculo do raio de curvatura dessa deformada, e é possível a associação matemática desse dado por outras relações, expressas pelas fórmulas (2), (3) e (4).

$$\text{Huang (senoidal)} \quad R_C = \frac{10 \times L}{\pi^2 (D_0 - D_{25})} \quad (2)$$

$$\text{Agnesi} \quad R_C = \frac{10 \times L^2}{(D_0 - D_{25}) \left(\frac{D_0}{D_{25}} \right)} \quad (3)$$

$$\text{Arco circular} \quad R_C = \frac{10 \times L^2}{8 (D_0 - D_{25})} \quad (4)$$

Sendo:

L = corda de 50cm;

D_0 e D_{25} , as variáveis já definidas.

A deflexão máxima reversível e o raio de curvatura são grandezas inversamente proporcionais. Pavimentos em boa condição estrutural apresentam valores de deflexão baixos e valores de raio de curvatura elevados, revelando a capacidade de assimilar e distribuir os esforços para as camadas do pavimento.

2.2.3 Retroanálise

A retroanálise é um processo capaz de fornecer as propriedades das camadas do pavimento *in situ*, para que sejam utilizados na conserva e/ou restauração das características aceitáveis do pavimento (VILLELA; MARCON, 2001). Permite também a obtenção dos módulos de resiliência das camadas do pavimento e subleito. Esta determinação é feita a partir das deformadas que o pavimento apresenta quando submetido ao carregamento nos métodos de ensaios não-destrutivos (FERRI, 2013).

Para a medida da capacidade de carga pode-se utilizar equipamentos de carregamento estático (como a Viga Benkelman) e dinâmicos (como o FWD), instrumento mais sofisticado capaz de obter determinações mais precisas (VILLELA; MARCON, 2001). Recentemente, estudos apontam a viabilidade de equipamentos de carregamento dinâmico leves, como o LFWD, para a avaliação de pavimentos (GUZZARLAPUDI et al., 2016).

A retroanálise da deflexão máxima, e do raio de curvatura da superfície do pavimento quando da aplicação da carga permite, segundo ALBERNAZ et al. (1997):

1. A avaliação estrutural comparativa entre trechos de uma mesma rodovia ou de rodovias diferentes;
2. Obtenção de dados para projetos de drenagem (de pavimentos), indicando a presença de possíveis camadas rígidas no subleito;
3. Proporciona a elaboração de projetos mais racionais, que se convertem em pavimentos mais duráveis e de custo mais baixo;
4. Projetos mais confiáveis e que evitem restaurações prematuras e altos custos de manutenção e/ou restauração, se for o caso.

De acordo com Medina et al. (1994), os dados resultantes de ensaios não destrutivos de pavimentos são fundamentais para balizar os ensaios de cargas repetidas realizados em laboratório, quando se alimenta programas de retroanálise.

A partir do final da década de 70, em pesquisas realizadas na Universidade Federal do Rio de Janeiro com parceria do IPR/DNER, foi introduzida uma rotina para pesquisa de pavimentos, com o objetivo de cálculo e execução de reforços de

pistas. Essa rotina baseava-se na medida de deflexão em campo, conjuntamente com o estudo dos materiais componentes do pavimento, para cálculo de tensões e deformações de forma iterativa por processo computacional.

Este roteiro se mostrou adequado em muitos trechos estudados, já que as bacias deflectométricas calculadas e medidas apresentavam bons ajustes. Através dessa pesquisa foi possível mostrar que grande parte da deflexão elástica nos pavimentos flexíveis é fruto das características das camadas granulares e não do subleito, como se pensava anteriormente e se considerava nos países de clima temperado (MEDINA,1997).

Atualmente, organismos internacionais como: *Asphalt Institute, California Department of Transportation, U.S. Army Corps of Engineers* (EUA), *Laboratoire Central de Ponts et Chaussée* (FRANÇA), e o próprio DNIT, através de seu manual de restauração, utilizam como metodologia a análise deflectométrica para subsídio de cálculo do reforço de pavimentos. E, apesar de cada órgão apresentar procedimentos diferentes, a espessura de reforço calculada é a diferença entre a espessura total requerida para o pavimento e a “espessura equivalente ou efetiva” determinada para o pavimento existente.

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT de 2006 explica que a retroanálise considera a degradação do pavimento, provocando a redução da vida de serviço e aumento das deflexões registradas, ou seja, que sua espessura efetiva vai diminuindo a medida que sua vida de serviço avança. Descreve que a espessura efetiva ou equivalente baseia-se no tipo, condição e espessura de cada camada componente do pavimento, a metodologia é também denominada como a da análise das camadas. O reforço estrutural vem suprir essa “diminuição” de espessura equivalente.

2.3 EQUIPAMENTOS PARA MEDIDA DAS DEFLEXÕES

São vários os instrumentos que podem ser utilizados na avaliação estrutural não destrutiva de pavimentos. Nas últimas décadas houve uma relevante evolução tanto nos dispositivos de leitura das deflexões quanto no modo como o carregamento é aplicado ao pavimento (ALBERNAZ, 1997).

Assim, para a adequada avaliação estrutural de pavimentos é necessário o conhecimento dos diversos equipamentos, visto que todos medem a deformação

vertical (deflexão) durante um estágio de carga. O planejamento da avaliação estrutural deve comparar, levando em conta o custo do ensaio, a produção diária, a simplicidade, e a menor interferência no trânsito possível.

Segundo Medina et al. (1994), quanto à forma de aplicação da carga, há três classes de equipamentos utilizados na avaliação estrutural não-destrutiva. São eles:

1. Equipamentos de carregamento estático: Viga Benkelman, Viga Benkelman Automatizada, ensaio de carga com placa, etc.;
2. Equipamentos de carregamento vibratório: *Dynaflect*, *Road Rater*, etc.;
3. Equipamentos de carregamento dinâmico: FWD, LFWD.

Além destes equipamentos, é possível encontrar estudos em métodos alternativos com a finalidade de avaliar a capacidade estrutural dos pavimentos. São exemplos deles o *Ground Penetration Radar* (MARGARIDO et al., 1998; GONÇALVES; CERATTI, 1998) e os equipamentos que usam ondas sísmicas em sua análise (RYDEN et al., 2004).

2.3.1 Equipamentos de Carregamento Estático

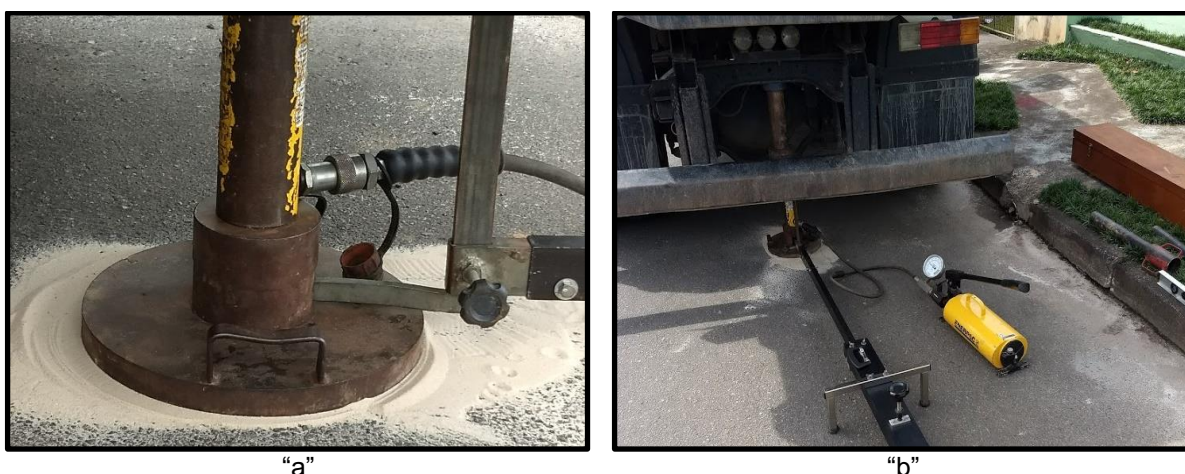
Segundo HAAS et al. (1994) estão incluídos nesta classe os ensaios de placa, a Viga Benkelman, a Viga Benkelman automatizada e o curvímeter. Estes equipamentos, com exceção da placa, medem a deflexão provocada pelo carregamento de rodas duplas de um veículo que se desloca à baixa velocidade. Esta prática tem como finalidade evitar que ocorra a influência de forças inerciais (MEDINA et al., 1994).

2.3.1.1 Ensaio de Carga com Placa

Originalmente aplicado à caracterização de solos, segundo Borges (2001), essa prova de carga foi utilizada pela primeira vez na pavimentação em 1948, com o objetivo de avaliar o desempenho das pistas dos aeroportos de Sarnia e Ottawa, no Canadá. Albernaz (1997) diz tratar-se de um dos primeiros métodos desenvolvidos para a medição de deflexões.

Neste ensaio, ao contrário dos outros de sua categoria, as medidas de deflexão não são tomadas sob o carregamento das rodas do veículo (HAAS et al., 1994). Consiste, basicamente, na aplicação de cargas sucessivas sobre uma placa circular como mostra a Figura 02, de raio conhecido, e na medição das respectivas deformações recuperáveis ou elásticas do pavimento.

Figura 2 – Esquematização do ensaio de placa



Fonte: O Autor (2017)

No Brasil, o método DNIT 410/2017 – ME, descreve a metodologia do ensaio de carga em corpos de aterro e enrocamentos. Já as normas francesa e alemã AFNOR NF P 94-117-1(2000) e DIN 18134 (2001), respectivamente, estabelecem que este ensaio pode ser empregado em infraestruturas rodoviárias, ferroviárias desde que o agregado não possua tamanho maior que 200 mm.

O ensaio de placa, em relação aos outros métodos, é considerado demorado, sendo necessário cerca de 40 minutos para ser realizado. Todavia, apresenta boa correlação com a Viga Benkelman no tocante a deformações verticais, verificado em estudo realizado por Suzuki et al. (1988).

2.3.1.2 Viga Benkelman

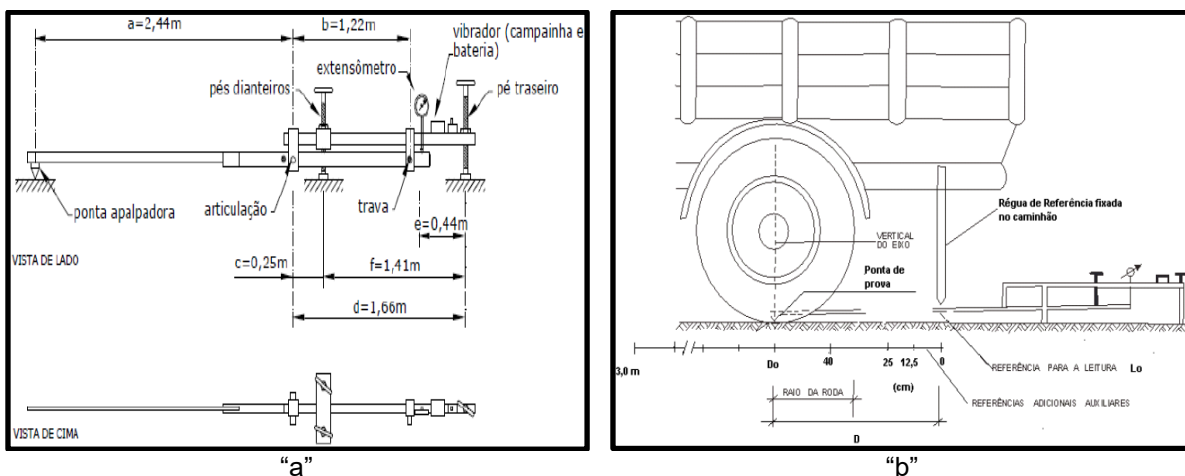
A Viga Benkelman surgiu na década de 50, nos Estados Unidos, desenvolvida por A.C Benkelman, na *Western Association of State Highway Organizations-WASHO*. (CARNEIRO, 1966). No Brasil, o Eng. Nestor Arantagy, do DER-SP,

publicou em 1962, na 3ª Reunião Anual de Pavimentação, o primeiro trabalho sobre medida de deflexão com a Viga Benkelman.

É um equipamento simples de operar e decorre da necessidade de agilizar e reduzir os custos das avaliações de pavimentos através de provas de carga. Isso levou à substituição do moroso ensaio de placa por um procedimento mais versátil e rápido, cujo carregamento é feito com os próprios pneus de um caminhão carregado (Figura 3b), ao invés da placa circular (ALBERNAZ, 1997).

A Viga Benkelman é composta por uma parte fixa apoiada no pavimento através de pés reguláveis e por uma parte móvel (viga), ligadas entre si por articulação. Na extremidade da parte móvel fica a ponta apalpadora, em contato com a superfície (ponto onde se pretende medir a deflexão). Na outra extremidade é acionado um extensômetro (Figura 3a) que regista o movimento vertical (LOPES, 2013).

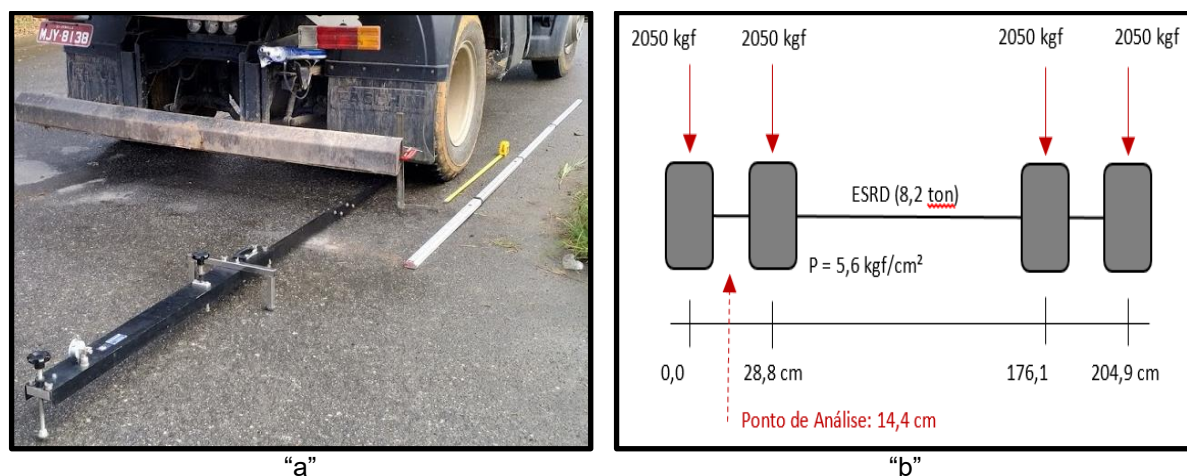
Figura 3 – Representação esquemática da Viga Benkelman



Fonte: Adaptado de MEDINA e MOTTA (2005).

O caminhão padronizado para este tipo de ensaio tem rodado traseiro duplo de eixo simples (toco, Figura 4a), com pneus calibrados à pressão de 80lb/pol² (5,6 kgf/cm²) e carga de 8,2tf, simetricamente distribuída em relação às rodas, como no esquema da figura 4b.

Figura 4 – Esquema de carregamento da Viga Benkelman

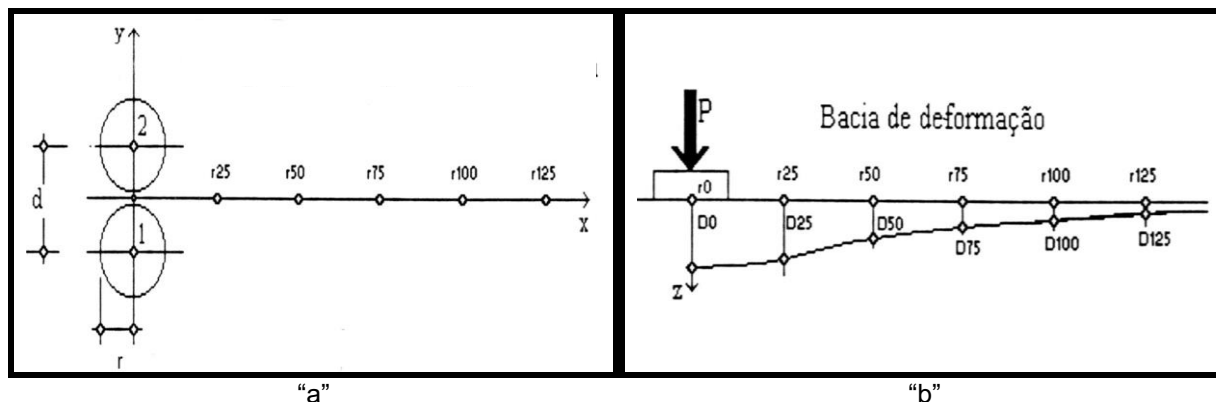


Fonte: O Autor (2017)

Posicionado o caminhão e inserida a ponta apalpadora entre os pneus do rodado duplo, são feitas as leituras movendo-se o caminhão para frente e parando-o em pontos pré-estabelecidos (ALBERNAZ, 1997). A leitura inicial (L_0) é obtida no extensômetro (em 1/100mm). A viga também possui um vibrador que tem a função de eliminar a inércia inicial das partes móveis e evitar eventuais inibições do ponteiro do extensômetro. Esse equipamento foi projetado considerando-se que a área deformada do pavimento – ou seja, a área de influência da carga – no instante da leitura inicial não atinja nem os pés dianteiros nem a ponta de prova. Ao final do ensaio, desloca-se o caminhão para frente até que seu peso não exerça mais influência sobre a viga e faz-se a leitura final (L_f). Por semelhança de triângulos, calcula-se o valor do deslocamento da ponta de prova da viga (considerado como igual à deflexão do pavimento no mesmo ponto). Multiplicando-se a diferença entre as leituras pela relação da articulação da viga (relação a/b) têm-se o valor da deflexão no ponto.

A Figura 5a apresenta os pontos de avaliação da Viga Benkelman mais comuns em ensaio e o diagrama do traçado da deformada a partir dos valores de deflexão obtidos.

Figura 5 – Pontos de avaliação da Viga Benkelman



Fonte: O Autor (2017)

Segundo Borges (2001), o cálculo das deflexões obtidas no ensaio realizado com a Viga Benkelman é realizado através das Equações 5 e 6:

$$D = (L_0 - L_f) * \frac{a}{b} \quad (5)$$

$$D_i = (L_i - L_f) * \frac{a}{b} \quad (6)$$

Onde:

D - Deflexão máxima;

D_i - Deflexão intermediária;

L_0 - Leitura inicial;

L_i - Leitura final;

$\frac{a}{b}$ - Relação entre braços da viga

Com as leituras a diferentes distâncias do ponto de aplicação da carga é possível determinar a linha de influência longitudinal da bacia de deformação (Figura 5b) e o cálculo do raio de curvatura.

No Brasil, o traçado dessa linha de influência longitudinal, através da bacia de deformação obtida por Viga Benkelman deve seguir a metodologia DNIT 133/2010 – ME, registrando que as leituras devam ser feitas com o caminhão parado sobre o ponto onde se realiza a medida de deflexão (*Creep Speed Rebound Deflection*). Porém, internacionalmente, o *AASHTO Guide* (EUA) estabelece que pode ser utilizado o modo de leitura no qual o veículo passa com velocidade baixa sobre os pontos de análise (*Creep Speed Normal Deflection*).

Dentre as principais dificuldades associadas à operação da Viga Benkelman, pode-se citar:

1. Dificuldade de determinação da curvatura e tamanho da bacia de deflexão;
2. Baixa repetibilidade dos testes, ou seja, dispersão elevada das leituras;
3. Impossibilidade de assegurar que as bases de apoio da viga estejam fora da deformada;
4. O sensor mede a deflexão estacionária, não infere sensibilidade do veículo em movimento; e
5. Morosidade do teste.

Como principais vantagens da Viga Benkelman, cita-se:

1. Facilidade de operação;
2. Necessidade de mão de obra com pouca experiência;
3. Embora a repetibilidade dos testes seja baixa, em termos médios, o valor medido retrata com grande aproximação a real deformação do pavimento; e,
4. Baixo custo do ensaio.

2.3.1.3 Viga Benkelman Automatizada

Este equipamento foi desenvolvido para aumentar a precisão e a velocidade de medidas das deflexões, utilizando os mesmos princípios da Viga Benkelman. Funciona instalada sob um veículo carregado (Figura 6a e 6b) e à medida que este se desloca, os dispositivos registram automaticamente as deflexões, a partir do ponto inicial do ensaio.

Figura 6 – Deflectógrafo *Lacroix*

"a"

"b"

Fonte: DNIT (2012)

Essa automatização permite que, enquanto operador dirige o veículo de teste, a viga meça e grave as deflexões ponto a ponto. HAAS et al. (1994) usaram um equipamento automatizado que permite que sejam feitas leituras de deflexão a cada 5cm, desde o ponto de aplicação do carregamento até quando não haja mais influência do próprio, o que possibilita a obtenção de uma bacia deflectométrica mais acurada.

Desde 2012, o DNIT possui norma para a utilização desse equipamento (Viga Benkelman automatizada), nomeando-o como Deflectógrafo *Lacroix*, para o levantamento das bacias de deflexão.

Dentre as principais vantagens deste equipamento destacam-se: a-velocidade de operação que varia em função do tipo de equipamento (de 0,8 km/h no "*Califórnia Traveling Deflectometer*" a 3km/h no deflectógrafo *Lacroix* – Figura 6 – e 18 km/h no Curvímetro), e o fato de fazer medidas simultâneas nas trilhas de roda interna e externa, com grande rendimento de número de pontos ensaiados (BORGES, 2001).

2.3.2 Equipamentos de Carregamento Vibratório

São os equipamentos de medições deflectométricas nos quais os carregamentos são aplicados por forças senoidais no pavimento. Destacam-se:

2.3.2.1 Dynaflect

O *Dynaflect* foi o primeiro aparelho disponível comercialmente a utilizar o modo dinâmico de carregamento, e o mais utilizado nos Estados Unidos após a Viga Benkelman. É um equipamento que aplica ao pavimento uma carga dinâmica (vibratória) constante e igual a 4450N (454kgf), com frequência de 8Hz. O equipamento é montado em um veículo do tipo reboque, que conduz dispositivos para aplicação da carga no pavimento e para a determinação da deformação vertical reversível produzida. A carga é aplicada por meio de duas rodas de aço, revestidas de borracha, distantes de 50,8cm entre si, localizadas junto ao eixo das rodas de locomoção do veículo, tendo o mesmo eixo de simetria destas últimas.

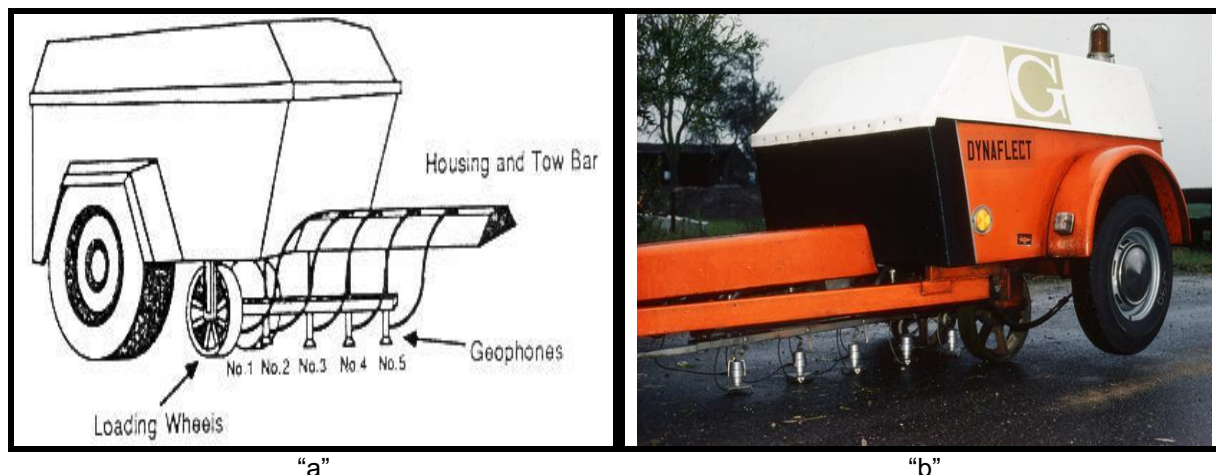
As deformações verticais produzidas pelo carregamento aplicado são registradas mediante informações de 5 geofones instalados em uma barra perpendicular ao eixo do veículo. Um deles é instalado no eixo das rodas de aplicação da carga e outros 4 dispositivos a cada 0,30m, na mesma direção, a partir daquele geofone. A barra de içamento permite a instalação dos geofones com outras distâncias entre eles, conforme as necessidades do ensaio. O método de ensaio está normatizado no Brasil pelo DNER-ME 39/78.

Smith e Lytton (1985), citam as principais limitações técnicas deste equipamento:

- Necessidade de aplicação de pré-carregamento estático em cada estação de ensaio, com valor superior a duas vezes o valor da carga que será utilizada no ensaio;
- Baixa magnitude de carregamento aplicada no pavimento;
- Não permite a variação da frequência nem do carregamento aplicado ao pavimento; e
- Não pode ser registrada a deflexão diretamente sob o ponto de aplicação da carga.

A Figura 7 apresenta uma ilustração do *Dynaflect*.

Figura 7 – DYNAFLECT



Fonte: Adaptado de HAAS et al. (1994)

2.3.2.2 Road Rater

O *Road Rater* foi o segundo aparelho disponível comercialmente a utilizar o modo dinâmico de carregamento. O equipamento é montado em um veículo do tipo reboque, no qual estão instalados o sistema de carregamento e os quatro sensores de deflexão espaçados 0,30m entre si, sendo o primeiro localizado sobre o ponto de aplicação da carga. O carregamento dinâmico é obtido por meio de um sistema eletro-hidráulico que desenvolve a aceleração de uma massa alternadamente acima e abaixo de um ponto médio.

As vantagens deste equipamento sobre o *Dynaflect* são:

- Disponibilidade de modelos que aplicam cargas elevadas ao pavimento;
- Possibilidade de variação do carregamento aplicado ao pavimento, dentro da faixa de cargas disponíveis em cada modelo; e
- Permite que seja registrada a deflexão máxima sob o ponto de aplicação da carga.

2.3.3 Equipamentos de Carregamento por Impulso

Assim como outros NDT, os testes de impacto buscam obter pela deformação do pavimento as causas que levam a trincas e fissuras na superfície da pista, no que tange à estratégia para a sua recuperação. Esses equipamentos causam impacto na

superfície pela queda de uma massa, simulando assim a passagem de um veículo a certa velocidade.

2.3.3.1 Deflectômetro de Impacto (FWD)

O deflectômetro de impacto (FWD) é um equipamento que permite aplicar um carregamento na superfície de um pavimento que se pretende estudar, através de uma placa circular. Este equipamento estabeleceu-se mundialmente como sendo uma das ferramentas mais eficazes na medição de deflexões (SALTAN e TERZI, 2008).

Segundo Nóbrega (2003), os equipamentos tipo FWD simulam o efeito da passagem de uma roda em movimento sobre o pavimento de modo semelhante ao efeito causado pela passagem de uma carga de roda a velocidade de 80 km/h. Esta simulação é feita através da queda de uma massa, de determinada altura, sobre um sistema de amortecedores capazes de transmitir ao pavimento um pulso de carga com formato aproximadamente igual a uma onda senoidal.

O FWD aplica, dependendo da marca e modelo, cargas entre 6,7 e 156 kN no pavimento quando, então, são medidas as deflexões resultantes do impacto da carga na superfície do mesmo, bem como o tempo que demorou a voltar ao ponto inicial após a deformação. Como dito anteriormente, a carga é aplicada a uma placa circular, metálica, por um peso que cai de determinada altura, sobre um conjunto de amortecedores, evitando o impacto direto da placa com a superfície do pavimento. Geralmente as deflexões são medidas em diferentes posições através de sensores. Os valores de pico lidos em cada um destes sensores possibilitam traçar a chamada bacia de deflexão (GOKTEPE; AGAR; LAV, 2006).

Matematicamente, igualando-se a energia potencial da massa (antes de sua queda) com o trabalho desenvolvido pelos amortecedores de borracha (depois da queda) pode-se calcular a força de pico exercida sobre o pavimento que, de acordo com a equação (CARDOSO, 1999), fica:

$$F = \sqrt{2 \cdot M \cdot g \cdot h \cdot k} \quad (9)$$

Onde:

F = força de pico;

M = massa do peso que cai;

g = aceleração da gravidade;

h = altura de queda; e

k = constante de mola do sistema de amortecedores.

Essa força aplicada na placa é teórica, ou nominal, pois desconsidera o atrito. O valor da carga real aplicada ao pavimento é registrado automaticamente pela célula de carga e é função não somente da massa e da altura de queda, mas também da rigidez e temperatura do pavimento. Quanto mais rígido o pavimento, maior a carga real, para uma dada massa e altura de queda. O pico das deflexões apresenta uma defasagem em relação à carga, sendo maior quanto mais afastado estiver o medidor de deslocamento (CARDOSO, 1999).

