Campus de São Carlos

*DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO MEDIANTE RETROANÁLISE
DE AVALIAÇÕES ESTRUTURAIS NÃO-DESTRUTIVAS*

JOSÉ ROBERTO FRANCO MARQUES

ORIENTADOR: PROF. ASSOC. JOSÉ LEOMAR FERNANDES JÚNIOR

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
Departamento de Transportes – STT

**DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO MEDIANTE
RETROANÁLISE DE AVALIAÇÕES ESTRUTURAIS
NÃO-DESTRUTIVAS**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 23./10./02

Ass.:

José Roberto Franco Marques

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de Transportes.

DEDALUS - Acervo - EESC

31100037104

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior

São Carlos
2002

Class. TESE - EESC ✓
Cutt. 13362
Tombo T0258/02
Sysno 127 61 77

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC-USP**

M357d

Marques, José Roberto Franco

Dimensionamento de reforço mediante retroanálise de
avaliações estruturais não-destrutivas / José Roberto
Franco Marques. -- São Carlos, 2002.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2002.

Área : Transportes.

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior.

1. Pavimentos flexíveis. 2. Dimensionamento de
reforço. 3. Avaliação estrutural não-destrutiva. 4.
Retroanálise. 5. Análise mecanística. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **JOSÉ ROBERTO FRANCO MARQUES**

Dissertação defendida e julgada em 23-08-2002 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Assoc. **JOSÉ LEOMAR FERNANDES JÚNIOR (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Assoc. **ALEXANDRE BENETTI PARREIRA**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Dr. **MARCOS ANTONIO GARCIA FERREIRA**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado.

Prof. Assoc. **JOSÉ REYNALDO ANSELMO SETTI**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes

Profª. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

À minha família,

Pai, Mãe, Karina e Carolina, pela torcida e estímulo.

E à minha esposa, Isabel
pelo amor, força e compreensão.

AGRADECIMENTOS

À minha família, que sempre me incentivou e me deu forças nas horas em que precisei de apoio.

Ao Prof. Dr. José Leomar Fernandes Jr., pelo voto de confiança.

Ao Prof. Dr. Glauco Túlio Pessa Fabbri, pelo auxílio e orientação em minha qualificação.

Aos professores do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

Aos funcionários do Departamento de Transportes e da EESC/USP.

Aos amigos do Departamento de Transportes, pela amizade e participação em muitos bons momentos.

Aos companheiros da República RCV, Schappo, Adolfo, Andrey, Alessandre, Omar, Benê, Mané e Régis. Nossa amizade vai ficar guardada para sempre.

À CAPES, pelo suporte financeiro essencial ao desenvolvimento deste trabalho.

À empresa CPR – Consultoria e Projetos Rodoferroviários Ltda., por fornecerem os equipamentos e dados que possibilitaram o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao amigo Régis e à empresa Dynatest Engenharia Ltda., por me fornecerem os dados para o início de minha pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xvi
LISTA DE SÍMBOLOS	xvii
RESUMO	xix
ABSTRACT	xx
1. INTRODUÇÃO	1
2. AVALIAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	6
2.1. Mecânica dos Pavimentos	7
2.1.1. Teoria das camadas elásticas	8
2.1.2. Deformações elásticas	12
2.1.3. Programas computacionais	16
2.2. Avaliação Estrutural de Pavimentos	18
2.2.1. Avaliação estrutural não-destrutiva	19
2.2.2. Ensaios de carga de placa	20
2.2.3. Viga Benkelman	20
2.2.4. Vigas de deflexão automatizadas	22
2.2.5. Dynaflect	22
2.2.6. Road Rater	23
2.2.7. Deflectômetros de impacto (FWD)	23
2.2.8. Correlações entre FWD e Viga Benkelman	25
2.3. Retroanálise de Módulos de Resiliência	28
2.3.1. Presença de camada rígida	36
2.3.2. Temperatura	40
2.3.3. Simplificações assumidas na hipótese de cálculo	42
2.3.4. Módulos iniciais e limites	43
2.3.5. Espessura das camadas	44
2.3.6. Programas de retroanálise	45
2.4. Dimensionamento de Reforço	47
2.4.1. DNER-PRO 10/79	49
2.4.2. DNER-PRO 11/79	51
2.4.3. DNER-PRO 159/85	52
2.4.4. DNER-PRO 269/94	53

2.5.	Dimensionamento Mecanístico	55
2.5.1.	Fadiga do revestimento betuminoso	56
2.5.2.	Fator campo-laboratório	60
2.5.3.	Fadiga de bases cimentadas	62
2.5.4.	Deformação permanente	63
2.5.5.	Espessura de reforço	66
3.	PROGRAMAS COMPUTACIONAIS E COLETA DE DADOS	69
3.1.	Introdução	70
3.2.	Programas Computacionais	70
3.2.1.	Programa EVERCALC 5.0	71
3.2.2.	Programa ELSYM5	76
3.2.3.	Compatibilidade ELSYM5 X EVERCALC 5.0	77
3.3.	Apresentação dos Trechos Rodoviários	82
3.3.1.	BR-101/SC – Trecho 01	85
3.3.2.	BR-101/SC – Trecho 02	89
3.3.3.	PR-218	92
3.3.4.	PR-280	94
3.3.5.	SP-294	98
3.3.6.	SP-421	101
3.3.7.	SP-425	104
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	110
4.1.	Introdução	111
4.2.	Retroanálise dos Módulos Resilientes	112
4.2.1.	Comparação dos resultados das retroanálises com parâmetros estruturais	122
4.3.	Dimensionamento de reforço	124
4.4.	Influência das Correlações FWD X Viga Benkelman	125
4.5.	Comparação entre os Métodos de Dimensionamento de Reforço	131
4.5.1.	BR-101/SC – Trecho 01	133
4.5.2.	BR-101/SC – Trecho 02	133
4.5.3.	PR-218	134
4.5.4.	PR-280	135
4.5.5.	SP-294	135
4.5.6.	SP-421	136
4.5.7.	SP-425	137
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	138
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143
	ANEXO A – RESULTADOS DA RETROANÁLISE	151
	ANEXO B – MÉTODOS TRADICIONAIS DE DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO	172
	ANEXO C – DIMENSIONAMENTO MECANÍSTICO DE REFORÇO	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tensões num sólido semi-infinito sob uma área circular carregada r no eixo de simetria (Medina, 1997).....	9
Figura 2.2 – Deflexão no centro da área flexível para o sistema de duas camadas de Burmister (Medina, 1997).....	10
Figura 2.3 – Espessura equivalente “ h_e ” e “ g_e ” de um sistema de duas camadas, sendo “ h ” a espessura do pavimento (Medina, 1997)	11
Figura 2.4 – Bacia de deflexão.....	15
Figura 2.5 – Malha de elementos finitos em um sistema multicamadas (Medina, 1997).....	18
Figura 2.6 – Viga Benkelman.....	21
Figura 2.7 – Dynaflect (Haas <i>et al.</i> , 1994)	22
Figura 2.8 – Road Rater (Haas <i>et al.</i> , 1994)	23
Figura 2.9 – Esquema de aplicação de carga e disposição dos geofones em um equipamento tipo FWD.....	24
Figura 2.10 – Comparação entre as deflexões em função do tempo para uma roda em movimento (a) e o FWD (b) – Uddin <i>et al.</i> (1985)	24
Figura 2.11 – Exemplo de um ensaio com o FWD (Tela do programa de operação do FWD)	25
Figura 2.12 – Comparação entre as correlações entre deflexões medidas com Viga Benkelman e FWD.....	28
Figura 2.13 – Modelo e fórmulas de Hogg (Fabrício <i>et al.</i> , 1994)	30
Figura 2.14 – Linha de iguais deflexões verticais no sistema pavimento/subleito (Albernaz, 1996)	31
Figura 2.15 – Fluxograma do funcionamento de programas de Retroanálise.....	34
Figura 2.16 – Deflexão zero devido à presença de camada rígida (WSDOT, 1995)	37
Figura 2.17 – Determinação da distância ao centro de aplicação de carga em que ocorrerá a deflexão zero, devido à presença de camada rígida (WSDOT, 1995)	38
Figura 2.18 – Respostas estruturais críticas consideradas no dimensionamento mecanístico (WSDOT, 1995)	56
Figura 2.19 – Comparativo entre curvas de fadiga em misturas betuminosas....	62

Figura 2.20 – Comparativo entre curvas de previsão de deformação permanente.....	66
Figura 2.21 – Variação das deformações críticas com a espessura da camada de reforço.....	67
Figura 2.22 – Estrutura do Pavimento usado na simulação com o ELSYM5.....	68
Figura 3.1 – Tela do programa EVERCALC exibindo as bacias de deflexão medidas e calculadas após a finalização da retroanálise de uma bacia de deflexões.....	74
Figura 3.2 – Tela do programa EVERCALC exibindo os resultados finais da retroanálise de uma bacia de deflexões.....	75
Figura 3.3 – Tela do programa EVERCALC exibindo o resumo da retroanálise de várias bacias de deflexões.....	75
Figura 3.4 – Tela do programa EVERCALC exibindo as iterações executadas durante a retroanálise de duas bacias de deflexões.....	76
Figura 4.1 – Correlação entre o Índice de Curvatura da Base (ICB) e o Módulo Resiliente do Subleito determinada com os dados do trecho 02 da BR-101 e do trecho da SP-294.....	122
Figura 4.2 – Correlação entre o Índice de Destruição da Base (IDB) e o Módulo Resiliente da Base determinada com os dados do trecho 02 da BR-101 e do trecho da SP-294 para bases granulares.....	123
Figura 4.3 – Correlação entre o Índice de Destruição da Base (IDB) e o Módulo Resiliente da Base determinada com os dados do trecho 02 da BR-101 e do trecho da SP-294 para bases cimentadas.....	123
Figura 4.4 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 11/79 para 13 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 5 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte <i>et al.</i> (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998)	126
Figura 4.5 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 11/79 para 27 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 7 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte <i>et al.</i> (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998).....	126

Figura 4.6 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 11/79 para 23 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 10 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte <i>et al.</i> (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998)	127
Figura 4.7 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 11/79 para 11 segmentos homogêneos com espessura de revestimento entre 15 e 20 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte <i>et al.</i> (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998)	127
Figura 4.8 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 11/79 para 16 segmentos homogêneos com espessura de revestimento maiores que 20 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte <i>et al.</i> (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998)	128
Figura 4.9 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 269/94 para 13 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 5 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte <i>et al.</i> (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998)	128
Figura 4.10 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 269/94 para 27 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 7 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte <i>et al.</i> (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998)	129
Figura 4.11 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 269/94 para 23 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 10 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte <i>et al.</i> (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998)	129
Figura 4.12 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 269/94 para 13 segmentos homogêneos com espessura de revestimento entre 15 e 20 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte <i>et al.</i> (1996), e de Rocha	130

	Filho & Rodrigues (1998)	
Figura 4.13 –	Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 269/94 para 16 segmentos homogêneos com espessura de revestimento maiores que 20 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte <i>et al.</i> (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998)	130
Figura 4.14 –	Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 8 segmentos homogêneos do Trecho 1 da BR-101/SC.....	133
Figura 4.15 –	Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 6 segmentos homogêneos do Trecho 2 da BR-101/SC.....	134
Figura 4.16 –	Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 7 segmentos homogêneos do Trecho PR-218.....	134
Figura 4.17 –	Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 8 segmentos homogêneos do Trecho da PR-280.....	135
Figura 4.18 –	Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 7 segmentos homogêneos do Trecho da SP-294.....	136
Figura 4.19 –	Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 7 segmentos homogêneos do Trecho da SP-421.....	136
Figura 4.20 –	Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 7 segmentos homogêneos do Trecho da SP-425.....	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores do Coeficiente de Poisson - Santana & Gontijo (1989).....	33
Tabela 2.2 – Valores do Coeficiente de Poisson (Suzuki, citado em Pitta (1998))	33
Tabela 2.3 – Valores dos módulos resilientes dos materiais empregados em pavimentação no Brasil – Santana & Gontijo (1989)	44
Tabela 2.4 – Programas de Retroanálise de Módulos de Resiliência (Rada et al, 1991).....	46
Tabela 2.5 – Fatores de conversão para determinação da espessura efetiva Pinto & Preussler (2001)	48
Tabela 2.6 – Resultados de dimensionamento de reforço – Santana & Gontijo (1989)	55
Tabela 2.7 – Resultados de dimensionamento de reforço – Monteiro <i>et al.</i> (1989)	55
Tabela 2.8 – Curvas de fadiga de misturas asfálticas – Pinto & Motta (1995)	59
Tabela 2.9 – Valores dos parâmetros experimentais das curvas de deformação permanente – Bayomy <i>et al.</i> (1996)	65
Tabela 3.1 – Pavimentos fictícios com três camadas utilizados na comparação entre os programas ELSYM5 e EVERCALC 5.0.....	78
Tabela 3.2 – Pavimentos fictícios com quatro camadas utilizados na comparação entre os programas ELSYM5 e EVERCALC 5.0.....	79
Tabela 3.3 – Resultados da retroanálise com o programa EVERCALC 5.0 para as bacias determinadas pelo programa ELSYM5 para pavimentos com três camadas.....	80
Tabela 3.4 – Resultados da retroanálise com o programa EVERCALC 5.0 para as bacias determinadas pelo programa ELSYM5 para pavimentos com quatro camadas.....	81
Tabela 3.5. – Resumo das características dos trechos estudados.....	85
Tabela 3.6. – Características do trecho 01 da BR-101/SC.....	85
Tabela 3.7. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho 01 da BR-101/SC.....	86
Tabela 3.8. – Parâmetros de avaliação do trecho 01 da BR-101/SC.....	87

Tabela 3.9. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho 01 da BR-101/SC.....	88
Tabela 3.10. – Características do trecho 02 da BR-101/SC.....	89
Tabela 3.11. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho 02 da BR-101/SC.....	89
Tabela 3.12. – Parâmetros de avaliação do trecho 02 da BR-101/SC.....	90
Tabela 3.13. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho 02 da BR-101/SC.....	91
Tabela 3.14. – Características do trecho da PR-218.....	92
Tabela 3.15. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da PR-218.....	92
Tabela 3.16. – Parâmetros de avaliação do trecho da PR-218.....	93
Tabela 3.17. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da PR-218.....	94
Tabela 3.18. – Características do trecho da PR-280.....	94
Tabela 3.19. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da PR-280.....	95
Tabela 3.20. – Parâmetros de avaliação do trecho da PR-280.....	96
Tabela 3.21. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da PR-280.....	97
Tabela 3.22. – Características do trecho da SP-294.....	98
Tabela 3.23. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da SP-294.....	98
Tabela 3.24. – Parâmetros de avaliação do trecho da SP-294.....	99
Tabela 3.25. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da PR-294.....	100
Tabela 3.26. – Características do trecho da SP-421.....	101
Tabela 3.27. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da SP-421.....	101
Tabela 3.28. – Parâmetros de avaliação do trecho da SP-421.....	102
Tabela 3.29. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da SP-421.....	103
Tabela 3.30. – Características do trecho da PR-218.....	104
Tabela 3.31.A. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da PR-218.....	104
Tabela 3.31.B. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da PR-218.....	105
Tabela 3.32.A. – Parâmetros de avaliação do trecho da PR-218.....	106
Tabela 3.32.B. – Parâmetros de avaliação do trecho da PR-218.....	107
Tabela 3.33.A. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da PR-218.....	108
Tabela 3.33.B. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da PR-218.....	109
Tabela 4.1 – Parâmetros relativos às propriedades das camadas utilizados na retroanálise dos módulos resilientes.....	113
Tabela 4.2. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos do Trecho 01 da BR-101/SC.....	114
Tabela 4.3. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos do Trecho 02 da BR-101/SC.....	115
Tabela 4.4. – Resumo da retroanálise com o programa	116

EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos com três camadas do Trecho da PR-218.....	
Tabela 4.5. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos com quatro camadas do Trecho da PR-218.....	116
Tabela 4.6. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos com três camadas do Trecho da PR-280.....	117
Tabela 4.7. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos com quatro camadas do Trecho da PR-280.....	117
Tabela 4.8. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos do Trecho da SP-294.....	118
Tabela 4.9. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos do Trecho da SP-421.....	119
Tabela 4.10.A. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos do Trecho da SP-425.....	120
Tabela 4.10.B. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos do Trecho da SP-425.....	121
Tabela 4.11. – Segmentos homogêneos selecionados para o dimensionamento mecânico.....	125
Tabela B.1 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte <i>et al.</i> (1996) para os segmentos homogêneos do trecho 01 da BR-101/SC.....	174
Tabela B.2 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho 01 da BR-101/SC.....	175
Tabela B.3 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte <i>et al.</i> (1996) para os segmentos homogêneos do trecho 02 da BR-101/SC.....	176
Tabela B.4 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho 02 da BR-101/SC.....	177

Tabela B.5 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte <i>et al.</i> (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da PR-218.....	178
Tabela B.6 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho da PR-218.....	179
Tabela B.7 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte <i>et al.</i> (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da PR-280.....	180
Tabela B.8 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho da PR-280.....	181
Tabela B.9 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte <i>et al.</i> (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-294.....	182
Tabela B.10 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-294.....	183
Tabela B.11 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte <i>et al.</i> (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-421.....	184
Tabela B.12 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-421.....	185

Tabela B.13.A – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte <i>et al.</i> (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-425.....	186
Tabela B.13.B – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte <i>et al.</i> (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-425.....	187
Tabela B.14.A – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho 02 da BR-101/SC.....	188
Tabela B.14.B – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho 02 da BR-101/SC.....	189
Tabela C.1.A – Dimensionamento mecanístico dos segmentos seccionados entre todos os trechos (em ordem para os trechos 01 da BR-101/SC, 02 da BR- 101/SC, PR-218, PR-280, SP-294, SP-421 e SP-425). Dimensionamento pelas curvas de previsão de fadiga no revestimento.....	191
Tabela C.1.B – Dimensionamento mecanístico dos segmentos seccionados entre todos os trechos (em ordem para os trechos 01 da BR-101/SC, 02 da BR-101/SC, PR-218, PR-280, SP-294, SP-421 e SP-425). Dimensionamento pelas curvas de previsão de fadiga no revestimento.....	192
Tabela C.2.A – Dimensionamento mecanístico dos segmentos seccionados entre todos os trechos (em ordem para os trechos 01 da BR-101/SC, 02 da BR-101/SC, PR-218, PR-280, SP-294, SP-421 e SP-425). Dimensionamento pelas curvas de previsão de fadiga em bases cimentadas e de deformação permanente.....	193
Tabela C.2.B – Dimensionamento mecanístico dos segmentos seccionados entre todos os trechos (em ordem para os trechos 01 da BR-101/SC, 02 da BR-101/SC, PR-218, PR-280, SP-294, SP-421 e SP- 425). Dimensionamento pelas curvas de previsão de fadiga em bases cimentadas e de deformação permanente.....	194

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO	= <i>American Association of State Highway Officials</i>
CBR	= <i>California Bearing Ratio</i>
DER-MG	= Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais
DNER	= Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
FWD	= <i>Falling Weight Deflectometer</i>
HRB	= <i>Highway Research Board</i>
ICB	= Índice de Curvatura da Base
ICS	= Índice de Curvatura Superficial
IDB	= Índice de Destruição da Base
IGG	= Índice de Gravidade Global
LTTP	= <i>Long Term Pavement Performance</i>
RNA	= <i>Redes Neurais Artificiais</i>
SH	= <i>Segmentos Homogêneos</i>
SHRP	= <i>Strategic Highway Research Program</i>
USACE	= <i>United States Army Corps of Engineering</i>
WESLEA	= <i>Waterways Experiment Station Layered Elastic Analysis</i>
WSDOT	= <i>Washignto State Department os Transportation</i>
RMS	= <i>Root Mean Square</i>
CBUQ	= concreto betuminoso usinado a quente
BGS	= brita graduada simples
MS	= macadame seco
SC	= solo-cimento
SF	= solo fino

LISTA DE SÍMBOLOS

δ	= deslocamento
Δ_i	= erro relativo
$\varepsilon(\%)$	= erro (%)
ε_i	= deformação
η	= viscosidade
σ	= desvio padrão
σ_i	= tensão
ν	= coeficiente de Poisson
A	= área sob a bacia de deflexão
B	= profundidade estimada da camada rígida
D, d	= deflexão obtida de ensaios deflectométricos
D_{CB}	= deflexão característica obtida com a Viga Benkelman
D_{CFWD}	= deflexão característica obtida com o FWD
D_{FWD}	= deflexão obtida com o FWD
D_r	= deflexão no ponto localizado à distância de r cm do centro da carga
D_{VBK}	= deflexão obtida com a Viga Benkelman
E	= módulo de elasticidade, módulo dinâmico, módulo resiliente
F	= constante da viga;
f_0	= fator campo-laboratório
G_{nl}	= grau de não-linearidade do pavimento
h	= espessura das camadas do pavimento
L_i	= leitura obtida pela Viga Benkelman
M_R	= módulo resiliente de solos obtido por ensaios triaxiais
N	= número de solicitações de carga do eixo-padrão rodoviário

P	= carga aplicada em ensaios deflectométricos
p ₃₄	= porcentagem de agregado retido na peneira 3/4”;
p ₃₈	= porcentagem de agregado retido na peneira 3/8”;
p ₄	= porcentagem de agregado retido na peneira N° 4;
p ₂₀₀	= porcentagem de agregado passante na peneira #200
r	= distância horizontal do ponto de aplicação de carga
R	= raio de curvatura
R ²	= coeficiente de determinação
SN	= número estrutural
SNC	= número estrutural corrigido
T	= temperatura
%TR	= porcentagem de área de trincamento admissível
V _{be}	= volume efetivo de betume
V _v	= volume de vazios

RESUMO

MARQUES, J. R. F. *Dimensionamento de Reforço de Pavimentos Flexíveis Mediante Retroanálise de Avaliações Estruturais Não-Destrutivas*. São Carlos, 2002 (193p).
Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A avaliação estrutural é muito importante para os sistemas de gestão de pavimentos, principalmente, para as análises em nível de projeto. Os métodos de dimensionamento de reforço em uso no Brasil, particularmente os tradicionais, baseados apenas na deflexão recuperável máxima, não exploram todas as potencialidades das avaliações estruturais não destrutivas, pois utilizam expressões empíricas, não associadas diretamente ao comportamento mecânico do pavimento. Este trabalho tem por objetivo analisar os métodos existentes no Brasil para o dimensionamento de reforço de pavimentos flexíveis e compará-los com o dimensionamento mecânico, baseado nas propriedades mecânicas das camadas do pavimento existente, obtidas mediante retroanálise de avaliações estruturais não-destrutivas. Também são analisados fatores que influenciam a interpretação dos dados obtidos pelas avaliações estruturais e o processo de retroanálise, como os efeitos da temperatura, as correlações de valores de deflexões obtidas com FWD em valores de deflexões obtidas com Viga Benkelman e as correlações entre os módulos de resiliência das camadas com índices obtidos a partir das deflexões medidas a diferentes distâncias do ponto de aplicação de carga.