O impacto da queda da massa atinge um sistema de amortecedores e transmite a carga a uma placa circular de 30cm ou 45cm de diâmetro (dependendo do aparelho) apoiada no pavimento. O valor da solicitação, ou seja, da carga real aplicada é registrado pela célula de carga (*load cell*) instalada na placa de carga.

A duração da carga aplicada é da ordem de 30ms no equipamento da marca *Dynatest* e de 34 a 50ms no da KUAB o que, para este último, segundo a fabricante, é correspondente a uma roda com velocidade entre 60 e 80 Km/h. A média diária de produção deste tipo de equipamento é excelente, oscilando entre 500 a 700 pontos ensaiados. (MEDINA, 1997).

As deflexões são medidas por transdutores de velocidade, sendo um sob o centro da placa e os outros em posições variáveis, adaptados a uma barra levadiça de até 4,5m de comprimento. Esses transdutores de velocidade são os geofones no caso do equipamento da *Dynatest* e LVDT ou sismômetros (*Linear Variable Differential Transformer*) no caso do modelo KUAB. O Manual SHRP-LTPP do departamento que administra as autoestradas americanas (FHWA), recomenda as distâncias de 0, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 cm entre os sensores, tanto para pavimentos flexíveis como para pavimentos rígidos.

Segundo Rocha Filho e Rodrigues (1996), a escolha mais acertada para o posicionamento dos sensores deve ser função da rigidez e das espessuras das camadas do pavimento que será avaliado, visto que pode influenciar os resultados obtidos na retroanálise para os módulos de elasticidade dos materiais. Em

pavimentos flexíveis espessos o ultimo sensor deve ficar mais afastado do ponto de aplicação da carga, a fim de possibilitar o registro das deflexões provocadas pelo subleito.

Dentre os vários modelos de equipamentos tipo FWD citam-se:

- *Dynatest Falling Weight Deflectometer*, de origem norte-americana da empresa *Dynatest*;
- *Dynatest HWD*;
- *KUAB Falling Weight Deflectometer*, de origem sueca;
- *Phoenix Falling Weight Deflectometer*; e
- *Nagaoka KUAB Falling Weight Deflectometer*, de origem japonesa.

No Brasil, o FWD foi introduzido em 1989, e até 2015 o país possuía oito equipamentos, sendo seis de fabricação *Dynatest*, versão norte-americana, e dois modelo KUAB, fabricação sueca (BORGES, 2001).

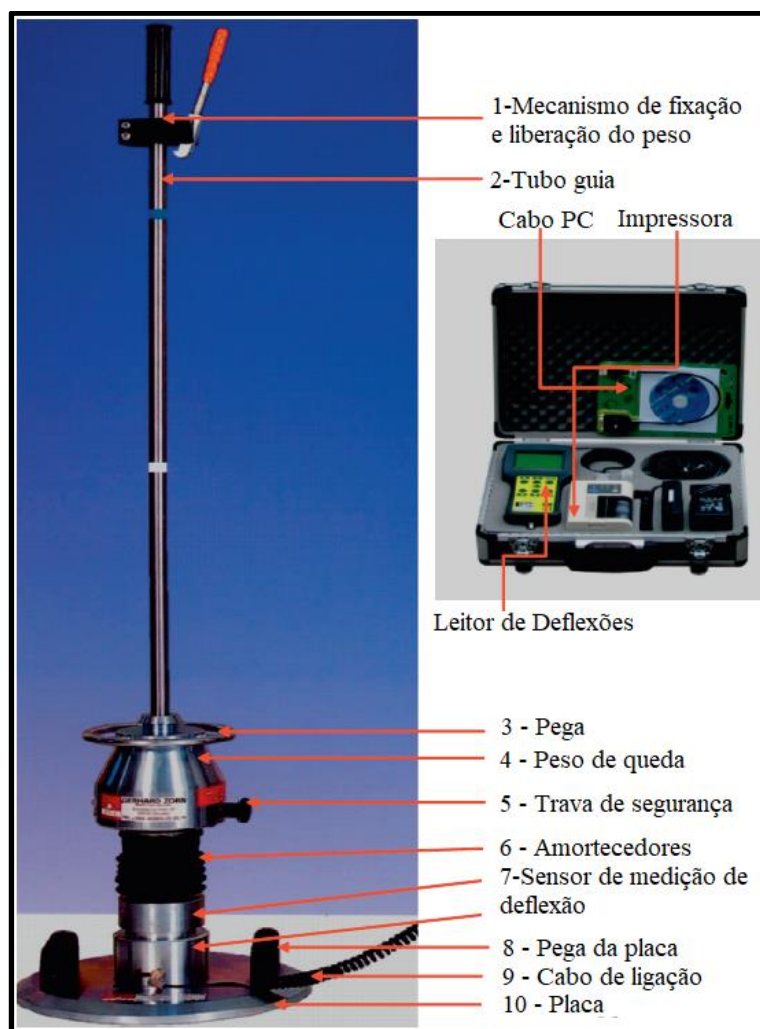
2.3.3.2 Deflectômetro de Impacto Leve (LFWD)

O deflectômetro de impacto leve ou ligeiro (LFWD) foi desenvolvido na Alemanha no início da década de 80 (ELHAKIM et al., 2014), e é basicamente um deflectômetro de impacto portátil, mais compacto que o FWD tradicional. Este equipamento surgiu como alternativa ao FWD convencional, especialmente em situações onde se possam encontrar dificuldades de acesso aos pontos de ensaio, como em estradas ainda em construção (BENEDETTO et al., 2012).

Assim como o FWD, no LFWD a influência humana na execução desse ensaio e transmissão dos resultados é praticamente zero. Pode ser utilizado tanto para dimensionamento de pavimentos flexíveis e rígidos como para controle de camadas compactadas e, agora neste trabalho, para investigação de estrutura de pavimentos em serviço, procurando-se determinar o seu desempenho estrutural. Para exemplificar a sua utilidade é possível a partir de um equipamento com massa de queda de 10 kg, medir deformações de até 16mm, com resolução de 0,001mm (SOLOTEST, 2018).

A Figura 8 mostra a constituição genérica de um Deflectômetro de Impacto Leve.

Figura 8 – Constituição de um LFWD



Fonte: Adaptado de ELHAKIM et al. (2014)

O dispositivo é composto por uma célula de carga de alta precisão que mede o valor máximo da força de impacto da queda de um peso de 10, 15 ou 20kg (dependendo da utilização) preso a uma placa de carga com diâmetro de 300 mm. O valor da força de impacto é baseado em medidas da célula de carga e os deslocamentos (deflexões) são medidos por até três sensores, que podem ser posicionados a diferentes distâncias em relação ao centro da placa.

O procedimento do teste consiste em posicionar o equipamento no ponto de realização do ensaio e aplicar uma carga dinâmica de aproximadamente 700 kg sobre a superfície do pavimento num período de tempo de 30ms (milissegundos) e,

no mesmo instante, efetuar leituras dos deslocamentos na superfície das camadas e obter o módulo de elasticidade correspondente.

Internacionalmente existem diferentes tipos e modelos portáteis do equipamento para ensaios dinâmicos *in situ*, podendo citar como exemplo o *Loadman* (Finlândia), *German Dynamic Plate* (GDP), *Transport Research Laboratory Foundation Tester* (TFT) (NAZAAL, 2003), todos com o mesmo princípio de funcionamento.

Além da norma americana ASTM E2835/11, aplica-se a esse equipamento os códigos de Engenharia Alemã: TP BF-StB B 8.3; Espanhol: UNE 103807-2/2008; Austríaco R VS 08/03/04 e Chinês TB 10102/2004, J338/2004.

O LFWD tem sido utilizado especificamente para controle de qualidade das camadas do pavimento (subleito, sub-base e base), em pavimentos novos ou em obras já existentes, para medir a deformabilidade das camadas do subleito e da infraestrutura do pavimento. O equipamento não necessita de nenhuma medida de referência e fornece alternativa simples em comparação com os demais testes até então utilizados, em especial o FWD (NAZAAL, 2003).

Este ensaio pode ser utilizado na avaliação da capacidade de carga em pavimentos, e também na determinação do módulo de deformabilidade de solos granulares com módulos entre os 15 e 70/80 Mpa. As principais vantagens deste equipamento estão associadas à sua mobilidade, facilidade de transporte e possibilidade de realização de ensaios em locais de difícil acesso, como trincheiras de escavação. Apesar de apresentar estas vantagens, o seguinte conjunto de fatores pode influenciar os resultados obtidos com este tipo de equipamento (LOPES, 2010):

- Fatores ambientais, tais como, a temperatura e a umidade;
- Teor em água e compactação das camadas;
- Espessura e posição das camadas; e
- Tipos de materiais que constituem as camadas.

2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NOS VALORES DE DEFLEXÃO

Os parâmetros de deformabilidade elástica do pavimento, obtidos por meio da retroanálise dos levantamentos deflectométricos, exercem grande influência no

diagnóstico das condições estruturais do pavimento. Desta forma, é importante que se tenha conhecimento dos fatores que influenciam nos valores de deflexão obtidos.

Segundo Rocha Filho (1996), os fatores que influenciam a magnitude das deflexões são:

- Fatores ambientais, tais como a temperatura e a umidade, principalmente do subleito;
- Modo de carregamento utilizado;
- Confiabilidade, através da repetibilidade das leituras e acurácia dos equipamentos; e
- Espessura e posição das camadas na estrutura do pavimento.

Para Medina et al. (1994), são vários os fatores que afetam a estimativa da capacidade estrutural de um pavimento:

- variabilidade das deflexões medidas, diretamente ligada com a repetibilidade do equipamento de ensaio;
- espessuras e posição das camadas na estrutura do pavimento; e
- tipo de materiais constituintes das camadas.

A magnitude das deformações reversíveis é variável e dependente da:

- geometria de carregamento;
- do valor da carga;
- da pressão de inflação do pneu no ensaio da viga; e
- da posição do ponto de medida em relação à posição da carga.

Rocha Filho e Rodrigues (1998b) analisaram as consequências da influência da temperatura, do posicionamento dos sensores e da variação do nível de carregamento aplicado na estimativa de vida de serviço dos pavimentos, com a utilização dos resultados de retroanálise. Restou evidenciado que as variações de temperatura que ocorrem durante um dia de levantamento no campo podem levar a

variações significativas nas análises de desempenho, sendo aconselhável a correção dos módulos de elasticidade para uma temperatura de referência.

O posicionamento do ensaio apresenta grande influência no ajuste das bacias teóricas e de campo, devendo ser escolhido em função da rigidez e das espessuras das camadas do pavimento. Em pavimentos asfálticos, a leitura deve ficar afastada da guia (meio fio) para possibilitar o registro das deflexões provocadas somente pelo carregamento. É conveniente, para a correta interpretação dos resultados, que o nível de carregamento aplicado nos ensaios seja compatível com o que será exigido pelo tráfego previsto (ROCHA FILHO e RODRIGUES,1998b).

Resultados de Tholen et al. (1985), em pesquisa que analisou os efeitos de diferentes modos de carregamento aplicados em pavimentos, concluíram que o tipo de carregamento empregado afeta a magnitude das deflexões, e dentre todos os tipos de equipamentos analisados, o FWD é o que melhor simula o efeito das cargas de roda no pavimento.

Já as leituras de Viga Benkelman são extremamente influenciadas, segundo Pedrotti et al. (1987), por fatores operacionais, ambientais e dependentes das condições de aplicação do carregamento. Assevera que a baixa velocidade de aplicação da carga tem grande influência na resposta viscoelástica da camada asfáltica. Assim, qualquer variação no tempo de carregamento pode ser significativa para a deformação das camadas, principalmente em dias quentes.

Rocha Filho e Rodrigues (1996; 1998b) observaram elevada dispersão das deflexões quando em leituras sucessivas sobre o mesmo ponto com Viga Benkelman, e mais acentuada ainda quanto mais distante estiver o ponto de análise do ponto de aplicação da carga.

A dispersão foi menor quando a leitura era realizada com o caminhão parado em cada ponto, se comparado com o caminhão se deslocando com velocidade pequena, e a precisão dos resultados é dependente da habilidade do motorista, das condições mecânicas do caminhão, experiência, habilidade e coordenação da equipe responsável pelas leituras. Isto indica a necessidade de treinamento da equipe para obtenção de bons resultados com a Viga. Quanto aos resultados com o deflectômetro de impacto (FWD), verificou-se que é praticamente insignificante a dispersão das deflexões medidas em todos os sensores (foi inferior a 1,5%) (ROCHA FILHO e RODRIGUES,1998b).

Outro ponto importante é a rigidez dos revestimentos betuminosos, que varia bastante em função da temperatura. Quando esta diminui, o ligante betuminoso se torna mais viscoso e o revestimento mais rígido, e, em consequência, aumenta a capacidade de distribuição das tensões das cargas do tráfego para as camadas subjacentes do pavimento, diminuindo o valor da deflexão, conforme conclusão de Rocha Filho e Rodrigues (1996).

Segundo Carneiro (1966), com base em estudos no Canadá, pode-se determinar o fator de correção da temperatura devido à variação da rigidez do revestimento a partir do valor da deflexão recuperável do pavimento. Esta correção é indicada quando a temperatura do revestimento betuminoso for inferior a 25°C. O mesmo autor cita que experiências realizadas por ele na Guanabara (Rio de Janeiro), e pelo Eng. Armando Martins Pereira, no Paraná, mostraram que para temperaturas maiores que 25°C não há, praticamente, influência da temperatura do revestimento na medida das deflexões.

Rocha Filho (1996), mostra que o efeito da temperatura é notado principalmente no valor da deflexão máxima, por ser a camada betuminosa a mais afetada pela temperatura devido às suas propriedades de elevada absorção das radiações solares, má condutividade térmica e seu comportamento reológico, conforme estudos realizados na COPPE/UFRJ em 1986. Os valores das deflexões também variam de acordo com a época de seu levantamento, pois está intimamente ligada ao comportamento do subleito. Notoriamente, a capacidade de suporte dos solos do subleito varia com a umidade, e esta varia ao longo do ano. Nos meses em que o solo está mais úmido a deflexão é mais elevada (CARNEIRO, 1966).

Ainda segundo Carneiro (1966), nos países onde ocorre degelo o subleito apresenta umidade máxima na primavera, quando acusa deflexões máximas. Estudos recomendam a correção dos valores de deflexão levantados fora da época crítica para que se determine o valor a ser empregado nos projetos de reforço de pavimentos ou de avaliação estrutural, para fins de previsão e programação de conserva.

Em um trabalho realizado por Fabrício (1967), foi estabelecido um trecho de referência onde se avaliou a correção a ser introduzida na determinação do valor da deflexão em função da época do ano em que foi realizado o levantamento, em termos de precipitações pluviométricas. Aquele autor afirma que a melhor época para determinação das deflexões é após a estação chuvosa, quando o subleito se

encontra com elevada umidade e se encontra nas condições mais desfavoráveis de suporte.

2.5 CORRELAÇÕES ENTRE DEFLEXÕES MEDIDAS POR DIFERENTES EQUIPAMENTOS

A partir da década de 60, iniciou-se no Brasil, a utilização das deformações recuperáveis como medida de avaliação estrutural dos pavimentos, através da Viga Benkelman, permitindo o desenvolvimento de métodos de projeto de restauração baseados no critério de deformabilidade. Posteriormente, o Departamento Nacional de Estradas e Rodagem padronizou esses métodos pelas normas PRO-10/79, PRO-11/79, PRO-159/85 e PRO-269/94 (BORGES, 2001).

Assim, tanto o Departamento Nacional, como também os estaduais de estradas de rodagem, passaram a utilizar as deflexões de Viga Benkelman como parâmetro de projeto e restauração. A deflexão serve como base de programação da conservação das rodovias, indicando os trechos que deveriam merecer maior concentração de esforços. O modelo HDM, desenvolvido pelo Banco Mundial, também utiliza as deflexões obtidas pela Viga Benkelman (BORGES, 2001).

A Viga Benkelman é provavelmente o teste de campo para avaliação de deflexões de pavimentos sob condições de carregamento mais familiar dos engenheiros e projetistas de pavimentação, e um aparelho de referência universal. Contudo, a necessidade de aumentar a produtividade, aumentar a acurácia, e utilizar procedimentos mais simples de operação e interpretação dos dados – e, ainda, reduzir os custos dos ensaios – fez com que os aparelhos de carregamento dinâmico despontassem no mercado, tornando-se cada vez mais utilizados, em especial o FWD. Ainda de uso mais simples e com forte tendência de uso generalizado para o futuro temos o LFWD (BORGES, 2001).

Nas cidades especificamente, onde há significativa diferença entre estruturas de pavimentos (já dito anteriormente), não se verifica na literatura relatos de método para pesquisa específica da condição estrutural no tocante a deflexões, obtidas por carregamento estático ou dinâmico.

O objetivo de estabelecer correlações entre as deflexões recuperáveis medidas com equipamentos conhecidos e aceitos – como a Viga Benkelman e o ensaio de carga – e com um equipamento de fácil manuseio e portátil – como o

LFWD – é, a partir da deflexão obtida por este último equipamento, prever a deflexão correspondente da viga ou placa. Com isso é validado o emprego das deflexões obtidas com o LFWD nos métodos atuais de projeto de restauração de pavimentos flexíveis e nos sistemas de gerência de pavimentos podendo, futuramente, ser aceito também por organismos internacionais de crédito.

Pesquisadores como Himeno et al. (1989) realizaram estudos comparativos dos resultados obtidos para cargas dinâmicas como o FWD convencional e Viga Benkelman, concluindo que as deflexões têm um certo grau de correlação apesar das medidas com a Viga Benkelman terem variações maiores que as medidas com o FWD. Isso pode ser resultado do fato do tempo de carregamento ser maior no ensaio com a Viga Benkelman e o eixo tandem afetar na resposta deflectométrica. O modelo obtido foi o representado pela equação (14):

$$D_{FWD} = 0,309 \cdot D_{VB} + 0,280, \text{ com } R^2 = 0,57 \quad (14)$$

Onde:

D_{FWD} = deflexão obtida em levantamento com FWD; e

D_{VB} = deflexão obtida em levantamento com Viga Benkelman.

Pinto (1991) também definiu correlações com os valores médios das deflexões obtidas em 5 segmentos, de pistas com estruturas diferentes, pertencentes aos trechos experimentais construídos das rodovias BR-040/RJ (Areal-Moura Brasil) em 1978 e a BR-101/RJ (Niterói-Manilha) em 1984. O revestimento em ambos os trechos era CBUQ com 10,0cm de espessura. Concluiu que a proporcionalidade entre deflexões da viga e do FWD é dependente da estrutura do pavimento.

Já Medina et al. (1994) apresentaram exemplos que ilustram a dificuldade na obtenção de correlações entre os dois equipamentos (Viga e FWD) e concluem que, em geral, não existe unicidade nas correlações entre deflexões medidas por diferentes aparelhos, e que estas somente devem ser utilizadas com a devida compreensão das condições nas quais foram desenvolvidas e com consciência dos erros envolvidos, pois são bastante dependentes das estruturas ensaiadas, das condições climáticas, do modo de carregamento e da metodologia de ensaio empregada.

3 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

No presente capítulo são descritos todos os procedimentos metodológicos aplicados ao objeto de pesquisa, pontos ensaiados, bem como as razões que levaram à sua escolha.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL

O município de Joinville situa-se na região Sul do País; município da microrregião nordeste do Estado de Santa Catarina, (Figura 9). É a maior cidade catarinense, e também o terceiro maior polo industrial do sul do Brasil, em uma região que produz 13,6% (valor adicionado fiscal) do Produto Interno Bruto (PIB) global do Estado. Possui uma área de 1.135,05 km² segundo dados do IBGE e uma área de 1.151,69 km², calculada em bases informatizadas da Prefeitura Municipal. Deste total, apenas 18,76% corresponde a áreas urbanas (SEPUD, 2017).

Figura 9 – Mapa de situação



Fonte: IPPUJ (2008)

A população de acordo com a última contagem do IBGE (2017) é de 583.144 habitantes, sendo que, deste total, 96,61% reside na área urbana e 3,39% na zona rural.

Com relação ao sistema viário, o critério utilizado pela Prefeitura Municipal da cidade classifica os logradouros em: vias principais, vias coletoras e vias locais (Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável - SEPUD). Na organização dos dados coletados desta pesquisa observou-se a extensão da malha viária Joinvillense (1.871Km), que inclui ruas com estrutura em: revestimento primário (Saibro); pavimentos em lajota de concreto e em paralelepípedos

(Calçamento); paralelepípedos recobertos com concreto asfáltico, tratamentos superficiais (em desuso); e em CAUQ (Asfalto).

Considerando somente pistas revestidas com concreto asfáltico, a extensão total pavimentada é de 935 Km, e representa 50 % do total da malha.

Observadas as condicionantes em termos de meios para a realização dos ensaios deflectométricos, foram selecionados 4 trechos de pistas pavimentadas para testes, localizadas na área urbana do município que melhor representassem as estruturas de pistas comuns a cidade. Na escolha foram considerados o número de camadas asfálticas (única, e dupla), a constituição das camadas do pavimento (base e sub-base granulares, alvenaria de paralelepípedos), sendo ainda anotada a idade de operação (novo, e com mais de 20 anos).

Primeiramente, foram visitadas 25 vias municipais a fim de estabelecer 4 vias que abrigassem trechos com as características descritas anteriormente, apresentando também condições de investigação em meia pista sem grande interferência no trânsito. Esses trechos da malha viária do município serviram para a obtenção de segmentos homogêneos, e neles foram realizados os levantamentos deflectométricos utilizando os equipamentos: Viga Benkelman (VB), ensaio de carga com placa (PL) e deflectômetro de impacto leve (LFWD). Com os levantamentos pretendeu-se analisar a utilização do deflectômetro de impacto leve ou ligeiro (LFWD) na avaliação estrutural de pavimentos, associado a tipos de revestimentos e de camadas componentes comuns na cidade de Joinville.

A rotina aplicada no presente trabalho, obedeceu à seguinte metodologia:

- Caso prático de estudo, com a realização de ensaios de referência para a leitura da deflexão com Viga Benkelman e ensaio de carga com placa, com posterior análise e interpretação dos resultados obtidos; e
- Análise estatística e de repetibilidade entre equipamentos relativamente aos valores de deflexão e de força de aplicação no pavimento.

A diversidade de estruturas nos trechos escolhidos foi útil para a análise do comportamento de cada uma delas quando investigada por diferentes métodos de ensaios deflectométricos. A Tabela 1 classifica os pavimentos selecionados dos quatro trechos de vias urbanas, a partir do número de camadas asfálticas

componentes. Relaciona ainda a sua proporção (percentagem) no montante averiguado.

Tabela 1 – Composição pelo número de camadas asfálticas

CAMADAS ASFÁLTICAS				EXTENSÃO	
Tipos	1ª (superior)	2ª	3ª	(m)	(%)
1	CAUQ	CAUQ	-	2.100,00	39
2	CAUQ	-	-	2.256,00	42
3	CAUQ	PMQ	-	966,00	18
	TOTAL			5.322,00	100

Fonte: O Autor (2017)

Verificado o número de camadas asfálticas foram classificados os trechos averiguados de acordo com a composição dos materiais de base e sub-base das pistas. Essa composição das estruturas está apresentada no quadro 1.

Quadro 1 - Estruturas com uma e duas camadas de revestimento em CAUQ

REVESTIMENTO UMA CAMADA BETUMINOSA			REVESTIMENTO DUAS CAMADAS BETUMINOSAS		
BASE	BGS	BGS	BASE	BGS	PAR
SUBBASE	MS	SB	SUBBASE	MS	ARE
REFORÇO	-	-	REFORÇO	PP	-
TOTAL (m)	863,00	1.393,00	TOTAL (m)	2100,00	966,00
TOTAL (%)	38	62	TOTAL (%)	68	32
EXTENSÃO TOTAL = 2.256,00 m			EXTENSÃO TOTAL = 3.066,00 m		

Legenda: ARE – areia; BGS - brita graduada simples, MS-macadame seco, SB-saibro bruto, PAR-paralelepípedo, PP-pedra pulmão.

Fonte: O Autor (2017)

Nos trechos representativos da malha viária urbana ocorreu a coleta de dados para a caracterização de cada trecho. Os dados foram obtidos a partir da Gerência de Banco de Projetos na Secretaria de Infraestrutura Urbana do Município de Joinville (SEINFRA), e constaram de:

- Nome da via (logradouro);
- Estaca Inicial;
- Estaca Final;
- Coordenada UTM;

- Extensão;
- Idade;
- Tipo de material por camada; e
- Espessura das camadas constituintes (de projeto).

Para cada trecho de via um segmento foi escolhido, sempre observando as seguintes características: homogeneidade (padrão) de trincamento ao longo da extensão avaliada (DNIT008/2003-PRO); seções de subleito em aterro; inexistência de defeitos relacionados com a falta de drenagem, tais como afundamentos do pavimento; afundamento de trilha de roda não acentuado; inexistência de defeitos relacionados a consertos (remendos). Foram descartados segmentos em curvas ou rampas acentuadas. Na Figura 10 são apresentadas as 4 vias escolhidas, bem como a sua classificação de uso.

Figura 10 – Trechos



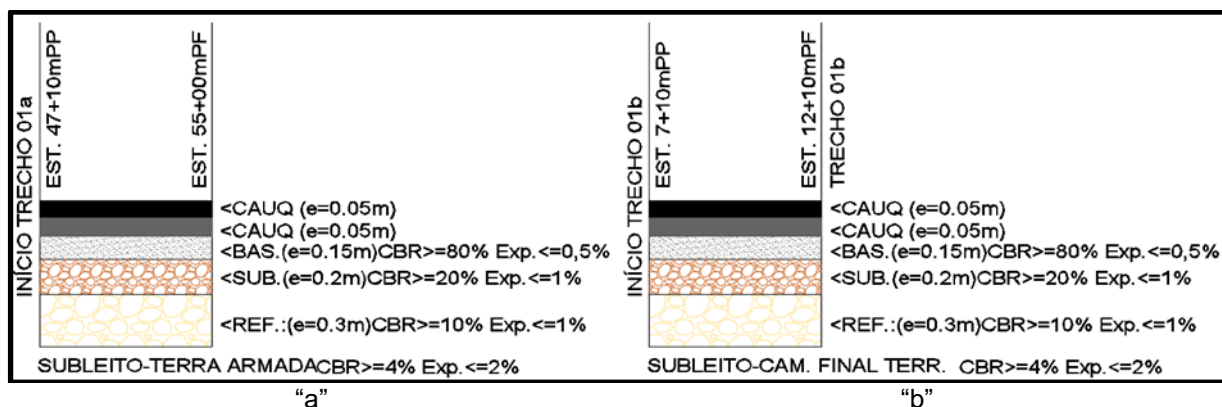
Fonte: O Autor (2017)

Procedeu-se, então, à organização dos segmentos para os levantamentos deflectométricos, com a seguinte ordem:

- Segmento 1 – Revestimento asfáltico sobre base granular – via principal (pavimento novo). Logradouro: Avenida Santos Dumont.

Essa estrutura de pavimento possuiu projeto e foi executada sob controle tecnológico assemelhado a pistas rodoviárias interurbanas. Apresenta camada de reforço em pedra pulmão ($h_{ref}=0,30m$), com fechamento em brita. Camada de sub-base em macadame seco (rachão) ($h_{SB}=0,20m$), base em brita estabilizada granulometricamente ($h_B=0,15m$), e revestimento de concreto asfáltico constituído de duas camadas (ligação e revestimento) de 5cm cada. Este segmento foi dividido em dois subtrechos (1a e 1b) para que a investigação cobrisse duas diferentes condições de subleito, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Perfil da estrutura do segmento 1



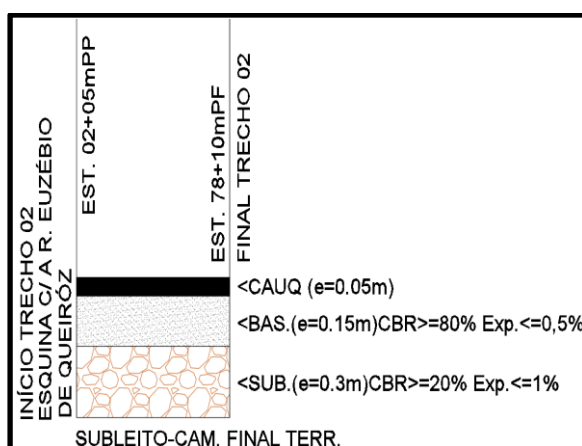
Fonte: O Autor (2017)

Para o segmento 1 (Avenida Santos Dumont), o perfil "a" ocorre no viaduto sobre a rua Tuiuti, onde o subleito é constituído de material arenoso, servindo de terra-armada para as cabeceiras da obra de arte. O perfil "b", ocorre em outro trecho da mesma avenida, onde o subleito é a camada final de solo existente, regularizada e compactada.

- Segmento 2 – Revestimento asfáltico sobre base granular – via secundária (pavimento novo). Logradouro: Rua Otto Boehm.

Pavimento constituído por sub-base de macadame seco (rachão) ($h_{SB}=0,30m$), base de brita graduada ($h_B=0,15m$) e revestimento em camada única de concreto asfáltico ($H_R=0,05m$). Possui edificações construídas em toda a sua área de abrangência e semáforos. É destinada ao trânsito que alimenta as vias principais. O perfil típico desse pavimento é apresentado na figura 12.

Figura 12 – Perfil da estrutura do segmento 2



Fonte: O Autor (2017)

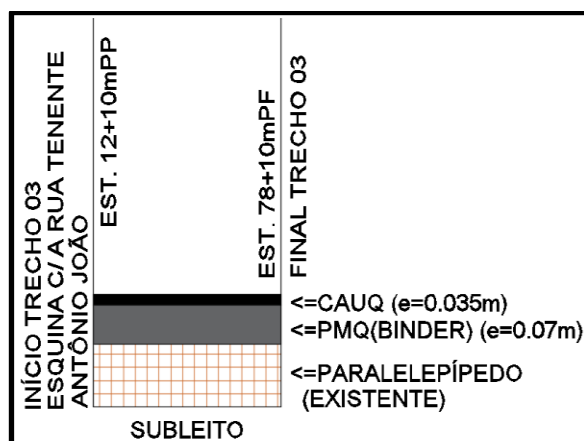
- Segmento 3 – Revestimento asfáltico sobre alvenaria de paralelepípedos – via secundária (pavimento novo). Logradouro: Rua Piratuba.

Trata-se de pavimento originalmente construído em alvenaria de paralelepípedos, regularizado com camada asfáltica, *binder* (DNIT 031/2004 –ES) ($H_{PMQ}=0,07m$) e revestida com concreto asfáltico (CAUQ) ($H_R=0,035m$).

Para o caso, trata-se de arruamento com mais de 20 anos de operação do revestimento em paralelepípedos, que foi recentemente repavimentada com concreto asfáltico.

O perfil típico deste segmento é o apresentado na figura 13.

Figura 13 – Perfil da estrutura do segmento 3



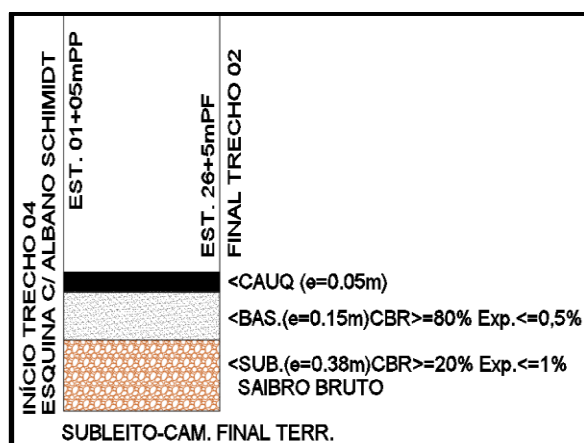
Fonte: O Autor (2017)

- Segmento 4 – Revestimento asfáltico sobre base granular – via local (pavimento com mais de 20 anos de operação). Logradouro: Rua São Borja.

É uma via que cumpre dar vazão a trânsito local, não possui semáforos e as edificações ocupam a sua área de abrangência. O pavimento é constituído por camada de sub-base em saibro bruto ($h_{SB}=0,38m$), base em brita graduada ($h_B=0,15m$) e revestimento asfáltico em CAUQ ($H_R=0,05m$).

O perfil do segmento 4 é demonstrado na figura 14.

Figura 14 – Perfil da estrutura do segmento 4



Fonte: O Autor (2017)

A partir dos 4 segmentos homogêneos escolhidos foi realizada a divisão em estações de ensaio. Estas estações foram espaçadas em 50m, estando a sua

quantidade definida por segmento na Tabela 2. Relaciona-se ainda no mesmo quadro o segmento, composição e espessura média de cada camada do pavimento.

Tabela 2 - Estruturas selecionadas e estações de ensaio

TIPO DE ESTRUTURA	REVESTIMENTO		LIGAÇÃO		BASE		SUB-BASE		REFORÇO		N. de ESTAÇÕES	
	Tipo	Esp.média (cm)	Tipo	Esp.média (cm)	Tipo	Esp.média (cm)	Tipo	Esp.média (cm)	Tipo	Esp.média (cm)		
SEGMENTO 1	CAUQ	5,00	CAUQ	5,00	BG	15,00	MS	20,00	PP	30,00	8	21%
SEGMENTO 2	CAUQ	5,00	-	-	BG	15,00	MS	30,00	-	-	10	26%
SEGMENTO 3	CAUQ	3,50	PMQ	5,00	PAR	VAR	-	-	-	-	10	26%
SEGMENTO 4	CAUQ	5,00	-	-	BG	15,00	SB	38,00	-	-	10	26%
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	100%

Fonte: O Autor (2017)

A locação em campo dos pontos de ensaio (estações) seguiu alinhamento recomendado pela norma DNIT 133/2010, que aponta sobre a conveniência de ensaiar as trilhas de roda, sendo que para faixas de tráfego com 3,5m ou mais, o carregamento deverá ocorrer a 0,90m da borda do revestimento. Além disso, esta seleção foi realizada em campo de modo que estes segmentos deversem preferencialmente possuir características tais que minimizassem interferências que pudessem vir a prejudicar a análise dos resultados.

Figura 15 – Marcação das estações de ensaio (segmento 2)



Fonte: O Autor (2017)

A marcação foi feita com pincel (figura 15a) e tinta branca em pista, sendo o *offset* pintado com *spray* amarelo no passeio público. Consistiu em um traço transversal ao eixo da rodovia e a numeração da estação de ensaio (exemplo: E-1, E-A). Estas marcações sinalizaram exatamente o local da estação onde deveria ser realizado o ensaio (figura 15b).

O estaqueamento dos quilômetros iniciais e finais, data e temperatura do ar, são apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Segmentos amostrais analisados (localização, data e temperatura)

SEGM.	ENSAIO	VIA	LOGRADOURO	ESTACA	COORD. UTM SIRGAS 2000	DATA DO ENSAIO VB	TEMP. AR °C	DATA DO ENSAIO PLACA	TEMP. AR °C	DATA DO ENSAIO LFWD	TEMP. AR °C
1	E-01	Principal	Av. Stos. Dumont	47+10mPP	717700 7096424	04/01/2018	26	12/03/2018	30	02/02/2018	20
1	E-02	Principal	Av. Stos. Dumont	50+00m	717748 7096436	04/01/2018	26	12/03/2018	30	02/02/2018	20
1	E-03	Principal	Av. Stos. Dumont	52+10mPF	717797 7096449	04/01/2018	26	12/03/2018	30	02/02/2018	20
1	E-04	Principal	Av. Stos. Dumont	15+00mPP	714647 7092714	04/01/2018	26	12/03/2018	30	02/02/2018	20
1	E-05	Principal	Av. Stos. Dumont	17+10m	714644 7092764	04/01/2018	26	12/03/2018	30	02/02/2018	20
1	E-06	Principal	Av. Stos. Dumont	20+00m	714640 7092814	04/01/2018	26	12/03/2018	30	02/02/2018	20
1	E-07	Principal	Av. Stos. Dumont	22+10m	714637 7092864	04/01/2018	26	12/03/2018	30	02/02/2018	20
1	E-08	Principal	Av. Stos. Dumont	25+00mPF	714633 7092914	04/01/2018	26	12/03/2018	30	02/02/2018	20
2	E-09	Secundária	Rua Otto Boehm	2+05mPP	713528 7088932	16/01/2018	26	25/05/2018	21	06/02/2018	25
2	E-10	Secundária	Rua Otto Boehm	4+15m	713578 7088940	16/01/2018	26	25/05/2018	21	06/02/2018	25
2	E-11	Secundária	Rua Otto Boehm	7+05m	713627 7088947	16/01/2018	26	25/05/2018	21	06/02/2018	25
2	E-12	Secundária	Rua Otto Boehm	9+15m	713677 7088955	16/01/2018	26	25/05/2018	21	06/02/2018	25
2	E-13	Secundária	Rua Otto Boehm	12+05m	713726 7088962	16/01/2018	26	25/05/2018	21	06/02/2018	25
2	E-14	Secundária	Rua Otto Boehm	14+15m	713775 7088972	16/01/2018	26	25/05/2018	21	06/02/2018	25
2	E-15	Secundária	Rua Otto Boehm	17+05m	713824 7088982	16/01/2018	26	25/05/2018	21	06/02/2018	25
2	E-16	Secundária	Rua Otto Boehm	19+15m	713873 7088993	16/01/2018	26	25/05/2018	21	06/02/2018	25
2	E-17	Secundária	Rua Otto Boehm	22+05m	713922 7089003	16/01/2018	26	25/05/2018	21	06/02/2018	25
2	E-18	Secundária	Rua Otto Boehm	24+15mPF	713971 7089013	16/01/2018	26	25/05/2018	21	06/02/2018	25
3	E-19	Secundária	Rua Piratuba	12+10mPP	715227 7093027	18/01/2018	26	12/03/2018	30	25/01/2018	27
3	E-20	Secundária	Rua Piratuba	15+00m	715277 7093019	18/01/2018	26	12/03/2018	30	25/01/2018	27
3	E-21	Secundária	Rua Piratuba	17+10m	715326 7093011	18/01/2018	26	12/03/2018	30	25/01/2018	27
3	E-22	Secundária	Rua Piratuba	20+00m	715375 7093003	18/01/2018	26	12/03/2018	30	25/01/2018	27
3	E-23	Secundária	Rua Piratuba	22+10m	715425 7092995	18/01/2018	26	12/03/2018	30	25/01/2018	27
3	E-24	Secundária	Rua Piratuba	25+00m	715474 7092988	18/01/2018	26	12/03/2018	30	25/01/2018	27
3	E-25	Secundária	Rua Piratuba	27+10m	715523 7092980	18/01/2018	26	12/03/2018	30	25/01/2018	27
3	E-26	Secundária	Rua Piratuba	30+00m	715573 7092972	18/01/2018	26	12/03/2018	30	25/01/2018	27
3	E-27	Secundária	Rua Piratuba	32+10m	715622 7092964	18/01/2018	26	12/03/2018	30	25/01/2018	27
3	E-28	Secundária	Rua Piratuba	35+00m	715671 7092955	18/01/2018	26	12/03/2018	30	25/01/2018	26
4	E-29	Local	Rua São Borja	1+05m	718568 7088556	16/04/2018	21	22/02/2018	33	25/01/2018	26
4	E-30	Local	Rua São Borja	3+15m	718547 7088601	16/04/2018	21	22/02/2018	33	25/01/2018	26
4	E-31	Local	Rua São Borja	6+05m	718525 7088646	16/04/2018	21	22/02/2018	33	25/01/2018	26
4	E-32	Local	Rua São Borja	8+15m	718504 7088692	16/04/2018	21	22/02/2018	33	25/01/2018	26
4	E-33	Local	Rua São Borja	11+05m	718483 7088737	16/04/2018	21	22/02/2018	33	25/01/2018	26
4	E-34	Local	Rua São Borja	13+15m	718461 7088782	16/04/2018	21	22/02/2018	33	25/01/2018	26
4	E-35	Local	Rua São Borja	16+05m	718440 7088827	16/04/2018	21	22/02/2018	33	25/01/2018	26
4	E-36	Local	Rua São Borja	18+15m	718418 7088872	16/04/2018	21	22/02/2018	33	25/01/2018	26
4	E-37	Local	Rua São Borja	21+05m	718397 7088918	16/04/2018	21	22/02/2018	33	25/01/2018	26
4	E-38	Local	Rua São Borja	23+75m	718376 7088963	16/04/2018	21	22/02/2018	33	25/01/2018	26

Fonte: O Autor (2017)

O cronograma para realização dos ensaios foi definido de forma que o período entre os levantamentos com os dois diferentes tipos de equipamento na mesma estação fosse o menor possível. Não foram realizados ensaios com chuva. Os dados que apresentam os dias de ocorrência de chuva durante o período da pesquisa podem ser visualizados no ANEXO A.

3.2 ENSAIOS COM VIGA BENKELMAN

O levantamento deflectométrico com a Viga Benkelman foi realizado de acordo com os métodos DNER-ME 024/94 e DNIT 133/2010. Foi utilizado um caminhão padronizado para este tipo de levantamento, com pneus calibrados com 0,56 MPa e carga de 80 kN no eixo traseiro (Figura 16a). A Viga Benkelman utilizada é do tipo convencional, com relação de braços 2:1, marca *Solotest* devidamente calibrada. As leituras foram realizadas sobre o ponto abaixo da carga, e a cada 25cm desta até atingir 1,5m, após esta, realizada a leitura final à 3m.

Figura 16 – Calibração da carga de reação e Viga Benkelman utilizada



Fonte: O Autor (2018)

Foram medidas as temperaturas do ar em todas as estações de levantamento do segmento em análise. Houve o cuidado de realizar a manobra do caminhão para o exato local marcado pela equipe de topografia.

Com o auxílio de uma planilha eletrônica, foi possível plotar a deformação medida durante a execução do ensaio (Gráfico 1). O gráfico exibe no eixo das ordenadas as deflexões, e no eixo da abcissa as distâncias. As deformações têm a relação de 2:1 da viga e não traduzem a real deformação do pavimento. Por isso, a deflexão reversível real deve ser calculada da pela Equação 15 (adaptado de SILVA, 2004):

$$D = (L_0 - L_f) * \frac{1}{2} \quad (15)$$

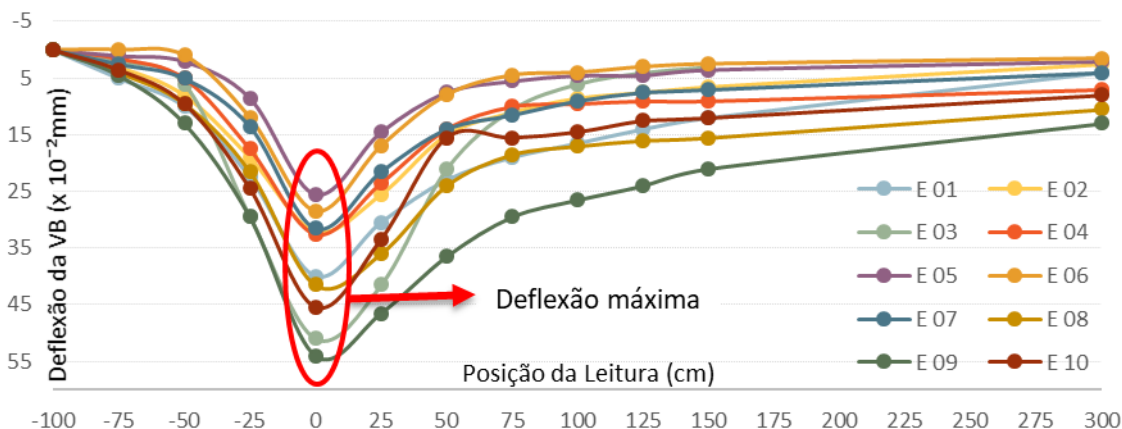
Onde:

D - Deflexão máxima;

L_0 - Leitura inicial;

L_f - Leitura final.

Gráfico 1 – Bacias de deflexão obtidas no ensaio da Viga Benkelman (RUA SÃO BORJA)



Fonte: O Autor (2018)

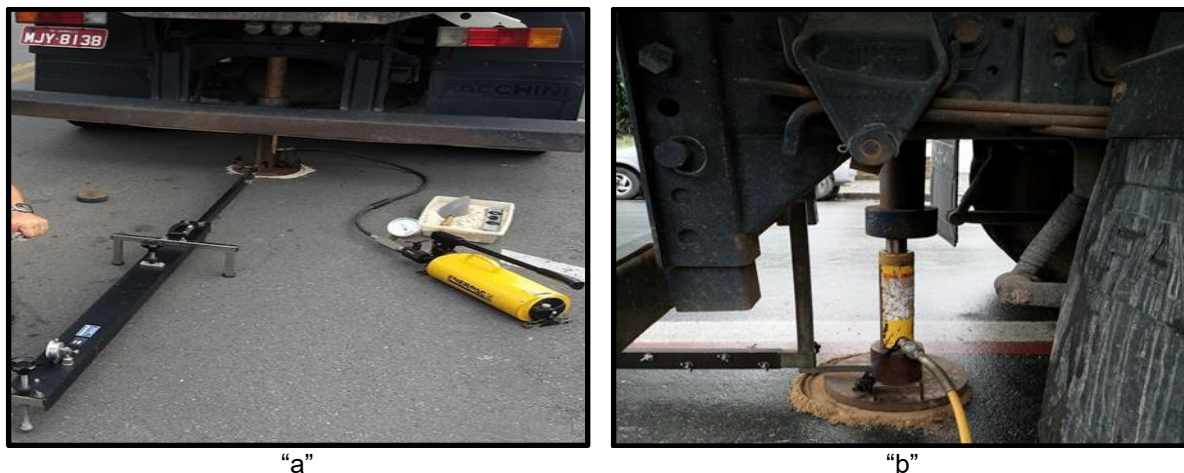
Assim, tem-se que valor da deflexão máxima é correspondente ao valor da deformação medida no relógio comparador no momento da passagem da roda no ponto em medição. As planilhas de ensaios de viga Benkelman realizadas no presente trabalho são apresentadas no APÊNDICE A.

3.3 ENSAIO DE CARGA COM PLACA

Os ensaios de carga seguiram o prescrito na norma alemã DIN 18134 (2001) que estabelece aplicação de dois ciclos de carregamento sucessivos (princípio de carga-descarga), isso para que, após o segundo ciclo de carregamento, obtenha-se a curva tensão-deslocamento, permitindo assim o cálculo do módulo de deformabilidade E_{v2} .

Entretanto, para este estudo, o objetivo do ensaio foi o registro da deflexão máxima atingida após a efetivação do segundo ciclo de carregamento. Essa leitura foi registrada no relógio comparador da Viga Benkelman, acoplada à base da placa, como ilustrado na figura 17.

Figura 17 – Execução do ensaio de carga com placa e Viga Benkelman e pormenor da montagem da mesma sob o caminhão (carga de reação)



Fonte: O Autor (2018)

Procedimento utilizado no ensaio de carga com placa:

1. Posicionou-se a reação (caminhão) sobre a marcação da estação de ensaio e regularizar com areia limpa o ponto de ensaio numa área de, pelo menos 0,7m x 0,7m. Observação: A regularização com areia dever ser a mais fina possível;
2. Posicionou-se a placa de carregamento centrada na superfície, assentando-a, aplicando duas ou três rotações alternadas de 30° a 45°; e
3. Colocou-se na vertical o dispositivo de aplicação da carga sob o sistema de reação centrado na placa e foram instalados os dispositivos de carregamento e de medida das deformações.

Antes do início do ensaio foi aplicado um carregamento de 30 segundos, sendo este carregamento a pré-carga. Este primeiro carregamento aplica uma tensão de 0,01MPa. Após os 30 segundos de carregamento, com a devida tensão instalada, as leituras do valor da carga e do deslocamento deverão ser tomadas como zero, isto é, leituras iniciais de referência, Z_0 (MARTINS, 2011).

Nas 38 estações de ensaio a força aplicada na placa no primeiro ciclo de carregamento variaram de 0,71 a 35,34kN, e de 17,67 a 29,69kN, sempre intercaladas com leituras de minuto a minuto, como ilustra a exemplo o Quadro 2, do ensaio de placa na estação 06 da Rua Piratuba.

Quadro 2 – Leitura de campo do ensaio de carga com placa

E-3 03/08 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)							
Técnico		Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC					
Local:		Av. Santos Dumont - Viaduto Bordo (Sentido Centro-Bairro)					
Data:		12/03/2018	Temp. do Ar:		30	HORA:10:05h	
Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,06			
1	0,080	5,65	28	0,06	0,36	0,36	37,716
2	0,160	11,31	56	0,36	0,52	0,53	55,526
3	0,250	17,67	87	0,53	0,54	0,54	56,574
4	0,330	23,33	115	0,54	0,54	0,44	46,097
5	0,420	29,69	146	0,54	0,56	0,56	58,669
6	0,500	35,34	174	0,56	0,56	0,56	58,669
7	0,250	17,67	87	0,56	0,56	0,56	58,669
8	0,125	8,84	44	0,56	0,56	0,64	67,050
9	0,000	0,00	0	0,64	0,59	0,50	52,383
10	0,080	5,65	28	0,50	0,51	0,41	42,954
11	0,160	11,31	56	0,41	0,41	0,41	42,954
12	0,250	17,67	87	0,41	0,41	0,42	44,002
13	0,330	23,33	115	0,42	0,56	0,56	58,669
14	0,420	29,69	146	0,56	0,55	0,65	68,098

Fonte: O Autor (2018)

A força aplicada à placa exerce sobre a plataforma uma pressão média de 4,2 kg/cm² ao final do segundo ciclo de carregamento. Pressão essa um pouco inferior à exercida pelo pneu do caminhão no ensaio de viga, ou seja, 5,6 kg/cm². Todavia, este valor é considerado como correspondente e próximo a uma situação real de carregamento, visto que o ponto de aplicação é único.

Após a estabilização da deflexão da placa determinou-se, da mesma forma que para o primeiro carregamento, a deformação total da placa $Z_{\text{máx}}$ no final do segundo carregamento. As fichas de campo para os ensaios de carga com placa realizados no presente trabalho são apresentadas no APÊNDICE B.

3.4 ENSAIOS COM DEFLECTÔMETRO DE IMPACTO LEVE (*LIGHT FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER*)

Todo o procedimento de ensaio foi realizado tendo em vista a norma E2835-11 da STANDARD, A.S.T.M. (2011) observando-se para cada estação de ensaio o seguinte procedimento:

1. Posicionou-se a placa no ponto de teste, garantindo uma superfície plana, e retirando possível material solto. Para este estudo foi conveniente o assentamento da placa do LFWD com o auxílio de uma fina camada de areia, em virtude da declividade transversal da pista e a rugosidade do pavimento;
2. Assenta-se a placa para a esquerda e direita em 45°, de forma a posicioná-la placa no ponto de ensaio; e
3. Realizaram-se seis quedas da massa, sendo que as três primeiras serviram de pré-compactação e as três últimas de medição.

O equipamento LFWD utilizado foi o modelo HMP-LFG4 (procedência alemã) que possui indicação, segundo o fabricante, para leituras em materiais que apresentem valor máximo do módulo de deformabilidade de 225MPa, superior ao exposto na fundamentação teórica deste estudo, o que pressupõe grande possibilidade de utilização deste equipamento, especialmente para camadas betuminosas delgadas.

Para esse equipamento, o pulso de carga aplicada ao pavimento foi 7.070N, produzido por uma massa de 10kg que cai de uma altura de 720mm. Esse impacto é distribuído na superfície por uma placa de aço com espessura de 2cm e diâmetro de 30cm.

A acurácia absoluta da célula utilizada é de 1% da carga indicada. As temperaturas do ar foram registradas simultaneamente à leitura da deflexão em cada ponto de avaliação.

O LFWD tem a particularidade de armazenar na sua memória interna os dados das medições, os quais podem ser transferidos para um computador através de um dispositivo de armazenamento ou por cabo, pela porta USB. Possibilita ainda a integração de um sistema de GPS que registra a localização de cada ensaio realizado.

Novamente, os ensaios seguiram com cuidado as marcações feitas na pista. Nas figuras 18a a 18b é possível visualizar a sua utilização durante esta pesquisa.

Figura 18 – Ensaio de LFWD no segmento 01 (Av. Santos Dumont)



Fonte: O Autor (2018)

A Tabela 4 apresenta as especificações técnicas do equipamento HMP-LFG4, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 4 – Especificações técnicas do LFWD utilizado

Modelo HMP-LFG4	
Ano de Construção	2014
Peso de Queda	10kg
Força de Impacto	7070N \pm 70N
Duração do Impacto	17ms \pm 1,5ms
Altura de Queda	720mm
Diâmetro da Placa	300mm
Espessura da Placa	20mm
Peso da Placa	15kg
Intervalo de medição de assentamento	0,1 – 2,0mm \pm 0,02mm
Intervalo de medição de módulo de deformabilidade	Evd <225MPa
Intervalo de temperatura para utilização	0 - 40°C

Fonte: HMP (2018).

As fichas com todos ensaios de LFWD realizados no presente trabalho são apresentadas no APÊNDICE C.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na análise das medições obtidas pelos três métodos de ensaio foram comparados os parâmetros de deflexão média (\bar{x}), desvio padrão (σ), deflexão característica (D_c), valores máximos e mínimos e o coeficiente de variação ($C_v\%$). Essas variáveis foram determinadas para cada segmento estudado.

A partir da normalização das deflexões medidas nas 38 estações de ensaio foi possível comparar as mesmas. Com o auxílio do programa *Microsoft Excel*, modelos de regressões puderam ser testados. Os modelos de regressão testados foram os seguintes:

- Linear $y = a * (x) + b$ (16)

- Logarítmica $y = a * \ln(x) + b$ (17)

- Potencial $y = a * x^b$ (18)

- Exponencial $y = a * e^{b \cdot x}$ (19)

Para os modelos linear e logarítmica a eliminação do intercepto ainda descreve variantes de análise:

- Linear $y = \alpha * (x)$ (20)

E

- Logarítmica $y = \alpha * \ln(x)$ (21)

Onde:

α = coeficiente de proporcionalidade.

De forma a medir o relacionamento das variáveis foi determinado ainda o coeficiente de correlação de *Pearson* (ρ).

Na prática, o coeficiente (ρ) é interpretado como um indicador que descreve a interdependência entre as variáveis X e Y, com a forma $y = a * (x) + b$, onde a e b são constantes (LIRA, 2004).

Segundo CALLEGARI e JACQUES (2003), esse coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente da seguinte forma:

se $0,00 < | \rho | < 0,30$, existe fraca correlação linear;

se $0,30 < | \rho | < 0,60$, existe moderada correlação linear;

se $0,60 < | \rho | < 0,90$, existe forte correlação linear; e

se $0,90 < | \rho | < 1,00$ existe correlação linear muito forte.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com cada um dos métodos em estudo, nos segmentos definidos.

4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Estabelecidos os valores de deflexões características obtidos a partir das deflexões máximas colhidas pelos métodos de Viga Benkelman, ensaio de carga com placa e pelo LFWD, para cada um dos 4 segmentos homogêneos, partiu-se para a compilação dos dados. Esses indicadores estão expressos nas Tabelas de 5 a 8, assim como a temperatura ambiente (ar), registrados por ocasião dos ensaios em campo e principalmente os índices estatísticos.