Palavras-chave: pavimentos flexíveis; dimensionamento de reforço; avaliação estrutural não-destrutiva; retroanálise; análise mecânica.

ABSTRACT

MARQUES, J. R. F. *Flexible Pavement Overlay Design using Backcalculation from Non-Destructive Structural Evaluation*. São Carlos, 2002 (193p.). Dissertation (Master) – Engineering School of São Carlos, São Paulo University.

Pavement management systems, particularly at project level, are very dependent upon structural evaluation. The pavement rehabilitation design methods used in Brazil are based only on the maximum deflection. They do not explore all the capabilities of non-destructive structural evaluations since they use empirical equations not directly associated to the mechanistic behavior of pavements. This work aims to analyze the Brazilian methods for overlay design and compare them to a mechanistic approach, based on fundamental properties of an elastic-layer system. It is also analyzed factors associated to the interpretation of field data and to the process of back calculation of *in situ* moduli, such as the effects of pavement temperature during the test, the conversion of deflection values obtained with F.W.D. to deflections values obtained with Benkelman Beam, and the correlations between resilient moduli and indices obtained from deflection values at different distances from the load application point.

Key-words: flexible pavements; overlay design; non-destructive structural evaluation; backcalculation; mechanistic analysis.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1 – INTRODUÇÃO

A avaliação estrutural é uma importante ferramenta para os sistemas de gerência de pavimentos. Em nível de rede, possibilita o cálculo da vida remanescente em serviço e possibilita o planejamento da alocação de recursos para atividades de manutenção e reabilitação. Entretanto, sua principal importância está em nível de projeto, pois fornece a base para o dimensionamento de reforço do pavimento.

Os métodos de dimensionamento de reforço em uso no Brasil, particularmente os tradicionais, baseados apenas na deflexão recuperável máxima, não exploram todas as potencialidades das avaliações estruturais não destrutivas, pois são baseados em expressões empíricas, não associadas diretamente ao comportamento mecânico do pavimento e, portanto, não deveriam ser utilizadas em situações diferentes daquelas que possibilitaram o seu desenvolvimento. Tanto que vários estudos têm mostrado a dispersão de resultados que se obtém com os diferentes métodos normalizados pelo DNER.

O desenvolvimento de equipamentos de avaliações estruturais não-destrutivas, que realizam rapidamente o levantamento de toda a bacia de deflexão, aliado à evolução de ferramentas computacionais para retroanálise dos dados, possibilitam a determinação das propriedades elásticas da estrutura do pavimento em serviço, indispensáveis para a utilização de um método racional de dimensionamento de reforço.

Nas análises mecánísticas para o dimensionamento de reforço de pavimentos, as condições do pavimento em serviço são determinadas por ensaios não-destrutivos, utilizando, por exemplo, Viga Benkelman ou deflectômetros de impacto (FWD), obtendo-se leituras do deslocamento em pontos espaçados a partir do ponto de carregamento (bacia de deflexão). A determinação das propriedades mecânicas das camadas que compõem o pavimento é feita por retroanálise, através de programas computacionais baseados na teoria da elasticidade linear ou não-linear.

O conjunto de módulos das camadas é calculado por um processo iterativo que compara a bacia de deflexão medida em campo com a calculada. O dimensionamento mecánico visa controlar a ocorrência de ruptura estrutural por fadiga do revestimento asfáltico e bases cimentadas ou por acúmulo excessivo de deformação permanente nas trilhas de roda. Este controle é feito pela determinação das respostas estruturais admissíveis em ensaios de fadiga em laboratório. O passo final é a análise das respostas estruturais (tensões, deformações e deslocamentos) com o uso de programa computacional baseados na teoria de camadas elásticas.

Os diversos fatores que influenciam os resultados de um dimensionamento mecánico podem estar presentes já na fase de realização dos ensaios. Por exemplo, as diferentes cargas aplicadas e a variação da temperatura de ensaio devem ser consideradas na etapa de análise dos dados coletados em campo. Em laboratório, outros fatores influenciam os resultados de ensaios de fadiga (número de solicitações admissíveis para um dado carregamento), o que leva à utilização de fatores de conversão “campo-laboratório”. Na análise mecánica, a adoção de modelos de elasticidade linear, mais freqüentemente adotada, é uma simplificação do comportamento real dos materiais utilizados em pavimentação, que apresentam

comportamento não-linear, principalmente os materiais granulares utilizados na composição das camadas inferiores.

Esta pesquisa tem por objetivo analisar os métodos tradicionais de dimensionamento de reforço estrutural de pavimentos utilizados no Brasil e compara-los com o dimensionamento mecanístico, realizado com base em retroanálise de avaliações estruturais não-destrutivas realizadas com deflectômetro de impacto (F.W.D., *Falling Weight Deflectometer*).

Também são analisados fatores que influenciam na interpretação dos dados obtidos pelas avaliações estruturais não-destrutivas e no processo de retroanálise. Consideram-se os resultados de avaliações estruturais realizadas em seis rodovias de três estados brasileiros, num total de 216 km. São efetuados dimensionamentos de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER PRO-269/94 e de acordo com critérios mecanísticos em sete trechos com diferentes tipos de estrutura, tráfego, localização e condições do pavimento em serviço em 253 segmentos homogêneos. Em todos os segmentos as bacias de deflexão são determinadas utilizando-se o equipamento F.W.D., perfazendo mais de 3.600 ensaios.

O Capítulo 2 apresenta a revisão da literatura que serviu de base para o desenvolvimento desta pesquisa. São apresentados as características mecânicas dos pavimentos e dos materiais que o compõem, os métodos de dimensionamento de reforço tradicionais, as premissas das avaliações estruturais não-destrutivas, os modelos utilizados no processamento computacional e os modelos mecanísticos para a determinação das respostas estruturais críticas.

No Capítulo 3 são apresentados os segmentos de rodovias estudados, com descrição do tipo de pavimento, espessura das camadas, tráfego e dados

deflectométricos. É feito o processamento dos dados de cada segmento, com sua divisão em segmentos homogêneos. São descritos os equipamentos utilizados nos levantamentos, suas características, vantagens e desvantagens. Os dois programas computacionais utilizados, EVERCALC 5.0 e ELSYM5, baseados na teoria elástico-linear, são apresentados e é feita uma análise da compatibilidade de resultados entre eles.

O Capítulo 4 consiste na retroanálise, análise mecânica e dimensionamento da espessura de reforço para cada segmento homogêneo. É apresentada e discutida a conversão de deflexões obtidas com F.W.D. para deflexões equivalentes em Viga Benkelman para a utilização dos dados deflectométricos nos métodos normalizados pelo DNER. Faz-se a análise dos resultados obtidos destacando-se a correlação entre os módulos de resiliência das camadas do pavimento com valores de Índices Estruturais, obtidos a partir das deflexões medidas a diferentes distâncias do ponto de aplicação de carga.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões obtidas neste trabalho. São discutidos os aspectos que influenciam os resultados do dimensionamento de reforço, bem como os fatores mais relevantes na interpretação de dados deflectométricos e a limitação da utilização das curvas de fadiga. São feitas sugestões para temas de trabalhos futuros visando a eliminação dos pontos fracos que os métodos mecânicos de dimensionamento de reforço ainda apresentam.

CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÃO E PROJETO DE REFORÇO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

2. AVALIAÇÃO E PROJETO DE REFORÇO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

2.1. Mecânica dos Pavimentos

O pavimento é uma estrutura constituída por camadas com a função de receber e suportar as cargas impostas pelo tráfego e pelos agentes climáticos, diluindo-as para que não danifiquem o solo da fundação, proporcionando um tráfego ao mesmo tempo confortável, seguro e econômico. Suas camadas são compostas por diferentes tipos de materiais com diferentes tipos de comportamento e composição. As cargas às quais está sujeito apresentam diferentes magnitudes e tempo de aplicação.

A Mecânica dos Pavimentos é o estudo dos pavimentos como sistemas em camadas sujeitos às cargas dos veículos, onde se incluem os cálculos de tensões, deformações e deslocamentos provocados pela aplicação das cargas geradas pelo tráfego, os ensaios laboratoriais de materiais usados em pavimentação e os ensaios de campo que avaliam as características de deformabilidade da estrutura dos pavimentos.

A aplicação principal da mecânica dos pavimentos é a determinação do número de aplicações de carga que leva à ruptura do pavimento, seja esta expressa por excessivas deformações elásticas, fadiga dos materiais asfálticos ou cimentados ou por acúmulo excessivo de deformação permanente nas

trilhas de roda, considerando o estado de tensões e deformações atuantes e admissíveis.

Desta forma, o dimensionamento de reforço estrutural pode ser efetuado de uma maneira analítica, racionalizando um processo que é, atualmente, dependente de métodos empíricos.

O desenvolvimento de ferramentas computacionais para o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos em pavimentos com base na teoria da elasticidade em meios semi-estratificados (camadas elásticas), possibilitou a modelação de estruturas de pavimentos e o estudo de seu comportamento de forma muito rápida e precisa.

Com o surgimento de equipamentos de avaliação estrutural que efetuam medidas do deslocamento elástico sob a forma de bacias de deflexões, simulando as aplicações impostas pelo tráfego, a determinação das propriedades das camadas dos pavimentos em serviço podem ser determinadas por meio da retroanálise dos módulos de resiliência.

2.1.1. Teoria das camadas elásticas

Os estudos de Joseph Boussinesq (1885) levaram ao desenvolvimento da solução geral formal do primeiro sistema de cálculo de tensões, deformações e deslocamentos para vários tipos de carregamentos em um meio semi-infinito, elástico-linear, homogêneo e isotrópico.

Para o carregamento distribuído em área circular (Figura 2.1), as equações de Boussinesq são as seguintes:

$$\sigma_z = \sigma_0 \cdot \{1 - [1 + (a/z)^2]^{-3/2}\} \quad (1)$$

$$\sigma_r = \sigma_t = \sigma_0 \cdot \left\{ (1+2\nu)/2 - (1+\nu)/[1+(a/z)^2]^{1/2} + 1/2/[1+(a/z)^2]^{3/2} \right\} \quad (2)$$

$$\varepsilon_z = (1+\nu) \cdot \sigma_0 / E \cdot \left\{ (1+2\nu)/2 - (1+\nu)/[1+(a/z)^2]^{1/2} - 1 \right\} \quad (3)$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_t = [(1-\nu)/(2\nu) \cdot (\sigma_z - E \cdot \varepsilon_z) - \nu \cdot \sigma_z] / E \quad (4)$$

$$\delta_z = (1+\nu) \cdot \sigma_0 \cdot a / E \cdot \left\{ [1+(z/a)^2]^{-1/2} + (1-2\nu) \cdot \{ [1+(z/a)^2]^{1/2} - z/a \} \right\} \quad (5)$$

em que:

$\sigma_{z,r,t}$ = tensão nos eixos x, y e z;

ν = coeficiente de Poisson;

E = módulo de elasticidade do meio;

a = raio da placa de carga;

p = pressão de aplicação da carga;

Figura 2.1 – Tensões num sólido semi-infinito sob uma área circular carregada no eixo de simetria (Medina, 1997).

Para o cálculo da deformação elástica na superfície, a solução simplificada de Boussinesq torna-se:

$$\delta_0 = \frac{2(1-\nu^2)\sigma_0 \cdot a}{E} \quad (6)$$

em que:

δ_0 = deslocamento sobre o ponto de aplicação de carga;

ν = coeficiente de Poisson;

σ_0 = tensão no ponto de aplicação de carga;

E = módulo de elasticidade do meio;

Embora fossem precisas na previsão das deformações elásticas para sistemas de uma camada, as equações de Boussinesq apresentavam discrepâncias com as deflexões medidas no campo em sistemas multi-camadas (pavimentos).

A extensão das teorias de Boussinesq para os sistemas de duas ou três camadas foi realizado por Burmister (1945), fazendo uma correção da equação para o deslocamento vertical total na superfície do pavimento (w) em função da espessura da primeira camada (h_1), do raio de aplicação da carga (r) e da razão dos módulos de elasticidade da segunda para o da primeira camada (E_2/E_1), conforme abaixo:

$$w = \frac{1,5.p.r}{E_2} \cdot F_w \left(\frac{r}{h_1}, \frac{E_2}{E_1} \right) \quad (7)$$

em que:

F_w é o coeficiente de deflexão, função de $\left(\frac{r}{h_1}, \frac{E_2}{E_1} \right)$

Os valores de F_w podem ser obtidos da Figura 2.2 (Medina, 1997)

Figura 2.2 – Deflexão no centro da área flexível para o sistema de duas camadas de Burmister (Medina, 1997).

Aos estudos de Burmister seguiram-se aplicações de suas conclusões para sistemas de três camadas, como os estudos desenvolvidos por Acum & Fox (1951) e por pesquisadores da Shell (Peattie, 1962 e Jones, 1962).

Odemark (1949) desenvolveu um procedimento analítico que permite transformar um sistema de duas ou mais camadas distintas (Figura 2.3) em um sistema uniforme de espessura equivalente, apresentado em Medina (1997) pelas seguintes equações:

$$h_e = n.h \left[\frac{E_1}{E_m} \cdot \frac{(1 - \nu_m^2)}{(1 - \nu_1^2)} \right]^{1/3} \quad (8)$$

$$g_e = n.h \quad (9)$$

em que:

h_e = espessura equivalente caso o material da primeira camada seja transformado em material do subleito;

g_e = espessura equivalente caso o material do subleito seja transformado em material da primeira camada;

h = espessura da camada superior;

E_1 = módulo da camada superior;

E_m = módulo de elasticidade da camada inferior;

n = fator igual a 0,9 (solução de Burmister).

Figura 2.3 – Espessura equivalente “ h_e ” e “ g_e ” de um sistema de duas camadas, sendo “ h ” a espessura do pavimento (Medina, 1997).

2.1.2. Deformações elásticas

As deformações elásticas que ocorrem nos pavimentos são aquelas que retornam ao estado inicial assim que cessa a aplicação de carga. Considerando o comportamento dos solos como elástico-linear, o comportamento das tensões e deformações nos solos, em um estado triplo de tensões, podem ser definidas pela aplicação da Lei de Hooke:

$$\epsilon_x = \left[\frac{\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)}{E} \right] \quad (10)$$

$$\varepsilon_y = \left[\frac{\sigma_y - \nu(\sigma_x - \sigma_z)}{E} \right] \quad (11)$$

$$\varepsilon_z = \left[\frac{\sigma_z - \nu(\sigma_x - \sigma_y)}{E} \right] \quad (12)$$

Entretanto, a maior parte dos solos utilizados em pavimentação não apresenta comportamento elástico linear. Os módulos de resiliência de solos utilizados em pavimentação podem ser determinados em laboratório pelo ensaio triaxial de carregamento repetido de curta duração. Este ensaio é executado mantendo-se a tensão normal principal vertical (σ_1) variável e a tensão principal horizontal (tensão confinante, (σ_3) constante. Desse modo obtém-se a tensão desvio:

$$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (13)$$

em que:

σ_d = tensão desvio variável.

O módulo resiliente é calculado por:

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_R} \quad (14)$$

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta h}{H_o} \quad (15)$$

em que:

M_R = módulo resiliente;

σ_d = tensão desvio aplicada repetidamente;

ε_R = deformação axial resiliente;

Δh = deslocamento vertical máximo;

H_0 = comprimento inicial de referência da amostra cilíndrica de solo ensaiada.

Os primeiros registros de deflexões recuperáveis em pavimento foram efetuados por Hveem (1955), que utilizou sensores eletromagnéticos em rodovias da Califórnia (Medina *et al.*, 1994).

Com a difusão dos equipamentos de medidas das deflexões recuperáveis, a partir do desenvolvimento da Viga Benkelman, este parâmetro passou a ter uma grande importância no projeto e avaliação estrutural de pavimentos (Pinto & Preussler, 2001).

A medição das deflexões em vários pontos espaçados ao longo da zona de influência da carga, conhecida como bacia de deflexão (Figura 2.4), permite uma melhor caracterização da resposta do pavimento à aplicação da carga.

A forma das bacias de deflexão é uma consequência não só do carregamento imposto na superfície do pavimento como também das espessuras e dos módulos de elasticidade das diversas camadas do pavimento. A deflexão superficial no centro de aplicação da carga é dependente das características de toda a estrutura do pavimento, ao passo que a deflexão situada a uma distância suficientemente mais afastada deste ponto dependerá apenas do Módulo de Elasticidade do subleito (Fabrício *et al.*, 1988 e 1990).

Figura 2.4 – Bacia de deflexão

Alguns parâmetros são utilizados para ajudar na interpretação da forma das bacias, como o Raio de Curvatura, cuja fórmula adotada pelo DNER, de acordo com a Figura 2.4, é:

$$R = \frac{3125}{(D_0 - D_{25})} \quad (16)$$

em que:

R = Raio de Curvatura;

D_x = Deflexão no ponto à distância de x cm do centro da carga, (0,01 mm).

Além do Raio de Curvatura, Fabrício *et al.* (1988) apresentam outros parâmetros representativos da capacidade estrutural de um pavimento. O Índice de Curvatura Superficial (ICS), que é um indicativo da resistência das camadas superiores do pavimento, ou seja, revestimento e base, em relação à resistência das camadas inferiores, é dado pela fórmula:

$$ICS = (D_0 - D_{30}) \quad (17)$$

A resistência do subleito do pavimento é indicada pelo Índice de Curvatura da Base (ICB), dado por:

$$ICB = (D_{60} - D_{90}) \quad (18)$$

O Índice de Destruição da Base (IDB) indica a resistência do conjunto das camadas do revestimento, base e sub-base do pavimento:

$$IDB = (D_{30} - D_{60}) \quad (19)$$

Outro parâmetro utilizado para a interpretação de bacias de deflexão é a área sob a bacia. O *WSDOT Pavement Guide* (1995) do Departamento de Transportes do Estado de Washington, apresenta a seguinte expressão para o cálculo deste parâmetro, normalizado em função da deflexão máxima, ou seja, o valor A equivale ao comprimento de um retângulo com a área da bacia de deflexão e altura igual à deflexão máxima:

$$A = \frac{150(D_0 + 2D_{30} + 2D_{60} + D_{90})}{D_0} \quad (20)$$

2.1.3. Programas computacionais

A aplicação da teoria das camadas elásticas através da utilização de programas computacionais tornou-se hábito corriqueiro no meio rodoviário, resultando em ganho de tempo no cálculo de tensões e deformações e, conseqüentemente no dimensionamento de pavimentos.

No Brasil, os programas mais utilizados são:

ELSYM5 – O Elsym5 é um dos programas para cálculo de tensões e deformações mais difundidos e utilizados no meio rodoviário. Contempla a elasticidade linear e as camadas são consideradas homogêneas, isotrópicas e horizontalmente infinitas, sendo que cada uma tem uma espessura finita, com exceção do subleito, considerado semi-infinito. Admite a aplicação de dez cargas estáticas e um total de 5 camadas (solução de Burmister para 5 camadas). O método de solução do programa é o das diferenças finitas. As camadas são caracterizadas pela espessura, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson.

FEPAVE – O programa FEPAVE, abreviação de “Finite Element Analysis of Pavement Structures”, tem o seu uso bastante disseminado no Brasil. É baseado no método dos elementos finitos e admite a hipótese de elasticidade não-linear em seus cálculos. O meio é dividido em malhas quadrangulares, onde cada elemento tem dimensão finita (Figura 2.5).

A teoria da elasticidade é aplicada para obter a relação entre as forças e os deslocamentos nodais de cada elemento e no seu interior. Formado o sistema de equações, calculam-se as deformações pelas derivadas primeiras dos deslocamentos. Determinadas as deformações, podem ser calculadas as tensões.

Figura 2.5 – Malha de elementos finitos em um sistema multicamadas (Medina, 1997).

2.2. Avaliação Estrutural de Pavimentos

Um pavimento, sob a ação do tráfego, recebe cargas repetidas que provocam deformações, cuja magnitude depende de sua capacidade estrutural. O objetivo das avaliações estruturais é, portanto, determinar a capacidade de suporte do pavimento, fornecendo dados que permitam a determinação das propriedades dos materiais que compõem as camadas do pavimento em serviço.

A maior aplicação das avaliações estruturais em um sistema de gerência de pavimentos está em nível de projeto, pois fornece dados que servirão como apoio para a tomada de decisões nas atividades de manutenção e reabilitação e dimensionamento de reforço. O desenvolvimento de métodos de dimensionamento de reforço baseados em análises mecânicas necessita do

conhecimento das propriedades dos materiais *in situ*, justificando o aumento de esforços em pesquisas na área (Haas *et al.*, 1994).

A avaliação estrutural pode ser destrutiva ou não-destrutiva. No primeiro modo, são feitas sondagens no pavimento para a realização de ensaios *in situ* ou coleta de amostras para ensaios em laboratório. O segundo modo baseia-se na medida das deflexões recuperáveis (bacias de deflexões), realizada com equipamentos específicos para esse fim, como a Viga Benkelman e os deflectômetros de impacto (FWD).

2.2.1. Avaliação estrutural não-destrutiva

A avaliação estrutural não-destrutiva consiste na medida das deflexões recuperáveis causadas pela aplicação de uma carga no pavimento. Apresenta facilidade e agilidade na execução dos ensaios, proporciona meios eficientes e seguros de coleta de grande quantidade de dados, não danifica o pavimento e não necessita de grandes intervenções no tráfego, além de oferecer menor custo quando comparado com o método destrutivo. Por esses motivos, sua utilização por empresas, departamentos rodoviários e órgãos de pesquisa tem aumentado nos últimos anos, em todo o Brasil.

Segundo Haas *et al.* (1994), os equipamentos de avaliação estrutural não-destrutiva podem ser classificados como: equipamentos estáticos – que medem a resposta do pavimento aplicando uma carga estática (ensaios de carga de placa e Viga Benkelman); e equipamentos dinâmicos – que medem a resposta do pavimento a uma aplicação de carga dinâmica.

Ainda segundo os mesmos autores, os últimos podem ser divididos em três grupos: equipamentos de impacto (defletômetros Dynatest, KUAB e

Phonix); equipamentos vibratórios (Dynalect e Road Rater) e equipamentos multimodos (FHWA Thumper).

2.2.2. Ensaio de carga de placa

Nesse tipo de ensaio, a carga é aplicada por um macaco hidráulico, num único ciclo, sobre placas rígidas apoiadas na superfície do pavimento, reagindo a uma armação estacionária. Esse ensaio é muito lento e trabalhoso, fazendo que esse procedimento não seja muito utilizado em análises estruturais de pavimentos.

2.2.3. Viga Benkelman

A Viga Benkelman é um equipamento que se destina a medir as deflexões verticais dos pavimentos de forma simples, rápida e barata. É composta por uma parte fixa, que fica apoiada no pavimento em três pés reguláveis, e outra móvel, que é acoplada à parte fixa através de uma articulação (Figura 2.6). A parte móvel da viga tem uma de suas extremidades em contato com a superfície do pavimento no local onde se deseja medir a deflexão, a outra extremidade fica em contato com um extensômetro, que registra o movimento vertical da ponta de prova.

As medidas são feitas posicionando-se a ponta de prova no centro de carga da roda dupla de um caminhão com carga por eixo de 8,2 t. Efetua-se então a leitura inicial L_0 no extensômetro. Para se determinar a bacia de deflexão afasta-se o caminhão em pequenos intervalos, de acordo com o espaçamento desejado entre medidas e efetuam-se novas leituras L_i . Afastando-se o caminhão lentamente por, no mínimo, 10 m do ponto de ensaio

e em tempo suficiente para que o pavimento recupere sua condição original, faz-se uma leitura final, L_f .

Figura 2.6 – Viga Benkelman

A deflexão é calculada através da seguinte expressão:

$$D_i = (L_{0i} - L_f)F \quad (21)$$

em que:

D_i = deflexão do pavimento, no ponto i (0,01 mm);

L_0 = leitura inicial do extensômetro (0,01 mm);

L_f = leitura final do extensômetro (0,01 mm);

F = constante da viga (relação entre a distância da articulação à ponta de prova e a distância do extensômetro à articulação).

Devido ao seu baixo custo de aquisição e pelo fato de ser referência em diversos métodos de dimensionamento e sistemas de gerência, o uso da Viga Benkelman ainda é grande no meio rodoviário. Entretanto, sua aplicação vem sendo substituída por aparelhos mais modernos, de maior precisão e produtividade.

Já estão em uso no Brasil vigas Benkelman equipadas com extensômetros digitais, que transmitem as deflexões medidas diretamente para um micro-computador, diminuindo erros de leitura e aumentando a produtividade deste tipo de ensaio.

2.2.4. Vigas de deflexão automatizadas

As vigas de deflexão automatizadas têm o mesmo princípio de funcionamento da Viga Benkelman, mas são montadas no veículo que aplica a carga, visando aumentar a velocidade nas medidas de deflexão.

Um exemplo de viga automatizada é o Deflectógrafo La Croix, muito utilizado na Europa, que realiza os ensaios percorrendo a rodovia a ser avaliada a velocidade constante de 3 km/h, com toda operação automatizada.

2.2.5. Dynaflect

O Dynaflect (Figura 2.7) é um equipamento vibratório de aplicação de carga de frequência fixa. A carga, gerada por duas massas contra-excêntricas girando a uma frequência de 8 Hz, é distribuída entre duas rodas. As leituras são feitas por cinco geofones montados sobre uma barra, espaçados em 30,48 cm.

Figura 2.7 – Dynaflect (Haa *et. al*, 1994)

2.2.6. Road Rater

O Road Rater (Figura 2.8) é um equipamento vibratório que possibilita a aplicação de carga variando-se tanto a carga quanto a frequência de sua aplicação. A carga estática é feita pela transferência de peso do reboque através das rodas para uma placa de carga enquanto a carga dinâmica é criada pela elevação e abaixamento de uma massa. A deflexão produzida é medida por quatro transdutores de velocidade, um localizado no centro da placa e os outros três espaçados a cada 30,48 cm.

Figura 2.8 – Road Rater (Haas *et. al*, 1994)

2.2.7. Deflectômetros de impacto (FWD)

Os deflectômetros de impacto são equipamentos que simulam o efeito da passagem de um veículo pela aplicação de uma carga dinâmica, obtida pela queda de um conjunto de massas, a partir de uma certa altura, sobre um sistema de amortecedores que transmitem a força aplicada a uma placa circular apoiada no pavimento (Figura 2.9). Dentre os modelos de deflectômetros de impacto pode ser citados o Dynatest FWD, KUAB FWD e Phonix FWD.

Figura 2.9 – Esquema de aplicação de carga e disposição dos geofones em um equipamento tipo FWD.

A duração do pulso de carga varia de 0,25 a 0,30 s, o que equivale aproximadamente a um veículo em movimento a 70 Km/h. A Figura 2.10 mostra uma comparação entre as deflexões em função do tempo obtidas com uma roda em movimento (a) e com o FWD (b). A carga do impulso pode ser alterada pela variação da altura de queda ou da massa utilizada.

Figura 2.10 – Comparação entre as deflexões em função do tempo para uma roda em movimento (a) e o FWD (b) – Uddin *et al.* (1985).

Os deslocamentos recuperáveis gerados na superfície do pavimento em resposta à aplicação da carga (bacia de deflexões) são medidos por 7 geofones instalados na placa de carga e ao longo de uma barra metálica. Em cada estação de ensaio, é possível obter a variação ao longo do tempo das deflexões lidas em cada geofone (Figura 2.11), a forma do pulso de carga aplicado na placa e as temperaturas ambiente e na superfície do pavimento. O aparelho é montado sob um reboque que é conduzido por um automóvel durante a realização dos ensaios.

Figura 2.11 – Exemplo de um ensaio com o FWD (Tela do programa de operação do FWD)

2.2.8. Correlações entre F.W.D. e Viga Benkelman

A Viga Benkelman vem sendo utilizada desde a década de 60 para levantamento defletoométrico no Brasil. Os primeiros métodos de dimensionamento de reforço de pavimento foram desenvolvidos baseados nas deflexões características coletadas com este equipamento.

Nos dias de hoje, a utilização do equipamento F.W.D. vem ganhando espaço em todos os organismos rodoviários e empresas do ramo e se tornando o equipamento mais utilizado para avaliações estruturais não-destrutivas, servindo como base para o dimensionamento de reforço. Entretanto, estes

ensaios diferem significativamente um do outro, devido ao tipo e configuração de carga aplicada. Enquanto o F.W.D. aplica uma carga dinâmica sobre uma placa circular, a Viga Benkelman aplica duas cargas estáticas (considerando a influência somente de um semi-eixo do caminhão) sobre cada um dos pneus, portanto, de formato diferente do circular.

Para o aproveitamento da grande quantidade de dados colhidos com a Viga Benkelman ao longo destes 50 anos de sua utilização e para a utilização dos dados colhidos com F.W.D. nos métodos de dimensionamento que consideram as deflexões do primeiro equipamento, diversos estudos foram realizados objetivando a determinação de uma correlação entre esses valores.

Os primeiros estudos abordando esta questão foram realizados por Pinto (1991), onde foi apresentada a seguinte equação:

$$D_{VBK} = 1,32.D_{FWD} \quad (22)$$

em que:

D_{VBK} = deflexão Viga Benkelman;

D_{FWD} = deflexão medida com FWD;

As correlações apresentadas por Duarte *et al.* (1996) em seus estudos sobre o assunto passaram a ser adotada pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER. As equações são:

$$D_{CB} = 20,645(D_{CFWD} - 19)^{0,351}, \quad \text{para } D_{CFWD} < 85 \times 10^{-2} \text{ mm} \quad (23)$$

$$D_{CB} = 8,964(D_{CFWD} - 60)^{0,715}, \quad \text{para } D_{CFWD} > 85 \times 10^{-2} \text{ mm} \quad (24)$$

em que:

D_{CB} = deflexão característica Viga Benkelman;

D_{CFWD} = deflexão característica medida com FWD.

Segundo os autores, para deflexões menores que $20,0 \times 10^{-2}$ mm, as deflexões de viga e F.W.D. se equivalem.

Rocha Filho & Rodrigues (1998) encontraram uma correlação entre as deflexões de viga e F.W.D. em função da espessura do revestimento asfáltico, expressa por:

$$D_{VBK} = \frac{D_{FWD}}{\alpha} \quad (25)$$

$$\alpha = \frac{1,0}{a \cdot h_1^b + 1}$$

em que:

D_{VBK} = deflexão Viga Benkelman;

D_{FWD} = deflexão medida com FWD;

a, b = parâmetros experimentais:

$$a = 6,136 \times 10^{-3}$$

$$b = 1,756;$$

h_1 = espessura do revestimento asfáltico (cm).

Nos três estudos sobre a correlação entre deflexões de viga e FWD aqui citados, os autores concluíram que pode existir uma correlação somente para a deflexão máxima. Valores afastados do centro de aplicação de carga não apresentaram correlação satisfatória e, portanto, estas expressões não devem ser aplicadas para toda a bacia de deflexões.

A Figura 2.12 exhibe uma comparação entre as três correlações aqui apresentadas.

Figura 2.12 – Comparação entre as correlações entre deflexões medidas com Viga Benkelman e FWD.

2.3. Retroanálise de Módulos de Resiliência

A retroanálise é o processo de determinação dos módulos de resiliência dos materiais que compõem as camadas e do subleito de pavimentos em serviço através da interpretação das bacias de deflexão.

Albernaz (1996) apresentou as principais vantagens e desvantagens da utilização desta ferramenta:

- Minimizar a necessidade de coletas de amostras na pista;
- Os módulos são estimados para as condições reais em campo;
- Rapidez na caracterização elástica do pavimento.

Por outro lado, o processo de retroanálise apresenta algumas falhas que devem ser consideradas:

- Multiplicidade de soluções: é possível a obtenção de diferentes módulos para uma mesma bacia de deflexões, variando-se os valores iniciais e os limites dos módulos;
- Os módulos retroanalizados não são exatamente os módulos reais dos materiais, mas representam um modelo equivalente do pavimento em serviço;
- A interferência de diversos fatores que ocorrem da etapa de levantamento de campo até processo de retroanálise.

Os métodos existentes de retroanálise podem ser classificados em dois grupos: métodos iterativos, onde se procura obter os módulos de todas as camadas do pavimento, sendo realizados com o auxílio de programas computacionais; e métodos simplificados, pelos quais os módulos são obtidos pela aplicação direta de equações, tabelas, gráficos e outros procedimentos simplificados, baseados na Teoria da Elasticidade, e que, geralmente, transformam a estrutura real multicamadas em estruturas equivalentes, mais simples (Albernaz *et al.*, 1995).

Fabrizio *et al.* (1988, 1990 e 1994) propõem um método simplificado, baseado no modelo de Hogg (Figura 2.13), para a previsão do módulo de elasticidade do subleito e na utilização do programa Elsym5 para a determinação dos módulos das camadas restantes.

Para bacias de deflexões medidas com F.W.D. foram encontradas as seguintes expressões para previsão dos módulos do subleito e da camada equivalente:

$$H_{EQ} = 8,936 + 31,961 \cdot \left(\frac{D_{60}}{D_0}\right) - 30,507 \cdot \left(\frac{D_{60}}{D_0}\right)^2 + 122,572 \cdot \left(\frac{D_{60}}{D_0}\right)^3 \quad (26)$$

$$E_{SL} D_0 = 112,473 - 4,392 \cdot H_{EQ} + 0,687 \times 10^{-1} \cdot H_{EQ}^2 - 0,365 \times 10^{-3} \cdot H_{EQ}^3 \quad (27)$$

$$E_{EQ} = 6,18 \cdot E_{SL} \quad (28)$$

em que:

D_0 = deflexão no ponto de aplicação da carga (cm);

D_{60} = deflexão no ponto situado a 60,0 cm do ponto de aplicação da carga (cm);

H_{EQ} = espessura do pavimento equivalente (cm);

E_{EQ} = módulo do pavimento equivalente;

E_{SL} = módulo do subleito (kgf/cm^2).

MODELO DE HOGG			
GEOMETRIA DO MODELO		PARÂMETROS DA AVALIAÇÃO COMPRIMENTO CARACTERÍSTICO _____ ℓ_0 MÓDULO DE ELASTICIDADE (sub-leito) _____ E_2 RIGIDEZ _____ R	
		SIGNIFICADO DOS OUTROS SÍMBOLOS P - Carga distribuída em uma área circular a - Raio da área circular E_1 - Módulo de Elasticidade da placa μ_1, μ_2 - Coeficiente de Poisson t - Espessura da placa h - Espessura do subleito	
PARÂMETROS DO MODELO RIGIDEZ $R = \frac{E_1 t^3}{12(1-\mu_1^2)}$ COMPRIMENTO CARACTERÍSTICO $\ell_0 = \sqrt{\frac{R}{E_2} \cdot \frac{(1+\mu_2)(3-4\mu_2)}{2(1-\mu_2)}}$		FÓRMULAS PARA O CÁLCULO - Fazendo $\mu_1 = \mu_2 = 0,4$ $R = \frac{E_1 t^3}{10,08}$ $\ell_0 = \sqrt{1,63 \frac{R}{E_2}}$	

Figura 2.13 – Modelo e fórmulas de Hogg (Fabrício *et al.*, 1994)

Albernaz (1994) realizou a adaptação do método de Noureldin (1993), que transforma o pavimento real multicamadas em um pavimento equivalente de duas camadas, uma relativa ao subleito e outra ao conjunto das demais

camadas (revestimento, base e sub-base). Esse método, baseado nas expressões de Burmister (1943) e Odemark (1949), vem sendo utilizado pelo DER-MG para análises em nível de anteprojeto. A premissa básica é que existe um ponto na superfície do pavimento, situado a uma certa distância do ponto de aplicação de carga, cuja deflexão é devida exclusivamente ao subleito e é numericamente igual à deflexão do topo do subleito na vertical que passa pelo centro de aplicação de carga (Fig 2.14).

Figura 2.14 – Linha de iguais deflexões verticais no sistema pavimento/subleito (Albernaz, 1996).

As expressões para o cálculo do módulo do subleito, do módulo efetivo do pavimento, da espessura efetiva e do número estrutural efetivo do pavimento são apresentadas a seguir:

$$E_{sg} = \frac{1.193}{r_x \cdot D_x} \quad (29)$$

$$E_p = \frac{142 - \frac{1.193}{r_x}}{(D_0 - D_x)} \quad (30)$$

$$T_x = 1,364 \left[\frac{(D_0 - D_x)}{D_x \cdot (r_x / 3,3 - 2,54)} \right]^{1/3} \cdot (4 \cdot r_x^2 - 282,3)^{1/3} \quad (31)$$

$$SN_{\text{eff}} = \frac{(4 \cdot r_x^2 - 282,3)^{1/2}}{22,119 \cdot (r_x \cdot D_x)^{1/3}} \quad (32)$$

em que:

E_{sg} = módulo do subleito (kgf/cm^2);

E_p = módulo efetivo do pavimento (kgf/cm^2);

T_x = espessura efetiva do pavimento (cm);

r_x = distância radial a partir do ponto de aplicação da carga até o ponto considerado (cm);

D_x = deflexão no ponto situado á distância radial r_x (cm);

SN_{eff} = número estrutural efetivo.

Com o desenvolvimento de ferramentas computacionais para análise de sistemas estruturais em camadas, baseadas na teoria da elasticidade, a retroanálise tem sido largamente utilizada em avaliações estruturais e no dimensionamento de reforço. Têm sido utilizados programas baseados na teoria da elasticidade linear (Chevron, Bisar, Elsym5, Weslea) e não-linear (Fepave2, Illi-Pave), que por processos iterativos variam os módulos das camadas até que seja encontrada uma bacia de deflexão compatível com a determinada em campo.

Os dados de entrada para uma retroanálise considerando a teoria da elasticidade linear são a espessura, o coeficiente de Poisson e os valores iniciais (ou faixa de variação) dos módulos dos materiais que compõem cada uma das camadas. O coeficiente de Poisson não apresenta grande influência nos resultados e seus valores podem ser adotados conforme o tipo de material e mantidos constantes. As Tabelas 2.1 e 2.2 apresentam valores usuais para o coeficiente de Poisson (Santana & Gontijo, 1989):

Tabela 2.1 – Valores do Coeficiente de Poisson (Santana & Gontijo (1989))

Tipo de Material	Valores
Concreto Asfáltico (CBUQ)	0,25 – 0,35
Pré-misturado (PMQ ou PMF)	0,30 – 0,35
Bases granulares	0,35 – 0,40
Sub-base granulares	0,35 – 0,40
Subleito	0,40 – 0,50

Tabela 2.2 – Valores do Coeficiente de Poisson (Suzuki citado em Pitta (1998))

Tipo de Material	Intervalo	Valores Típicos
Concretos de cimento Portland	0,10 – 0,20	0,15
Concretos Asfálticos – Bases Betuminosas	0,15 – 0,45	0,35
Bases estabilizadas com cimento	0,15 – 0,30	0,20
Bases e sub-bases granulares	0,30 – 0,40	0,35
Subleito	0,30 – 0,50	0,40

Vários programas computacionais foram criados para realizar a busca dos módulos que levem a uma configuração tal que a comparação das deflexões calculadas com as deflexões medidas em campo, através de critérios matemáticos, apresente um erro aceitável. Em geral, a estrutura desses programas pode ser mostrada pelo fluxograma na Figura 2.15.