Tabela 5 – Resultados das deflexões obtidas com Viga Benkelman, placa e LFWD para o segmento 1

SEGMENTO	ENSAIO	Deflexão Máx. da Viga Benkelman (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data	Deflexão Máx. Carga com Placa (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data	Deflexão Máx. do LFWD (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data
S-01	E-01	10,50	26	04/01/18	97,43	30	12/03/18	38,80	20	02/02/18
S-01	E-02	24,00	26	04/01/18	105,81	30	05/03/18	54,00	20	02/02/18
S-01	E-03	20,00	26	04/01/18	68,10	30	12/03/18	38,80	20	02/02/18
S-01	E-04	9,00	26	04/01/18	67,05	30	06/03/18	56,10	20	02/02/18
S-01	E-05	12,00	26	04/01/18	33,53	30	12/03/18	57,60	20	02/02/18
S-01	E-06	12,00	26	04/01/18	36,67	30	12/03/18	63,30	20	02/02/18
S-01	E-07	10,50	26	04/01/18	36,67	30	12/03/18	63,30	20	02/02/18
S-01	E-08	12,00	26	04/01/18	55,53	30	12/03/18	80,90	20	02/02/18
Média (x 10 ⁻³ mm)		13,75			62,60			56,60		
Desvio (x 10 ⁻³ mm)		5,30			27,70			13,74		
Característica (x 10 ⁻³ mm)		19,05			90,30			70,34		
Máximo (x 10 ⁻³ mm)		24,00			105,81			80,90		
Mínimo (x 10 ⁻³ mm)		9,00			33,53			38,80		
Coeficiente de Variação (%)		38,58%			44,25%			24,28%		
Amostra		8,00			8,00			8,00		

Fonte: O Autor (2018)

Tabela 6 – Resultados das deflexões obtidas com Viga Benkelman, placa e LFWD para o segmento 2

SEGMENTO	ENSAIO	Deflexão Máx. da Viga Benkelman (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data	Deflexão Máx. Carga com Placa (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data	Deflexão Máx. do LFWD (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data
S-02	E-09	18,75	26	16/01/18	75,43	21	25/05/18	73,80	26	26/02/18
S-02	E-10	29,50	26	16/01/18	86,96	21	25/05/18	109,50	26	26/02/18
S-02	E-11	27,50	26	16/01/18	72,29	21	25/05/18	98,80	26	26/02/18
S-02	E-12	22,50	26	16/01/18	68,10	21	25/05/18	69,40	26	26/02/18
S-02	E-13	26,50	26	16/01/18	81,72	21	25/05/18	98,80	26	26/02/18
S-02	E-14	18,00	26	16/01/18	67,00	18	14/06/18	61,10	26	26/02/18
S-02	E-15	15,00	26	16/01/18	66,00	18	14/06/18	48,40	26	26/02/18
S-02	E-16	28,00	26	16/01/18	81,00	18	14/06/18	93,90	26	26/02/18
S-02	E-17	24,00	26	16/01/18	79,62	12	14/06/18	86,80	26	26/02/18
S-02	E-18	20,50	26	16/01/18	75,43	12	15/06/18	81,40	26	26/02/18
Média (x 10 ⁻³ mm)		23,03			75,35			82,19		
Desvio (x 10 ⁻³ mm)		4,88			7,03			19,08		
Característica (x 10 ⁻³ mm)		27,90			82,38			101,27		
Máximo (x 10 ⁻³ mm)		29,50			86,96			109,50		
Mínimo (x 10 ⁻³ mm)		15,00			66,00			48,40		
Coeficiente de Variação (%)		21,19%			9,33%			23,22%		
Amostra		10,00			10,00			10,00		

Fonte: O Autor (2018)

Tabela 7 – Resultados das deflexões obtidas com Viga Benkelman, placa e LFWD para o segmento 3

SEGMENTO	ENSAIO	Deflexão Máx. da Viga Benkelman (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data	Deflexão Máx. Carga com Placa (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data	Deflexão Máx. do LFWD (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data
S-03	E-19	65,12	26	18/01/18	139,34	30	12/03/18	28,10	27	25/01/18
S-03	E-20	56,77	26	18/01/18	110,00	30	12/03/18	18,60	27	25/01/18
S-03	E-21	39,26	26	18/01/18	99,53	30	12/03/18	21,90	27	25/01/18
S-03	E-22	52,57	26	18/01/18	108,96	30	12/03/18	19,20	27	25/01/18
S-03	E-23	78,29	26	18/01/18	174,96	30	12/03/18	26,50	27	25/01/18
S-03	E-24	66,74	26	18/01/18	118,39	30	12/03/18	16,40	27	25/01/18
S-03	E-25	51,07	26	18/01/18	91,15	30	25/05/18	27,70	27	25/01/18
S-03	E-26	80,32	26	18/01/18	98,48	30	12/03/18	71,10	27	25/01/18
S-03	E-27	66,86	26	18/01/18	125,72	30	12/03/18	20,90	27	25/01/18
S-03	E-28	78,29	26	18/01/18	139,34	30	12/03/18	40,10	27	25/01/18
Média (x 10 ⁻³ mm)		63,53			120,59			29,05		
Desvio (x 10 ⁻³ mm)		13,55			25,25			16,27		
Característica (x 10 ⁻³ mm)		77,08			145,83			45,32		
Máximo (x 10 ⁻³ mm)		80,32			174,96			71,10		
Mínimo (x 10 ⁻³ mm)		39,26			91,15			16,40		
Coeficiente de Variação (%)		21,33%			20,94%			56,02%		
Amostra		10,00			10,00			10,00		

Fonte: O Autor (2018)

Tabela 8 – Resultados das deflexões obtidas com Viga Benkelman, placa e LFWD para o segmento 4

SEGMENTO	ENSAIO	Deflexão Máx. da Viga Benkelman (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data	Deflexão Máx. Carga com Placa (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data	Deflexão Máx. do LFWD (x 10 ⁻³ mm)	Temp. do ar (°C)	Data
S-04	E-29	31,50	21	16/04/18	81,72	30	22/02/18	18,60	26	25/01/18
S-04	E-30	32,00	21	16/04/18	88,00	33	22/02/18	23,80	26	25/01/18
S-04	E-31	46,00	21	16/04/18	95,34	33	27/03/18	31,00	26	25/01/18
S-04	E-32	32,50	21	16/04/18	86,96	33	27/03/18	25,10	26	25/01/18
S-04	E-33	25,50	21	16/04/18	49,24	33	28/03/18	22,30	26	25/01/18
S-04	E-34	28,50	21	16/04/18	60,76	33	28/03/18	23,10	26	25/01/18
S-04	E-35	31,50	21	16/04/18	64,95	33	28/03/18	23,90	26	25/01/18
S-04	E-36	41,50	21	16/04/18	94,29	33	01/03/18	28,90	26	25/01/18
S-04	E-37	54,00	21	16/04/18	104,77	33	01/03/18	41,20	26	25/01/18
S-04	E-38	45,50	21	16/04/18	113,15	33	01/03/18	38,20	26	25/01/18
Média (x 10 ⁻³ mm)		36,85			83,92			27,61		
Desvio (x 10 ⁻³ mm)		9,26			20,15			7,26		
Característica (x 10 ⁻³ mm)		46,11			104,07			34,87		
Máximo (x 10 ⁻³ mm)		54,00			113,15			41,20		
Mínimo (x 10 ⁻³ mm)		25,50			49,24			18,60		
Coeficiente de Variação (%)		25,14%			24,02%			26,29%		
Amostra		10,00			10,00			10,00		

Fonte: O Autor (2018)

Verifica-se que, com exceção do segmento 3, o coeficiente de variação das medidas com o LFWD é constante do ponto de vista prático (varia de 23 a 26%). Isso não ocorre para a Viga Benkelman e o ensaio de carga com placa, caracterizando discreta melhor homogeneidade nas medidas com o LFWD.

Da análise estatística das deflexões de todos os segmentos, observa-se que o intervalo de valores de deflexão obtido com a Viga Benkelman ficou entre $9,00 \cdot 10^{-2}$ mm e $80,32 \cdot 10^{-2}$ mm, com a placa ficou entre $3,35 \cdot 10^{-2}$ mm e $98,48 \cdot 10^{-2}$ mm e com o LFWD, entre $16,40 \cdot 10^{-2}$ mm e $121,30 \cdot 10^{-2}$ mm.

Os valores de deflexão média obtidos em cada segmento variam de $(13,75 \text{ a } 63,53) \cdot 10^{-2}$ mm, de $(6,26 \text{ a } 79,41) \cdot 10^{-2}$ mm, $(27,81 \text{ a } 82,19) \cdot 10^{-2}$ mm, com o emprego da Viga Benkelman, placa e com o LFWD, respectivamente. As deflexões características obtidas pela viga variaram de $19,05 \cdot 10^{-2}$ mm a $77,08 \cdot 10^{-2}$ mm, enquanto que, para a placa foram $9,03 \cdot 10^{-2}$ mm a $89,58 \cdot 10^{-2}$ mm, e para o LFWD variaram de $34,94 \cdot 10^{-2}$ mm a $101,27 \cdot 10^{-2}$ mm.

Nota-se que o limite inferior das medidas do LFWD, para todos os segmentos, representam o dobro das deflexões da viga, e aproximadamente 4 vezes o valor lido no ensaio de placa. Considerando-se o limite superior, as deflexões obtidas com o emprego do LFWD apresentam valores médios sempre maiores que as deflexões obtidas com a Viga Benkelman e com a placa.

A deflexão média obtida com o levantamento realizado com a viga é cerca de 34% menor que a deflexão média obtida com o LFWD sendo que a da placa foi 50% na mesma comparação.

A temperatura do ar durante a execução dos ensaios de Viga Benkelman, variou de 21°C a 26°C. Para os ensaios de carga com placa a variação foi de 18°C a 33°C, e quando da execução dos ensaios de LFWD foi de 20°C a 27°C.

Os gráficos com todas as deflexões obtidas individualmente por segmento, devido a carregamentos estático (VB e placa) e dinâmico (LFWD), são apresentados no APÊNDICE D.

4.2 CORRELAÇÕES

Nesta seção apresenta-se a análise comparativa dos vários ensaios para cada tipo de pavimento e para cada método, tendo como base de comparação as deflexões medidas com LFWD.

4.2.1 Entre as Deflexões de cada Segmento Homogêneo

Procedeu-se a obtenção das correlações e sua análise por segmento, individualmente. Utilizou-se a equação do tipo linear para obtenção da regressão, por ser aquela que apresentou o melhor coeficiente de determinação. Na Tabela 9 estão apresentados os coeficientes de determinação obtidos pelo cruzamento das deflexões do LFWD com a viga e com a placa, em todos os segmentos.

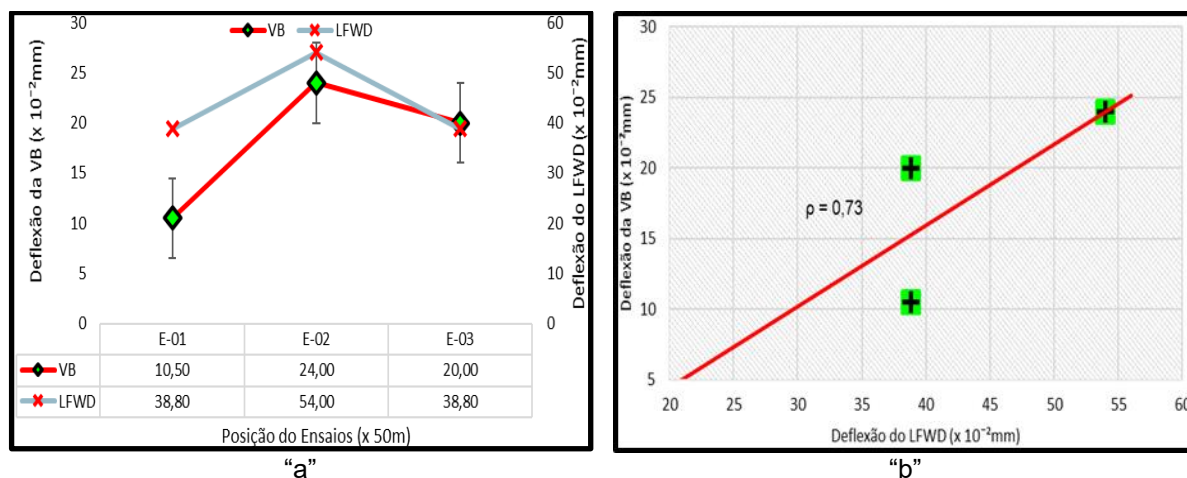
Tabela 9 - Resultados da regressão

SEGMENTO / ESTRUTURA	REGRESSÃO LINEAR $D_{VB} = a \cdot D_{LFWD} + b$			REGRESSÃO LINEAR $D_{PL} = a \cdot D_{LFWD} + b$		
	a	b	ρ	a	b	ρ
S-01a (VIADUTO)	0,58	7,09	0,73	2,98	16,94	0,67
S-01b (TRANSTUSA)	0,07	6,84	0,49	0,02	3,14	0,59
S-02	0,24	3,13	0,95	0,32	49,23	0,86
S-03	0,47	49,74	0,57	-0,20	126,40	-0,13
S-04	1,17	4,42	0,92	2,11	25,68	0,76
MÁXIMO	1,17	49,74	0,95	2,98	126,40	0,86
MÍNIMO	0,07	3,13	0,49	-0,20	3,14	-0,13

Fonte: O Autor (2018)

Nos Gráficos 2 a 11 estão plotados os resultados individuais de deflexão de cada segmento homogêneo com a reta obtida pela análise de regressão linear, para os valores de deflexão.

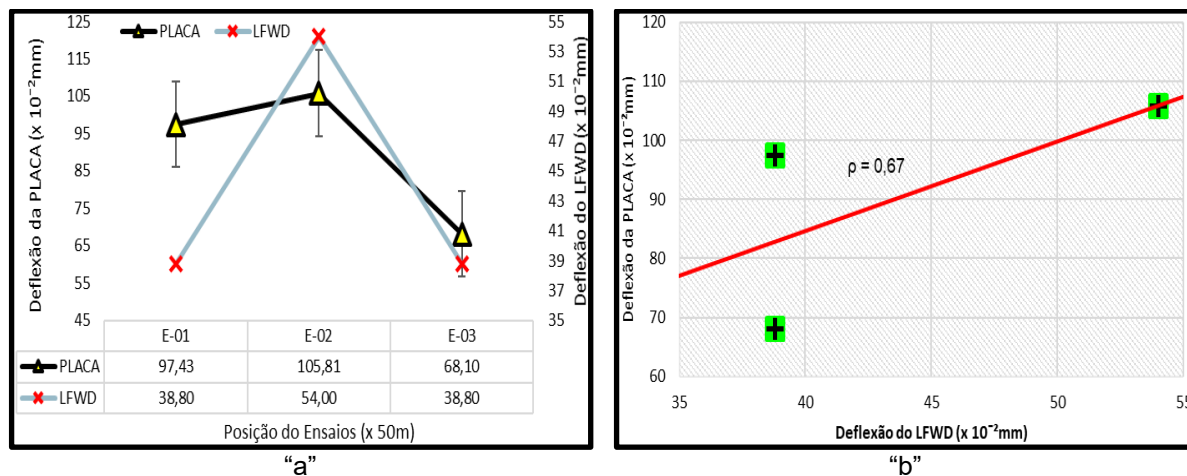
Gráfico 2 - SEGMENTO S-01a (VB X LFWD)



Fonte: O Autor (2018)

Para segmento S-01a, o coeficiente de correlação (Pearson) exprime forte correlação para os valores de deflexão de LFWD comparados com viga Benkelman e ensaio de placa (gráfico 2 e 3).

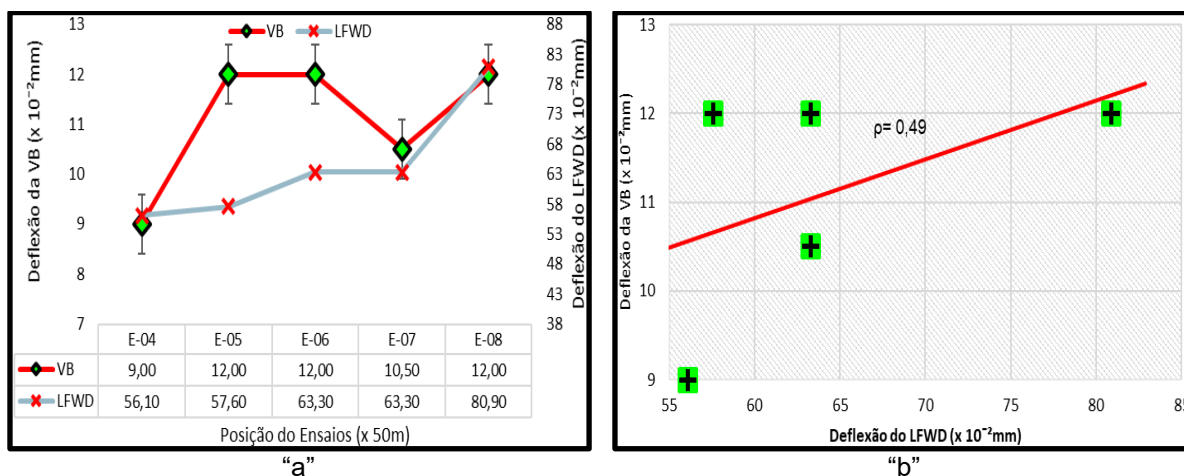
Gráfico 3 - SEGMENTO S-01a (ENSAIO DE PLACA X LFWD)



Fonte: O Autor (2018)

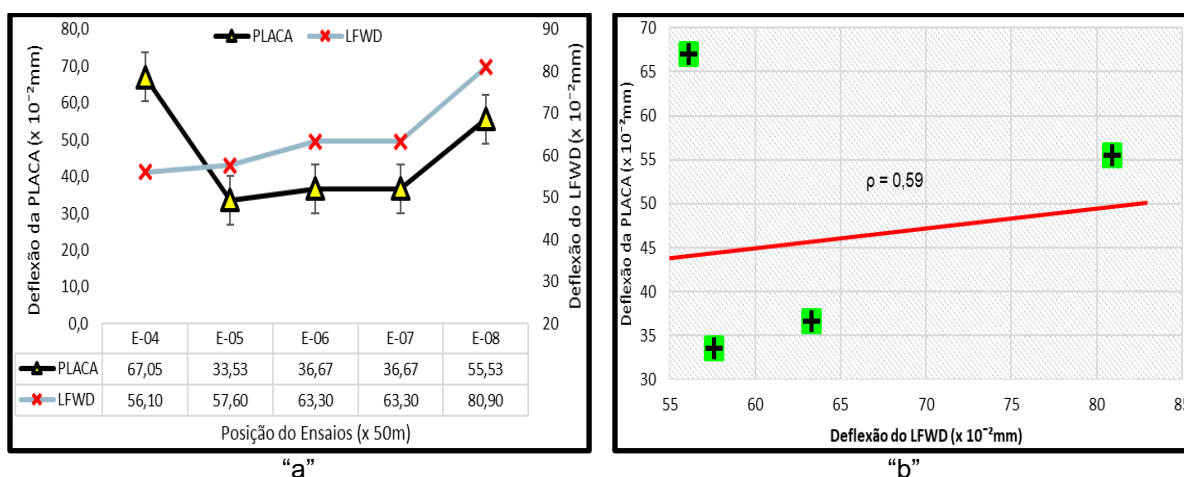
No segmento S-01b, composto por pavimento de mesma seção do segmento S-01a mas assente sobre subleito existente, a correlação foi moderada (Gráficos 4 e 5).

Gráfico 4 - SEGMENTO S-01b (VB X LFWD)



Fonte: O Autor (2018)

Gráfico 5 - SEGMENTO S-01b (PLACA X LFWD)

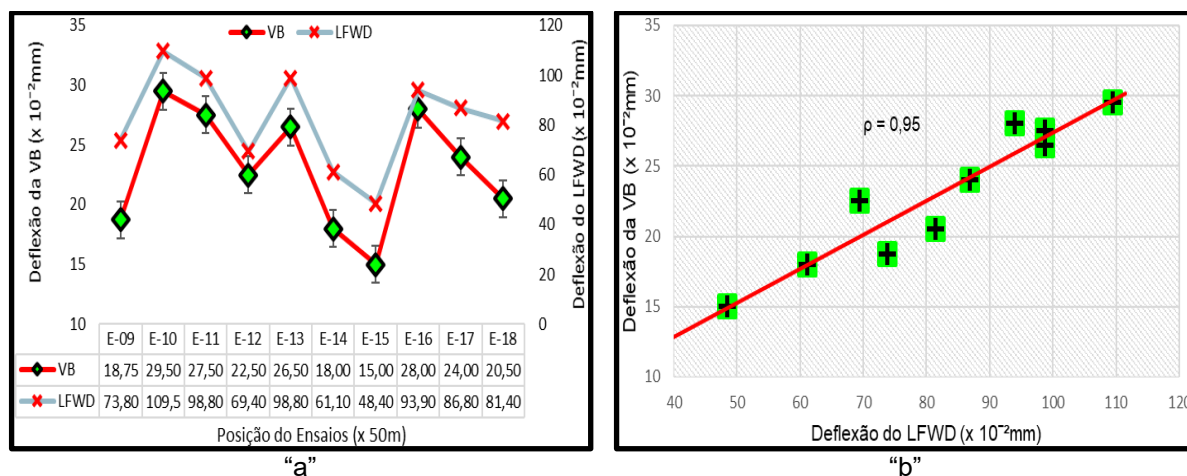


Fonte: O Autor (2018)

Na análise do segmento S-02, constituído de revestimento asfáltico delgado ($H_r=5,0\text{cm}$) sobre base granular de brita graduada, foi possível estabelecer que a correlação entre LFWD e VB é muito forte. Para as leituras de ensaio de placa, comparadas com as do LFWD, a correlação é considerada forte (Gráficos 6 e 7).

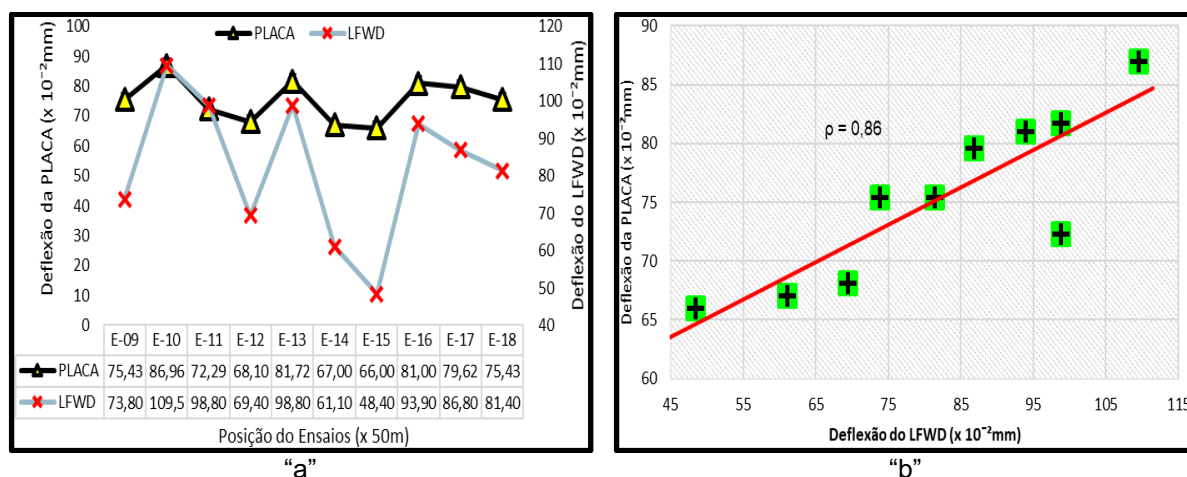
Salienta-se que a estrutura do pavimento que compõe o segmento S-02 é nova.

Gráfico 6 - SEGMENTO S-02 (VB X LFWD)



Fonte: O Autor (2018)

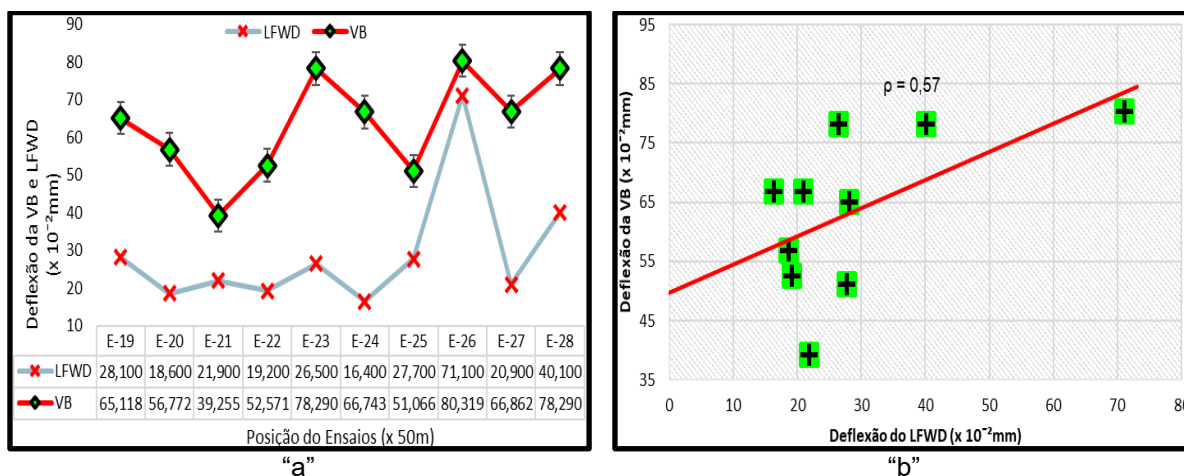
Gráfico 7 - SEGMENTO S-02 (ENSAIO DE PLACA X LFWD)



Fonte: O Autor (2018)

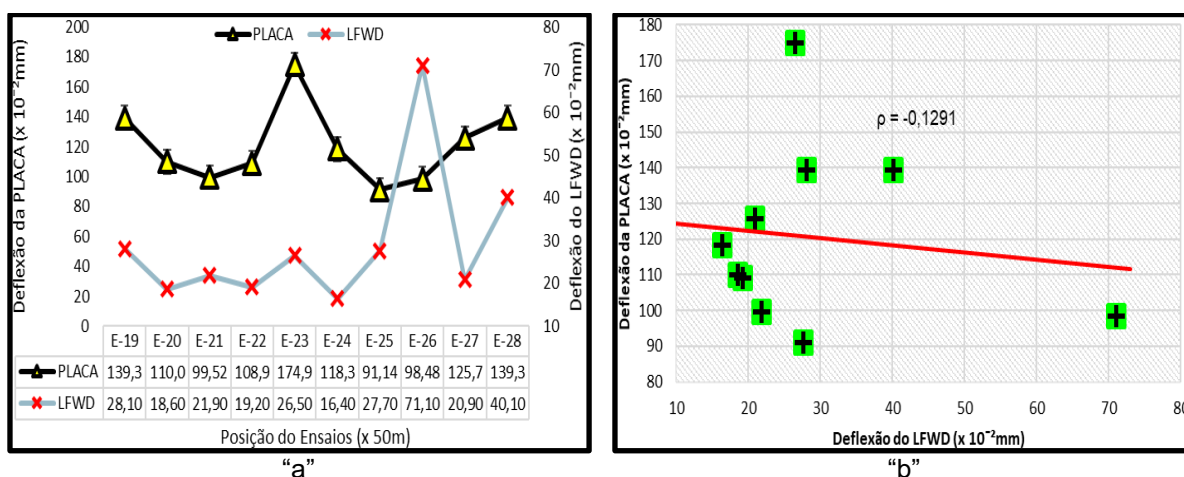
No segmento S-03, caracterizado por estrutura de paralelepípedos revestida com camada de concreto asfáltico o coeficiente de Pearson foi moderado para a comparação VB x LFWD e inexistente para a correlação de placa e LFWD (Gráficos 8 e 9).

Gráfico 8 - SEGMENTO S-03 (VB X LFWD)



Fonte: O Autor (2018)

Gráfico 9 - SEGMENTO S-03 (ENSAIO DE PLACA X LFWD)

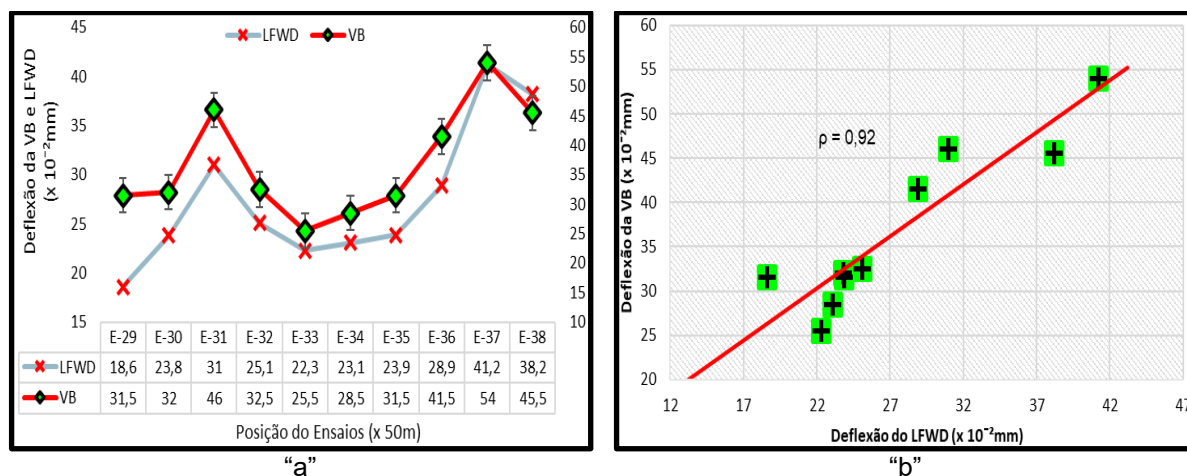


Fonte: O Autor (2018)

Assim como o segmento S-02, o S-04 possui revestimento em concreto asfáltico delgado ($H_r=5,0\text{cm}$), executado sobre base granular de brita graduada.