O controle da semelhança entre as bacias de deflexão medidas e as calculadas é realizado por diversos métodos com a minimização do erro pela soma dos quadrados das diferenças, soma das diferenças absolutas, soma dos quadrados dos erros relativos e pela raiz média quadrática.

Figura 2.15 – Fluxograma do funcionamento de programas de Retroanálise

A seguir são apresentadas as fórmulas mais comuns de minimização de erro (Albernaz *et al.*, 1995):

- Erro relativo calculado para cada ponto da bacia de deformação:

$$\Delta_i(\%) \geq [(dm_i - dc_{i,j}) / dm_i] \times 100 \quad (33)$$

- Somatório dos módulos das diferenças relativas:

$$\varepsilon(\%) = \sum_{i=1,n} |(dm_i - dc_{i,j}) / dm_i| = \sum_{j,min} \quad (34)$$

- Somatório das diferenças relativas ao quadrado ponderadas:

$$\varepsilon(\%) = \sum_{i=1,n} \{\alpha_i [(dm_i - dc_{i,j}) / dm_i]^2\} = \sum_{j,min} \quad (35)$$

- Raiz média quadrática, calculada pelas deflexões:

$$RMS(\%) = \sqrt{\left\{ \sum_{i=1,n} [100 \cdot (dm_i - dc_{i,j}) / dm_i]^2 \right\} / n} \quad (36)$$

- Raiz média quadrática, calculada pelos módulos sucessivos:

$$RMS(\%) = \sqrt{\left\{ \sum_{i=1,n} [100.(E_{i,j} - E_{i,j-1})/E_{i,j}]^2 \right\} / n} \quad (37)$$

em que:

$\Delta_i(\%)$, $\epsilon, \epsilon(\%)$ = Erros aceitáveis para o ajuste entre as bacias medidas e calculadas;

a_i = fator de ponderação para cada sensor;

dm_i = deflexão medida no ponto i da bacia de deflexão (n = número de pontos analisados)

$dc_{i,j}$ = deflexão calculada no ponto i da bacia da iteração j ;

$E_{i,j}$ = módulo calculado para a camada i na iteração j .

As retroanálises não-lineares são pouco utilizadas em razão da complexidade inerente ao processo de aplicação de cargas incrementais. Uzan (1994) sugere que o subleito seja dividido em duas camadas para se considerar parcialmente o comportamento não-linear dos materiais.

O Programa EVERCALC pode considerar a elasticidade não-linear quando forem executados levantamentos com a aplicação de múltiplas cargas com diferentes grandezas no mesmo ponto.

Existem diversas alternativas que podem diminuir os efeitos das limitações inerentes ao processo de retroanálise. Ruth & Fernandes (1999) propõem o uso de equações de regressão linear múltipla a partir dos dados de FWD para a determinação dos módulos iniciais e de ensaios complementares para a determinação do módulo da camada elástica e/ou do subleito.

O processo de retroanálise apresenta sensibilidade a diversos fatores, que podem influenciar o resultado final, tais como:

2.3.1. Presença de camada rígida

Na maior parte dos programas utilizados para a retroanálise dos módulos, a espessura do subleito é assumida como semi-infinita. Entretanto, em muitos casos existe uma camada rígida sob o subleito. A existência dessa camada afeta o comportamento do pavimento e os valores medidos das deflexões e quando desconsiderada em retroanálises elástico-lineares, pode levar a valores superestimados ou subestimados dos módulos dos valores reais em serviço.

Chang *et al.* (1992) e Roeset *et al.* (1993) realizaram análises dinâmicas das deflexões obtidas com FWD e constataram que a importância dos efeitos da presença da camada rígida é relacionada com a profundidade e propriedades da camada, principalmente quando a menos de 6 m de profundidade. Foi proposto um método de estimativa da profundidade da camada rígida pela leitura do histórico das deflexões pelo tempo, ao invés da leitura apenas da máxima deflexão, obtidas com FWD.

Programas para retroanálise como MODULUS, BISDEF e WESDEF têm sub-rotinas para a consideração da camada rígida, quando conhecida a sua profundidade. Já os programas ELMOD e EVERCALC podem estimar a profundidade da camada rígida a partir dos dados deflectométricos.

Hossain & Zaniewski (1991) e Rohde & Scullion (1990) também realizaram estudos para a predição da profundidade da camada rígida, sendo os estudos dos primeiros implementados no programa MODULUS e os estudos dos segundos no programa EVERCALC.

Os estudos de Rohde & Scullion (1990) afirmam que a deflexão medida na superfície do pavimento é resultante da deformação dos vários materiais dentro da zona de tensão, ou seja, a deflexão em qualquer ponto distante do

ponto de aplicação de carga é originada pela deflexão, a uma determinada profundidade, dos materiais que se encontram dentro da zona de tensão. Dessa forma, não ocorrerá deflexão na superfície a uma distância radial, afastada do centro de aplicação de carga, que intercepta a linha limite da zona de tensão e a camada rígida, conforme mostra a Figura 2.16.

Figura 2.16 – Deflexão zero devido à presença de camada rígida (WSDOT, 1995)

A profundidade da camada rígida pode ser estimada analisando-se graficamente o inverso da distância ($1/r$) dos pontos de medidas das deflexões ao centro de aplicação de carga e as deflexões medidas em cada ponto. A distância em que ocorrerá a deflexão zero, r_0 , é determinada prolongando-se a porção linear da curva (Figura 2.17).

Figura 2.17 – Determinação da distância ao centro de aplicação de carga em que ocorrerá a deflexão zero, devido à presença de camada rígida (WSDOT, 1995)

A partir do valor determinado para r_0 , a profundidade em que está localizada a camada rígida pode ser determinada por meio de equações obtidas de regressões de dados gerados pelo programa BISAR para pavimentos com três camadas e deflexões normalizadas para a carga de 40 kN.

Algumas hipótese foram assumidas:

$$\frac{E_R}{E_{SL}} = 10; 30; 100 \quad (38)$$

$$\frac{E_B}{E_{SL}} = 0,3; 1,0; 3,0; 10,0 \quad (39)$$

$$\frac{E_{\text{rígida}}}{E_{SL}} = 100 \quad (40)$$

em que:

E_R = módulo de resiliência do revestimento;

E_B = módulo de resiliência da base;

E_{SL} = módulo de resiliência do subleito;

$E_{\text{rígida}}$ = módulo de resiliência da camada rígida.

Foram determinadas quatro equações que relacionam a distância r_0 , com a profundidade da camada rígida, B , para várias espessuras do revestimento:

Para espessuras do revestimento menores do que 5,0 cm:

$$\frac{1}{B} = 0,0362 - 0,3242(r_0) + 10,2717(r_0^2) - 23,6609(r_0^3) - 0,0037(ICB) \quad (41)$$

$$R^2=0,98$$

Para espessuras do revestimento entre 5,0 e 10,0 cm:

$$\frac{1}{B} = 0,0065 - 0,1652(r_0) + 5,4290(r_0^2) - 11,0026(r_0^3) - 0,0004(IDB) \quad (42)$$

$$R^2=0,98$$

Para espessuras do revestimento entre 10,0 e 15,0 cm:

$$\frac{1}{B} = 0,0413 - 0,9929(r_0) - 0,0012(ICS) + 0,0062(IDB) - 0,0778(ICB) \quad (43)$$

$$R^2=0,94$$

Para espessuras do revestimento maiores do que 15,0 cm:

$$\frac{1}{B} = 0,0409 - 0,5669(r_0) + 3,0137(r_0^2) + 0,0033(IDB) - 0,0665 \log(ICB) \quad (44)$$

$$R^2=0,97$$

em que:

B = profundidade estimada da camada rígida (cm);

r_0 = distância radial entre o ponto de aplicação de carga e o ponto de deflexão zero;

ICB = Índice de Curvatura da Base;

IDB = Índice de Destruição da Base;

2.3.2. Temperatura

O uso de medidas de deflexões para retroanálise necessita do ajuste das deflexões medidas para uma temperatura de referência, uma vez que a viscosidade e rigidez dos revestimentos asfálticos sofrem uma grande influência da temperatura.

Esta questão foi abordada por Motta (1979) em um painel experimental que levantou dados da temperatura do ar e do pavimento, sendo estabelecida a seguinte equação para a temperatura do pavimento a diferentes profundidades:

$$T(x) = T_{\text{sup}} + (T_{\text{sup}} - T_{\text{ar}}) \cdot [1 - e^{(0,06855 - 0,002633 \cdot x) \cdot x}] \quad (45)$$

em que:

$T(x)$ = temperatura na profundidade x do revestimento (°C);

T_{sup} = temperatura da superfície do revestimento (°C);

T_{ar} = temperatura do ar (°C);

x = profundidade no revestimento onde se deseja determinar a temperatura (cm).

Entretanto, no mesmo trabalho, a autora atenta para o fato de que uma curva única que não leve em conta a estrutura do pavimento não parece justificável.

Kim *et al.* (1995) propõem um método de ajuste da deflexão máxima medida com F.W.D. que leva em consideração a espessura do revestimento asfáltico pela seguinte expressão:

$$D_{25} = 10^{\alpha \cdot (25-T)} \cdot D_T$$

$$\alpha = 1,688 \times 10^{-4} \cdot h^{1,4635}$$
(46)

em que:

D_{25} = deflexão corrigida para a temperatura de referência de 25 °C;

D_T = deflexão medida à temperatura T;

T = temperatura medida durante o ensaio (°C);

h = espessura do revestimento asfáltico.

A expressão anterior pode ser utilizada para a normalização dos valores da deflexão máxima para uma mesma temperatura, visando a divisão de trechos em segmentos homogêneos, visto que o levantamento de uma rodovia interia pode levar vários dias, sendo executados ensaios em uma ampla faixa de variação de temperatura.

O programa EVERCALC 5.0, que será utilizado neste trabalho, faz a correção do módulo em função da temperatura do revestimento asfáltico para uma temperatura padrão, escolhida pelo usuário, pela fórmula apresentada a seguir:

$$E_T = 10^{0,000147362 \cdot (T_s^2 - T^2)} \cdot E_{TS}$$
(47)

em que:

E_T = módulo do revestimento na temperatura de ensaio, T;

E_{TS} = módulo do revestimento asfáltico corrigido para a temperatura de referência;

T = temperatura de ensaio (°F);

T_S = temperatura de referência (°F).

2.3.3. Simplificações assumidas na hipótese de cálculo

Os procedimentos mais comuns de retroanálise assumem a carga como estática, os materiais elástico-lineares e o meio contínuo e homogêneo. Entretanto, na maioria das situações reais, os materiais usados em pavimentação não apresentam comportamento elástico-linear nem as cargas aplicadas pelo tráfego são estáticas. Esses aspectos ressaltam a necessidade do estudo e aplicação de técnicas que empreguem análise dinâmica e não-linear (Uzan, 1994).

Segundo Rocha Filho & Rodrigues (1996), o grau de não-linearidade do pavimento pode ser determinado executando-se dois ensaios simultâneos no mesmo ponto e aplicando-se diferentes magnitudes de cargas.

$$\begin{aligned}
 G_{nl} &= \frac{R_d}{R_q} - 1 \\
 R_d &= \frac{D_2}{D_1} \\
 R_q &= \frac{Q_2}{Q_1}
 \end{aligned}
 \tag{48}$$

em que:

G_{nl} = grau de não-linearidade do pavimento;

Q_1, Q_2 = cargas aplicadas nos ensaios;

D_1, D_2 = deflexões medidas nos ensaios.

Farias & Monteiro (1996) realizaram uma análise comparativa de modelos elásticos lineares e não-lineares aplicados à retroanálise de bacias de deflexões obtidas com F.W.D.. Segundo os autores, os resultados obtidos a partir do modelo não-linear apresentam uma maior adequação às bacias medidas em campo, embora também seja possível uma boa reprodução destas bacias com o modelo linear. Para o uso do modelo linear, recomendam que seus parâmetros devem ser encarados como valores médios representativos apenas para o nível de tensões aplicado na retroanálise.

Alguns programas de retroanálise, como o EVERCALC 5.0, têm capacidade para considerar a não-linearidade usando ensaios com diferentes cargas em um mesmo ponto, obtidas com diferentes alturas de queda dos pesos. As deflexões são normalizadas para a carga padrão escolhida pelo usuário. Entretanto, tal procedimento não tem sido utilizado devido à diminuição da produtividade e encarecimento dos levantamentos, ficando restrito aos meios científicos ou a casos especiais.

2.3.4. Módulos iniciais e limites

Os sistemas computacionais mostram uma grande sensibilidade no que diz respeito ao valor inicial (*seed moduli*) e à faixa de variação dos módulos resilientes das camadas, devido às características das formulações matemáticas embutidas nos métodos (Albernaz *et al.*, 1995).

Rada *et al.* (1994) propõem para a determinação desses valores, equações utilizadas pelo programa SHRP no seu programa de monitoração do desempenho de pavimentos a longo termo (LTPP).

Na Tabela 2.3, Santana & Gontijo (1989) sugerem valores para os materiais utilizados em pavimentação no Brasil:

Tabela 2.3 – Valores dos módulos resilientes dos materiais empregados em pavimentação no Brasil – Santana & Gontijo (1989)

Tipo de Material	E (kgf/cm ²)
Concreto Asfáltico (CBUQ)	20.000 a 50.000
Pré-misturado (PMQ ou PMF)	10.000 a 25.000
Bases granulares	3.000 a 6.000
Sub-base granulares	500 a 3.000
Subleito	100 a 2.000

2.3.5. Espessura das camadas

Outro aspecto que merece destaque é a importância do conhecimento da espessura real das camadas do pavimento. Infelizmente, a maioria dos órgãos responsáveis pelas rodovias no Brasil não possui dados de inventário confiáveis e, portanto, torna-se indispensável a abertura de furos de sondagens, que encarecem e atrasam a realização da avaliação estrutural.

Além disso, mesmo que o pavimento apresente uma seção uniforme e bem construída, podem ocorrer pequenas variações devido às tolerâncias na sua construção. Assim, apesar da estimativa correta das espessuras das camadas, os valores dos módulos obtidos por retroanálise podem apresentar erros devidos às variações de espessura (Jooste *et al.*, 1998).

Usualmente, as espessuras das camadas dos pavimentos são assumidas como constantes entre as seções onde são executadas sondagens. Entretanto, existem variações de espessura ao longo das seções. Estas variações produzirão dispersões nas deflexões que são indistinguíveis nas variações de cada módulo. Entretanto, tais variações podem ser significantes quando somadas na análise de todas as camadas (Ullidtz & Coetzee, 1999).

2.3.6. Programas de retroanálise

A Tabela 2.4, apresentada por Rada *et al.* (1991) citada por Ullidtz & Coetzee (1999), descreve as principais características dos programas mais comuns utilizados para retroanálise.

No Brasil, os engenheiros Régis Martins Rodrigues e Ernesto Simões Preussler desenvolveram um programa para retroanálise chamado RETROANA, baseado nas equações da teoria da elasticidade para um sistema de três camadas, resolvidas pelo método das camadas finitas (Pitta, 1998).

Coutinho (2000) apresenta um estudo da utilização de redes neurais para retroanálise de estruturas a partir de simulações executadas com o programa Elsym5 para deflexões medidas com F.W.D. e Viga Benkelman, para sistemas com duas, três e quatro camadas. Foi obtida uma boa correlação linear entre os módulos reais (calculados pelo Elsym5) e os previstos pelas redes neurais. Com os resultados obtidos, conclui-se que as RNAs são ferramentas potentes para serem utilizadas como procedimento de retroanálise para pavimentos flexíveis de duas, três e quatro camadas.

Tabela 2.4 – Programas de Retroanálise de Módulos de Resiliência (Rada *et al.*, 1991)

Programa	Autor	Método de Cálculo	Subrotina de Cálculo	Método de Retroanálise	Análise não-linear	Análise de camada rígida	Número máximo de camadas	Módulo Inicial	Valores Limites dos Módulos	Método de Convergência
BISDEF	USACE-WES	Elasticidade multicamadas	BISAR	Iterativo	Não	Sim	Menor que o número de geofones	Requerido	Requerido	Raiz Média Quadrática
BOUSDEF	ZHOU, et.al. OREGON STATE UNIV.	Odemark-Boussinesq	Odemark-Boussinesq	Iterativo	Sim	Sim	5	Requerido	Requerido	Soma dos erros (%)
CHEVDEF	USACE-WES	Elasticidade multicamadas	CHEVRON	Iterativo	Não	Sim	Menor que o número de geofones	Requerido	Requerido	Soma dos quadrados dos erros absolutos
ELMOD/ ELCON	P. ULLIDTZ DYNATEST	Odemark-Boussinesq	Odemark-Boussinesq	Iterativo	Sim (Subleito)	Sim (variável)	Até 4	Nenhum	Não	Erro relativo nos 5 sensores
ELSDEF	TEXAS TRANS. INSTITUTE USACE-WES	Elasticidade multicamadas	ELSYM5	Iterativo	Não	Sim	Menor que o número de geofones	Requerido	Requerido	Soma dos quadrados dos erros absolutos
EMOD	PCS/LAW	Elasticidade multicamadas	CHEVRON	Iterativo	Sim (Subleito)	Não	3	Requerido	Requerido	Soma dos quadrados dos erros absolutos
EVERCALC	J. MAHONEY, et.al.	Elasticidade multicamadas	WESLEA	Iterativo	Sim	Sim	3	Requerido / Gerado	Requerido	Raiz Média Quadrática
FPEDDI	W. UDDIN	Elasticidade multicamadas	BASINPT	Iterativo	Sim	Sim (variável)	-	Gerado Internamente	-	-
ISSEM4	R. STUBSTAD	Elasticidade multicamadas	ELSYM5	Iterativo	Sim	Não	4	Requerido	Requerido	Erro relativo nos sensores
MODCOMP3	L. IRWIN, SZEKENYI	Elasticidade multicamadas	CHEVRON	Iterativo	Sim	Sim	2 a 15 camadas (5 desconhecidas)	Requerido	Requerido	Erro relativo nos sensores
MODULUS	TEXAS TRANS. INSTITUTE	Elasticidade multicamadas	WESLEA	Base de dados	Não	Sim (variável)	4	Requerido	Requerido	Raiz Média Quadrática
PADAL	S.F. BROWN, et. al.	Elasticidade multicamadas	Desconhecido	Iterativo	Sim (Subleito)	-	-	Requerido	-	Raiz Média Quadrática
WESDEF	USACE-WES	Elasticidade multicamadas	WESLEA	Iterativo	Não	Sim	5	Requerido	Requerido	Raiz Média Quadrática
MICHBACK	MICHIGAN STATE	Elasticidade multicamadas	CHEVRON-X	Iterativo	Não	Sim	4	Requerido	Opcional	Raiz Média Quadrática

2.4. Dimensionamento de Reforço

Dá-se o nome de reforço do pavimento à camada que é adicionada à estrutura existente para corrigir defeitos de origem tanto estrutural quanto funcional, constituída por materiais asfálticos ou por concreto de cimento portland (“*Whitetopping*”), com ou sem fresagem do revestimento original.

Esta pesquisa irá tratar apenas do reforço estrutural de pavimentos flexíveis com revestimento asfáltico, sem a consideração da fresagem. Pinto & Preussler (2001) classificaram os métodos de dimensionamento de reforço utilizados no Brasil da seguinte forma:

- Métodos com Abordagem Empírica:
 - Análise Deflectométrica
 - DNER-PRO 10/79 – Método A
 - DNER-PRO 11/79 – Método B
 - Análise da Deficiência Estrutural e Funcional
 - DNER-PRO 159/85
- Método com Abordagem Empírico-mecanística
 - DNER-PRO 269/94

Os métodos empíricos baseados em análises deflectométricas admitem uma relação entre a vida restante do pavimento e a deflexão recuperável máxima. Esta é usada como a única variável responsável pela caracterização das propriedades de toda a estrutura do pavimento. A espessura de reforço a ser dimensionada deve ser tal que reduza os valores da deflexão sobre a camada final.

Os métodos que se utilizam das análises estruturais geralmente adotam o conceito de número estrutural ou de espessura equivalente do pavimento para a caracterização da estrutura. A espessura de reforço é determinada comparando-se a espessura total necessária para o atendimento das imposições do tráfego de projeto com a espessura equivalente ou efetiva do pavimento em serviço, pela expressão:

$$h_e = \sum_{i=1}^n h_i \cdot c_i \quad (49)$$

em que:

h_e = espessura total efetiva;

h_i = espessura efetiva de cada camada;

c_i = fator de conversão (Tabela 2.4).

A Tabela 2.5 apresenta os valores usuais para a conversão da espessura de diferentes materiais para sua espessura equivalente em concreto asfáltico.

**Tabela 2.5 – Fatores de conversão para determinação da espessura efetiva
Pinto & Preussler (2001)**

Classificação do Material	Descrição do Material	Fator de Conversão
I	Subleito natural ou melhorado	0,0
II	Base ou sub-base granular (CBR > 20)	0,1 – 0,2
III	Bases ou sub-bases estabilizadas quimicamente (solo-cimento ou solo-cal)	0,2 – 0,3
IV	Revestimentos ou bases estabilizadas bastante deterioradas	0,3 – 0,5
V	Revestimentos ou bases estabilizadas razoavelmente trincadas	0,5 – 0,7
VI	Revestimentos ou bases estabilizadas pouco trincadas	0,7 – 0,9
VII	Revestimento de concreto asfáltico sem trincamento e pouco deformado	0,9 – 1,0

O desenvolvimento de métodos de dimensionamento de reforço baseados em critérios e análises mecânicas teve seu início no Brasil na década de 80, com os estudos de Preussler (1983) sobre a deformação resiliente de pavimentos flexíveis, em conjunto com as novas técnicas de ensaios, o desenvolvimento de ferramentas computacionais e de equipamentos para avaliações deflectométricas.

Suzuki *et al.* (1998), baseados nos estudos de Souza (1995), sugerem um procedimento de cálculo de espessura de reforço baseado nos valores do quociente entre o Raio de Curvatura de bacias de deflexão e a Deflexão Máxima Reversível (R/D), para bacias determinadas com a Viga Benkelman. Segundo os autores, a espessura de reforço pode ser determinada pela expressão a seguir:

$$h_{rec} = 0,3513.(R/D)_{campo}^{-0,169}.N^{0,2217} \quad (50)$$

em que:

- h_{rec} = espessura de reforço (cm);
- R = raio de curvatura da bacia de deflexões (m);
- D = deflexão máxima (0,01 mm);
- N = vida de projeto (operações do eixo padrão de 8,2 t).

A seguir, é apresentada uma síntese de cada método de dimensionamento de reforço aqui abordado, todos eles normalizados pelo DNER.

2.4.1. DNER-PRO 10/79

O procedimento A, normalizado pelo DNER, foi elaborado pelo Professor Armando Martins Pereira, sendo derivado de estudos desenvolvidos nas décadas de 50 e 60 no Estado da Califórnia.

Este método apresenta um nomograma para a determinação da deflexão admissível para a carga por eixo de 6,8 t. No Brasil, as deflexões obtidas para a carga por eixo padrão de 8,2 t devem ser corrigidas por um fator de 0,7 (adotado pelo DNER).

O tráfego é considerado através do Índice de Tráfego, que é dado pela fórmula:

$$\log IT = 0,127 \log N + 0,166 \quad (51)$$

em que:

IT = Índice de Tráfego

N = Número de operações do eixo padrão (8,2 t) ao longo do período de projeto

Pinto & Preussler (2001) apresentam duas equações que representam o nomograma pelo qual se determina a deflexão admissível::

$$D_{adm} = 2.305 N^{-0,175} \cdot H_{CA}^{-0,65} \quad (52)$$

$$\log N = 7,874 \log IT - 1,307 \quad (53)$$

em que:

H_{CA} = espessura do revestimento, em cm.

A condição de fissuramento do pavimento é utilizada para a redução da espessura real do pavimento em uma espessura equivalente e para a consideração da camada de reforço trabalhando, quanto à flexibilidade, independentemente ou de forma solidária ao pavimento existente. Estas considerações irão influir na espessura mínima de reforço. Determinada a

deflexão admissível, D_{adm} , a espessura final do reforço, h_R , é determinada também por meio de um nomograma.

Como esta norma está em desuso atualmente, tanto por pesquisadores quanto por organismos rodoviários, os detalhes da utilização deste método não serão abordados neste trabalho.

2.4.2. DNER PRO-11/79

O procedimento B do DNER para o dimensionamento de reforço é baseado nos estudos de Ruiz (1964) e foi elaborado por Francisco Lobo Carneiro.

Segundo este método, a espessura do reforço é proporcional ao logaritmo da relação deflexão de projeto, obtida considerando-se apenas o valor máximo da bacia de deflexão medida em campo, sobre deflexão admissível, conforme a equação abaixo:

$$h = k \cdot \log \left(\frac{D_p}{D_{adm}} \right) \quad (54)$$

em que:

h : espessura do reforço (cm);

D_p : deflexão de projeto (0,01 mm);

D_{adm} : deflexão admissível (0,01 mm);

k : constante dependendo da natureza do material de reforço, sendo adotado o valor de 40 para concreto asfáltico.

A deflexão admissível, por sua vez é , obtida por uma fórmula empírica dependente apenas do volume de tráfego de projeto:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \cdot \log N \quad (55)$$

Segundo o método, para a avaliação estrutural baseada na deflexão admissível, pavimentos com base composta por materiais granulares e revestimento em tratamentos superficiais devem ter o valor da deflexão admissível multiplicada por dois, enquanto que para pavimentos semi-rígidos, este valor deve ser a metade do valor calculado pela expressão anterior.

2.4.3. DNER PRO-159/85

A norma DNER-PRO 159/85 é baseada nos resultados da Pesquisa sobre o Inter-relacionamento dos Custos Rodoviários (PICR), financiada pelo governo brasileiro e pelo Banco Mundial e desenvolvida de 1975 a 1980 (GEIPOT, 1981), que estabelece fórmulas para a previsão da evolução da irregularidade longitudinal, do desgaste e das trincas por fadiga do revestimento. Tem como pontos fracos os baixos coeficientes de determinação dos modelos de desempenho, alguns com coeficientes de determinação (R^2) inferiores a 0,4, que devem, portanto, ser usados com muitas restrições até mesmo nas análises da gerência em nível de rede.

A capacidade estrutural do pavimento é considerada pelo Número Estrutural Corrigido (SNC), dado pela equação:

$$SNC = SN + 3,51 \cdot \log CBR - 0,85(\log CBR)^2 - 1,43 \quad (56)$$

Um estudo realizado por Fabrício *et al.* (2001) demonstrou que as equações propostas por esta norma podem estimar com razoável confiabilidade a evolução do trincamento e da irregularidade tanto de um

pavimento existente quanto de um pavimento restaurado com CBUQ, proporcionando uma boa estimativa para o cálculo da vida restante de pavimentos.

Pinto & Preussler (2001) apresentam um modelo que representa o cálculo da espessura de reforço:

$$H = 634,55 \left(1 - \frac{\ell \eta \bar{D}}{\ell \eta D_p} \right)^{2,41} \quad (57)$$

em que:

H: espessura da camada de reforço (cm);

D_p : deflexão de campo antes do reforço (0,01 mm);

D_{adm} : deflexão admissível após o reforço (0,01 mm);

2.4.4. DNER PRO-269/94

A Norma DNER-PRO 269/94 foi baseada nos estudos do Eng. Ernesto Simões Preussler (Preussler, 1983) sobre deformações resilientes em pavimentos flexíveis.

Segundo esta norma, a espessura efetiva do revestimento asfáltico é relacionada com a deflexão característica medida em campo, segundo a expressão:

$$hef = -5,737 + \frac{807,961}{D_c} + 0,972I_1 + 4,101I_2 \quad (58)$$

em que:

h_{ef} = espessura efetiva do revestimento asfáltico (cm);

I_1, I_2 = constantes relacionadas às características resilientes do subleito;

D_c = deflexão característica (0,01 mm).

A deflexão máxima admissível de projeto é dada por:

$$\log D_{\max} = 3,148 - 0,188 \log N_p \quad (59)$$

em que:

$D_{\max}$: deflexão máxima admissível (0,01 mm);

N_p : Número de operações do eixo padrão (8,2 t) ao longo do período de projeto

A espessura do reforço em concreto asfáltico é calculada por:

$$HR = -19,015 + \frac{238,14}{\sqrt{D_{\max}}} - 1,357.h_{ef} + 1,016.I_1 + 3,893.I_2 \quad (60)$$

em que:

HR = espessura da camada de reforço em concreto asfáltico (cm)

Um estudo realizado por Santana & Gontijo (1989) mostra a comparação entre os resultados obtidos com os métodos DNER PRO-10/79, DNER PRO-11/79 e DNER PRO-159/85 em rodovias dos Estados de Ceará e Goiás, conforme a Tabela 2.6.

Os valores apresentados na Tabela 2.6 servem para demonstrar as diferenças entre as teorias embutidas em cada método de dimensionamento de reforço. É importante ressaltar que a grande diferença apresentada vale somente para aquelas condições de dimensionamento.

Tabela 2.6 – Resultados de dimensionamento de reforço – Santana & Gontijo (1989)

Espessura do reforço (cm)			
Rodovia	PRO 10/79	PRO 11/79	PRO 159/85
BR-222 – CE	R – 5,0 (CA) B – 11,9 (PMQ)	R – 2,7 (CA)	R – 6,0 (CA)
BR-222 – CE	R – 14,0 (CA) B – 13,4 (PMQ)	R – 9,3 (CA)	R – 7,0 (CA)
BR-222 – CE	Rejuvenescimento	R – 1,1 (CA)	R – 13,5 (CA)
GO-170	R – 5,0 (CA) B – 10,0 (PMQ)	R – 15,0 (CA)	R – 8,0 (CA)
GO-170	R – 5,0 (CA) B – 9,0 (PMQ)	R – 11,5 (CA)	R – 7,0 (CA)
GO-170	Rejuvenescimento	R – 12,0 (CA)	R – 7,0 (CA)

R – Reforço
CA – Concreto Asfáltico

B – Binder
PMQ – Pré Misturado a Quente

Monteiro *et al.* (1996) também realizaram uma comparação entre os métodos para um trecho da rodovia DF-003 em Brasília/DF e obtiveram resultados também diferentes, embora não tão dispersos, apresentados na Tabela 2.7:

Tabela 2.7 – Resultados de dimensionamento de reforço – Monteiro *et al.* (1989)

Espessura do reforço (cm)		
PRO 10/79	PRO 11/79	PRO 159/85
R – 5,5 (CBUQ) B – 4,0	R – 4,5 (CBUQ)	R – 5,5 (CBUQ)

R – Reforço
B – Binder
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

2.5. Dimensionamento Mecanístico

De acordo com o apresentado nos itens anteriores, um pavimento bem dimensionado deve atender a duas condições limitantes (Figura 2.18):

- Ruptura por fadiga do revestimento asfáltico, provocada pela repetição de esforços de tração horizontal, gerados na flexão da porção inferior do revestimento;
- Ruptura por acúmulo de deformação permanente excessiva, provocada pela repetição de esforços de compressão verticais nas camadas inferiores.

Figura 2.18 – Respostas estruturais críticas consideradas no dimensionamento mecânico (WSDOT, 1995)

Em pavimentos semi-rígidos ou invertidos também ocorre o efeito de fadiga nas camadas cimentadas, sejam elas compostas por solo-cimento ou por britas tratadas com cimento.

Os modelos de previsão dos esforços limites a serem respeitados no dimensionamento da camada de reforço estrutural são abordados a seguir.

2.5.1. Fadiga do revestimento betuminoso

O processo de fadiga consiste na deterioração estrutural que sofre um material quando submetido à repetição de um estado de tensões e

deformações, que podem ser muito menores que a resistência última do material. Após determinado número de solicitações, começam a surgir trincas, que podem evoluir e levar o material à ruptura.

Em pavimentos asfálticos, o aparecimento de trincas por fadiga no revestimento está relacionado à deformação horizontal de tração na parte inferior da camada de rolamento. As curvas de fadiga de misturas asfálticas relacionam o número de solicitações de carregamento com a deformação horizontal de tração, sendo obtidas de ensaios em pistas de simulação de tráfego ou em laboratório:

$$N = k_1 \left(\frac{1}{\epsilon_t} \right)^{n_1} \quad (61)$$

em que:

N = número de solicitações de carga do eixo-padrão rodoviário;

ϵ_t = deformação horizontal inicial de tração;

k_1, n_1 = parâmetros experimentais.

Os pesquisadores da Shell (1978), apresentam uma variação no formato da expressão apresentada anteriormente, sendo acrescentada uma variável que leva em consideração o módulo dinâmico do revestimento asfáltico:

$$N_f = 0,0685 \cdot [(\epsilon_t)^{-5,671} \cdot E^{-2,363}] \quad (62)$$

em que:

E = módulo dinâmico da mistura asfáltica, expresso em psi;

O mesmo modelo é utilizado pelo Instituto do Asfalto dos Estados Unidos. A equação de fadiga adotada na nona edição do Manual MS-1 (1982) é apresentada da seguinte forma:

$$N_f = f_0.C.[4,325 \times 10^{-3} . (\epsilon_t)^{-3,291} . E^{-0,854}] \quad (63)$$

em que:

E = módulo dinâmico da mistura asfáltica, expresso em psi;

f_0 = fator campo-laboratório;

C = fator concebido para estender o campo de aplicação desta expressão a misturas com diferentes porcentagens de vazios e de betume, dada por:

$$C = 10^M$$

em que:

$$M = 4,84 \left[\frac{\%V_{be}}{(\%V_v + \%V_{be})} - 0,69 \right]$$

e:

$\%V_{be}$ = volume efetivo de betume;

$\%V_v$ = volume de vazios.

Pinto & Preussler (2001) sugerem, para concretos asfálticos bem projetados, $V_b=11,0\%$ e $V_v=4,0\%$, resultando em $M=0,21$ e $C=1,622$.

Em seu estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas, Pinto (1991) apresenta um modelo de previsão de fadiga que relaciona a vida de fadiga à deformação de tração e ao módulo de resiliência da mistura asfáltica:

$$N = 9,07 \times 10^{-9} \left(\frac{1}{\epsilon_i} \right)^{2,65} \left(\frac{1}{MR} \right)^{-0,033} \quad (64)$$

em que:

MR = módulo de resiliência da mistura asfáltica (kgf/cm²);

Os valores típicos de k_1 e n_1 para misturas asfálticas produzidas no Brasil são apresentados por Pinto & Motta (1995) na Tabela 2.8, obtidos dos trabalhos de Pinto (1991) para diferentes situações de carregamento:

Tabela 2.8 – Curvas de fadiga de misturas asfálticas– Pinto & Motta (1995)

Situação de Carregamento	K_1	n_1
Tensão Controlada	$1,0 \times 10^{-11}$	4,07
Deformação Controlada	$6,64 \times 10^{-7}$	2,93
Intermediário	$2,66 \times 10^{-9}$	3,50

A previsão do módulo do revestimento pode ser feita com a utilização do modelo desenvolvido por Fonseca (1995) e citado por Tonial (2001), para a previsão do módulo dinâmico (E) de misturas betuminosas, apresentado a seguir:

$$\log E = D + \frac{A}{1 + e^{(-0,716 \log f - 0,7425 \log \eta)}} \quad (65)$$

$$A = 1,87 + 0,002808p_4 + 0,0000404p_{38} - 0,0001786(p_{38})^2 + 0,0164p_{34}$$

$$D = -0,261 + 0,008225p_{200} - 0,00000101(p_{200})^2 + 0,00196p_4 - 0,03157V_v - 0,415V_{be} / (V_{be} + V_v)$$

em que:

E = módulo dinâmico da mistura asfáltica ($\times 10^5$ psi);

f = frequência de aplicação de carga (Hz);

η = viscosidade ($\times 10^6$ poise);

V_v = porcentagem de vazios na mistura asfáltica;

V_{be} = porcentagem efetiva de betume na mistura asfáltica;

p_{38} = porcentagem de agregado retido na peneira 3/4”;

p_{34} = porcentagem de agregado retido na peneira 3/8”;

p_4 = porcentagem de agregado retido na peneira N° 4;

p_{200} = porcentagem de agregado passante na peneira #200;

Segundo Franco (2000), é razoável a adoção de módulo elástico do revestimento como igual ao módulo dinâmico.

Os modelos aqui apresentados consideram que o módulo do revestimento asfáltico irá permanecer inalterado ao longo de sua vida útil. Entretanto, com o passar do tempo, devido à exposição ao ar e às diferenças de temperatura, o ligante asfáltico (CAP) passa a sofrer oxidação, tendo suas características químicas e reológicas alteradas, modificando também as características da camada asfáltica. Tonial *et. al*, (2001) realizaram estudo considerando o envelhecimento das misturas asfálticas e sua influência na vida de fadiga. Este envelhecimento altera as características mecânicas do revestimento com o tempo, devendo ser considerado nos projetos de dimensionamento de reforço.

2.5.2 Fator campo-laboratório

As curvas de fadiga obtidas em laboratório necessitam de calibração com os dados obtidos em campo, pois os ensaios assumem várias simplificações, como carga uniforme e tempo de carga determinados, e além disso não consideram diversos fatores, como variação da temperatura ao longo do dia, oxidação do revestimento asfáltico e distribuição transversal do tráfego entre outros.

Pinto (1991) propõe um modelo analítico-empírico, para a calibração da equação de fadiga a partir de dados experimentais de campo, pela determinação do fator f_0 , na equação:

$$N_c = f_0 N_{lab} \quad (66)$$

em que:

N_c = número real de operações do eixo padrão necessário para que o revestimento atinja uma determinada porcentagem de área trincada;

f_0 = fator de ajustamento laboratório-campo;

N_{lab} = número de ciclos de carga necessário para a ruptura do corpo de prova submetido à determinado nível de tensão

Os valores de f_0 , de acordo com as temperaturas de execução de ensaio de 25° C e 54° C, podem ser determinados por:

$$f_0 = 1,765 \times 10^4 e^{0,0610TR} \quad (25^\circ \text{ C}) \quad (67)$$

$$f_0 = 2,134 \times 10^5 e^{0,0635TR} \quad (54^\circ \text{ C}) \quad (68)$$

em que:

TR: trincamento admissível para o revestimento (%)

Souza (2000) propôs um valor para o fator campo-laboratório através de uma calibração entre os custos de construção e conservação de pavimentos. Segundo este estudo, para as equações de fadiga propostas por Pinto (1991), este valor seria $f_0 = 10^4$.

Para o modelo do Instituto do Asfalto e da Shell, os estudos conduzidos por Long *et al.* (1996) com a utilização de simuladores de tráfegos sugerem o valor de $f_0 = 13,0$ para a determinação da vida útil de fadiga em campo para a equação da Shell e $f_0 = 18,4$ para a equação do Instituto do Asfalto.

No gráfico exibido na Figura 2.19 é apresentado um comparativo entre as curvas de cada modelo descrito anteriormente com o fator de campo-laboratório igual a 10^4 para a curva de Pinto (1991) e de 18,4 para a curva do Instituto do Asfalto e para o módulo de resiliência da mistura de 35.000 kgf/cm².

Figura 2.19 – Comparativo entre curvas de fadiga em misturas betuminosas

2.5.3. Fadiga de bases cimentadas

Para bases cimentadas, a vida de fadiga pode ser expressa em função da deformação de tração no inferior da camada, através de modelos do tipo:

$$\varepsilon_t = a + b \cdot \log N \quad (69)$$

Franco (2001) adotou os coeficientes $a = 2,0 \times 10^{-4}$ e $b = -2,0 \times 10^{-5}$ para a expressão anterior e apresenta mais dois modelos desenvolvidos pela USACE, o log-log e o semi-log, apresentados na sequência:

$$N_f = \left(\frac{142}{\varepsilon_t} \right)^{20,3} \quad (70)$$

$$N_f = 10^{(9,110 - 0,0578 \cdot \varepsilon_t)} \quad (71)$$

em que:

ε_t = deformação horizontal tração no fundo da camada cimentada ($\times 10^{-6}$);

Pinto & Preussler (2001) apresentam modelos dependentes do tipo de amostra ensaiada, obtidos dos estudos de Ceratti (1991) com solos do Rio Grande do Sul e São Paulo, sendo o primeiro para amostras cilíndricas do tipo Marshall e o segundo para amostras em vigota:

$$\varepsilon_t = 6,10 \times 10^{-4} - 2,0 \times 10^{-5} \log N_f \quad (72)$$

$$\varepsilon_t = 1,50 \times 10^{-4} - 1,5 \times 10^{-5} \log N_f \quad (73)$$

2.5.4. Deformação permanente

As deformações permanentes em pavimentos aparecem sob a forma de depressões longitudinais nas trilhas de roda e desenvolvem-se conforme o aumento do número de solicitações das cargas de roda. Nos últimos anos, o desenvolvimento de deformações permanentes e sua severidade têm aumentado devido ao acréscimo no volume tráfego, cargas por eixo e pressão dos pneus.

A causa das deformações permanentes é a ação combinada da densificação e deformação por cisalhamento dos materiais. Coelho (1996) apresenta modelos para a previsão das deformações permanentes que contemplam a deformação ocorrida nas camadas superiores, através das deformações ocorridas em camadas asfálticas, da limitação das tensões

verticais no subleito, da utilização de equações de natureza estatística e da análise viscoelástica das camadas.

Os resultados obtidos pelo AASHO Road Test (HRB, 1962) mostraram que o subleito era responsável por apenas 9 % do total das deformações permanentes medidas na superfície do pavimento, enquanto a capa asfáltica, base e sub-base eram responsáveis por 32 %, 14 % e 45 %, respectivamente (Ali *et al.*, 1998).