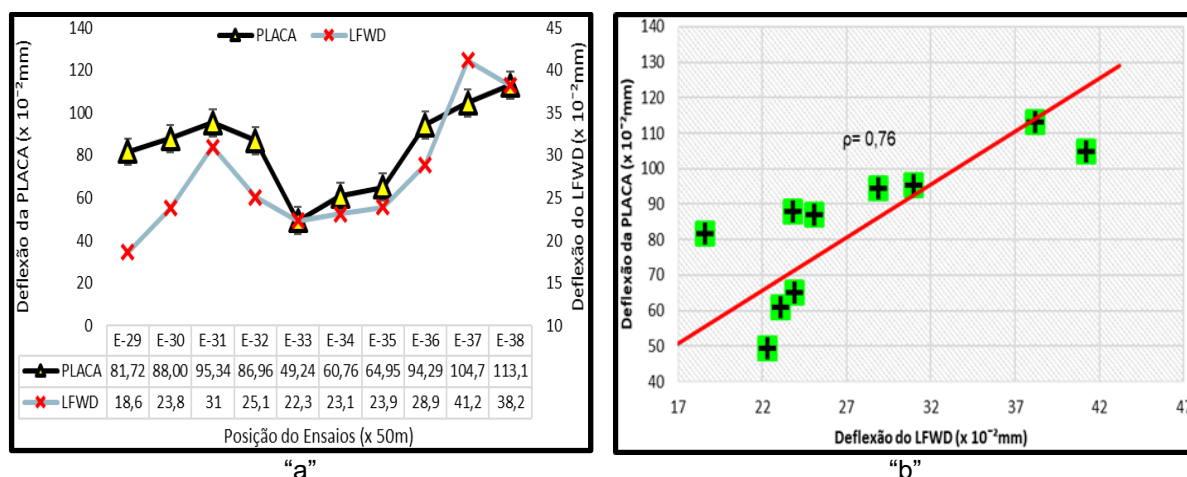
A correlação de viga Benkelman e o LFWD foi muito forte (Gráfico 10) e forte para os registros de placa e LFWD (Gráfico 11).

Gráfico 10 - SEGMENTO S-04 (VB X LFWD)



Fonte: O Autor (2018)

Gráfico 11 - SEGMENTO S-04 (PLACA X LFWD)



Fonte: O Autor (2018)

4.2.2 Entre as Deflexões de todos os Segmentos

Esta análise utilizou todas as deflexões levantadas nos quatro segmentos amostrais, independentemente da localização e do tipo de estrutura do pavimento.

Na Tabela 11 estão os resultados estatísticos obtidos.

Tabela 11 - Análise estatística de todos os valores das deflexões (D_0)

VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS	DEFLEXÕES (D_0)		
	VIGA BENKELMAN	ENSAIO DE PLACA	LFWD
MÉDIA ($\times 10^{-2}$ mm)	35,37	0,91	48,46
DESVIO ($\times 10^{-2}$ mm)	20,83	0,30	27,25
DEFLEXÃO CARACTERÍSTICA ($\times 10^{-2}$ mm)	56,20	1,20	75,71
MÁXIMO ($\times 10^{-2}$ mm)	80,32	1,71	109,50
MÍNIMO ($\times 10^{-2}$ mm)	9,00	0,36	16,40
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)	58,89%	32,78%	56,24%
AMOSTRA	38,00	38,00	38,00

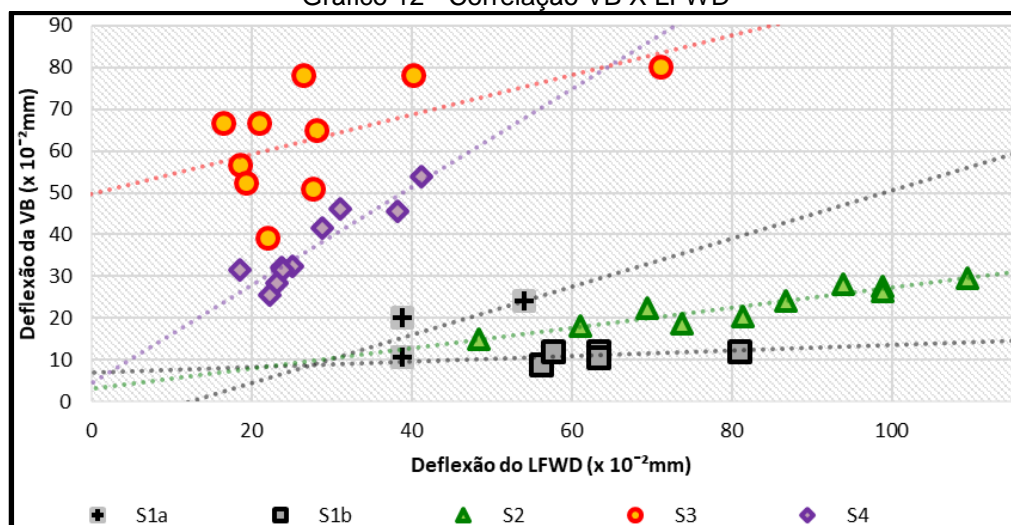
Fonte: O Autor (2018)

O coeficiente de variação das medidas com a Viga Benkelman e ensaio de placa são 59% e 33% respectivamente. Se comparado à VB, o LFWD (C_v é de 56%) é ligeiramente mais homogêneo nas medidas.

A deflexão média obtida com o LFWD é 27% maior que com a VB. No Gráfico 12 estão plotados os valores de deflexão obtidos com a VB e os valores de deflexão lidos com o LFWD, assim como os de ensaio de placa versus LFWD (Gráfico 13).

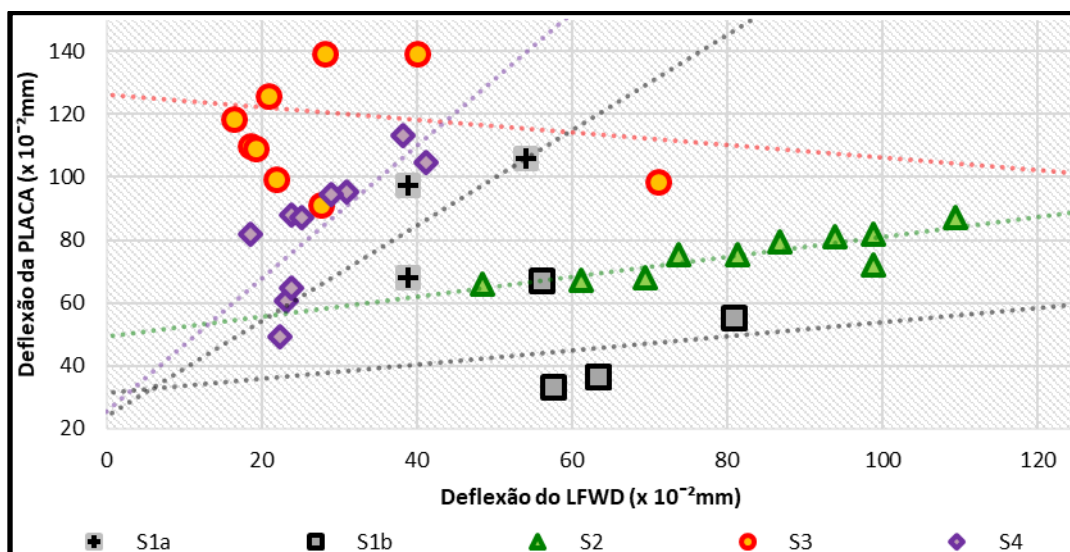
Contudo, não é possível afirmar que a deflexão do LFWD obedece ao padrão relacionado como a Viga Benkelman, e tampouco com o ensaio de placa, sendo a diferença entre os valores obtidos de cada equipamento maior quanto mais elevado o intervalo deflectométrico. Em cerca de 47% dos valores medidos a deflexão obtida com o LFWD é maior que a obtida com a viga.

Gráfico 12 - Correlação VB X LFWD



Fonte: O Autor (2018)

Gráfico 13 - Correlação PLACA X LFWD



Fonte: O Autor (2018)

Foram definidas as seguintes correlações envolvendo todos os valores de deflexão obtidos por VB, placa e LFWD:

$$D_{VB} = -0,3283 \cdot D_{LFWD} + 51,275, \text{ com } \rho = -0,43 \quad (17)$$

$$D_{PLACA} = -0,4079 \cdot D_{LFWD} + 106,59, \text{ com } \rho = -0,37 \quad (18)$$

Assim, confirma-se para o conjunto das estruturas de pavimentos flexíveis estudados que é impraticável a derivação de uma correlação completa entre as deflexões medidas com os dois aparelhos de referência (VB e placa), pela elevada dispersão de valores encontrados.

4.2.3 Entre as Deflexões Obtidas para Revestimentos com Camada de 5,0cm e 10,0cm de Espessura

Para esse parâmetro, a comparação decorreu das deflexões obtidas nas estruturas dos segmentos 2 e 4 ($H_r=5,0\text{cm}$) e as estruturas dos segmentos 1 e 3 ($H_r=10,0\text{cm}$) no tocante à espessura de camada asfáltica.

Na Tabela 12 são apresentados os resultados estatísticos obtidos com a análise dos 2 tipos de estrutura do pavimento quanto à espessura de revestimento asfáltico.

Tabela 12 - Resultados estatísticos das deflexões para as estruturas com 5,0cm e 10cm de espessura de camada asfáltica

VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS	DEFLEXÕES					
	5,0cm de revestimento			10,0cm de revestimento		
	VB	PLACA	LFWD	VB	PLACA	LFWD
MÉDIA ($\times 10^{-2}$ mm)	29,94	79,64	54,90	41,40	94,81	41,29
DESVIO ($\times 10^{-2}$ mm)	10,11	15,33	31,33	27,51	39,15	20,41
DEFLEXÃO CARACTERÍSTICA ($\times 10^{-2}$ mm)	40,05	94,97	86,23	68,91	133,96	61,70
MÁXIMO ($\times 10^{-2}$ mm)	54,00	113,15	109,50	80,32	174,96	80,90
MÍNIMO ($\times 10^{-2}$ mm)	15,00	49,24	18,60	9,00	33,53	16,40
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)	33,77%	19,25%	57,06%	66,43%	41,29%	49,41%
AMOSTRA	20,00	20,00	20,00	18,00	18,00	18,00

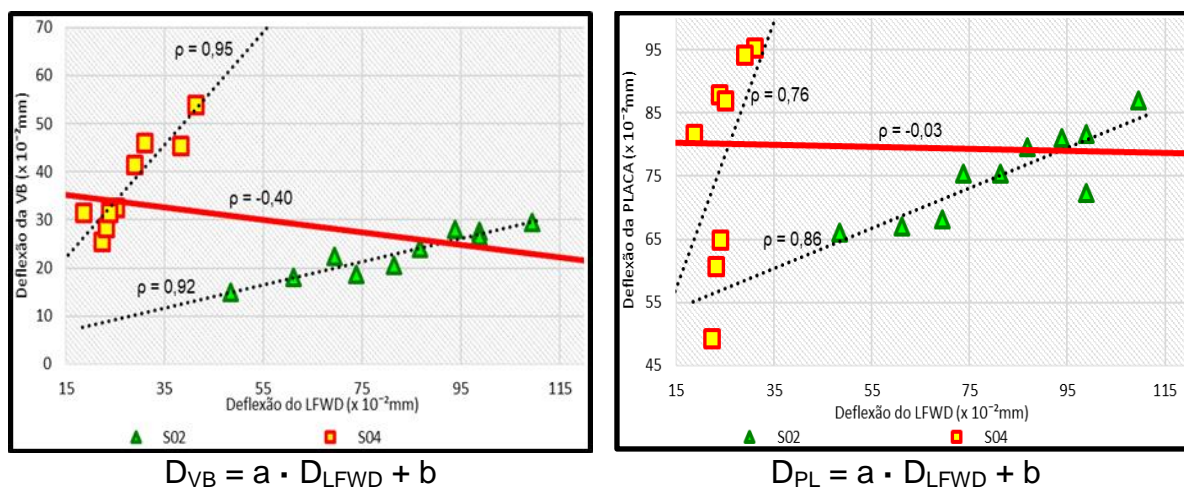
Fonte: O Autor (2018)

O coeficiente de variação das medidas com a Viga Benkelman é de 34% e 66% (respectivamente para espessuras de 5,0 e 10,0cm), enquanto que com o LFWD, este valor aumenta para 57% na menor espessura de revestimento, e diminui para os segmentos mais espessos com 49,41%, caracterizando uma maior homogeneidade para essas estruturas.

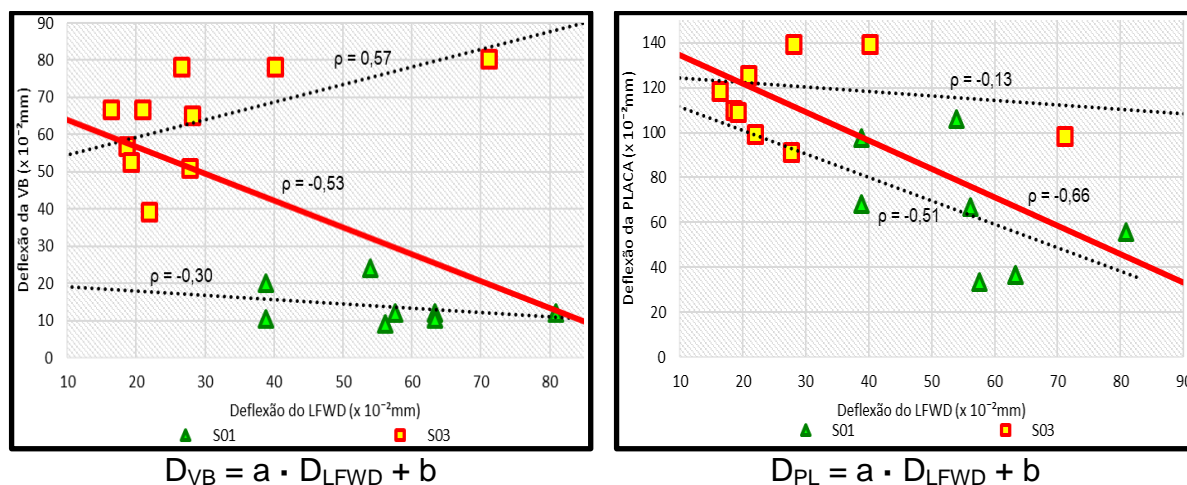
A deflexão média obtida com a viga sempre foi menor que o LFWD. Para o ensaio de carga, o valor médio da deflexão máxima oscilou de 30% ($E_{CBUQ}=5\text{cm}$) a 45% ($E_{CBUQ}=10\text{cm}$) a maior do que o LFWD.

Nos Gráficos 14 e 15 estão plotados os valores de deflexão obtidos na comparação viga e o LFWD, e placa e o LFWD, bem como a representação da reta de regressão, considerando os dois tipos de estrutura quanto à espessura de revestimento.

Gráfico 14 - Correlação com todos os valores (D_0 e $D_{máx}$) para estruturas com 5,0cm de espessura



Fonte: O Autor (2018)

Gráfico 15 - Correlação com todos os valores (D_0 e D_{MAX}) para estruturas com 10,0cm de espessura

Fonte: O Autor (2018)

Não foram exibidas as plotagens definidas com a eliminação do intercepto, pois não houve melhora na correspondência das deflexões máximas dos ensaios pesquisados. Podem ser descritas as seguintes correlações envolvendo todos os valores de deflexão D_0 e D_{MAX} :

Para 5,0cm de revestimento:

$$D_{VB} = 0,1299 \cdot D_{LFWD} + 37,07, \text{ com } \rho = -0,40 \text{ (18)}$$

$$D_{PL} = 0,0158 \cdot D_{LFWD} + 85,51, \text{ com } \rho = -0,03 \text{ (19)}$$

Para 10,0cm de revestimento:

$$D_{VB} = 0,7232 \cdot D_{LFWD} + 71,27, \text{ com } \rho = -0,54 \text{ (20)}$$

$$D_{PL} = -1,2656 \cdot D_{LFWD} + 147,07, \text{ com } \rho = -0,66 \text{ (21)}$$

Novamente, confirma-se que a análise do conjunto de deflexões obtidas de diferentes estruturas prejudica a qualidade da estimativa da deflexão. Todavia, nos modelos obtidos, as deflexões da Viga Benkelman são sempre menores que as deflexões do LFWD para os segmentos (1 e 2) com menos de um ano de operação (novos). Isso não se repete para o segmento com mais de 20 anos (4) e para a rua de recape sobre paralelepípedos (segmento 3).

Para o ensaio de carga com placa, observa-se que a diferença na obtenção da deflexão da placa a partir do LFWD começa a aumentar, para valores abaixo de $55 \cdot 10^{-2}$ mm, no segmento 01. Registra-se que para o segmento 3, o nível

deflectométrico é sempre maior para o carregamento com placa, comparado ao LFWD, chegando a $126 \cdot 10^{-2} \text{mm}$.

A variação da deflexão a partir do LFWD é menor na estrutura com 10,0cm de espessura, podendo chegar a uma diferença em torno de 15% entre as diferentes estruturas.

4.2.4 Resumo das Correlações Obtidas

Os modelos de regressão do tipo linear ($y=ax+b$) e linear com eliminação do intercepto ($y=\alpha x$) obtidos a partir dos valores de deflexão estão dispostos na Tabela 13. Os estudos demonstraram que a regressão linear com eliminação do intercepto não altera, de modo significativo, para os pavimentos com revestimentos delgados ($H_R=5\text{cm}$)

Pela comparação das correlações obtidas no quadro, nota-se que a correlação entre os equipamentos (viga e placa) com o LFWD é dependente das características particulares de cada segmento a ser avaliado. Os modelos indicados para a utilização na obtenção da deflexão correspondente são os das correlações obtidas nos segmentos 2 e 4.

A deflexão obtida com o emprego da Viga Benkelman é menor que a obtida pelo LFWD, com exceção dos segmentos 3 e 4.

Tabela 13 - Resumo dos modelos de correlação obtidos

CORRELAÇÕES OBTIDAS COM VALORES DE	TIPO DE REGRESSÃO LINEAR - VIGA BENKELMAN		TIPO DE REGRESSÃO LINEAR - ENSAIO DE PLACA	
	$D_{VB} = a \cdot D_{LFWD} + b$	COEF. PEARSON	$D_{PL} = a \cdot D_{LFWD} + b$	COEF. PEARSON
Deflexões características de cada segmento	$D_{VB} = -0,55 \cdot D_{LFWD} + 77,19$	$\rho = -0,63$	$D_{PL} = -0,64 \cdot D_{LFWD} + 145,71$	$\rho = -0,67$
Deflexões de todos os segmentos	$D_{VB} = -0,33 \cdot D_{LFWD} + 51,28$	$\rho = -0,43$	$D_{PL} = -0,41 \cdot D_{LFWD} + 106,59$	$\rho = -0,37$
Deflexões médias de cada segmento	$D_{VB} = -0,58 \cdot D_{LFWD} + 62,62$	$\rho = -0,69$	$D_{PL} = -0,58 \cdot D_{LFWD} + 114,15$	$\rho = -0,61$
Deflexões - espessura de 5,0cm de revestimento	$D_{VB} = -0,13 \cdot D_{LFWD} + 37,07$	$\rho = -0,40$	$D_{PL} = -0,02 \cdot D_{LFWD} + 80,50$	$\rho = -0,03$
Deflexões - espessura de 10,0cm de revestimento	$D_{VB} = -0,72 \cdot D_{LFWD} + 71,27$	$\rho = -0,54$	$D_{PL} = -1,26 \cdot D_{LFWD} + 147,07$	$\rho = -0,66$
Deflexões - Segmento 1a (Viaduto)	$D_{VB} = 0,58 \cdot D_{LFWD} + 7,08$	$\rho = 0,73$	$D_{PL} = 2,98 \cdot D_{LFWD} + 16,94$	$\rho = 0,67$
Deflexões - Segmento 1b (Transtusa)	$D_{VB} = 0,07 \cdot D_{LFWD} + 6,84$	$\rho = 0,49$	$D_{PL} = 0,02 \cdot D_{LFWD} + 3,14$	$\rho = 0,59$
Deflexões - Segmento 2	$D_{VB} = 0,24 \cdot D_{LFWD} + 3,13$	$\rho = 0,95$	$D_{PL} = 0,32 \cdot D_{LFWD} + 49,23$	$\rho = 0,86$
Deflexões - Segmento 3	$D_{VB} = 0,47 \cdot D_{LFWD} + 49,74$	$\rho = 0,57$	$D_{PL} = -0,2 \cdot D_{LFWD} + 126,4$	$\rho = -0,13$
Deflexões - Segmento 4	$D_{VB} = 1,17 \cdot D_{LFWD} + 4,42$	$\rho = 0,92$	$D_{PL} = 2,12 \cdot D_{LFWD} + 25,68$	$\rho = 0,76$

Fonte: O Autor (2018)

Na Tabela 14 estão as correlações do tipo $D_{VB} = a \cdot D_{LFWD} + b$ e $D_{PL} = a \cdot D_{LFWD} + b$, e que apresentaram bom ajustamento entre os dados coletados. Observado o coeficiente de correlação de Pearson (ρ), as correlações do LFWD obtidas com a Viga Benkelman são mais fortes do que as obtidas com o ensaio de placa.

Tabela 14 - Correlações válidas para este estudo

LOCAL	EQUIPAMENTO	MODELO DE CORRELAÇÃO E ESPESSURA DO REVESTIMENTO	COEF. PEARSON	CLASS. DA CORREL.
Segmento 1a - Av. Stos. Dumont	VIGA BENKELMAN	$D_{VB} = 0,5757 \cdot D_{LFWD} + 7,0855$ (para hr = 10cm)	$\rho=0,73$	FORTE
Segmento 1a - Av. Stos. Dumont	ENSAIO COM PLACA	$D_{PL} = 2,9775 \cdot D_{LFWD} + 16,936$ (para hr = 10cm)	$\rho=0,67$	FORTE
Segmento 2 - Rua Otto Bohem	VIGA BENKELMAN	$D_{VB} = 0,2421 \cdot D_{LFWD} + 3,1279$ (para hr = 5cm)	$\rho=0,95$	MUITO FORTE
Segmento 2 - Rua Otto Bohem	ENSAIO COM PLACA	$D_{PL} = 0,3179 \cdot D_{LFWD} + 49,23$ (para hr = 5cm)	$\rho=0,86$	FORTE
Segmento 4 - Rua São Borja	VIGA BENKELMAN	$D_{VB} = 1,1745 \cdot D_{LFWD} + 4,4213$ (para hr = 5cm)	$\rho=0,92$	MUITO FORTE
Segmento 4 - Rua São Borja	ENSAIO COM PLACA	$D_{PL} = 2,1095 \cdot D_{LFWD} + 25,675$ (para hr = 5cm)	$\rho=0,76$	FORTE

Fonte: O Autor (2018)

Para as demais correlações, os modelos indicam fraca relação entre as leituras com o LFWD com a Viga Benkelman e o ensaio de carga com placa.

4.2.5 Influência da Utilização da Deflexão Obtida com o LFWD e aquela Obtida pela Correlação no Dimensionamento da Espessura de Reforço do Pavimento

O objetivo deste item é verificar, através de uma simulação, a influência da avaliação estrutural de um pavimento caso a mesma fosse realizada com o LFWD.

Para tanto, no segmento 4, foram executados 10 ensaios auxiliares dos equipamentos utilizados nesta pesquisa (VB₇ e LFWD) para verificar a proximidade dos valores encontrados por correlação. Esses valores de deflexão, data do ensaio e temperatura do ar estão na Tabela 15.

As leituras auxiliares foram realizadas no bordo oposto ao dos testes do estudo, ou seja, no bordo esquerdo do segmento.

Tabela 15 – Ensaio auxiliares no segmento 4

ESTACA S-04	BORDO ESQUERDO - LEITURAS AUXILIARES					
	Deflexão VB (x 10 ⁻² mm)	T. do ensaio (°C)	Data	Deflexão LFWD (x 10 ⁻² mm)	T. do ensaio (°C)	Data
1+05m	28,00	28	14/12/2017	21,20	26	25/01/2018
3+15m	29,50	28	14/12/2017	21,30	26	25/01/2018
6+05m	27,50	28	14/12/2017	17,00	26	25/01/2018
8+15m	27,50	28	14/12/2017	24,10	26	25/01/2018
11+05m	26,50	28	14/12/2017	22,30	26	25/01/2018
13+15m	34,00	28	14/12/2017	27,20	26	25/01/2018
16+05m	32,00	28	14/12/2017	27,10	26	25/01/2018
18+15m	33,00	28	14/12/2017	29,30	26	25/01/2018
21+05m	35,50	28	14/12/2017	21,80	26	25/01/2018
23+75m	31,00	28	14/12/2017	23,50	26	25/01/2018

Fonte: O Autor (2018)

Considerando-se os dados da Tabela, no que diz respeito às deflexões obtidas no segmento de análise, com o emprego da Viga Benkelman e LFWD, estima-se os valores da viga a partir dos valores de pista do LFWD.

Na Tabela 16 estão apresentados os dados deflectométricos levantados em campo e aqueles estimados pelas correlações, bem como a análise estatística.

Tabela 16 - Valores deflectométricos obtidos em campo e por correlação

ENSAIOS AUXILIARES SEGMENTO 4	Deflexão (x0,01mm) - Levantamento de Campo		Deflexão (x0,01mm) obtida pelo modelo de correlação deste estudo	
	VB	LFWD	$D_{VB} = a \cdot D_{LFWD} + b$	$D_{VB} = \alpha D_{LFWD}$
E-29a	28	48	61	63
E-30a	30	27	36	36
E-31a	28	16	23	21
E-32a	28	20	28	26
E-33a	27	25	34	33
E-34a	34	20	28	26
E-35a	32	21	29	27
E-36a	33	24	32	32
E-37a	36	19	27	26
E-38a	31	15	23	20
Média (x 10^{-2} mm)	30,45		32,00	31,12
Desvio (x 10^{-2} mm)	3,11		10,90	12,30
Característica (x 10^{-2} mm)	33,56		42,90	43,42
Máximo (x 10^{-2} mm)	35,50		60,56	63,35
Mínimo (x 10^{-2} mm)	26,50		22,51	20,41
Coeficiente de Variação (%)	10,22%		34,07%	39,54%
Amostra	10,00		10,00	10,00

Fonte: O Autor (2018)

Ressalta-se que este modelo foi obtido na simulação de ensaio com LFWD, em estrutura composta por camada de revestimento única em CAUQ, sobre base granular de brita graduada simples.

Pondera-se que, embora a deflexão média calculada possua valor próximo ao encontrado em pista com a viga, a deflexão característica varia majorando o valor medido na pista em 30%.

Existem ainda diferenças significativas no valor do coeficiente de variação encontrado para os valores calculados. Essa discrepância ocorreu também nos levantamentos de pista durante a pesquisa, para outros segmentos.

É provável que esta variação esteja ligada a característica do ensaio. No caso do LFWD o raio de aplicação de carga é igual a 15cm e a carga de 707kgf. Para a Viga Benkelman, o raio de aplicação é 16,8cm (duplo) e a carga 4.100kgf.

No dimensionamento da espessura de reforço necessária para a restauração do segmento em concreto betuminoso, com base nas deflexões obtidas a partir do LFWD, empregou-se a metodologia DNER-PRO 11/79.

Para a simulação, o número de passagens do veículo padrão considerado ($N_{8,2t}$) foi igual a $5 \cdot 10^7$, o qual é um valor característico para ruas joinvillenses de maior tráfego (principais).

4.2.6 Metodologia DNER-PRO 11/79

Segundo esta metodologia, para o número $N_{8,2t}$ considerado, a deflexão admissível é de $43 \cdot 10^{-2}$ mm. Como exemplo, foi utilizada a deflexão característica obtida no segmento 4 para cálculo das espessuras de reforço, de acordo com a hipótese II da metodologia. Elas foram calculadas considerando as deflexões características obtidas em campo, pela Viga Benkelman e pelo LFWD, e obtidas através do modelo de correlação que apresentou maior proporcionalidade ($p = 0,85$).

O resultado deste dimensionamento encontra-se na Tabela 17.

Tabela 17 - Espessura de reforço (DNER 11/79) com dados de campo

LOCAL	Dc VIGA (x0,01mm) levantamento de campo	HR (cm)	CORRELAÇÃO UTILIZADA	Dc VIGA (x0,01mm) por modelos de correlação linear com intercepto	HR (cm)
S-4 (BORDO DIREITO)	46,11	1,50	(O BORDO DIREITO FOI UTILIZADO PARA A OBTENÇÃO DA CORRELAÇÃO)		
S-4 (BORDO ESQUERDO)	33,56	0,00	$D_{VB} = 1,1745 \cdot D_{LFWD} + 4,4213$	43,84	1,00

Fonte: O Autor (2018)

A espessura de reforço calculada com a deflexão característica a partir de dados do LFWD é maior do que a da Viga Benkelman se analisado o bordo esquerdo. Para o bordo direito, que originalmente deu origem à correlação, o valor do reforço calculado com dados do LFWD mostra-se subdimensionado.

Salienta-se que a simulação ocorreu em apenas 10 estações de ensaio no segmento 4 (Rua São Borja).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

O propósito desta dissertação foi encontrar relações entre o LFWD e métodos tradicionais de avaliação da capacidade de carga, especificamente, para pavimentos urbanos. Com base na pesquisa, os níveis deflectométricos admitidos nos nomogramas do procedimento DNER 11/79 podem ser melhor explorados no campo científico, produzindo resultado prático para a reabilitação de pavimentos urbanos.

O deflectômetro de impacto leve (LFWD) é relativamente recente, mas apresenta vantagens em relação aos métodos tradicionais, pela rapidez e simplicidade das medições. Esse equipamento fornece imediatamente a medida da deflexão e permite a avaliação de pista sem grande perturbação do tráfego. No entanto, não apresenta boa correlação em estruturas onde há camadas de revestimento em CAUQ de 10cm, ou em revestimentos sobre paralelepípedos. Nestas duas situações, a pesquisa não permitiu que fossem obtidas correlações bem definidas nos segmentos estudados.