Franco (2000) apresenta diversos modelos para a previsão da deformação permanente em cada camada, relacionando a deformação resiliente e a deformação permanente, a partir de dados obtidos em laboratório, através de ensaios triaxiais de cargas repetidas.

Estudos realizados para solos brasileiros apontam para baixos valores de deformação permanente acumulada (Guimarães, 2001). Portanto, a utilização de modelos de previsão importados, sem a sua adaptação às condições dos solos tropicais utilizados em pavimentação no Brasil, pode levar ao superdimensionamento da estrutura.

De maneira simplificada, a deformação permanente pode ser controlada pela limitação da deformação vertical de compressão no topo da camada do subleito. O valor limite é determinado em função do volume de tráfego de projeto, através de expressões análogas às curvas de fadiga do revestimento, como apresentado por Bayomy *et al.* (1996), cujos valores dos parâmetros utilizados por diferentes agências rodoviárias são visualizados na tabela 2.9:

$$N = k_2 \left(\frac{1}{\epsilon_{vs}} \right)^{n_2} \quad (74)$$

em que:

N = número de solicitações de carga do eixo padrão necessário para se atingir uma deformação limite;

ε_{vs} = deformação vertical de compressão no topo do subleito;

k_2, n_2 = parâmetros experimentais,

Tabela 2.9 – Valores dos parâmetros experimentais das curvas de deformação permanente - Bayomy *et al.* (1996)

Fonte	k_2	n_2
Transport & Road Research Laboratory	$1,130 \times 10^{-6}$	3,570
Belgian Road Research Center	$3,050 \times 10^{-9}$	4,350
USACE	$1,807 \times 10^{-15}$	6,527
Instituto do Asfalto	$1,365 \times 10^{-9}$	4,447
Shell Oil	$2,227 \times 10^{-9}$	4,505
CHEVRON	$1,337 \times 10^{-9}$	4,484

Motta (1991) apresenta o modelo citado por desenvolvido por Heukelom e Klomp (1962), que estima a tensão vertical admissível, considerando o módulo resiliente do subleito:

$$\sigma_{adm} = \frac{0,006.M_R}{1 + 0,7.\log N} \quad (75)$$

em que:

σ_{adm} : tensão vertical admissível no topo do subleito (kgf/cm^2);

N : número de aplicações de carga;

M_R : módulo resiliente do subleito (kgf/cm^2).

No gráfico exibido na Figura 2.20 é apresentado um comparativo entre as curvas dos modelos do Instituto do Asfalto e da Shell.

Figura 2.20 – Comparativo entre curvas de previsão de deformação permanente

2.5.5. Espessura de Reforço

Com os dados relativos ao tráfego traduzidos em número de operações do eixo padrão, obtém-se os valores limites para os dois critérios de ruptura: os esforços de tração horizontal, representado pela deformação horizontal de tração na parte inferior da camada do revestimento, ϵ_{ht} , obtida pelas curvas de fadiga de materiais betuminosos citadas anteriormente; e os esforços de compressão vertical, representados pela deformação vertical de compressão no topo da camada do subleito, ϵ_{vs} , obtida pelas equações de deformação permanente apresentadas.

Com os resultados da retroanálise, os valores das deformações críticas podem ser determinados com a utilização dos mesmos programas utilizados anteriormente para a retroanálise (baseados no mesmo algoritmo de cálculo, ou que apresentem resultados compatíveis).

Desse modo, de acordo com o tipo do material a ser utilizado na construção, a camada de reforço deve ter espessura tal que lhe permita, ao mesmo tempo, suportar os esforços de tração e diluir os esforços verticais de compressão de forma a garantir que a parcela remanescente, que atingir o pavimento antigo e o solo de fundação, seja compatível com a carga suportável pelos mesmos.

Um fato importante a ser considerado é que, conforme o estado de trincamento do pavimento existente, a camada asfáltica existente pode trabalhar isoladamente ou em conjunto com a nova camada aplicada. Assim, a deformação horizontal de tração limite pode ocorrer tanto na camada existente quanto na camada de reforço. A Figura 2.21 mostra a variação das deformações horizontais na parte inferior da camada de reforço e da camada existente e da deformação vertical no topo do subleito de um pavimento, calculados com o programa computacional ELSYM5, para o pavimento apresentado na Figura 2.22.

Figura 2.21 – Variação das deformações críticas com a espessura da camada de reforço

Figura 2.22 – Estrutura do Pavimento usado na simulação com o ELSYM5

CAPÍTULO 3 – PROGRAMAS COMPUTACIONAIS E COLETA DE DADOS

3 – PROGRAMAS COMPUTACIONAIS E COLETA DE DADOS

3.1. Introdução

Neste capítulo são apresentados os programas computacionais utilizados neste trabalho para a retroanálise dos módulos e para o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos.

São também descritos os trechos rodoviários objetos desta pesquisa, com seus dados de deflexões recuperáveis e das estruturas determinadas por sondagem do pavimento.

É feito o tratamento dos dados colhidos em campo para a utilização nos métodos que serão utilizados no dimensionamento. Cada trecho foi dividido em segmentos homogêneos, conforme o método das diferenças acumuladas, sendo realizado o cálculo estatístico para cada segmento.

3.2. Programas Computacionais

Foram escolhidos dois programas para a utilização nesta pesquisa. Para a execução da retroanálise dos módulos resilientes foi escolhido o programa EVERCALC 5.0 e para o cálculo das tensões, deformações e deslocamentos, foi utilizado o programa ELSYM5. As principais razões da escolha destes programas foram:

- Compatibilidade com dados deflectométricos obtidos com F.W.D.;
- Ampla aceitação de seus resultados no meio rodoviário.
- Método de cálculo compatível com as pretensões do trabalho;
- Facilidade de obtenção dos programas;
- Compatibilidade de resultados entre os dois;
- Facilidade na utilização;

3.2.1. Programa EVERCALC 5.0

O programa EVERCALC – *Pavement Backcalculation Program* foi desenvolvido pelo Departamento de Transportes do Estado de Washington por estudos de Sivaneswaran *et al.* (1991). Este programa realiza a retroanálise de modo iterativo, ajustando os módulos das camadas até que a bacia de deflexão calculada pelo programa seja compatível com a bacia medida em campo. Tem por base o programa WESLEA, desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE) e que considera os materiais das camadas como elástico-lineares, homogêneos e isotrópicos, com comprimento infinito no sentido horizontal.

Para a minimização dos erros é utilizado um algoritmo de Gauss-Newton modificado. Este algoritmo executa a convergência dos valores dos módulos de resiliência rapidamente, com um número pequeno de acesso ao programa mecanístico, WESLEA (WSDOT, 1995).

A verificação do erro é executada pelo método das Raízes Médias Quadráticas (RMS), tomadas em relação às deformações elásticas medidas em campo e as calculadas pelo programa. Pode-se ainda determinar valores de peso para cada um dos sensores. A verificação do erro também é feita para a

diferença entre os módulos calculados para sucessivas iterações. As equações de minimização de erro são apresentadas a seguir.

Erro calculado entre as deflexões medidas e calculadas:

$$\text{RMS} = 100 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(d_{ci} - d_{mi})}{d_{mi}} \right]^2} \quad (\%) \quad (75)$$

em que:

d_c = deflexão calculada;

d_m = deflexão medida;

i = número de sensores.

Erro relativo entre módulos calculados em duas iterações consecutivas:

$$\varepsilon_m = \frac{(E_{(k+1)i} - E_{ki})100}{E_{ki}} \quad (\%) \quad (76)$$

em que:

k = iteração em cálculo;

i = número da camada;

m = número de camadas com módulo desconhecido.

Os dados de entrada para a realização da retroanálise a partir de dados obtidos diretamente do F.W.D. são:

- Número de camadas: O número máximo de camadas, incluindo a camada rígida, se considerada, é de cinco;
- Espessura das camadas;
- Número de sensores: máximo de dez;
- Unidades: Sistema Internacional ou Imperial;

- Camada Rígida: o programa pode considerar a existência de camada rígida sob o subleito. A profundidade da camada rígida é estimada pelo procedimento desenvolvido por Rhode & Scullion (1990);
- Correção de Temperatura: pode-se optar pela correção dos módulos do revestimento asfáltico para uma temperatura de referência, adotada pelo usuário, conforme apresentado no Capítulo 2;
- Modo de Correção da Temperatura: pode ser escolhido o modo direto, com a consideração da temperatura medida na superfície do pavimento quando do ensaio ou o uso do método preconizado por Southgate (1968), que calcula a temperatura do pavimento a partir de dados da temperatura média do ar para 5 dias;
- Raio da Placa de Carga: os ensaios com FWD podem ser realizados com placas com 30 ou de 45 cm de diâmetro;
- Módulos Iniciais: podem ser determinados pelo usuário ou podem, para sistemas com três camadas, ser calculados internamente pelo programas por meio de equações de regressão linear desenvolvidas por Newcomb (1986);
- Propriedades das camadas:
 - Coeficiente de Poisson,
 - Módulo conhecido (fixo) ou desconhecido (a ser retroanalisado),
 - Limites dos módulos: faixa de variação dos valores modulares para cada camada.

Os dados deflectométricos são importados diretamente dos arquivos obtidos do levantamento com F.W.D., desde que estejam no formato *FWD Dynatest Field Program, Edition 20*. Pode-se também criar arquivos com bacias de deflexão, para o caso de retroanálise de bacias médias calculadas para segmentos homogêneos.

A retroanálise pode ser executada de modo automático ponto a ponto, ou seja, para cada ensaio procede-se um cálculo dos módulos das camadas. Neste trabalho foram retroanalisadas somente as bacias características determinadas para cada segmento homogêneo.

A seguir são apresentadas algumas telas do programa:

Figura 3.1 – Tela do programa EVERCALC exibindo as bacias de deflexão medidas e calculadas após a finalização da retroanálise de uma bacia de deflexões.

<i>BACKCALCULATION by Evercalc® 5.0 - Detail Output</i>							
Station: 2	No of Drops: 1			Average RMS Error(%): 4.87			
Thickness (cm): 10.00 20.00 32.00 239.39				Pavement Temperature (C): N/A			
Drop No: 1	Load (N): 39400.0			No of Iterations: 5			
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied				RMS Error (%): 4.87			
Sensor No:	1	2	3	4	5	6	7
Measured Deflections (microns):	463.600	334.400	249.500	162.400	99.700	63.250	46.900
Calculated Deflection (microns):	471.443	328.909	245.076	162.022	103.812	67.452	42.295
Difference (%):	-1.69	1.64	1.77	.23	-4.12	-6.64	9.82
Layer No:	1	2	3	4	5		
Seed Moduli (MPa):	5928.46	203.60	250.00	76.62	2000.00		
Calculated Moduli (MPa):	2940.33	137.28	250.00	97.33	2000.00		
Layer No:		1	2	3			
Radial Distance (cm):		.00	.00	.00			
Position:		Bottom	Middle	Top			
Vertical Stress (kPa):		-216.30	-146.47	-100.27			
Radial Stress (kPa):		1287.64	-20.28	-6.25			
Bulk Stress (kPa):		2358.99	-187.04	-112.78			
Deviator Stress (kPa):		-1503.94	-126.19	-94.02			
Vertical Strain (10 ⁻⁶):		-292.53	-963.50	-383.58			
Radial Strain (10 ⁻⁶):		346.83	277.38	124.12			

Figura 3.2 – Tela do programa EVERCALC exibindo os resultados finais da retroanálise de uma bacia de deflexões.

<i>BACKCALCULATION by Evercalc® 5.0 - Summary Output</i>							
Route: PR280m.fwd Teste on 21/12/94							
Plate Radius (cm): 15.0				No of Layers: 5			
No of Sensors: 7				Stiff Layer: Yes			
Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 65.0 90.0 120.0				P-Ratio: .250 .350 .350 .450 .200			
Station	Load (N)	E(1)(MPa)	E(2)(MPa)	E(3)(MPa)	E(4)(MPa)	E(5)(MPa)	RMS Error
1	Thickness (cm)	10.00	20.00	30.00	177.69	-	-
1	39400.0	5928.5	203.6	250.0	76.6	2000.0	5.62
2	Thickness (cm)	10.00	20.00	32.00	239.39	-	-
2	39400.0	2940.3	137.3	250.0	97.3	2000.0	4.87
3	Thickness (cm)	10.00	20.00	36.00	189.16	-	-
3	39200.0	4825.2	202.6	250.0	85.5	2000.0	4.84
4	Thickness (cm)	10.00	20.00	36.00	194.04	-	-
4	39000.0	3022.2	153.0	250.0	86.1	2000.0	3.65
5	Thickness (cm)	10.00	20.00	36.00	216.46	-	-
5	39200.0	3975.2	200.2	250.0	95.4	2000.0	4.59

Figura 3.3 – Tela do programa EVERCALC exibindo o resumo da retroanálise de várias bacias de deflexões.

```

Finished Drop No 1 of 1 drops at Station 1      at 23: 40: 9
Starting Drop No 1 of 1 drops at Station 2      at 23: 40: 9
Seed Moduli:   10011.   77.   250.   188.
Percent RMS Relative Error at the Start of Backanalysis = 11.10
Current Moduli: 3335.   243.   50.   177.
Percent RMS Relative Error at the End of Iteration 1 = 26.91
Current Moduli: 7263.   71.   241.   187.
Percent RMS Relative Error at the End of Iteration 1 = 5.86
Current Moduli: 4349.  101.   179.  180.
Percent RMS Relative Error at the End of Iteration 2 = 1.84
Current Moduli: 3972.  107.   173.  183.
Percent RMS Relative Error at the End of Iteration 3 = .72
Current Moduli: 3966.  107.   173.  183.
Percent RMS Relative Error at the End of Iteration 4 = .72
Current Moduli: 3966.  107.   173.  183.
Percent RMS Relative Error at the End of Iteration 5 = .72
Final Moduli:   3966.  107.   173.  183.
Finished Drop No 1 of 1 drops at Station 2      at 23: 40: 9
Starting Drop No 1 of 1 drops at Station 3      at 23: 40: 9
Seed Moduli:   3966.  107.   173.  183.
Percent RMS Relative Error at the Start of Backanalysis = 15.47
Current Moduli: 5160.  213.  112.  200.
Percent RMS Relative Error at the End of Iteration 1 = 5.74
Current Moduli: 5540.  226.  123.  204.
Percent RMS Relative Error at the End of Iteration 2 = 2.83
Current Moduli: 5556.  226.  124.  204.
Percent RMS Relative Error at the End of Iteration 3 = 2.82
Current Moduli: 5557.  226.  124.  204.
Percent RMS Relative Error at the End of Iteration 4 = 2.82
Final Moduli:   5557.  226.  124.  204.
Finished Drop No 1 of 1 drops at Station 3      at 23: 40: 10

```

Figura 3.4 – Tela do programa EVERCALC exibindo as iterações executadas durante a retroanálise de duas bacias de deflexões.

3.2.2. Programa ELSYM5

O programa computacional ELSYM5 é utilizado na estimativa de tensões, deformações e deslocamentos em sistemas multicamadas. O nome do programa, ELSYM5 é abreviação de *Elastic Layered System Computer Program* e o número cinco se deve ao número máximo de camadas suportado por ele. Segundo Carvalho *et al.* (1996), foi desenvolvido por Stuart Kopperman, George Tiller e Mingston Tseng na Universidade de Califórnia, inicialmente para um sistema de três camadas.

O comportamento dos materiais que compõem as camadas é elástico-linear e estes são considerados como isotrópicos, homogêneos e de peso desprezível. O carregamento é feito por cargas estáticas aplicadas uniformemente sobre uma área circular. As propriedades requeridas para as camadas são a espessura, o coeficiente de Poisson e o módulo de elasticidade. É permitida a avaliação de 10 pontos distribuídos ao longo dos eixos horizontais X e Y, com o máximo de 10 pontos distribuídos sobre o eixo vertical Z.

3.2.3. Compatibilidade ELSYM5 X EVERCALC 5.0

Uma vez que o programa EVERCALC utiliza um programa mecânico (WESLEA) diferente do ELSYM5 para a retroanálise dos módulos, buscou-se um procedimento de verificação da compatibilidade entre estes últimos.

Para tanto foram criadas, aleatoriamente, diversas estruturas de pavimento com três e quatro camadas, variando-se as espessuras e os módulos das camadas. Esses pavimentos fictícios foram analisados no ELSYM5, sendo determinadas as bacias de deflexão para cada um (Tabelas 3.1 e 3.2).

Posteriormente, as bacias foram utilizadas como dados de entrada no programa EVERCALC 5.0, com as mesmas estruturas, carregamento e coeficientes de Poisson, de modo a se determinar os módulos por retroanálise. Os módulos retroanalizados foram então comparados com os módulos iniciais (Tabelas 3.3 e 3.4).

Tabela 3.1 – Pavimentos fictícios com três camadas utilizados na comparação entre os programas ELSYM5 e EVERCALC 5.0

N	Capa		Base		Subleito
	h (cm)	E _C (kgf/cm ²)	h (cm)	E _B (kgf/cm ²)	E _{SL} (kgf/cm ²)
1	5,0	25.000	40,0	1.500	1.200
2	5,0	35.000	20,0	2.500	1.500
3	5,0	45.000	30,0	1.000	800
4	5,0	55.000	25,0	2.000	2.500
5	5,0	75.000	40,0	2.750	1.600
6	7,5	25.000	20,0	2.200	1.000
7	7,5	35.000	30,0	1.350	2.600
8	7,5	45.000	20,0	3.500	2.200
9	7,5	55.000	30,0	1.250	3.000
10	7,5	75.000	40,0	1.900	1.000
11	10,0	25.000	30,0	2.600	900
12	10,0	35.000	50,0	1.100	1.100
13	10,0	45.000	30,0	2.500	1.400
14	10,0	55.000	20,0	1.500	850
15	10,0	65.000	40,0	3.750	1.200
16	12,0	25.000	30,0	2.300	1.600
17	12,0	35.000	20,0	1.600	2.350
18	12,0	45.000	30,0	1.900	2.700
19	12,0	55.000	40,0	2.800	950
20	12,0	65.000	20,0	1.000	1.600
21	15,0	25.000	50,0	2.400	2.100
22	15,0	35.000	30,0	1.250	2.000
23	15,0	45.000	45,0	1.600	1.500
24	15,0	55.000	20,0	2.850	1.250
25	15,0	65.000	30,0	1.500	1.000
26	5,0	80.000	30,0	1.000	800
27	7,5	70.000	15,0	1.200	1.100
28	10,0	35.000	20,0	1.100	2.000
29	12,0	45.000	30,0	750	1.500
30	15,0	15.000	40,0	2.000	1.800

Tabela 3.2 – Pavimentos fictícios com quatro camadas utilizados na comparação entre os programas ELSYM5 e EVERCALC 5.0

N	Capa		Base		Sub-base		Subleito
	h (cm)	E _C (kgf/cm ²)	h (cm)	E _B (kgf/cm ²)	h (cm)	E _{SB} (kgf/cm ²)	E _{SL} (kgf/cm ²)
1	5,0	25.000	15,0	3.500	15,0	2.800	1.250
2	5,0	35.000	20,0	2.400	20,0	1.000	1.000
3	5,0	45.000	20,0	2.750	20,0	2.400	2.700
4	5,0	55.000	15,0	2.000	15,0	1.250	1.100
5	5,0	75.000	20,0	2.850	20,0	2.750	1.400
6	7,5	25.000	15,0	2.000	20,0	2.200	850
7	7,5	35.000	30,0	1.950	20,0	1.350	900
8	7,5	45.000	20,0	1.800	15,0	2.000	800
9	7,5	55.000	15,0	2.800	20,0	1.250	2.500
10	7,5	75.000	20,0	3.000	30,0	1.900	1.600
11	10,0	25.000	15,0	2.400	15,0	1.100	1.000
12	10,0	35.000	20,0	1.250	20,0	1.100	3.000
13	10,0	45.000	15,0	2.750	15,0	1.950	1.600
14	10,0	55.000	30,0	2.200	30,0	2.800	1.250
15	10,0	65.000	20,0	1.350	20,0	1.500	2.000
16	12,0	25.000	15,0	3.500	30,0	2.500	1.500
17	12,0	35.000	20,0	1.250	20,0	1.000	950
18	12,0	45.000	15,0	1.900	15,0	2.000	1.200
19	12,0	55.000	20,0	2.800	20,0	1.000	1.500
20	12,0	65.000	20,0	1.500	30,0	2.400	1.200
21	15,0	25.000	30,0	2.500	20,0	1.250	1.600
22	15,0	35.000	15,0	2.000	20,0	1.600	2.350
23	15,0	45.000	20,0	3.200	25,0	2.850	1.100
24	15,0	55.000	15,0	2.750	15,0	2.000	2.600
25	15,0	65.000	15,0	2.200	20,0	1.950	3.000
26	5,0	85.000	15,0	1.100	20,0	1.000	800
27	7,5	75.000	20,0	1.500	25,0	750	1.200
28	10,0	15.000	20,0	2.300	20,0	1.500	2.500
29	12,0	30.000	15,0	1.750	15,0	1.100	2.000
30	15,0	25.000	20,0	1.250	30,0	1.500	1.000

Tabela 3.3 – Resultados da retroanálise com o programa EVERCALC 5.0 para as bacias determinadas pelo programa ELSYM5 para pavimentos com três camadas.

Módulos Retroanalizados - EVERCALC 5.0							
N	E _C (kgf/cm ²)	Erro (%)	E _B (kgf/cm ²)	Erro (%)	E _{SL} (kgf/cm ²)	Erro (%)	RMS
1	24730	1,1	1505	0,3	1198	0,2	0,14
2	35340	1,0	2500	0,0	1500	0,0	0,29
3	46038	2,3	1000	0,0	800	0,0	0,12
4	55697	1,3	1988	0,6	2509	0,4	0,29
5	75712	0,9	2744	0,2	1605	0,3	0,14
6	24393	2,4	2226	1,2	999	0,1	0,17
7	35301	0,9	1349	0,1	2602	0,1	0,6
8	44744	0,6	3501	0,0	2202	0,1	0,5
9	54387	1,1	1261	0,9	2987	0,4	0,41
10	76106	1,5	1892	0,4	1001	0,1	0,13
11	25010	0,0	2609	0,3	900	0,0	0,1
12	34596	1,2	1108	0,7	1097	0,3	0,21
13	44872	0,3	2500	0,0	1401	0,1	0,11
14	54570	0,8	1523	1,5	849	0,1	0,12
15	66117	1,7	3758	0,2	1198	0,2	0,16
16	24986	0,1	2311	0,5	1596	0,2	0,2
17	35180	0,5	1606	0,4	2349	0,0	0,3
18	44613	0,9	1907	0,4	2692	0,3	0,48
19	56287	2,3	2776	0,9	953	0,3	0,14
20	64873	0,2	996	0,4	1605	0,3	0,19
21	25130	0,5	2399	0,0	2095	0,2	0,15
22	34614	1,1	1275	2,0	1983	0,8	0,17
23	44902	0,2	1598	0,1	1503	0,2	0,09
24	55728	1,3	2748	3,6	1255	0,4	0,1
25	64502	0,8	1532	2,1	996	0,4	0,12
26	80168	0,2	998	0,2	800	0,0	0,16
27	69592	0,6	1217	1,4	1098	0,2	0,27
28	34996	0,0	1104	0,4	1996	0,2	0,16
29	44816	0,4	755	0,7	1497	0,2	0,15
30	14892	0,7	2013	0,6	1792	0,4	0,19
Erro médio (%)		0,9		0,7		0,2	

Tabela 3.4 – Resultados da retroanálise com o programa EVERCALC 5.0 para as bacias determinadas pelo programa ELSYM5 para pavimentos com quatro camadas.

Módulos Retroanalizados - EVERCALC 5.0									
N	E_C (kgf/cm ²)	Erro (%)	E_B (kgf/cm ²)	Erro (%)	E_{SB} (kgf/cm ²)	Erro (%)	E_{SL} (kgf/cm ²)	Erro (%)	RMS
1	24.513	1,9	3.556	1,6	2.767	1,2	1.249	0,1	0,07
2	33.687	3,8	2.444	1,8	980	2,0	1.003	0,3	0,11
3	42.827	4,8	2.819	2,5	2.329	3,0	2.708	0,3	0,39
4	53.065	3,5	2.082	4,1	1.191	4,7	1.103	0,3	0,16
5	78.626	4,8	2.782	2,4	2.857	3,9	1.396	0,3	0,32
6	24.966	0,1	2.029	1,5	2.168	1,5	850	0,0	0,16
7	35.548	1,6	1.940	0,5	1.358	0,6	901	0,1	0,05
8	45.806	1,8	1.776	1,3	2.069	3,5	797	0,4	0,06
9	57.412	4,4	2.620	6,4	1.313	5,0	2.484	0,6	0,24
10	72.315	3,6	3.122	4,1	1.846	2,8	1.608	0,5	0,06
11	24.520	1,9	2.476	3,2	1.072	2,5	1.001	0,1	0,10
12	34.323	1,9	1.293	3,4	1.086	1,3	2.977	0,8	0,17
13	43.240	3,9	3.084	12,1	1.719	11,8	1.609	0,6	0,10
14	55.556	1,0	2.144	2,5	3.000	7,1	1.240	0,8	0,17
15	65.196	0,3	1.332	1,3	1.531	2,1	1.994	0,3	0,07
16	25.160	0,6	3.468	0,9	2.514	0,6	1.501	0,1	0,21
17	35.351	1,0	1.234	1,3	1.012	1,2	949	0,1	0,13
18	46.284	2,9	1.761	7,3	2.090	4,5	1.203	0,2	0,14
19	53.492	2,7	2.897	3,5	981	1,9	1.503	0,2	0,05
20	63.157	2,8	1.659	10,6	2.156	10,2	1.208	0,7	0,17
21	25.449	1,8	2.426	3,0	1.317	5,4	1.592	0,5	0,09
22	33.913	3,1	2.250	12,5	1.458	8,9	2.370	0,9	0,21
23	45.632	1,4	3.119	2,5	3.000	5,3	1.095	0,5	0,11
24	53.135	3,4	3.384	23,1	1.623	18,9	2.628	1,1	0,13
25	66.167	1,8	1.888	14,2	2.287	17,3	2.964	1,2	0,10
26	87.270	2,7	1.045	5,0	1.045	4,5	799	0,1	0,18
27	76.551	2,1	1.457	2,9	764	1,9	1.197	0,2	0,09
28	14.862	0,9	2.343	1,9	1.446	3,6	2.525	1,0	0,06
29	30.265	0,9	1.675	4,3	1.158	5,3	1.987	0,6	0,26
30	25.678	2,7	1.131	9,5	1.661	10,7	997	0,3	0,05
Erro médio (%)		2,3		5,0		5,1		0,4	

Analisando os baixos valores de erro, em termos da Raiz Média Quadrática (RMS) entre as deflexões geradas pelo ELSYM5 e calculadas pelo EVERCALC, pode-se concluir que os programas são compatíveis. Os resultados dos módulos retroanalizados também indicam uma compatibilidade satisfatória entre os programas, sendo observado melhores resultados para pavimentos com três camadas.

3.3. Apresentação dos Trechos Rodoviários

A seguir serão apresentados os trechos escolhidos para os estudos. Para cada trecho foi efetuado o levantamento deflectométrico com o equipamento F.W.D.. Foram escolhidos trechos com diferentes estruturas, composição das camadas, níveis de deflexões e idade.

Todos os trechos foram levantados com o mesmo equipamento: Dynatest FWD, modelo 8000E, que é dotado de sete sensores, configurados com o seguinte espaçamento entre sensores, medido a partir do centro de aplicação de carga: 0, 20, 30, 45, 65, 90 e 120 cm. A placa de carga tem o diâmetro de 30 cm e a carga aplicada nos ensaios ficou sempre em torno de 40 kN.

Para a determinação das espessuras e composição das camadas foram executadas sondagens ao longo dos trechos, com o espaçamento entre os pontos de sondagem variando de trecho para trecho.

O tratamento estatístico dos dados obtidos dos levantamentos deflectométricos consistiu na divisão dos trechos em segmentos homogêneos pelo método das diferenças acumuladas, conforme proposto no Anexo J do

Manual da AASHTO (1986), em função da deflexão máxima corrigida para uma temperatura padrão de 25°C, conforme a equação (47).

Para cada segmento homogêneo foram calculadas a deflexão máxima média, o desvio padrão e o coeficiente de variação. A deflexão característica para cada segmento homogêneo consiste na soma da média das deflexões máximas (no ponto sob o centro de aplicação de carga) somada ao desvio padrão. A bacia representativa do segmento homogêneo é a bacia com os valores médios das deflexões em cada sensor.

$$D_c = \bar{D} + \sigma$$

em que:

D_c = deflexão característica de um segmento (0,01 mm);

$\bar{D}$ = deflexão média no segmento (0,01 mm);

σ = desvio padrão das deflexões máximas.

O manual do programa MICHBACK (Harichandran, 1999) apresenta um método de determinação da bacia representativa de um segmento homogêneo em função dos seguintes parâmetros:

- deflexão máxima (sob o centro de aplicação da carga);
- deflexões medidas em todos os sensores;
- área sob a bacia de deflexões.

Tomando-se todas as bacias de deflexões em um segmento, é calculado o parâmetro Δ . A bacia representativa para o segmento será aquela que apresentar o menor valor de Δ .

$$\Delta = \left(\frac{MRI - \overline{MRI}}{\overline{MRI}} \right)^2 + \sum_{j=0}^{m-1} \left(\frac{w_j - \overline{w_j}}{\overline{w_j}} \right)^2 + \left(\frac{A - \overline{A}}{\overline{A}} \right)^2 \quad (77)$$

em que:

- MRI = módulo de rigidez de impacto
= (carga aplicada)/(deflexão máxima);
- w_j = deflexão no sensor j ;
- m = número de sensores;
- A = área sob a bacia de deflexões.

Neste trabalho, optou-se pelo uso da bacia representativa de um segmento como sendo a bacia cujas deflexões são a média em cada sensor.

Para o dimensionamento pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94, as deflexões características medidas com FWD foram convertidas para deflexões características equivalentes em Viga Benkelman usando as expressões apresentadas por Duarte *et al.* (1996) e Rocha Filho & Rodrigues (1998).

Em todos os trechos foi executado o levantamento visual de defeitos segundo a norma DNER-PRO 08/96. Para cada segmento homogêneo foi calculado o Índice de Gravidade Global – IGG.

A Tabela 3.5 apresenta o resumo das características dos trechos estudados.

Tabela 3.5. – Resumo das características dos trechos estudados

Trecho	Localização	Extensão	Número N	Revestimento	Base	Sub-base	Subleito
BR-101/SC I	Santa Catarina	25,32 km	$1,10 \times 10^8$	CBUQ	BGS		Areia Argilosa
BR-101/SC I	Santa Catarina	29,92 km	$1,14 \times 10^8$	CBUQ	BGS		Argila Arenosa
PR-218	Paraná	26,90 km	$3,77 \times 10^7$	CBUQ	SC	SEG	Argila Vermelha
PR-280	Paraná	38,86 km	$7,17 \times 10^7$	CBUQ	BGS	MS	Argila Arenosa Vermelha
SP-294	São Paulo	29,76 km	$5,08 \times 10^6$	CBUQ	SF/SC		Argila Arenosa Vermelha
SP-421	São Paulo	25,08 km	$3,80 \times 10^6$	CBUQ	SC	SF	Argila Arenosa Vermelha
SP-425	São Paulo	41,16 km	$3,00 \times 10^6$	CBUQ	SC	SF	Argila Arenosa Vermelha

CBUQ Concreto Betuminoso Usinado a Quente

SEG Solo Estabilizado Granulometricamente

MS Macadame Seco

BGS Brita Graduada Simples

SC Solo-Cimento

SF Solo Fino

3.3.1. BR-101/SC – Trecho 01

Tabela 3.6. – Características do trecho 01 da BR-101/SC

BR-101 – TRECHO 01	
Localização:	Santa Catarina
Extensão:	25,320 km
Pista:	Simples
Espaçamento:	60 – 60 m (intercalados entre as faixas de tráfego)
Carga Média:	40 kN
Raio da Placa:	15,0 cm
Revestimento:	CBUQ
Número N:	$1,10 \times 10^8$

Tabela 3.7. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho 01 da BR-101/SC

SH			Bacias de Deflexões FWD (0,01 mm)							Deflexão Característica		
Estaca			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Desvio Padrão	C.V. (%)	D _{CFWD} (0,01 mm)
Inicial	Final		0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	65 cm	90 cm	120 cm			
1	6	57	34,4	26,3	20,5	14,2	9,5	5,6	4,3	11,7	34,0	46,1
2	57	99	19,6	15,9	13,6	10,7	8,1	5,2	3,9	5,5	28,0	25,1
3	99	111	27,2	21,8	18,8	15,2	11,9	8,0	6,2	3,0	11,1	30,2
4	111	144	21,5	17,7	15,3	12,3	9,4	6,3	4,9	2,4	11,1	23,9
5	144	186	20,3	16,7	14,4	11,5	8,7	5,7	4,3	3,2	15,9	23,5
6	186	213	22,2	17,8	15,4	12,3	9,4	6,2	4,7	1,8	8,2	24,0
7	213	279	25,2	20,3	17,0	13,1	9,6	6,2	4,7	6,1	24,0	31,2
8	279	312	23,8	18,8	15,9	12,3	9,1	5,9	4,4	4,6	19,4	28,4
9	312	336	26,2	21,0	17,9	13,9	10,1	6,2	4,5	3,4	13,0	29,6
10	336	366	19,0	15,7	13,6	11,1	8,5	5,6	4,3	3,0	15,6	22,0
11	366	393	25,0	20,1	17,2	13,6	10,3	6,6	4,8	4,7	18,7	29,7
12	393	420	22,7	18,7	16,1	12,8	9,6	6,1	4,4	3,3	14,4	26,0
13	420	444	18,2	14,5	12,7	10,3	7,8	5,1	3,8	3,1	16,9	21,3
14	444	483	20,5	16,5	14,1	11,1	8,2	5,2	3,9	3,9	19,2	24,4
15	483	510	20,6	16,7	14,4	11,6	8,8	5,8	4,4	3,3	16,1	23,9
16	510	579	19,3	16,0	14,0	11,6	9,2	6,2	4,8	2,7	14,0	22,0
17	579	636	24,4	20,0	17,4	14,1	11,0	7,3	5,6	4,8	19,5	29,1
18	636	657	24,7	19,8	17,2	13,6	10,4	7,0	5,8	3,5	14,1	28,1
19	657	690	20,6	16,5	14,2	11,4	8,7	5,8	4,7	3,8	18,2	24,4
20	690	717	25,4	20,0	16,8	13,1	9,6	6,2	4,9	3,5	13,7	28,9
21	717	732	18,7	14,6	12,4	9,7	7,2	4,7	3,6	3,9	21,0	22,6
22	732	744	27,8	21,8	17,9	13,3	9,4	5,8	4,4	4,6	16,4	32,4
23	744	798	13,9	11,1	9,6	7,7	6,0	4,1	3,4	6,0	43,3	19,9
24	798	828	22,2	17,2	14,5	11,4	8,5	5,6	4,5	5,6	25,2	27,8
25	828	858	19,0	14,5	12,1	9,4	7,1	4,8	3,9	5,9	30,9	24,8
26	858	918	17,9	13,6	11,2	8,6	6,5	4,4	3,6	5,2	29,2	23,2
27	918	954	32,0	24,5	19,2	13,3	8,8	5,2	3,9	7,5	23,5	39,5
28	954	981	22,1	17,7	14,7	11,3	8,2	5,2	3,9	5,6	25,1	27,7
29	981	1014	24,5	19,5	16,0	12,0	8,5	5,3	4,0	5,6	22,8	30,0
30	1014	1047	23,3	18,1	14,7	11,0	7,7	4,7	3,6	5,0	21,5	28,3
31	1047	1101	25,5	19,4	15,5	11,3	7,7	4,7	3,7	3,4	13,2	28,9
32	1101	1140	23,5	19,0	15,9	12,1	8,8	5,7	4,4	3,6	15,1	27,1
33	1140	1164	19,4	15,5	12,9	9,9	7,2	4,7	3,7	5,1	26,5	24,5
34	1164	1266	29,4	21,9	17,1	12,0	8,1	5,1	4,0	7,0	23,7	36,4

em que:

SH = segmento homogêneo;

C.V. = coeficiente de variação;

D_{CFWD} = deflexão característica medida com FWD, (0,01 mm);

Tabela 3.8. – Parâmetros de avaliação do trecho 01 da BR-101/SC

SH	Estaca		IGG	flecha (mm)	Ocorrência de Defeitos (%)			
	Inicial	Final			FC-2	FC-3	P	R
1	6	57	145	7	-	80,0	15,0	-
2	57	99	22	2	-	10,0	-	-
3	99	111	28	2	-	15,5	-	-
4	111	144	33	2	-	21,0	-	-
5	144	186	39	0	7,0	43,0	-	-
6	186	213	42	0	-	33,0	11,0	-
7	213	279	63	1	-	73,0	-	-
8	279	312	72	3	-	64,0	-	-
9	285	336	63	2	6,0	59,0	-	-
10	312	366	55	4	30,0	30,0	-	-
11	366	393	69	2	11,0	67,0	-	-
12	393	420	61	2	24,0	53,0	-	-
13	420	444	61	2	24,0	53,0	-	-
14	444	483	39	2	31,0	15,0	-	-
15	483	510	50	1	33,0	33,0	-	-
16	510	579	61	2	48,0	35,0	-	-
17	579	609	61	1	27,0	55,0	-	-
18	609	636	70	1	44,0	56,0	-	-
19	636	690	65	2	28,0	56,0	-	-
20	690	717	56	1	11,0	56,0	-	-
21	717	744	57	1	11,0	56,0	-	-
22	744	798	38	1	28,00	17,00	-	-
23	798	828	95	3	10,00	70,30	-	-
24	828	858	72	7	20,00	20,00	-	-
25	858	918	66	2	5,00	40,00	-	-
26	918	954	112	3	8,00	83,00	-	-
27	954	981	78	1	33,00	44,00	-	-
28	981	1014	62	1	18,00	55,00	-	-
29	1014	1047	74	15	27,00	18,00	-	-
30	1047	1101	58	14	11,00	-	-	-
31	1101	1128	78	19	-	22,00	-	-
32	1128	1164	66	18	-	18,00	-	-
33	1164	1240	69	7	16,00	24,00	-	-
34	1240	1266	101	14	11,00	40,00	-	-

em que:

IGG = Índice de Gravidade Global;

flecha = deformação permanente nas trilhas de roda;

FC-2 = trincas classe 2;

FC-3 = trincas classe 3;

P = panelas;

R = remendos;

Tabela 3.9. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho 01 da BR-101/SC.