Assim, ao longo do trabalho, foi possível elencar algumas considerações importantes para a avaliação de pavimentos urbanos, das quais se destacam:

- a) Há boa correlação da deflexão obtida com LFWD e os procedimentos tradicionais (VB e placa) para estruturas de pavimentos compostas por revestimento em CAUQ, espessura de 5cm sobre base granular. Para essa composição, as leituras com a viga e LFWD apresentam dispersões semelhantes. O ensaio de carga placa foi o método estudado com menor coeficiente de variação entre as leituras;
- b) Nos pavimentos estudados, a análise de regressão mostrou que a correlação entre os métodos é diferente para cada tipo de estrutura do pavimento. Os valores das deflexões obtidas com o LFWD oscilaram na faixa de $(16,40 \text{ a } 109,50) \cdot 10^{-2}\text{mm}$. As deflexões da Viga Benkelman variaram de $(9 \text{ a } 80,32) \cdot 10^{-2}\text{mm}$ e as do ensaio de carga com placa de $(33,52 \text{ a } 174,96) \cdot 10^{-2}\text{mm}$;
- c) Indica-se os modelos de correlação obtidos neste estudo para emprego em situações em que não exista disponibilidade de um modelo próprio.

Mostra-se prática razoável, principalmente nas cidades, com pavimentos executados com pouco controle tecnológico;

- d) Salienta-se, que os modelos obtidos neste estudo são para estruturas compostas de revestimento asfáltico sobre bases granulares, com espessuras de 15,0 a 45,0cm;
- e) Para que haja eficiência e nível de precisão na avaliação deflectométrica com LFWD é necessário monitorar a variação dos coeficientes de correlação apresentados. Propõe-se que essa adoção ocorra por análise de segmentos (Ilhas) homogêneos não menores que 200m e nunca superiores a 1km;
- f) O controle deflectométrico com LFWD deve ser realizado em, pelo menos, dois pontos de uma mesma seção transversal em cada faixa de rolamento, de modo que possa ser avaliada a dispersão dos valores coletados, o que, por si só, já é um indicador da situação estrutural do pavimento;
- g) O uso de equipamento tipo LFWD na avaliação de pavimentos se mostrou vantajoso em relação ao controle com Viga Benkelman e ensaio de carga com placa pois, além de envolver menor quantidade de operações manuais, também permite uma análise estatística mais completa em função do maior número de leituras coletadas; e
- h) Deve-se dar preferência ao uso de equipamentos automatizados como o LFWD pois, de certa forma, este tipo de equipamentos elimina a possibilidade de ocorrência de uma série de erros usualmente associados à manipulação inadequada dos equipamentos manuais, bem como de erros grosseiros de leitura e registro.

Para novos estudos, torna-se importante destacar que a avaliação estrutural de pistas por deflexão, por si só, não explica o desempenho da estrutura. Portanto, esta prática deve estar associada a outras como ensaios de laboratório, dos

materiais aplicados na construção do pavimento, verificação dos controles de umidade (drenagem existente) e do grau de compactação do subleito, principalmente. Sugere-se:

- a) Teste e correlação do LFWD com resultados do FWD (*Falling Weight Deflectometer*) para calibração da metodologia ou desenvolvimento de uma nova para a avaliação de pavimentos urbanos;
- b) Extensão do banco de dados da pesquisa através da análise das correlações obtidas em outras estruturas de pavimentos de cidades no país. Vislumbra-se que pistas com revestimentos mais simples, como os tratamentos superficiais, possuam boa aderência ao modelo aqui estudado; e
- c) Análise da influência da temperatura na obtenção dos resultados de deflexão com o LFWD.

REFERÊNCIAS

AASHTO. **Guide for Design of Pavement Structures**. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1993.

AGUIAR, J. C. M. **Radar de Penetração no Solo (GPR): Aspectos geofísicos e geodésicos, processamento e análises em pavimento flexível**. 128 f. Dissertação de Mestrado (Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

AFNOR NF P94-117-1. **Sols: reconnaissance et essais. Portance des plates-formes. Partie 1: Module sous chargement statique à la plaque (EV2)**. Association Française de Normalisation, 2000.

ALBERNAZ, C. A. V. **Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia de deflexão**. Rio de Janeiro, COPPE–UFRJ, 1997.

ARTERIS. **DETERMINAÇÃO DAS DEFLEXÕES PELA VIGA BENKELMAN**. Centro de Desenvolvimento Tecnológico ARTERIS, Brasil, 2015.

BALBO, J. T. Restauração de pavimentos urbanos – Dificuldades e diretrizes para soluções. **Reunião Anual De Pavimentação**, v. 8, 1997.

BAPTISTA, C. N. **Pavimentação: ensaios fundamentais para a pavimentação dimensionamentos dos pavimentos flexíveis**. 2a Ed. Porto Alegre: Editora Globo, Vol. 1. 1976. 249 p.

BENEDETTO, A.; TOSTI, F.; DI DOMENICO, L. Elliptic model for prediction of deflections induced by a Light Falling Weight Deflectometer. **Journal of Terramechanics**, v. 49, n. 1, p. 1-12, 2012.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica - Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Ed. Gráfica Imprinta, 2008. 504 p.

BORGES, C. B. S. **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com Viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2001.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Editora Artmed, 2003.

CARNEIRO, F. B. L. Viga Benkelman - Instrumento Auxiliar do Engenheiro de Conservação. **Caderno de Engenharia Rodoviária 2**. Secretaria de Comunicações e Transporte. DER/RJ, 1966.

CARDOSO, S. H. Faixas de Módulos Dinâmicos (Elásticos) Obtidos por Retroanálises Durante Sete Anos. **29ª Reunião de Pavimentação. Cuiabá/MT**, v. 2, p. 377-401, 1995.

CNT (Confederação Nacional do Transporte). **Pesquisa Rodoviária 2016 – Relatório Gerencial 2007**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2016.

DANIELESKI, M. L. **Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos**: Aplicação à rede viária de Porto Alegre. 2004.

DER/SP (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo). **IP-DEP00/001: Projeto de Pavimentação**. 2006a. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/documentos/normas/anexos/normas_pav01.aspx>. Acesso em: 15 maio 2016.

DER/SP. (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo). IP-DE-P00/004: **Avaliação de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos por meio de levantamento visual contínuo de defeitos da superfície**. São Paulo. 2006b.

DIN 18134. **Determining the deformation and strenght characteristics of soil by plate loading test**. Deutsches Institut für Normung, 2001.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos** – Procedimento. Diretoria de Planejamento e Pesquisa – IPR, 2003.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**.

DYNATEST – Dynatest Engenharia Ltda. Disponível em: <<http://dynatest.com.br/>> Acesso em maio de 2018.

ELHAKIM, A. F.; ELBAZ, K.; AMER, M. I. The use of light weight deflectometer for in situ evaluation of sand degree of compaction. **HBRC Journal**, v. 10, n. 3, p. 298-307, 2014.

FERREIRA, E. R. **Procedimentos automáticos para apoio na avaliação de pavimentos com o uso de imagens digitais**. 260 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Viçosa, Viçosa. 2010.

FERRI, S. **Critérios de aceitação e controle da qualidade da execução de camadas de fundação de pavimentos novos através de métodos deflectométricos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, 2013.

FRANCISCO, A. **Comportamento estrutural de pavimentos rodoviários flexíveis**. 2012. Tese (Doutorado) – Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão.

GOKTEPE, A. B.; AGAR, E.; LAV, A. H. Advances in backcalculating the mechanical properties of flexible pavements. **Advances in engineering software**, v. 37, n. 7, p. 421-431, 2006.

GONÇALVES, F. P.; CERATTI, J. A. P. Utilização do Ground Penetrating Radar na Avaliação de Pavimentos. **31a Reunião Anual de Pavimentação**, São Paulo–SP, 1998.

GONTIJO, P. R. A.; GUIMARÃES, F. H. R.; NOGUEIRA, C. de L. Metodologias brasileiras para avaliações das características funcionais e estruturais de pavimentos rodoviários estado da arte. **REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO**, v. 28, 1994.

GOOGLE MAPS. **Imagens de Satélite. Joinville**: Google, 2016. 4 imagens. Escala variável.

GUZZARLAPUDI, S. D.; ADIGOPULA, V. K.; KUMAR, R. Comparative studies of lightweight deflectometer and Benkelman beam deflectometer in low volume roads. **J. Traffic Transp. Eng.** (Engl. Ed.); v. 3, n. 5, p. 438-447, 2016.

HAAS, R. H.; ZANIEWSKI, W. R. J. **Modern Pavement Management System**. 1994.

HENRIQUE, Y. F.; DA MOTTA, L. M. G. **Método de Avaliação de Pavimentos Aeroportuários**-Aplicação a um Aeródromo Militar. Rio de Janeiro, 2013.

HERNÁNDEZ S, R.; FERNÁNDEZ COLLADO, C.; BAPTISTA LÚCIO, P. **Metodologia da Pesquisa**. Tradução de Daisy Vaz de Moraes. 2013.

JOINVILLE. **Portal da transparência**. 2016. Disponível em: <<http://www.portaltransparencia.gov.br>> Acesso em: 25 de setembro de 2016.

KHAZANOVICH, L.; LUKANEN, E.; TOMPKINS, D. Evaluation of Bearing Capacity of Low-Volume Roads in Minnesota. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 2433, p. 79-86, 2014.

LOPES, J. **Contributo para o estudo da utilização do deflectómetro de impacto ligeiro**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010.

LOPES, F. M.; FORTES, R. M.; SUZUKI, C. Y. Pavimentos Flexíveis com Revestimento Asfáltico – Avaliação Estrutural a Partir dos Parâmetros de Curvatura da Bacia de Deformação. **Pavimentação**, v. 8, n. 30, p. 58-65, 2013.

MACÊDO, J. de. Interpretação de ensaios deflectométricos para avaliação estrutural de pavimentos flexíveis. **Rio de Janeiro**, 1996.

MAGALHÃES, B. A. da C. **Comparação de diferentes métodos de avaliação da capacidade de carga de pavimentos rodoviários**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, 2015.

MARCON, F. M. **Contribuição ao desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos para a malha rodoviária estadual de Santa Catarina**. São José dos Campos, 1996.

MARGARIDO, R. A. et al. Ground Penetration Radar. GPR. **31a Reunião Anual de Pavimentação**, v. 2, p. 889-897, 1998.

MARQUES, G. L. O. **Pavimentação**. Universidade Federal de Juiz de Fora - Faculdade de Engenharia - Departamento de Transportes e Geotecnia. Disponível em: <<http://www.pavimentacao.ufjf.br/naulas.html>>. Acesso em: 25 de setembro de 2016.

MARTINS, J. P. **Compaction and its influence on the structural behaviour of high speed railways**. 2011.

MEDINA, J. de et al. Utilização de Ensaio Defletométrico e de Laboratório para a Avaliação Estrutural de Pavimentos. **28ª Reunião Anual de Pavimentação**, v. 1, p. 595-625, 1994.

MEDINA, J de; MOTTA, L. M. G. da. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, v. 23, 1997.

MIRANDA, V.; PEREIRA, P. **Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários**. 1999.

NAZAAL, M. D. **Field evaluation of in-situ test technology for QC/QA during construction of pavement layers and embankments**, 2003.

NAZARIAN, S.; STOKOE, K. H. Nondestructive evaluation of pavements by surface wave method. In: **Nondestructive testing of pavements and backcalculation of moduli**. ASTM International, 1989.

NÓBREGA, E. S. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2003.

PINTO, S. **Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1991.

PITTA, D. M.; TRICHÊS, G. **AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA CAMADA DE LASTRO DE PEDRA PULMÃO EMPREGADA NO LOTE 8 DA DUPLICAÇÃO DA BR-101**.

PREGO, A. S. **A memória da pavimentação no Brasil**. Associação Brasileira de Pavimentação, 2001.

ROCHA FILHO, N. R. **Estudo de técnicas para avaliação estrutural de pavimentos por meio de levantamentos deflectométricos**. Dissertação (Mestrado em Infraestrutura de Transportes) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, São José dos Campos, SP, 1996.

ROMERO, R. et al. Variation of Deflection with Measuring Equipment and Load Speed on Test Track. **Transportation Research Record**, v. 1448, p. 53, 1994.

RYDEN, N.; LOWE, M. J. S. Guided wave propagation in three-layer pavement structures. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 116, n. 5, p. 2902-2913, 2004

LIRA, S. A. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, 2004.

SANTANA, J. M.; LUCENA, F. B. de; MACEDO, J. A. Avaliação Estrutural de Pavimento através de Ensaio Pressiométrico, Ensaio de Placa e CBR In Situ. **XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Brasília**. 1998.

SALTAN, M.; TERZI, S. Modeling deflection basin using artificial neural networks with cross-validation technique in backcalculating flexible pavement layer moduli. **Advances in Engineering Software**, v. 39, n. 7, p. 588-592, 2008.

SECRETARIA de planejamento, Orçamento e Gestão/Prefeitura Municipal de Joinville. **Base Cartográfica do Município de Joinville**. Joinville: Aeroimagem Engenharia e Aerolevantamento, 2010. 1 parte. Escala 1:10000.

SEPUD (Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável) (2017) Joinville Cidade em Dados 2017, Prefeitura Municipal, Joinville.

SENSENEY, C.; MOONEY, M. Characterization of two-layer soil system using a lightweight deflectometer with radial sensors. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 2186, p. 21-28, 2010.

SHOJI, E. S. **Desenvolvimento de um programa de sistema de gerência de pavimentos urbanos para cidades de porte médio**. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005.

SILVEIRA, E. C. et al. **Radar de penetração no solo (gpr) e sua aplicação em infraestruturas rodoviárias–área experimental–ccet–anápolis–go**.

SILVA, C. A. R. **Controle Deflectométrico na Execução de Camadas de Pavimento**. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2004.

SMITH, R. E.; LYTTON, R. L. Operating characteristics and user satisfaction of commercially available NDT equipment. **Transportation Research Record**, v. 1007, p. 1-10, 1985.

SOLOTEST – Solotest Engenharia Ltda.
<[http:// www.solotest.com.br/](http://www.solotest.com.br/)> Acesso em outubro de 2018.

STANDARD, A. S. T. M. E2835-11. **Standard test method for measuring deflections using a portable impulse plate load test device**, 2011.

TEHRANI, F. S.; MEEHAN, C. L. The effect of water content on light weight deflectometer measurements. **GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling & Design**. 2010. p. 930-939.

THOLEN, O.; SHARMA, J.; TERREL, R. L. Comparison of falling weight deflectometer with other deflection testing devices. **Transportation research record**, v. 1007, p. 20-26, 1985.

PEDROTTI, T. F. et al. DEFLEXÕES EM PAVIMENTO FLEXÍVEL EM RODOVIA FEDERAL DA REGIÃO NOROESTE DO RS VARIANDO O PERÍODO SEM PRECIPITAÇÃO AO LONGO DO ANO. **CRICTE**, [S.l.], fev. 2018. ISSN 2318-3438. Disponível em:
<<https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/cricte/article/view/8909>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

VILLELA, A. R. A. **Estudo de camada de base asfáltica de módulo elevado para restauração de rodovias de tráfego muito pesado**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

VILLELA, A. R. A.; MARCON, A. F. Avaliação Estrutural de Pavimentos Utilizando um Método Simplificado de Retroanálise–Retran-2CL. **33a Reunião Anual de Pavimentação**, p. 622-633, 2001.

ZANCHETTA, F. **Aquisição de dados sobre a condição dos pavimentos visando a implementação de sistemas de gerência de pavimentos urbanos**. Tese

(Doutorado em Infra-Estrutura de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANEXO A – FICHA RESUMO DA PLUVIOMETRIA DURANTE O PERÍODO DE PESQUISA

Dezembro 2017	Chuva diária total (mm)	Janeiro/2018	Chuva diária total (mm)
01/12/2017	0,00	01/01/2018	2,77
02/12/2017	4,80	02/01/2018	7,39
03/12/2017	0,00	03/01/2018	0,23
04/12/2017	2,97	04/01/2018	11,84
05/12/2017	2,29	05/01/2018	0,00
06/12/2017	0,00	06/01/2018	0,00
07/12/2017	0,00	07/01/2018	0,46
08/12/2017	1,14	08/01/2018	0,91
09/12/2017	0,00	09/01/2018	0,00
10/12/2017	0,00	10/01/2018	15,32
11/12/2017	0,00	11/01/2018	10,97
12/12/2017	0,46	12/01/2018	26,54
13/12/2017	0,00	13/01/2018	2,74
14/12/2017	0,00	14/01/2018	13,92
15/12/2017	0,00	15/01/2018	11,33
16/12/2017	0,00	16/01/2018	14,73
17/12/2017	0,23	17/01/2018	104,10
18/12/2017	37,46	18/01/2018	15,32
19/12/2017	3,43	19/01/2018	6,20
20/12/2017	8,23	20/01/2018	5,49
21/12/2017	31,37	21/01/2018	3,20
22/12/2017	2,06	22/01/2018	2,06
23/12/2017	0,00	23/01/2018	20,04
24/12/2017	3,66	24/01/2018	6,40
25/12/2017	113,30	25/01/2018	18,97
26/12/2017	5,03		
27/12/2017	2,29		
28/12/2017	0,23		
29/12/2017	2,29		
30/12/2017	39,32		
31/12/2017	2,06		
Chuva mês Total (mm)	262,60	Chuva mês Total (mm)	300,93
Dias com chuva	19	Dias com chuva	22

Fevereiro 2018	Chuva diária total (mm)
1/2/2018	3,54
2/2/2018	0,00
3/2/2018	0,00
4/2/2018	0,00
5/2/2018	0,39
6/2/2018	0,00
7/2/2018	0,00
8/2/2018	0,00
9/2/2018	0,99
10/2/2018	6,11
11/2/2018	23,03
12/2/2018	18,17
13/2/2018	6,94
14/2/2018	0,80
15/2/2018	14,77
16/2/2018	0,59
17/2/2018	0,00
18/2/2018	0,00
19/2/2018	14,14
20/2/2018	2,96
21/2/2018	47,15
22/2/2018	0,98
23/2/2018	0,00
24/2/2018	0,40
25/2/2018	0,39
26/2/2018	0,40
27/2/2018	8,67
28/2/2018	12,61
Chuva mês Total (mm)	163,03
Dias com chuva	19

Março/2018	Chuva diária total (mm)
1/3/2018	4,34
2/3/2018	36,79
3/3/2018	1,78
4/3/2018	4,91
5/3/2018	11,43
6/3/2018	11,23
7/3/2018	1,20
8/3/2018	0,00
9/3/2018	0,00
10/3/2018	0,20
11/3/2018	0,00
12/3/2018	0,79
13/3/2018	0,20
14/3/2018	29,76
15/3/2018	2,57
16/3/2018	0,00
17/3/2018	1,40
18/3/2018	0,00
19/3/2018	2,37
20/3/2018	15,32
21/3/2018	1,80
22/3/2018	0,99
23/3/2018	0,00
24/3/2018	0,00
25/3/2018	1,18
26/3/2018	43,51
27/3/2018	3,19
28/3/2018	1,59
29/3/2018	22,22
30/3/2018	2,37
31/3/2018	16,94
Chuva mês Total (mm)	218,08
Dias com chuva	24

Abril 2018	Chuva diária total (mm)
Abril 2018	mm
1/4/2018	0,00
2/4/2018	0,00
3/4/2018	0,00
4/4/2018	38,99
5/4/2018	43,42
6/4/2018	0,00
7/4/2018	0,00
8/4/2018	0,00
9/4/2018	0,00
10/4/2018	1,78
11/4/2018	0,00
12/4/2018	0,00
13/4/2018	0,00
14/4/2018	3,77
15/4/2018	3,77
16/4/2018	10,85
17/4/2018	8,66
18/4/2018	10,59
19/4/2018	0,69
20/4/2018	0,00
21/4/2018	0,00
22/4/2018	0,00
23/4/2018	0,00
24/4/2018	0,00
25/4/2018	0,00
26/4/2018	0,00
27/4/2018	0,00
28/4/2018	0,00
29/4/2018	0,00
30/4/2018	0,00
Chuva mês Total (mm)	122,52
Dias com chuva	9

Maio 2018	Chuva diária total (mm)
1/5/2018	0,00
2/5/2018	1,14
3/5/2018	84,70
4/5/2018	0,23
5/5/2018	0,00
6/5/2018	0,00
7/5/2018	23,14
8/5/2018	32,00
9/5/2018	7,77
10/5/2018	0,46
11/5/2018	0,00
12/5/2018	0,00
13/5/2018	0,00
14/5/2018	0,00
15/5/2018	0,00
16/5/2018	1,80
17/5/2018	0,00
18/5/2018	0,00
19/5/2018	1,14
20/5/2018	7,09
21/5/2018	0,00
22/5/2018	0,00
23/5/2018	0,00
24/5/2018	0,00
25/5/2018	0,00
26/5/2018	0,00
27/5/2018	0,00
28/5/2018	0,00
29/5/2018	0,00
30/5/2018	0,46
31/5/2018	0,00
Chuva mês Total (mm)	159,93
Dias com chuva	11

Junho 2018	Chuva diária total (mm)
01/06/2018	0,00
02/06/2018	0,00
03/06/2018	7,09
04/06/2018	2,52
05/06/2018	0,00
06/06/2018	4,12
07/06/2018	0,00
08/06/2018	7,09
09/06/2018	0,00
10/06/2018	0,00
11/06/2018	0,00
12/06/2018	0,00
13/06/2018	0,91
14/06/2018	0,00
15/06/2018	7,77
16/06/2018	7,08
17/06/2018	4,12
18/06/2018	0,00
19/06/2018	0,91
20/06/2018	1,60
21/06/2018	0,00
22/06/2018	0,00
23/06/2018	0,00
24/06/2018	0,00
25/06/2018	0,69
26/06/2018	0,23
27/06/2018	6,17
28/06/2018	21,49
29/06/2018	0,23
30/06/2018	0,00
Chuva mês Total (mm)	72,01
Dias com chuva	15

Julho 2018	Chuva diária total (mm)
01/07/2018	0,00
02/07/2018	0,00
03/07/2018	0,00
04/07/2018	0,00
05/07/2018	5,03
06/07/2018	0,00
07/07/2018	0,00
08/07/2018	0,00
09/07/2018	2,06
10/07/2018	0,69
11/07/2018	0,00
12/07/2018	0,00
13/07/2018	0,00
14/07/2018	0,00
15/07/2018	0,00
16/07/2018	0,00
17/07/2018	0,00
18/07/2018	0,56
19/07/2018	0,00
20/07/2018	0,00
21/07/2018	0,00
22/07/2018	0,00
23/07/2018	0,69
24/07/2018	0,00
25/07/2018	3,66
26/07/2018	15,54
27/07/2018	0,00
28/07/2018	0,00
29/07/2018	0,00
30/07/2018	7,57
31/07/2018	0,46
Chuva mês Total (mm)	36,24
Dias com chuva	9

Agosto 2018	Chuva diária total (mm)
01/08/2018	1,60
02/08/2018	0,00
03/08/2018	7,54
04/08/2018	7,54
05/08/2018	0,00
06/08/2018	0,00
07/08/2018	0,00
08/08/2018	0,00
09/08/2018	1,14
10/08/2018	0,23
11/08/2018	0,00
12/08/2018	0,00
13/08/2018	0,00
14/08/2018	0,00
15/08/2018	0,00
16/08/2018	0,00
17/08/2018	0,00
18/08/2018	0,00
19/08/2018	0,00
20/08/2018	0,00
21/08/2018	0,00
22/08/2018	4,34
23/08/2018	8,46
24/08/2018	0,00
25/08/2018	20,04
26/08/2018	1,60
27/08/2018	0,00
28/08/2018	0,00
29/08/2018	0,00
30/08/2018	0,00
31/08/2018	0,30
Chuva mês Total (mm)	52,80
Dias com chuva	10,00

Setembro 2018	Chuva diária total (mm)
01/09/2018	0,00
02/09/2018	0,00
05/09/2018	2,74
06/09/2018	0,23
07/09/2018	0,00
08/09/2018	0,00
09/09/2018	0,00
10/09/2018	0,00
11/09/2018	0,00
12/09/2018	0,23
13/09/2018	24,23
14/09/2018	2,97
15/09/2018	5,03
16/09/2018	7,09
17/09/2018	1,60
18/09/2018	4,34
19/09/2018	0,00
20/09/2018	0,00
21/09/2018	0,00
22/09/2018	0,00
23/09/2018	0,00
24/09/2018	0,00
25/09/2018	5,72
26/09/2018	0,23
27/09/2018	1,37
28/09/2018	0,23
29/09/2018	10,79
30/09/2018	0,91
Chuva mês Total (mm)	67,71
Dias com chuva	15,00

Outubro	Chuva diária total (mm)
01/10/2018	0,00
02/10/2018	0,00
03/10/2018	11,66
04/10/2018	30,99
05/10/2018	6,73
06/10/2018	0,23
07/10/2018	2,97
08/10/2018	32,32
09/10/2018	5,94
10/10/2018	5,77
11/10/2018	2,29
12/10/2018	19,66
13/10/2018	1,83
14/10/2018	4,57
15/10/2018	26,06
16/10/2018	23,55
17/10/2018	2,29
18/10/2018	22,20
19/10/2018	2,74
20/10/2018	0,46
21/10/2018	0,23
22/10/2018	3,43
23/10/2018	0,23
24/10/2018	0,00
25/10/2018	46,63
26/10/2018	27,20
27/10/2018	13,26
28/10/2018	0,00
29/10/2018	0,23
30/10/2018	2,52
31/10/2018	0,00
Chuva mês Total (mm)	295,98
Dias com chuva	26

FONTE: DEFESA CIVIL DE JOINVILLE

APÊNDICE A – PLANILHA DE ENSAIO DA VIGA BENKELMAN PARA OS SEGMENTOS 1, 2, 3, E 4

ENSAIO DE VIGA BENKELMAN - AVENIDA SANTOS DUMONT (04/01/2018, TEMP. AR=26 °C)

SEGM.	ENSAIO	LOGRADOURO	OBSERVAÇÃO	DEFORMAÇÃO MEDIDA (mm) LEVANTAMENTO DE CAMPO									
				L ₀	L _{12,5}	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₅	L ₁₀₀	L ₁₂₅	L ₁₅₀	L ₃₀₀	L ₁₀₀₀
1	E-1	Av. Stos. Dumont	Viaduto, pista da esquerda, bordo externo.	3,98	3,91	3,87	3,81	3,80	3,79	3,79	3,78	3,77	3,77
1	E-2	Av. Stos. Dumont	Viaduto, pista da esquerda, bordo externo.	5,34	5,29	5,06	4,96	4,91	4,90	4,88	4,86	4,86	4,86
1	E-3	Av. Stos. Dumont	Viaduto, pista da esquerda, bordo externo.	5,05	5,02	4,88	4,75	4,72	4,71	4,70	4,69	4,65	4,65
1	E-4	Av. Stos. Dumont	Pista da direita, eixo (Portaria da transtusa).	3,29	3,29	3,26	3,21	3,19	3,20	3,19	3,18	3,11	3,11
1	E-5	Av. Stos. Dumont	Pista da direita, eixo (Portaria da transtusa).	4,60	4,59	4,55	4,46	4,46	4,44	4,44	4,42	4,36	4,36
1	E-6	Av. Stos. Dumont	Pista da direita, eixo (Portaria da transtusa).	5,62	5,54	5,50	5,45	5,45	5,43	5,42	5,43	5,38	5,37
1	E-7	Av. Stos. Dumont	Pista da direita, eixo (Portaria da transtusa).	4,17	4,16	4,06	4,04	4,03	4,03	3,99	3,97	3,96	3,95
1	E-8	Av. Stos. Dumont	Pista da direita, eixo (Portaria da transtusa).	5,28	5,25	5,20	5,13	5,10	5,07	5,10	5,09	5,04	5,04

BACIA DE DEFORMAÇÃO COM VIGA BENKELMAN (NORMA DNIT 133/2010 -ME)

DEFLEXÃO (x 10⁻²mm) LEVANTAMENTO DE CAMPO

D ₀	D _{12,5}	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅	D ₁₀₀	D ₁₂₅	D ₁₅₀	D ₃₀₀	L ₁₀₀₀
10,50	7,00	5,00	2,00	1,50	1,00	1,00	0,50	0,00	0,00
24,00	21,50	10,00	5,00	2,50	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00
20,00	18,50	11,50	5,00	3,50	3,00	2,50	2,00	0,00	0,00
9,00	9,00	7,50	5,00	4,00	4,50	4,00	3,50	0,00	0,00
12,00	11,50	9,50	5,00	5,00	4,00	4,00	3,00	0,00	0,00
12,50	8,50	6,50	4,00	4,00	3,00	2,50	3,00	0,50	0,00
11,00	10,50	5,50	4,50	4,00	4,00	2,00	1,00	0,50	0,00
12,00	10,50	8,00	4,50	3,00	1,50	3,00	2,50	0,00	0,00

ENSAIO DE VIGA BENKELMAN - RUA OTTO BOEHM (26/01/2018, TEMP. AR=26 °C)

SEGM.	ENSAIO	LOGRADOURO	OBSERVAÇÃO	DEFORMAÇÃO MEDIDA (mm) LEVANTAMENTO DE CAMPO									
				L ₀	L _{12,5}	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₅	L ₁₀₀	L ₁₂₅	L ₁₅₀	L ₃₀₀	L ₁₀₀₀
2	E-9	R. Otto Boehm	Bordo direito, sentido bairro-centro.	4,48	4,43	4,33	4,23	4,19	4,18	4,16	4,14	4,10	4,00
2	E-10	R. Otto Boehm	Bordo direito, sentido bairro-centro.	5,79	5,71	5,58	5,39	5,34	5,25	5,22	5,22	5,20	5,00
2	E-11	R. Otto Boehm	Bordo direito, sentido bairro-centro.	6,67	6,63	6,48	6,34	6,28	6,24	6,21	6,18	6,12	6,11
2	E-12	R. Otto Boehm	Bordo direito, sentido bairro-centro.	7,29	7,03	6,96	6,63	6,62	6,59	6,85	6,86	6,84	6,84
2	E-13	R. Otto Boehm	Bordo direito, sentido bairro-centro.	4,48	4,28	4,20	4,02	4,00	3,98	3,96	3,95	3,95	3,95
2	E-14	R. Otto Boehm	Bordo direito, sentido bairro-centro.	5,35	5,35	5,21	5,10	5,07	5,00	5,00	4,99	4,99	4,99
2	E-15	R. Otto Boehm	Bordo direito, sentido bairro-centro.	6,67	6,65	6,65	6,54	6,46	6,37	6,37	6,37	6,37	6,37
2	E-16	R. Otto Boehm	Bordo direito, sentido bairro-centro.	3,36	3,31	3,17	3,13	3,10	3,11	3,06	2,80	2,80	2,80
2	E-17	R. Otto Boehm	Bordo direito, sentido bairro-centro.	8,37	8,12	8,02	7,96	7,90	7,90	7,90	7,89	7,89	7,88
2	E-18	R. Otto Boehm	Bordo direito, sentido bairro-centro.	4,47	4,26	4,14	4,09	4,07	4,07	4,06	4,06	4,06	4,05

BACIA DE DEFORMAÇÃO COM VIGA BENKELMAN (NORMA DNIT 133/2010 -ME)

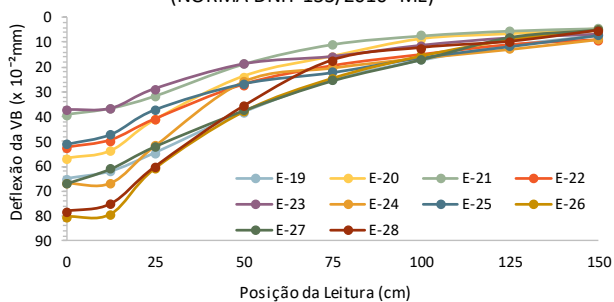
DEFLEXÃO (x 10⁻²mm) LEVANTAMENTO DE CAMPO

D ₀	D _{12,5}	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅	D ₁₀₀	D ₁₂₅	D ₁₅₀	D ₃₀₀	L ₁₀₀₀
23,75	21,50	16,50	11,50	9,50	8,75	8,00	7,00	5,00	0,00
39,50	35,50	29,00	19,50	17,00	12,50	11,00	11,00	10,00	0,00
28,00	26,00	18,50	11,50	8,50	6,50	5,00	3,50	0,50	0,00
22,50	9,50	6,00	#####	#####	#####	0,50	1,00	0,00	0,00
26,50	16,50	12,50	3,50	2,50	1,50	0,50	0,00	0,00	0,00
18,00	18,00	11,00	5,50	4,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00
15,00	14,00	14,00	8,50	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28,00	25,50	18,50	16,50	15,00	15,50	13,00	0,00	0,00	0,00
24,50	12,00	7,00	4,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,00
21,00	10,50	4,50	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,00

ENSAIO DE VIGA BENKELMAN - RUA PIRATUBA (18/01/2018, TEMP. AR=26 °C)

SEGM.	ENSAIO	LOGRADOURO	OBSERVAÇÃO	DEFORMAÇÃO(mm)									
				L ₀	L _{12,5}	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₅	L ₁₀₀	L ₁₂₅	L ₁₅₀	L ₃₀₀	L ₁₀₀₀
3	E-19	Rua Piratuba	Bordo direito, sentido centro-bairro.	4,66	4,60	4,45	4,12	3,86	3,70	3,58	3,50	3,37	3,36
3	E-20	Rua Piratuba	Bordo direito, sentido centro-bairro.	5,51	5,45	5,20	4,85	4,69	4,55	4,51	4,47	4,38	4,37
3	E-21	Rua Piratuba	Bordo direito, sentido centro-bairro.	4,25	4,20	4,10	3,84	3,68	3,61	3,57	3,55	3,47	3,46
3	E-22	Rua Piratuba	Bordo direito, sentido centro-bairro.	5,40	5,34	5,17	4,89	4,74	4,65	4,57	4,53	4,37	4,35
3	E-23	Rua Piratuba	Bordo direito, sentido centro-bairro.	4,22	4,21	4,05	3,85	3,79	3,70	3,64	3,61	3,49	3,47
3	E-24	Rua Piratuba	Bordo direito, sentido centro-bairro.	6,86	6,86	6,56	6,04	5,93	5,85	5,78	5,70	5,54	5,53
3	E-25	Rua Piratuba	Bordo direito, sentido centro-bairro.	4,93	4,85	4,65	4,44	4,35	4,23	4,14	4,05	3,93	3,91
3	E-26	Rua Piratuba	Bordo direito, sentido centro-bairro.	6,55	6,53	6,16	5,70	5,43	5,25	5,12	5,04	4,95	4,94
3	E-27	Rua Piratuba	Bordo direito, sentido centro-bairro.	5,53	5,41	5,23	4,94	4,70	4,53	4,35	4,29	4,20	4,19
3	E-28	Rua Piratuba	Bordo direito, sentido centro-bairro.	9,05	8,99	8,69	8,20	7,83	7,73	7,68	7,59	7,49	7,48

BACIA DE DEFORMAÇÃO COM VIGA BENKELMAN
(NORMA DNIT 133/2010 -ME)



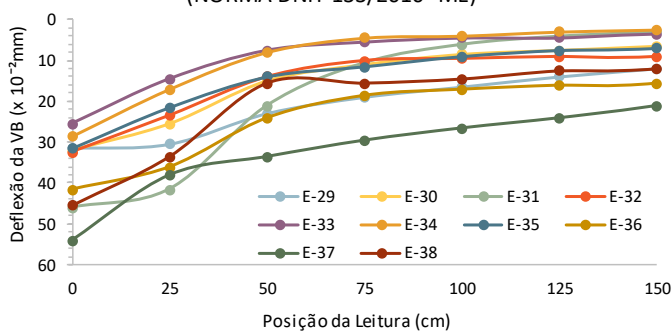
DEFLEXÃO (x 10⁻²mm)

D ₀	D _{12,5}	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅	D ₁₀₀	D ₁₂₅	D ₁₅₀	D ₃₀₀	L ₁₀₀₀
65,12	62,12	54,62	38,12	25,12	17,12	11,12	7,12	0,62	0,00
56,77	53,77	41,27	23,77	15,77	8,77	6,77	4,77	0,27	0,00
39,26	36,76	31,76	18,76	10,76	7,26	5,26	4,26	0,26	0,00
52,57	49,57	41,07	27,07	19,57	15,07	11,07	9,07	1,07	0,00
37,27	36,77	28,77	18,77	15,77	11,27	8,27	6,77	0,77	0,00
66,74	66,74	51,74	25,74	20,24	16,24	12,74	8,74	0,74	0,00
51,07	47,07	37,07	26,57	22,07	16,07	11,57	7,07	1,07	0,00
80,32	79,32	60,82	37,82	24,32	15,32	8,82	4,82	0,32	0,00
66,86	60,86	51,86	37,36	25,36	16,86	7,86	4,86	0,36	0,00
78,29	75,29	60,29	35,79	17,29	12,29	9,79	5,29	0,29	0,00

ENSAIO DE VIGA BENKELMAN - RUA SÃO BORJA (16/04/2018, TEMP. AR=21 °C)

SEGM.	ENSAIO	LOGRADOURO	OBSERVAÇÃO	DEFORMAÇÃO(mm)							
				L ₀	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₅	L ₁₀₀	L ₁₂₅	L ₁₅₀	L ₃₀₀
4	E-29	Rua São Borja	Bordo direito, sentido bairro-centro	7,70	7,68	7,53	7,45	7,40	7,35	7,31	7,07
4	E-30	Rua São Borja	Bordo direito, sentido bairro-centro	8,12	7,99	7,78	7,70	7,65	7,63	7,61	7,48
4	E-31	Rua São Borja	Bordo direito, sentido bairro-centro	7,37	7,28	6,87	6,66	6,57	6,53	6,51	6,45
4	E-32	Rua São Borja	Bordo direito, sentido bairro-centro	5,61	5,43	5,24	5,16	5,15	5,14	5,14	4,96
4	E-33	Rua São Borja	Bordo direito, sentido bairro-centro	7,87	7,65	7,51	7,47	7,45	7,45	7,43	7,36
4	E-34	Rua São Borja	Bordo direito, sentido bairro-centro	7,22	6,99	6,81	6,74	6,73	6,71	6,70	6,65
4	E-35	Rua São Borja	Bordo direito, sentido bairro-centro	4,03	3,83	3,68	3,63	3,58	3,55	3,54	3,40
4	E-36	Rua São Borja	Bordo direito, sentido bairro-centro	5,46	5,35	5,11	5,00	4,97	4,95	4,94	4,63
4	E-37	Rua São Borja	Bordo direito, sentido bairro-centro	7,22	6,90	6,81	6,73	6,67	6,62	6,56	6,14
4	E-38	Rua São Borja	Bordo direito, sentido bairro-centro	7,38	7,14	6,78	6,78	6,76	6,72	6,71	6,47

BACIA DE DEFORMAÇÃO COM VIGA BENKELMAN
(NORMA DNIT 133/2010 -ME)



DEFLEXÃO (x 10⁻²mm)

D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅	D ₁₀₀	D ₁₂₅	D ₁₅₀	D ₃₀₀
31,50	30,50	23,00	19,00	16,50	14,00	12,00	0,00
32,00	25,50	15,00	11,00	8,50	7,50	6,50	0,00
46,00	41,50	21,00	10,50	6,00	4,00	3,00	0,00
32,50	23,50	14,00	10,00	9,50	9,00	9,00	0,00
25,50	14,50	7,50	5,50	4,50	4,50	3,50	0,00
28,50	17,00	8,00	4,50	4,00	3,00	2,50	0,00
31,50	21,50	14,00	11,50	9,00	7,50	7,00	0,00
41,50	36,00	24,00	18,50	17,00	16,00	15,50	0,00
54,00	38,00	33,50	29,50	26,50	24,00	21,00	0,00
45,50	33,50	15,50	15,50	14,50	12,50	12,00	0,00

APÊNDICE B – FICHA DE CAMPO DOS ENSAIOS DE CARGA COM PLACA PARA OS SEGMENTOS 1, 2, 3, E 4

E-1 01/08 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Av. Santos Dumont - Viaduto Bordo (Sentido Centro-Bairro)

Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,20	0,20	20,953
2	0,160	11,31	56	0,20	0,40	0,40	41,906
3	0,250	17,67	87	0,40	0,58	0,58	60,764
4	0,330	23,33	115	0,58	0,66	0,66	69,145
5	0,420	29,69	146	0,66	0,87	0,87	91,146
6	0,500	35,34	174	0,87	0,94	0,94	98,480
7	0,250	17,67	87	0,94	0,94	0,94	98,480
8	0,125	8,84	44	0,94	0,94	0,94	98,480
9	0,000	0,00	0	0,94	0,78	0,78	81,717
10	0,080	5,65	28	0,78	0,78	0,78	81,717
11	0,160	11,31	56	0,78	0,83	0,83	86,956
12	0,250	17,67	87	0,83	0,84	0,84	88,003
13	0,330	23,33	115	0,84	0,91	0,91	95,337
14	0,420	29,69	146	0,91	0,93	0,93	97,432

E-2 02/08 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Av. Santos Dumont - Viaduto Bordo (Sentido Centro-Bairro)

Data: 05/03/2018 Temp. do Ar: 30 Hora: 15:50

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,01			
1	0,080	5,65	28	0,01	0,25	0,26	27,239
2	0,160	11,31	56	0,26	0,51	0,51	53,431
3	0,250	17,67	87	0,51	0,62	0,68	71,241
4	0,330	23,33	115	0,68	0,77	0,81	84,860
5	0,420	29,69	146	0,81	0,87	0,87	91,146
6	0,500	35,34	174	0,87	0,96	1,01	105,813
7	0,250	17,67	87	1,01	1,01	1,01	105,813
8	0,125	8,84	44	1,01	0,97	0,97	101,623
9	0,000	0,00	0	0,97	0,76	0,73	76,479
10	0,080	5,65	28	0,73	0,74	0,74	77,527
11	0,160	11,31	56	0,74	0,81	0,81	84,860
12	0,250	17,67	87	0,81	0,85	0,85	89,051
13	0,330	23,33	115	0,85	0,92	0,92	96,385
14	0,420	29,69	146	0,92	0,98	1,01	105,813

E-3 03/08 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Av. Santos Dumont - Viaduto Bordo (Sentido Centro-Bairro)

Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30 HORA: 10:05h

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	E-3
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,06			
1	0,080	5,65	28	0,06	0,36	0,36	37,716
2	0,160	11,31	56	0,36	0,52	0,53	55,526
3	0,250	17,67	87	0,53	0,54	0,54	56,574
4	0,330	23,33	115	0,54	0,54	0,44	46,097
5	0,420	29,69	146	0,54	0,56	0,56	58,669
6	0,500	35,34	174	0,56	0,56	0,56	58,669
7	0,250	17,67	87	0,56	0,56	0,56	58,669
8	0,125	8,84	44	0,56	0,56	0,64	67,050
9	0,000	0,00	0	0,64	0,59	0,50	52,383
10	0,080	5,65	28	0,50	0,51	0,41	42,954
11	0,160	11,31	56	0,41	0,41	0,41	42,954
12	0,250	17,67	87	0,41	0,41	0,42	44,002
13	0,330	23,33	115	0,42	0,56	0,56	58,669
14	0,420	29,69	146	0,56	0,55	0,65	68,098

E-4 04/08 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Av. Santos Dumont - Transtusa Eixo (Sentido Centro-Bairro)

Data: 06/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque (x 10 ⁻² mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,06			
1	0,080	5,65	28	0,06	0,19	0,21	22,001
2	0,160	11,31	56	0,21	0,37	0,37	38,763
3	0,250	17,67	87	0,37	0,39	0,47	49,240
4	0,330	23,33	115	0,47	0,54	0,54	56,574
5	0,420	29,69	146	0,54	0,62	0,62	64,955
6	0,500	35,34	174	0,62	0,63	0,63	66,002
7	0,250	17,67	87	0,63	0,63	0,63	66,002
8	0,125	8,84	44	0,63	0,63	0,63	66,002
9	0,000	0,00	0	0,63	0,46	0,46	48,192
10	0,080	5,65	28	0,46	0,46	0,46	48,192
11	0,160	11,31	56	0,46	0,48	0,48	50,288
12	0,250	17,67	87	0,48	0,60	0,60	62,859
13	0,330	23,33	115	0,60	0,64	0,64	67,050
14	0,420	29,69	146	0,64	0,64	0,64	67,050

E-5 05/08 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Av. Santos Dumont - Transtusa Eixo (Sentido Centro-Bairro)

Data: 06/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,08	0,08	8,381
2	0,160	11,31	56	0,08	0,15	0,15	15,715
3	0,250	17,67	87	0,15	0,23	0,23	24,096
4	0,330	23,33	115	0,23	0,29	0,29	30,382
5	0,420	29,69	146	0,29	0,33	0,33	34,573
6	0,500	35,34	174	0,33	0,39	0,39	40,859
7	0,250	17,67	87	0,39	0,39	0,39	40,859
8	0,125	8,84	44	0,39	0,37	0,37	38,763
9	0,000	0,00	0	0,37	0,26	0,26	27,239
10	0,080	5,65	28	0,26	0,31	0,31	32,477
11	0,160	11,31	56	0,31	0,28	0,27	28,287
12	0,250	17,67	87	0,27	0,27	0,27	28,287
13	0,330	23,33	115	0,27	0,28	0,28	29,334
14	0,420	29,69	146	0,28	0,32	0,32	33,525

E-6 06/08 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Av. Santos Dumont - Transtusa Eixo (Sentido Centro-Bairro)

Data: 06/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,08	0,08	8,381
2	0,160	11,31	56	0,08	0,06	0,15	15,715
3	0,250	17,67	87	0,15	0,21	0,21	22,001
4	0,330	23,33	115	0,21	0,24	0,24	25,144
5	0,420	29,69	146	0,24	0,32	0,32	33,525
6	0,500	35,34	174	0,32	0,37	0,37	38,763
7	0,250	17,67	87	0,37	0,37	0,37	38,763
8	0,125	8,84	44	0,37	0,37	0,37	38,763
9	0,000	0,00	0	0,37	0,26	0,26	27,239
10	0,080	5,65	28	0,26	0,26	0,26	27,239
11	0,160	11,31	56	0,26	0,26	0,26	27,239
12	0,250	17,67	87	0,26	0,26	0,26	27,239
13	0,330	23,33	115	0,26	0,31	0,31	32,477
14	0,420	29,69	146	0,31	0,35	0,35	36,668

E-7 07/08 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Av. Santos Dumont - Transtusa Eixo (Sentido Centro-Bairro)

Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,01	0,01	1,048
2	0,160	11,31	56	0,01	0,08	0,08	8,381
3	0,250	17,67	87	0,08	0,17	0,17	17,810
4	0,330	23,33	115	0,17	0,25	0,25	26,191
5	0,420	29,69	146	0,25	0,25	0,25	26,191
6	0,500	35,34	174	0,25	0,34	0,34	35,620
7	0,250	17,67	87	0,34	0,34	0,34	35,620
8	0,125	8,84	44	0,34	0,34	0,34	35,620
9	0,000	0,00	0	0,34	0,23	0,23	24,096
10	0,080	5,65	28	0,23	0,23	0,23	24,096
11	0,160	11,31	56	0,23	0,23	0,23	24,096
12	0,250	17,67	87	0,23	0,26	0,31	32,477
13	0,330	23,33	115	0,31	0,31	0,31	32,477
14	0,420	29,69	146	0,31	0,35	0,35	36,668

E-8 08/08 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Av. Santos Dumont - Transtusa Eixo (Sentido Centro-Bairro)

Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,01	0,01	1,048
2	0,160	11,31	56	0,01	0,41	0,41	42,954
3	0,250	17,67	87	0,41	0,41	0,41	42,954
4	0,330	23,33	115	0,41	0,43	0,46	48,192
5	0,420	29,69	146	0,46	0,51	0,51	53,431
6	0,500	35,34	174	0,51	0,54	0,59	61,812
7	0,250	17,67	87	0,59	0,59	0,59	61,812
8	0,125	8,84	44	0,59	0,59	0,59	61,812
9	0,000	0,00	0	0,59	0,52	0,52	54,478
10	0,080	5,65	28	0,52	0,45	0,45	47,145
11	0,160	11,31	56	0,45	0,45	0,45	47,145
12	0,250	17,67	87	0,45	0,45	0,45	47,145
13	0,330	23,33	115	0,45	0,45	0,45	47,145
14	0,420	29,69	146	0,45	0,51	0,53	55,526

E-9 1/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua Otto Boehm - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 25/05/2018 Temp. do Ar: 21

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,04			
1	0,080	5,65	28	0,15	0,15	0,15	15,715
2	0,160	11,31	56	0,33	0,33	0,33	34,573
3	0,250	17,67	87	0,41	0,41	0,41	42,954
4	0,330	23,33	115	0,55	0,55	0,55	57,621
5	0,420	29,69	146	0,63	0,64	0,64	67,050
6	0,500	35,34	174	0,75	0,80	0,80	83,813
7	0,250	17,67	87	0,75	0,75	0,75	78,574
8	0,125	8,84	44	0,68	0,68	0,68	71,241
9	0,000	0,00	0	0,57	0,56	0,53	55,526
10	0,080	5,65	28	0,53	0,53	0,53	55,526
11	0,160	11,31	56	0,55	0,55	0,55	57,621
12	0,250	17,67	87	0,63	0,63	0,63	66,002
13	0,330	23,33	115	0,69	0,69	0,69	72,288
14	0,420	29,69	146	0,72	0,72	0,72	75,431

E-10 2/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua Otto Boehm - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 25/05/2018 Temp. do Ar: 21

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,06			
1	0,080	5,65	28	0,10	0,10	0,10	10,477
2	0,160	11,31	56	0,28	0,28	0,28	29,334
3	0,250	17,67	87	0,43	0,43	0,43	45,049
4	0,330	23,33	115	0,52	0,52	0,60	62,859
5	0,420	29,69	146	0,72	0,72	0,72	75,431
6	0,500	35,34	174	0,77	0,77	0,82	85,908
7	0,250	17,67	87	0,82	0,82	0,82	85,908
8	0,125	8,84	44	0,76	0,76	0,76	79,622
9	0,000	0,00	0	0,61	0,60	0,60	62,859
10	0,080	5,65	28	0,60	0,60	0,60	62,859
11	0,160	11,31	56	0,66	0,66	0,66	69,145
12	0,250	17,67	87	0,73	0,73	0,73	76,479
13	0,330	23,33	115	0,76	0,77	0,77	80,670
14	0,420	29,69	146	0,83	0,83	0,83	86,956

E-11 3/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua Otto Boehm - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)
 Data: 25/05/2018 Temp. do Ar: 21

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,06			
1	0,080	5,65	28	0,19	0,19	0,19	19,906
2	0,160	11,31	56	0,28	0,28	0,28	29,334
3	0,250	17,67	87	0,43	0,43	0,43	45,049
4	0,330	23,33	115	0,55	0,55	0,55	57,621
5	0,420	29,69	146	0,67	0,67	0,67	70,193
6	0,500	35,34	174	0,69	0,69	0,69	72,288
7	0,250	17,67	87	0,69	0,69	0,69	72,288
8	0,125	8,84	44	0,69	0,69	0,69	72,288
9	0,000	0,00	0	0,52	0,52	0,52	54,478
10	0,080	5,65	28	0,52	0,52	0,52	54,478
11	0,160	11,31	56	0,52	0,53	0,55	57,621
12	0,250	17,67	87	0,60	0,60	0,60	62,859
13	0,330	23,33	115	0,67	0,67	0,67	70,193
14	0,420	29,69	146	0,69	0,69	0,69	72,288

E-12 4/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua Otto Boehm - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)
 Data: 25/05/2018 Temp. do Ar: 21

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,01			
1	0,080	5,65	28	0,12	0,12	0,12	12,572
2	0,160	11,31	56	0,23	0,23	0,23	24,096
3	0,250	17,67	87	0,32	0,32	0,32	33,525
4	0,330	23,33	115	0,41	0,41	0,41	42,954
5	0,420	29,69	146	0,49	0,49	0,49	51,335
6	0,500	35,34	174	0,57	0,57	0,57	59,717
7	0,250	17,67	87	0,63	0,63	0,63	66,002
8	0,125	8,84	44	0,58	0,56	0,56	58,669
9	0,000	0,00	0	0,45	0,45	0,45	47,145
10	0,080	5,65	28	0,45	0,45	0,45	47,145
11	0,160	11,31	56	0,49	0,49	0,49	51,335
12	0,250	17,67	87	0,58	0,58	0,58	60,764
13	0,330	23,33	115	0,58	0,64	0,64	67,050
14	0,420	29,69	146	0,65	0,65	0,65	68,098

E-13 5/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua Otto Boehm - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 25/05/2018 Temp. do Ar: 21

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,16	0,16	0,16	16,763
2	0,160	11,31	56	0,33	0,33	0,33	34,573
3	0,250	17,67	87	0,46	0,47	0,47	49,240
4	0,330	23,33	115	0,56	0,56	0,56	58,669
5	0,420	29,69	146	0,66	0,66	0,66	69,145
6	0,500	35,34	174	0,77	0,80	0,83	86,956
7	0,250	17,67	87	0,83	0,83	0,83	86,956
8	0,125	8,84	44	0,76	0,75	0,75	78,574
9	0,000	0,00	0	0,59	0,58	0,58	60,764
10	0,080	5,65	28	0,58	0,58	0,58	60,764
11	0,160	11,31	56	0,58	0,58	0,58	60,764
12	0,250	17,67	87	0,67	0,67	0,67	70,193
13	0,330	23,33	115	0,72	0,72	0,72	75,431
14	0,420	29,69	146	0,77	0,78	0,78	81,717

E-14 6/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua Otto Boehm - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 14/06/2018 Temp. do Ar: 18

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,20	0,20	20,953
2	0,160	11,31	56	0,20	0,41	0,42	44,002
3	0,250	17,67	87	0,42	0,53	0,53	55,526
4	0,330	23,33	115	0,53	0,65	0,65	68,098
5	0,420	29,69	146	0,65	0,75	0,79	82,765
6	0,500	35,34	174	0,79	0,85	0,85	89,051
7	0,250	17,67	87	0,85	0,85	0,85	89,051
8	0,125	8,84	44	0,85	0,78	0,78	81,717
9	0,000	0,00	0	0,78	0,56	0,55	57,621
10	0,080	5,65	28	0,55	0,57	0,57	59,717
11	0,160	11,31	56	0,57	0,67	0,67	70,193
12	0,250	17,67	87	0,67	0,76	0,76	79,622
13	0,330	23,33	115	0,76	0,78	0,81	84,860
14	0,420	29,69	146	0,81	0,86	0,86	90,099

E-15 7/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua Otto Boehm - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)
 Data: 14/06/2018 Temp. do Ar: 18

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,01			
1	0,080	5,65	28	0,01	0,12	0,12	12,572
2	0,160	11,31	56	0,12	0,26	0,29	30,382
3	0,250	17,67	87	0,29	0,38	0,38	39,811
4	0,330	23,33	115	0,38	0,47	0,47	49,240
5	0,420	29,69	146	0,47	0,54	0,54	56,574
6	0,500	35,34	174	0,54	0,68	0,68	71,241
7	0,250	17,67	87	0,68	0,68	0,68	71,241
8	0,125	8,84	44	0,68	0,62	0,62	64,955
9	0,000	0,00	0	0,62	0,45	0,45	47,145
10	0,080	5,65	28	0,45	0,46	0,45	47,145
11	0,160	11,31	56	0,45	0,46	0,46	48,192
12	0,250	17,67	87	0,46	0,54	0,54	56,574
13	0,330	23,33	115	0,54	0,55	0,62	64,955
14	0,420	29,69	146	0,62	0,63	0,63	66,002

E-16 8/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua Otto Boehm - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)
 Data: 14/06/2018 Temp. do Ar: 18

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,04	0,04	4,191
2	0,160	11,31	56	0,04	0,25	0,25	26,191
3	0,250	17,67	87	0,25	0,44	0,44	46,097
4	0,330	23,33	115	0,44	0,61	0,61	63,907
5	0,420	29,69	146	0,61	0,77	0,77	80,670
6	0,500	35,34	174	0,77	0,94	0,94	98,480
7	0,250	17,67	87	0,94	1,00	1,00	104,766
8	0,125	8,84	44	1,00	0,91	0,91	95,337
9	0,000	0,00	0	0,91	0,49	0,49	51,335
10	0,080	5,65	28	0,49	0,52	0,52	54,478
11	0,160	11,31	56	0,52	0,60	0,60	62,859
12	0,250	17,67	87	0,60	0,74	0,74	77,527
13	0,330	23,33	115	0,74	0,83	0,83	86,956
14	0,420	29,69	146	0,83	0,94	0,94	98,480

E-17 9/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua Otto Boehm - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 15/06/2018 Temp. do Ar: 12

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,16	0,16	16,7625
2	0,160	11,31	56	0,16	4,33	0,33	34,5727
3	0,250	17,67	87	0,33	0,47	0,47	49,2399
4	0,330	23,33	115	0,47	0,57	0,57	59,7165
5	0,420	29,69	146	0,57	0,70	0,70	73,3361
6	0,500	35,34	174	0,70	0,78	0,78	81,7173
7	0,250	17,67	87	0,78	0,78	0,78	81,7173
8	0,125	8,84	44	0,78	0,75	0,75	78,5744
9	0,000	0,00	0	0,75	0,56	0,56	58,6689
10	0,080	5,65	28	0,56	0,56	0,56	58,6689
11	0,160	11,31	56	0,56	0,60	0,60	62,8595
12	0,250	17,67	87	0,60	0,64	0,64	67,0501
13	0,330	23,33	115	0,64	0,69	0,69	72,2884
14	0,420	29,69	146	0,69	0,76	0,76	79,6220

E-18 10/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua Otto Boehm - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 15/06/2018 Temp. do Ar: 12

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,13	0,13	13,6196
2	0,160	11,31	56	0,13	0,23	0,23	24,0961
3	0,250	17,67	87	0,23	0,37	0,37	38,7634
4	0,330	23,33	115	0,37	0,48	0,49	51,3353
5	0,420	29,69	146	0,49	0,60	0,61	63,9071
6	0,500	35,34	174	0,61	0,72	0,73	76,4790
7	0,250	17,67	87	0,73	0,73	0,73	76,4790
8	0,125	8,84	44	0,73	0,72	0,72	75,4314
9	0,000	0,00	0	0,72	0,54	0,53	55,5259
10	0,080	5,65	28	0,53	0,54	0,54	56,5735
11	0,160	11,31	56	0,54	0,57	0,58	60,7642
12	0,250	17,67	87	0,58	0,61	0,61	63,9071
13	0,330	23,33	115	0,61	0,64	0,64	67,0501
14	0,420	29,69	146	0,64	0,71	0,72	75,4314

E-19 1/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua Piratuba - Bordo Direiro (Sentido Centro-Bairro)
 Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque (x 10 ⁻² mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,16	0,16	16,763
2	0,160	11,31	56	0,16	0,33	0,47	49,240
3	0,250	17,67	87	0,47	0,72	0,72	75,431
4	0,330	23,33	115	0,72	0,94	0,94	98,480
5	0,420	29,69	146	0,94	1,08	1,18	123,624
6	0,500	35,34	174	1,18	1,41	1,41	147,720
7	0,250	17,67	87	1,41	1,41	1,37	143,529
8	0,125	8,84	44	1,37	1,25	1,25	130,957
9	0,000	0,00	0	1,25	0,84	0,84	88,003
10	0,080	5,65	28	0,84	0,84	0,84	88,003
11	0,160	11,31	56	0,84	0,95	0,93	97,432
12	0,250	17,67	87	0,93	0,97	0,99	103,718
13	0,330	23,33	115	0,99	1,09	1,09	114,195
14	0,420	29,69	146	1,09	1,25	1,33	139,339

E-20 2/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua Piratuba - Bordo Direiro (Sentido Centro-Bairro)
 Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque (x 10 ⁻² mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,16	0,16	16,763
2	0,160	11,31	56	0,16	0,34	0,34	35,620
3	0,250	17,67	87	0,34	0,50	0,50	52,383
4	0,330	23,33	115	0,50	0,67	0,68	71,241
5	0,420	29,69	146	0,68	0,92	0,93	97,432
6	0,500	35,34	174	0,93	1,09	1,09	114,195
7	0,250	17,67	87	1,09	1,09	1,09	114,195
8	0,125	8,84	44	1,09	0,98	0,98	102,671
9	0,000	0,00	0	0,98	0,72	0,72	75,431
10	0,080	5,65	28	0,72	0,72	0,72	75,431
11	0,160	11,31	56	0,72	0,78	0,82	85,908
12	0,250	17,67	87	0,82	0,89	0,89	93,242
13	0,330	23,33	115	0,89	0,93	0,93	97,432
14	0,420	29,69	146	0,93	1,05	1,05	110,004

E-21 3/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua Piratuba - Bordo Direiro (Sentido Centro-Bairro)

Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,04			
1	0,080	5,65	28	0,04	0,20	0,20	20,953
2	0,160	11,31	56	0,20	0,37	0,37	38,763
3	0,250	17,67	87	0,37	0,53	0,53	55,526
4	0,330	23,33	115	0,53	0,71	0,71	74,384
5	0,420	29,69	146	0,71	0,85	0,87	91,146
6	0,500	35,34	174	0,87	0,95	0,96	100,575
7	0,250	17,67	87	0,96	0,95	0,95	99,528
8	0,125	8,84	44	0,95	0,89	0,89	93,242
9	0,000	0,00	0	0,89	0,59	0,59	61,812
10	0,080	5,65	28	0,59	0,61	0,61	63,907
11	0,160	11,31	56	0,61	0,70	0,71	74,384
12	0,250	17,67	87	0,71	0,83	0,83	86,956
13	0,330	23,33	115	0,83	0,87	0,94	98,480
14	0,420	29,69	146	0,94	0,95	0,95	99,528

E-22 4/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua Piratuba - Bordo Direiro (Sentido Centro-Bairro)

Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,07	0,07	7,334
2	0,160	11,31	56	0,07	0,35	0,35	36,668
3	0,250	17,67	87	0,35	0,50	0,50	52,383
4	0,330	23,33	115	0,50	0,74	0,74	77,527
5	0,420	29,69	146	0,74	0,85	0,90	94,289
6	0,500	35,34	174	0,90	1,03	1,03	107,909
7	0,250	17,67	87	1,03	1,03	1,03	107,909
8	0,125	8,84	44	1,03	0,96	0,96	100,575
9	0,000	0,00	0	0,96	0,63	0,63	66,002
10	0,080	5,65	28	0,63	0,66	0,66	69,145
11	0,160	11,31	56	0,66	0,76	0,80	83,813
12	0,250	17,67	87	0,80	0,86	0,86	90,099
13	0,330	23,33	115	0,86	0,93	0,93	97,432
14	0,420	29,69	146	0,93	1,03	1,04	108,956

E-23 5/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua Piratuba - Bordo Direiro (Sentido Centro-Bairro)
 Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,15			
1	0,080	5,65	28	0,15	0,35	0,35	36,668
2	0,160	11,31	56	0,35	0,76	0,76	79,622
3	0,250	17,67	87	0,76	0,96	1,08	113,147
4	0,330	23,33	115	1,08	1,22	1,22	127,814
5	0,420	29,69	146	1,22	1,38	1,46	152,958
6	0,500	35,34	174	1,46	1,63	1,63	170,768
7	0,250	17,67	87	1,63	1,63	1,63	170,768
8	0,125	8,84	44	1,63	1,60	1,60	167,625
9	0,000	0,00	0	1,60	1,24	1,24	129,910
10	0,080	5,65	28	1,24	1,24	1,24	129,910
11	0,160	11,31	56	1,24	1,38	1,39	145,624
12	0,250	17,67	87	1,39	1,46	1,46	152,958
13	0,330	23,33	115	1,46	1,54	1,54	161,339
14	0,420	29,69	146	1,54	1,67	1,67	174,959

E-24 6/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua Piratuba - Bordo Direiro (Sentido Centro-Bairro)
 Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,12	0,12	12,572
2	0,160	11,31	56	0,12	0,34	0,40	41,906
3	0,250	17,67	87	0,40	0,54	0,70	73,336
4	0,330	23,33	115	0,70	0,88	0,88	92,194
5	0,420	29,69	146	0,88	1,06	1,06	111,052
6	0,500	35,34	174	1,06	1,18	1,18	123,624
7	0,250	17,67	87	1,18	1,18	1,18	123,624
8	0,125	8,84	44	1,18	1,13	1,13	118,385
9	0,000	0,00	0	1,13	0,74	0,74	77,527
10	0,080	5,65	28	0,74	0,77	0,77	80,670
11	0,160	11,31	56	0,77	0,87	0,87	91,146
12	0,250	17,67	87	0,87	0,94	0,94	98,480
13	0,330	23,33	115	0,94	1,04	1,04	108,956
14	0,420	29,69	146	1,04	1,13	1,13	118,385

E-25 7/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua Piratuba - Bordo Direiro (Sentido Centro-Bairro)

Data: 25/05/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,15	0,21	0,21	22,001
2	0,160	11,31	56	0,29	0,35	0,35	36,668
3	0,250	17,67	87	0,51	0,51	0,51	53,431
4	0,330	23,33	115	0,63	0,63	0,53	55,526
5	0,420	29,69	146	0,73	0,73	0,73	76,479
6	0,500	35,34	174	0,85	0,86	0,86	90,099
7	0,250	17,67	87	0,82	0,82	0,82	85,908
8	0,125	8,84	44	0,72	0,72	0,72	75,431
9	0,000	0,00	0	0,57	0,57	0,57	59,717
10	0,080	5,65	28	0,58	0,58	0,58	60,764
11	0,160	11,31	56	0,65	0,65	0,65	68,098
12	0,250	17,67	87	0,72	0,75	0,75	78,574
13	0,330	23,33	115	0,81	0,81	0,81	84,860
14	0,420	29,69	146	0,87	0,87	0,87	91,146

E-26 8/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua Piratuba - Bordo Direiro (Sentido Centro-Bairro)

Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,04	0,04	4,191
2	0,160	11,31	56	0,04	0,25	0,25	26,191
3	0,250	17,67	87	0,25	0,44	0,44	46,097
4	0,330	23,33	115	0,44	0,61	0,61	63,907
5	0,420	29,69	146	0,61	0,77	0,77	80,670
6	0,500	35,34	174	0,77	0,94	0,94	98,480
7	0,250	17,67	87	0,94	1,00	1,00	104,766
8	0,125	8,84	44	1,00	0,91	0,91	95,337
9	0,000	0,00	0	0,91	0,49	0,49	51,335
10	0,080	5,65	28	0,49	0,52	0,52	54,478
11	0,160	11,31	56	0,52	0,60	0,60	62,859
12	0,250	17,67	87	0,60	0,74	0,74	77,527
13	0,330	23,33	115	0,74	0,83	0,83	86,956
14	0,420	29,69	146	0,83	0,94	0,94	98,480

E-27 9/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua Piratuba - Bordo Direiro (Sentido Centro-Bairro)
 Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,12	0,12	12,572
2	0,160	11,31	56	0,12	0,36	0,36	37,716
3	0,250	17,67	87	0,36	0,61	0,61	63,907
4	0,330	23,33	115	0,61	0,86	0,90	94,289
5	0,420	29,69	146	0,90	1,04	1,04	108,956
6	0,500	35,34	174	1,04	1,21	1,21	126,767
7	0,250	17,67	87	1,21	1,21	1,21	126,767
8	0,125	8,84	44	1,21	1,18	1,18	123,624
9	0,000	0,00	0	1,18	0,72	0,70	73,336
10	0,080	5,65	28	0,70	0,70	0,70	73,336
11	0,160	11,31	56	0,70	0,84	0,84	88,003
12	0,250	17,67	87	0,84	0,96	0,96	100,575
13	0,330	23,33	115	0,96	1,11	1,11	116,290
14	0,420	29,69	146	1,11	1,20	1,20	125,719

E-28 10/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua Piratuba - Bordo Direiro (Sentido Centro-Bairro)
 Data: 12/03/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,19	0,19	19,906
2	0,160	11,31	56	0,19	0,39	0,39	40,859
3	0,250	17,67	87	0,39	0,63	0,63	66,002
4	0,330	23,33	115	0,63	0,90	0,92	96,385
5	0,420	29,69	146	0,92	1,16	1,16	121,528
6	0,500	35,34	174	1,16	1,39	1,44	150,863
7	0,250	17,67	87	1,44	1,44	1,44	150,863
8	0,125	8,84	44	1,44	1,29	1,27	133,053
9	0,000	0,00	0	1,27	0,91	0,91	95,337
10	0,080	5,65	28	0,91	0,90	0,90	94,289
11	0,160	11,31	56	0,90	0,90	0,90	94,289
12	0,250	17,67	87	0,90	1,05	1,05	110,004
13	0,330	23,33	115	1,05	1,16	1,24	129,910
14	0,420	29,69	146	1,24	1,33	1,33	139,339

E-29 01/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua São Borja - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 22/02/2018 Temp. do Ar: 30

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,14			
1	0,065	4,59	23	0,14	0,26	0,26	27,239
2	0,145	10,25	50	0,26	0,42	0,42	44,002
3	0,230	16,26	80	0,42	0,64	0,67	70,193
4	0,306	21,63	107	0,67	0,72	0,72	75,431
5	0,394	27,85	137	0,72	0,76	0,76	79,622
6	0,470	33,22	164	0,76	0,84	0,86	90,099
7	0,230	16,26	80	0,86	0,87	0,87	91,146
8	0,110	7,78	38	0,87	0,79	0,79	82,765
9	0,000	0,00	0	0,79	0,56	0,49	51,335
10	0,065	4,59	23	0,49	0,59	0,58	60,764
11	0,145	10,25	50	0,58	0,67	0,67	70,193
12	0,230	16,26	80	0,67	0,74	0,74	77,527
13	0,306	21,63	107	0,74	0,76	0,76	79,622
14	0,394	27,85	137	0,76	0,78	0,78	81,717

E-30 02/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua São Borja - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 22/02/2018 Temp. do Ar: 33

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,07			
1	0,065	4,59	23	0,07	0,19	0,19	19,906
2	0,145	10,25	50	0,19	0,35	0,35	36,668
3	0,230	16,26	80	0,35	0,48	0,51	53,431
4	0,306	21,63	107	0,51	0,68	0,68	71,241
5	0,394	27,85	137	0,68	0,81	0,81	84,860
6	0,470	33,22	164	0,81	0,88	0,88	92,194
7	0,230	16,26	80	0,88	0,88	0,88	92,194
8	0,110	7,78	38	0,88	0,78	0,75	78,574
9	0,000	0,00	0	0,75	0,48	0,48	50,288
10	0,065	4,59	23	0,48	0,48	0,48	50,288
11	0,145	10,25	50	0,48	0,56	0,56	58,669
12	0,230	16,26	80	0,56	0,66	0,66	69,145
13	0,306	21,63	107	0,66	0,72	0,72	75,431
14	0,394	27,85	137	0,72	0,81	0,84	88,003

E-31 03/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua São Borja - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)
 Data: 27/02/2018 Temp. do Ar: 33

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque (x 10 ⁻² mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,065	4,59	23	0,00	0,02	0,02	2,095
2	0,145	10,25	50	0,02	0,19	0,19	19,906
3	0,230	16,26	80	0,19	0,40	0,44	46,097
4	0,306	21,63	107	0,44	0,61	0,61	63,907
5	0,394	27,85	137	0,61	0,75	0,75	78,574
6	0,470	33,22	164	0,75	0,99	0,99	103,718
7	0,230	16,26	80	0,99	0,98	0,98	102,671
8	0,110	7,78	38	0,98	0,83	0,82	85,908
9	0,000	0,00	0	0,82	0,45	0,45	47,145
10	0,065	4,59	23	0,45	0,48	0,48	50,288
11	0,145	10,25	50	0,48	0,59	0,59	61,812
12	0,230	16,26	80	0,59	0,69	0,69	72,288
13	0,306	21,63	107	0,69	0,77	0,77	80,670
14	0,394	27,85	137	0,77	0,91	0,91	95,337

E-32 04/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC
 Local: Rua São Borja - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)
 Data: 27/02/2018 Temp. do Ar: 33

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque (x 10 ⁻² mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,065	4,59	23	0,00	0,12	0,14	14,667
2	0,145	10,25	50	0,14	0,26	0,26	27,239
3	0,230	16,26	80	0,26	0,36	0,48	50,288
4	0,306	21,63	107	0,48	0,54	0,58	60,764
5	0,394	27,85	137	0,58	0,69	0,69	72,288
6	0,470	33,22	164	0,69	0,84	0,91	95,337
7	0,230	16,26	80	0,91	0,84	0,84	88,003
8	0,110	7,78	38	0,84	0,70	0,70	73,336
9	0,000	0,00	0	0,70	0,53	0,49	51,335
10	0,065	4,59	23	0,49	0,49	0,49	51,335
11	0,145	10,25	50	0,49	0,54	0,54	56,574
12	0,230	16,26	80	0,54	0,62	0,68	71,241
13	0,306	21,63	107	0,68	0,75	0,75	78,574
14	0,394	27,85	137	0,75	0,83	0,83	86,956

E-33 05/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua São Borja - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 28/02/2018 Temp. do Ar: 33

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,065	4,59	23	0,00	0,04	0,04	4,191
2	0,145	10,25	50	0,04	0,21	0,21	22,001
3	0,230	16,26	80	0,21	0,24	0,27	28,287
4	0,306	21,63	107	0,27	0,31	0,35	36,668
5	0,394	27,85	137	0,35	0,43	0,43	45,049
6	0,470	33,22	164	0,43	0,48	0,55	57,621
7	0,230	16,26	80	0,55	0,54	0,53	55,526
8	0,110	7,78	38	0,53	0,43	0,43	45,049
9	0,000	0,00	0	0,43	0,28	0,25	26,191
10	0,065	4,59	23	0,25	0,25	0,25	26,191
11	0,145	10,25	50	0,25	0,29	0,31	32,477
12	0,230	16,26	80	0,31	0,38	0,38	39,811
13	0,306	21,63	107	0,38	0,42	0,44	46,097
14	0,394	27,85	137	0,44	0,43	0,47	49,240

E-34 06/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua São Borja - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 28/02/2018 Temp. do Ar: 33

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,01			
1	0,065	4,59	23	0,01	0,06	0,06	6,286
2	0,145	10,25	50	0,06	0,22	0,27	28,287
3	0,230	16,26	80	0,27	0,40	0,40	41,906
4	0,306	21,63	107	0,40	0,51	0,53	55,526
5	0,394	27,85	137	0,53	0,53	0,53	55,526
6	0,470	33,22	164	0,53	0,61	0,61	63,907
7	0,230	16,26	80	0,61	0,60	0,59	61,812
8	0,110	7,78	38	0,59	0,55	0,55	57,621
9	0,000	0,00	0	0,55	0,34	0,32	33,525
10	0,065	4,59	23	0,32	0,33	0,33	34,573
11	0,145	10,25	50	0,33	0,44	0,44	46,097
12	0,230	16,26	80	0,44	0,52	0,52	54,478
13	0,306	21,63	107	0,52	0,55	0,55	57,621
14	0,394	27,85	137	0,55	0,58	0,58	60,764

E-35 07/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua São Borja - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 28/02/2018 Temp. do Ar: 33

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque (x 10 ⁻² mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,065	4,59	23	0,00	0,08	0,08	8,381
2	0,145	10,25	50	0,08	0,31	0,31	32,477
3	0,230	16,26	80	0,31	0,46	0,47	49,240
4	0,306	21,63	107	0,47	0,55	0,58	60,764
5	0,394	27,85	137	0,58	0,67	0,67	70,193
6	0,470	33,22	164	0,67	0,76	0,76	79,622
7	0,230	16,26	80	0,76	0,67	0,67	70,193
8	0,110	7,78	38	0,67	0,55	0,55	57,621
9	0,000	0,00	0	0,55	0,36	0,36	37,716
10	0,065	4,59	23	0,36	0,38	0,38	39,811
11	0,145	10,25	50	0,38	0,45	0,45	47,145
12	0,230	16,26	80	0,45	0,50	0,50	52,383
13	0,306	21,63	107	0,50	0,57	0,57	59,717
14	0,394	27,85	137	0,57	0,62	0,62	64,955

E-36 08/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua São Borja - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 01/03/2018 Temp. do Ar: 33

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque (x 10 ⁻² mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,02			
1	0,080	5,65	28	0,02	0,18	0,18	18,858
2	0,160	11,31	56	0,18	0,32	0,32	33,525
3	0,250	17,67	87	0,32	0,49	0,49	51,335
4	0,330	23,33	115	0,49	0,62	0,62	64,955
5	0,420	29,69	146	0,62	0,73	0,73	76,479
6	0,500	35,34	174	0,73	0,83	0,83	86,956
7	0,250	17,67	87	0,83	0,83	0,83	86,956
8	0,125	8,84	44	0,83	0,82	0,82	85,908
9	0,000	0,00	0	0,82	0,54	0,54	56,574
10	0,080	5,65	28	0,54	0,54	0,54	56,574
11	0,160	11,31	56	0,54	0,64	0,64	67,050
12	0,250	17,67	87	0,64	0,73	0,73	76,479
13	0,330	23,33	115	0,73	0,74	0,74	77,527
14	0,420	29,69	146	0,74	0,86	0,90	94,289

E-37 09/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua São Borja - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 01/03/2018 Temp. do Ar: 33

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,17	0,17	17,810
2	0,160	11,31	56	0,17	0,40	0,40	41,906
3	0,250	17,67	87	0,40	0,56	0,57	59,717
4	0,330	23,33	115	0,57	0,69	0,69	72,288
5	0,420	29,69	146	0,69	0,88	0,88	92,194
6	0,500	35,34	174	0,88	1,03	1,03	107,909
7	0,250	17,67	87	1,03	1,03	1,03	107,909
8	0,125	8,84	44	1,03	0,92	0,90	94,289
9	0,000	0,00	0	0,90	0,50	0,50	52,383
10	0,080	5,65	28	0,50	0,55	0,55	57,621
11	0,160	11,31	56	0,55	0,70	0,70	73,336
12	0,250	17,67	87	0,70	0,80	0,80	83,813
13	0,330	23,33	115	0,80	0,92	0,92	96,385
14	0,420	29,69	146	0,92	1,00	1,00	104,766

E-38 10/10 - ENSAIO DE CARGA EM PLACA (DIN 18134 - 09/2001)

Técnico Paulo Roberto Rodrigues - Mestrado/UDESC

Local: Rua São Borja - Bordo Direiro (Sentido Bairro-Centro)

Data: 01/03/2018 Temp. do Ar: 33

Estágio de Carga nº	Tensão Normal (MPa)	Carga na Placa (kN)	Leitura manômetro (bar)	Leitura Zero	Leitura 1 min	Leitura 2 min	Recalque ($\times 10^{-2}$ mm)
0	0,000	0,00	0	0,00			
PC	0,010	0,71	3	0,00			
1	0,080	5,65	28	0,00	0,16	0,16	16,763
2	0,160	11,31	56	0,16	0,59	0,60	62,859
3	0,250	17,67	87	0,60	0,69	0,69	72,288
4	0,330	23,33	115	0,69	0,88	0,88	92,194
5	0,420	29,69	146	0,88	1,05	1,07	112,099
6	0,500	35,34	174	1,07	1,21	1,21	126,767
7	0,250	17,67	87	1,21	1,19	1,19	124,671
8	0,125	8,84	44	1,19	1,03	1,02	106,861
9	0,000	0,00	0	1,02	0,71	0,71	74,384
10	0,080	5,65	28	0,71	0,71	0,71	74,384
11	0,160	11,31	56	0,71	0,77	0,77	80,670
12	0,250	17,67	87	0,77	0,92	0,92	96,385
13	0,330	23,33	115	0,92	0,99	0,99	103,718
14	0,420	29,69	146	0,99	1,08	1,08	113,147

APÊNDICE C – PLANILHA DE ENSAIO DA DEFLECTÔMETRO DE PESO LEVE (LFWD) PARA OS SEGMENTOS 1, 2, 3, E 4

ENSAIO DE LFWD - AVENIDA SANTOS DUMONT (01/02/2018, TEMP. AR=20 °C)

SEGM.	ENSAIO	LOGRADOURO	OBSERVAÇÃO	Bordo_Direito		Eixo da Pista		Eixo da Pista	
				E _{VD} (MPa)	S _N (mm)	E _{VD} (MPa)	S _N (mm)	E _{VD} (MPa)	S _N (mm)
1	E-1	Av. S. Dumont	Viaduto, pista da esq., centro-bairro	57,99	38,80	32,51	69,20	45,18	49,8
1	E-2	Av. S. Dumont	Viaduto, pista da esq., centro-bairro	41,67	54,00	26,50	84,90	202,70	11,1
1	E-3	Av. S. Dumont	Viaduto, pista da esq., centro-bairro	58,00	38,80	31,25	72,00	22,32	100,8
1	E-4	Av. S. Dumont	Pista da dir., centro-bairro (Transt.)	40,11	56,10	Não realizado		Não realizado	
1	E-5	Av. S. Dumont	Pista da dir., centro-bairro (Transt.)	38,93	57,60	Não realizado		Não realizado	
1	E-6	Av. S. Dumont	Pista da dir., centro-bairro (Transt.)	35,55	63,30	Não realizado		Não realizado	
1	E-7	Av. S. Dumont	Pista da dir., centro-bairro (Transt.)	35,55	63,30	Não realizado		Não realizado	
1	E-8	Av. S. Dumont	Pista da dir., centro-bairro (Transt.)	27,81	80,90	Não realizado		Não realizado	

ENSAIO DE LFWD R. OTTO BOEHM			06/02/2018, TEMP. AR=26 °C		08/02/2018, TEMP. AR=25 °C		06/02/2018, TEMP. AR=26 °C	
SEGM.	ENSAIO	LOGRADOURO	Bordo direito		Eixo da pista		Bordo Esquerdo	
			E _{VD} (MPa)	S _N (mm)	E _{VD} (MPa)	S _N (mm)	E _{VD} (MPa)	S _N (mm)
2	E-9	R. Otto Boehm	30,94	73,80	154,11	14,60	24,56	91,60
2	E-10	R. Otto Boehm	20,55	109,50	30,78	73,10	23,99	93,80
2	E-11	R. Otto Boehm	22,77	98,80	43,95	51,20	35,49	63,40
2	E-12	R. Otto Boehm	32,42	69,40	31,12	72,30	39,54	56,90
2	E-13	R. Otto Boehm	22,77	98,80	40,61	55,40	29,92	75,20
2	E-14	R. Otto Boehm	36,82	61,10	18,88	119,20	17,90	125,70
2	E-15	R. Otto Boehm	46,49	48,40	85,23	26,40	17,47	128,80
2	E-16	R. Otto Boehm	23,96	93,90	45,09	49,90	15,29	147,20
2	E-17	R. Otto Boehm	25,92	86,80	47,67	47,20	32,23	69,80
2	E-18	R. Otto Boehm	27,64	81,40	39,20	57,40	43,6	51,60

ENSAIO DE LFWD R. PIRATUBA			25/01/2018, TEMP. AR=27 °C		25/01/2018, TEMP. AR=27 °C		25/01/2018, TEMP. AR=27 °C	
SEGM.	ENSAIO	LOGRADOURO	Bordo direito		Eixo da pista		Bordo Esquerdo	
			E _{VD} (MPa)	S _N (mm)	E _{VD} (MPa)	S _N (mm)	E _{VD} (MPa)	S _N (mm)
3	E-19	R. Otto Boehm	80,07	28,10	Não realizado		55,15	40,80
3	E-20	R. Otto Boehm	120,97	18,60	Não realizado		30,49	73,80
3	E-21	R. Otto Boehm	102,74	21,90	Não realizado		104,65	21,50
3	E-22	R. Otto Boehm	117,19	19,20	Não realizado		42,86	52,50
3	E-23	R. Otto Boehm	84,91	26,50	Não realizado		17,01	132,30
3	E-24	R. Otto Boehm	137,20	16,40	Não realizado		25,95	86,70
3	E-25	R. Otto Boehm	81,23	27,70	Não realizado		18,55	121,30
3	E-26	R. Otto Boehm	31,65	71,10	Não realizado		19,91	113,00
3	E-27	R. Otto Boehm	107,66	20,90	Não realizado		16,35	137,60
3	E-28	R. Otto Boehm	56,11	40,10	Não realizado		27,44	82,00

ENSAIO DE LFWD R. SÃO BORJA			25/01/2018, TEMP. AR=26 °C		25/01/2018, TEMP. AR=26 °C		25/01/2018, TEMP. AR=26 °C	
SEGM.	ENSAIO	LOGRADOURO	Bordo direito		Eixo da pista		Bordo Esquerdo	
			E _{VD} (MPa)	S _N (mm)	E _{VD} (MPa)	S _N (mm)	E _{VD} (MPa)	S _N (mm)
4	E-29	R. São Borja	120,97	18,60	47,07	47,80	106,13	21,20
4	E-30	R. São Borja	94,54	23,80	83,33	27,00	105,63	21,30
4	E-31	R. São Borja	72,58	31,00	138,89	16,20	132,35	17,00
4	E-32	R. São Borja	89,64	25,10	113,06	19,90	93,36	24,10
4	E-33	R. São Borja	92,59	22,30	90,73	24,80	92,59	22,30
4	E-34	R. São Borja	93,36	23,10	113,64	19,80	82,72	27,20
4	E-35	R. São Borja	98,25	23,90	108,70	20,70	83,03	27,10
4	E-36	R. São Borja	77,85	28,90	89,29	25,20	76,79	29,30
4	E-37	R. São Borja	54,61	41,20	116,58	19,30	103,21	21,80
4	E-38	R. São Borja	58,9	38,20	146,10	15,40	95,74	23,50

APÊNDICE D – DEFLEXÃO MEDIDA A CARREGAMENTOS DE VIGA BENKELMAN (VB), ENSAIO DE CARGA COM PLACA (Placa) E DEFLECTÔMETRO DE PESO LEVE (LFWD) NOS SEGMENTOS 1, 2, 3, E 4