SH	Estaca		Capa		Base		Subleito
	Inicial	Final	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material
1	6	57	CBUQ	26,0	BGS	25,0	Areia argilosa
2	57	99	CBUQ	26,0	BGS	25,0	Areia argilosa
3	99	111	CBUQ	25,0	BGS	27,0	Areia argilosa
4	111	144	CBUQ	23,0	BGS	43,0	Areia argilosa
5	144	186	CBUQ	23,0	BGS	43,0	Areia argilosa
6	186	213	CBUQ	21,0	BGS	60,0	Areia argilosa
7	213	279	CBUQ	23,0	BGS	50,0	Areia argilosa
8	279	312	CBUQ	20,0	BGS	46,0	Areia argilosa
9	285	336	CBUQ	20,5	BGS	42,0	Areia argilosa
10	312	366	CBUQ	21,0	BGS	40,0	Areia argilosa
11	366	393	CBUQ	26,0	BGS	45,0	Areia argilosa
12	393	420	CBUQ	26,0	BGS	40,0	Areia argilosa
13	420	444	CBUQ	27,0	BGS	35,0	Areia argilosa
14	444	483	CBUQ	27,0	BGS	35,0	Areia argilosa
15	483	510	CBUQ	27,0	BGS	30,0	Areia argilosa
16	510	579	CBUQ	27,5	BGS	23,0	Areia argilosa
17	579	609	CBUQ	26,0	BGS	35,0	Areia argilosa
18	609	636	CBUQ	11,0	BGS	38,0	Areia argilosa
19	636	690	CBUQ	11,0	BGS	38,0	Areia argilosa
20	690	717	CBUQ	10,0	BGS	30,0	Areia argilosa
21	717	744	CBUQ	11,0	BGS	30,0	Areia argilosa
22	744	798	CBUQ	11,0	BGS	30,0	Areia argilosa
23	798	828	CBUQ	12,0	BGS	30,0	Areia argilosa
24	828	858	CBUQ	13,0	BGS	33,0	Areia argilosa
25	858	918	CBUQ	11,0	BGS	30,0	Areia argilosa
26	918	954	CBUQ	11,0	BGS	32,0	Areia argilosa
27	954	981	CBUQ	10,0	BGS	35,0	Areia argilosa
28	981	1014	CBUQ	11,0	BGS	35,0	Areia argilosa
29	1014	1047	CBUQ	13,0	BGS	35,0	Areia argilosa
30	1047	1101	CBUQ	13,0	BGS	30,0	Areia argilosa
31	1101	1128	CBUQ	13,0	BGS	30,0	Areia argilosa
32	1128	1164	CBUQ	13,0	BGS	28,0	Areia argilosa
33	1164	1240	CBUQ	13,0	BGS	27,0	Areia argilosa
34	1240	1266	CBUQ	13,0	BGS	25,0	Areia argilosa

em que:

CBUQ= concreto betuminoso usinado a quente;

BGS = brita graduada simples;

3.3.2. BR-101/SC – Trecho 02

Tabela 3.10. – Características do trecho 02 da BR-101/SC

BR-101 – TRECHO 02	
Localização:	Santa Catarina
Extensão:	29,920 km
Pista:	Simples
Espaçamento:	60 – 60 m (intercalados entre as faixas de tráfego)
Carga Média:	40 kN
Raio da Placa:	15,0 cm
Revestimento:	CBUQ
Número N:	1,14 x 10 ⁸

Tabela 3.11. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho 02 da BR-101/SC

SH			Bacias de Deflexões FWD (0,01 mm)								Deflexão Característica	
Estaca			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Desvio	C.V.	D _{CFWD}
Inicial	Final		0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	65 cm	90 cm	120 cm	Padrão	(%)	(0,01 mm)
1	0	57	50,9	39,0	30,1	20,8	13,4	7,3	4,9	12,5	24,6	63,4
2	57	84	27,0	21,1	17,0	12,7	8,9	5,6	4,0	11,5	42,6	38,5
3	84	111	42,1	32,5	25,4	18,1	11,9	6,7	4,7	15,3	36,4	57,4
4	111	141	28,9	23,4	19,2	14,6	10,3	6,3	4,4	6,1	21,3	35,0
5	141	186	35,6	28,6	23,5	17,4	12,1	7,2	4,9	8,7	24,4	44,3
6	186	210	49,0	35,9	28,3	20,6	13,6	7,5	4,8	12,1	24,7	61,1
7	210	237	33,6	26,9	22,0	16,8	11,9	7,0	4,7	8,2	24,5	41,9
8	237	276	36,1	28,6	23,2	17,5	12,3	7,2	5,0	15,0	41,6	51,2
9	276	380	41,2	32,4	26,6	19,8	13,6	7,9	5,3	16,9	41,0	58,0
10	380	413	32,5	26,2	22,5	17,9	13,0	8,2	5,6	9,2	28,4	41,7
11	413	443	51,1	40,3	32,2	23,1	15,0	7,9	4,9	15,1	29,5	66,1
12	443	506	41,6	32,2	26,1	19,0	12,5	6,7	4,1	11,4	27,5	53,0
13	506	521	23,8	19,1	16,0	12,3	8,7	5,3	3,9	12,2	51,1	36,0
14	521	572	56,9	43,3	32,2	21,2	12,7	6,4	4,0	16,0	28,2	72,9
15	572	635	47,9	36,8	28,7	19,6	12,0	6,2	4,0	17,6	36,7	65,4
16	635	665	39,2	30,8	25,4	19,1	13,1	7,5	4,8	8,0	20,3	47,2
17	665	716	29,7	23,7	20,1	15,6	11,2	6,7	4,5	6,1	20,6	35,8
18	716	803	41,5	32,2	25,9	18,9	12,7	7,0	4,4	8,7	20,9	50,2
19	803	836	25,4	21,0	18,2	14,4	10,7	6,6	4,6	5,0	19,8	30,4
20	836	869	40,1	30,8	24,6	17,5	11,3	6,0	3,7	12,0	30,0	52,1
21	869	890	30,4	23,9	18,9	13,1	8,4	4,6	3,2	8,1	26,6	38,5
22	890	908	42,2	33,9	27,5	20,3	13,7	7,8	5,1	8,2	19,4	50,3
23	908	950	36,4	30,1	25,0	18,7	12,8	7,4	5,0	9,2	25,3	45,7
24	950	977	40,7	32,6	26,3	19,1	12,6	7,0	4,5	12,7	31,2	53,4
25	977	1028	29,5	23,8	19,9	15,1	10,5	6,1	4,0	3,2	10,9	32,7
26	1028	1097	24,4	20,0	17,2	13,4	9,8	6,0	4,1	10,8	44,5	35,2
27	1097	1118	41,1	31,4	24,9	17,5	11,2	6,0	3,8	16,0	38,8	57,0
28	1118	1220	22,8	17,6	14,4	10,7	7,2	4,1	2,8	8,2	36,1	31,1
29	1220	1319	26,6	21,6	18,1	13,7	9,6	5,6	3,6	8,1	30,5	34,8
30	1319	1496	23,3	19,1	16,4	12,9	9,5	5,9	4,2	6,9	29,6	30,2

em que:

SH = segmento homogêneo;

C.V. = coeficiente de variação;

D_{CFWD} = deflexão característica medida com FWD, (0,01 mm);

Tabela 3.12. – Parâmetros de avaliação do trecho 02 da BR-101/SC

SH	Estaca		IGG	Flecha (mm)	Ocorrência de Defeitos (%)			
	Inicial	Final			FC-2	FC-3	P	R
1	0	57	125	5	0,0	94,7	5,3	0,0
2	57	84	98	1	0,0	90,0	0,0	0,0
3	84	111	100	5	0,0	77,8	0,0	0,0
4	111	141	84	3	0,0	70,0	0,0	0,0
5	141	186	87	2	0,0	80,0	0,0	0,0
6	186	210	146	6	0,0	92,3	7,7	0,0
7	210	237	130	4	0,0	100,0	0,0	0,0
8	237	276	162	3	0,0	84,6	23,1	0,0
9	276	380	105	2	0,0	81,8	0,0	9,1
10	380	413	114	2	0,0	100,0	0,0	0,0
11	413	443	144	5	0,0	100,0	22,2	0,0
12	443	506	132	4	0,0	100,0	10,0	0,0
13	506	521	113	5	0,0	80,0	12,0	0,0
14	521	572	113	5	0,0	80,0	12,0	0,0
15	572	635	86	5	0,0	61,3	9,7	0,0
16	635	665	42	2	11,8	29,4	0,0	0,0
17	665	716	42	2	11,8	29,4	0,0	0,0
18	716	803	83	2	0,0	91,7	0,0	0,0
19	803	836	53	3	0,0	54,5	0,0	0,0
20	836	869	89	3	0,0	100,0	0,0	0,0
21	869	890	91	4	7,7	76,9	0,0	0,0
22	890	908	91	4	7,7	76,9	0,0	0,0
23	908	950	97	5	0,00	100,00	0,00	0,00
24	950	977	86	5	0,00	92,31	0,00	0,00
25	977	1028	86	5	0,00	81,25	0,00	0,00
26	1028	1097	56	2	0,00	60,00	0,00	0,00
27	1097	1118	62	2	0,00	66,67	0,00	0,00
28	1118	1220	74	4	0,00	70,73	0,00	0,00
29	1220	1319	58	3	0,00	51,52	0,00	0,00
30	1319	1496	65	2	1,69	71,19	0,00	0,00

em que:

IGG = Índice de Gravidade Global;

flecha = deformação permanente nas trilhas de roda;

FC-2 = trincas classe 2;

FC-3 = trincas classe 3;

P = panelas;

R = remendos;

Tabela 3.13. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho 02 da BR-101/SC.

SH	Estaca		Capa		Base		Subleito
	Inicial	Final	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material
1	0	57	CBUQ	7,0	BGS	32,0	Argila arenosa
2	57	84	CBUQ	7,0	BGS	32,0	Argila arenosa
3	84	111	CBUQ	7,0	BGS	31,0	Argila arenosa
4	111	141	CBUQ	6,0	BGS	30,0	Argila arenosa
5	141	186	CBUQ	7,0	BGS	30,0	Argila arenosa
6	186	210	CBUQ	8,0	BGS	30,0	Argila arenosa
7	210	237	CBUQ	7,5	BGS	33,0	Argila arenosa
8	237	276	CBUQ	7,0	BGS	34,0	Argila arenosa
9	276	380	CBUQ	7,0	BGS	30,0	Argila arenosa
10	380	413	CBUQ	7,0	BGS	30,0	Argila arenosa
11	413	443	CBUQ	7,0	BGS	32,0	Argila arenosa
12	443	506	CBUQ	7,0	BGS	32,0	Argila arenosa
13	506	521	CBUQ	7,0	BGS	29,0	Argila arenosa
14	521	572	CBUQ	7,0	BGS	29,0	Argila arenosa
15	572	635	CBUQ	8,0	BGS	25,0	Argila arenosa
16	635	665	CBUQ	8,0	BGS	25,0	Argila arenosa
17	665	716	CBUQ	7,0	BGS	28,0	Argila arenosa
18	716	803	CBUQ	8,0	BGS	28,0	Argila arenosa
19	803	836	CBUQ	7,5	BGS	30,0	Argila arenosa
20	836	869	CBUQ	7,0	BGS	34,0	Argila arenosa
21	869	890	CBUQ	7,0	BGS	30,0	Argila arenosa
22	890	908	CBUQ	7,0	BGS	30,0	Argila arenosa
23	908	950	CBUQ	7,5	BGS	32,0	Argila arenosa
24	950	977	CBUQ	8,0	BGS	34,0	Argila arenosa
25	977	1028	CBUQ	7,0	BGS	32,0	Argila arenosa
26	1028	1097	CBUQ	7,0	BGS	33,5	Argila arenosa
27	1097	1118	CBUQ	7,5	BGS	37,0	Argila arenosa
28	1118	1220	CBUQ	7,5	BGS	37,0	Argila arenosa
29	1220	1319	CBUQ	7,0	BGS	32,0	Argila arenosa
30	1319	1496	CBUQ	7,5	BGS	37,0	Argila arenosa

em que:

CBUQ= concreto betuminoso usinado a quente;

BGS = brita graduada simples;

3.3.3. PR-218

Tabela 3.14. – Características do trecho da PR-218

PR-218	
Localização:	Paraná
Extensão:	26,900 km
Pista:	Simples
Espaçamento:	60 – 60 m (intercalados entre as faixas de tráfego)
Carga Média:	40 kN
Raio da Placa:	15,0 cm
Revestimento:	CBUQ
Número N:	$3,77 \times 10^7$

Tabela 3.15. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da PR-218

SH			Bacias de Deflexões FWD (0,01 mm)							Deflexão Característica		
Estaca			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Desvio Padrão	C.V. (%)	D _{CFWD} (0,01 mm)
Inicial	Final	0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	65 cm	90 cm	120 cm				
1	0	43	34,1	24,1	19,7	14,7	10,6	6,3	4,9	13,4	39,2	47,5
2	43	133	26,0	19,4	16,3	13,1	10,0	6,1	5,1	8,7	33,4	34,7
3	133	175	36,5	26,8	22,6	17,5	12,7	7,2	5,7	14,9	40,7	51,4
4	175	223	27,4	20,9	17,2	13,3	9,6	5,7	4,5	7,1	26,0	34,5
5	223	328	25,1	18,5	15,0	11,5	8,4	5,1	4,1	9,0	35,7	34,0
6	328	385	28,0	20,6	16,9	13,2	9,7	5,9	4,4	7,1	25,5	35,1
7	385	445	42,7	31,2	24,6	17,2	11,3	6,2	4,5	13,2	30,9	55,9
8	445	511	25,2	18,7	15,2	11,0	7,4	3,9	2,8	8,5	33,6	33,7
9	511	544	31,9	23,6	18,8	13,7	9,1	4,9	3,6	11,3	35,4	43,2
10	544	601	16,7	11,7	9,3	7,1	5,4	3,6	2,9	3,5	21,2	20,2
11	601	637	32,4	23,1	18,5	13,1	8,9	5,0	3,8	8,3	25,5	40,7
12	637	733	16,6	12,4	10,5	8,4	6,6	3,9	3,4	4,7	28,5	21,3
13	733	844	27,7	19,0	14,6	10,0	6,8	3,9	3,1	12,0	43,3	39,7
14	844	889	18,2	12,3	9,9	7,6	5,6	3,4	2,7	5,9	32,7	24,1
15	889	1063	25,4	18,3	14,4	10,2	6,9	3,8	2,9	9,5	37,5	34,9
16	1063	1141	19,9	14,5	11,7	8,9	6,4	3,7	2,9	7,2	36,0	27,1
17	1141	1192	33,6	23,8	18,7	13,3	9,1	5,2	4,2	15,8	47,1	49,4
18	1192	1243	25,0	18,4	14,9	11,9	8,4	5,2	4,0	9,7	38,8	34,7
19	1243	1279	38,5	28,3	21,7	15,1	9,9	5,1	3,9	12,0	31,1	50,4
20	1279	1306	24,9	16,9	13,4	9,9	7,0	4,1	3,4	8,3	33,2	33,2
21	1306	1342	42,6	28,4	20,5	13,5	8,3	4,6	3,4	19,0	44,5	61,6

em que:

SH = segmento homogêneo;

C.V. = coeficiente de variação;

D_{CFWD} = deflexão característica medida com FWD, (0,01 mm);

Tabela 3.16. – Parâmetros de avaliação do trecho da PR-218

SH	Estaca		IGG	Flecha (mm)	Ocorrência de Defeitos (%)			
	Inicial	Final			FC-2	FC-3	P	R
1	0	43	29	3,2	-	12,5	-	-
2	43	133	52	5,5	6,3	25,0	-	-
3	133	175	61	6,1	-	37,5	-	-
4	175	223	81	6,3	-	33,3	-	33,3
5	223	328	73	7,3	-	10,5	-	5,3
6	328	385	33	6,3	-	10,0	-	-
7	385	445	55	7,5	-	0,0	-	-
8	445	511	36	4,1	-	8,3	-	-
9	511	544	85	5,8	-	71,4	-	-
10	544	601	75	7,9	10,0	10,0	-	-
11	601	637	76	10,7	-	14,3	-	-
12	637	733	43	5,1	-	29,4	-	-
13	733	844	46	5,8	-	15,0	-	-
14	844	889	18	4,2	-	12,5	-	-
15	889	1063	126	10,1	6,7	10,0	-	6,7
16	1063	1141	19	4,3	-	7,1	-	-
17	1141	1192	104	6,1	-	70,0	-	30,0
18	1192	1243	87	5,8	-	77,8	-	11,1
19	1243	1279	122	5,1	-	85,7	-	28,6
20	1279	1306	90	6,0	-	33,3	-	-
21	1306	1342	61	1,0	-	57,1	-	-

em que:

IGG = Índice de Gravidade Global;

flecha = deformação permanente nas trilhas de roda;

FC-2 = trincas classe 2;

FC-3 = trincas classe 3;

P = panelas;

R = remendos;

Tabela 3.17. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da PR-218.

SH	Estaca		Capa		Base		Sub-base		Subleito
	Inicial	Final	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material
1	0	43	CBUQ	14,5	SC	8,5	SEG	32,0	Argila Arenosa
2	43	133	CBUQ	10,0	SC	14,0	SEG	24,0	Argila Arenosa
3	133	175	CBUQ	10,0	SC	14,0	SEG	24,0	Argila Arenosa
4	175	223	CBUQ	7,5	SC	12,5	-	-	Argila Arenosa
5	223	328	CBUQ	7,5	SC	12,5	-	-	Argila Arenosa
6	328	385	CBUQ	9,5	SC	13,5	-	-	Argila Arenosa
7	385	445	CBUQ	9,5	SC	13,5	-	-	Argila Arenosa
8	445	511	CBUQ	9,5	SC	13,5	-	-	Argila Arenosa
9	511	544	CBUQ	10,0	SC	14,0	-	-	Argila Arenosa
10	544	601	CBUQ	10,0	SC	14,0	-	-	Argila Arenosa
11	601	637	CBUQ	9,5	SC	13,5	SEG	28,0	Argila Arenosa
12	637	733	CBUQ	11,0	SC	24,0	-	-	Argila Arenosa
13	733	844	CBUQ	6,5	SC	25,5	-	-	Argila Arenosa
14	844	889	CBUQ	6,5	SC	25,5	-	-	Argila Arenosa
15	889	1063	CBUQ	9,0	SC	16,0	-	-	Argila Arenosa
16	1063	1141	CBUQ	13,5	SC	8,5	SEG	20,0	Argila Arenosa
17	1141	1192	CBUQ	13,5	SC	8,5	SEG	20,0	Argila Arenosa
18	1192	1243	CBUQ	13,0	SC	15,5	-	-	Argila Arenosa
19	1243	1279	CBUQ	13,0	SC	15,5	-	-	Argila Arenosa
20	1279	1306	CBUQ	5,0	SC	12,0	-	-	Argila Arenosa
21	1306	1342	CBUQ	5,0	SC	12,0	-	-	Argila Arenosa

em que:

CBUQ= concreto betuminoso usinado a quente;

SC = solo-cimento;

SEG = solo estabilizado granulometricamente.

3.3.4. PR-280

Tabela 3.18. – Características do trecho da PR-280

PR-280	
Localização:	Paraná
Extensão:	38,860 km
Pista:	Simplex
Espaçamento:	60 – 60 m (intercalados entre as faixas de tráfego)
Carga Média:	40 kN
Raio da Placa:	15,0 cm
Revestimento:	CBUQ
Número N:	7,17 x 10 ⁷

Tabela 3.19. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da PR-280

N	SH		Bacias de Deflexões FWD (0,01 mm)							Deflexão Característica		
	Estaca		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Desvio Padrão	C.V. (%)	D _{CFWD} (0,01 mm)
	Inicial	Final	0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	65 cm	90 cm	120 cm			
1	0	152	36,1	28,4	22,7	16,5	11,1	6,3	4,7	6,7	18,4	42,7
2	152	179	46,4	33,4	25,0	16,2	10,0	6,3	4,7	9,3	20,1	55,7
3	179	224	36,6	27,0	21,2	15,2	10,2	6,0	4,4	6,9	18,7	43,5
4	224	245	44,9	31,1	22,9	15,8	10,4	6,1	4,2	11,5	25,7	56,4
5	245	281	38,1	27,4	21,1	14,8	9,9	5,9	4,4	5,0	13,0	43,0
6	281	356	47,0	33,9	25,5	17,5	11,5	6,9	4,8	12,1	25,7	59,0
7	356	410	35,1	28,7	24,0	18,4	12,9	7,4	4,9	6,5	18,7	41,6
8	410	488	58,4	43,4	32,4	21,9	13,5	7,3	4,7	11,9	20,4	70,3
9	488	530	54,1	39,6	29,3	18,9	11,4	6,4	4,9	15,6	28,9	69,7
10	530	617	36,3	27,1	21,3	15,0	9,9	5,8	4,3	8,9	24,6	45,2
11	617	683	47,6	37,2	29,4	20,7	13,7	8,5	6,2	13,9	29,1	61,5
12	683	725	43,4	33,3	24,9	16,7	10,7	6,7	5,2	8,7	20,1	52,2
13	725	779	48,0	36,3	27,3	18,3	11,6	6,8	4,5	15,9	33,2	63,9
14	779	827	38,7	32,5	26,2	19,4	13,4	8,2	5,1	14,7	38,1	53,4
15	827	878	45,8	37,4	29,4	20,9	13,4	7,7	4,5	14,3	31,2	60,1
16	878	920	52,8	40,7	31,1	20,9	13,2	7,5	4,9	16,5	31,2	69,3
17	920	965	43,3	32,9	25,1	17,0	10,5	6,4	4,5	11,6	26,8	54,9
18	965	1088	54,2	40,7	29,7	18,7	11,3	7,1	5,0	14,7	27,1	68,8
19	1088	1172	44,4	35,1	28,1	19,9	12,8	7,3	4,6	16,0	36,1	60,5
20	1172	1214	52,2	40,2	32,4	23,1	15,4	9,1	6,1	14,9	28,5	67,1
21	1214	1256	38,2	30,5	24,5	17,6	11,7	7,2	5,1	10,3	27,1	48,5
22	1256	1379	32,4	24,9	19,6	14,1	9,5	5,9	4,3	10,1	31,3	42,6
23	1379	1424	48,0	37,9	28,6	18,6	11,6	7,5	5,6	16,6	34,5	64,6
24	1424	1610	33,4	27,5	22,4	16,5	11,4	6,8	4,9	7,3	21,9	40,8
25	1610	1640	43,8	35,0	26,7	17,7	11,3	6,8	5,3	6,4	14,6	50,2
26	1640	1691	30,1	23,4	18,5	13,0	8,4	4,6	3,1	7,9	26,2	38,0
27	1691	1790	37,7	30,0	23,2	15,7	10,2	6,2	4,2	11,5	30,5	49,2
28	1790	1892	41,7	31,9	23,9	15,4	9,3	5,4	3,6	12,2	29,3	53,9
29	1892	1940	38,1	29,0	21,8	14,5	9,3	5,9	4,4	11,8	31,1	49,9

em que:

SH = segmento homogêneo;

C.V. = coeficiente de variação;

D_{CFWD} = deflexão característica medida com FWD, (0,01 mm);

Tabela 3.20. – Parâmetros de avaliação do trecho da PR-280.

SH	Estaca		IGG	Flecha (mm)	Ocorrência de Defeitos (%)			
	Inicial	Final			FC-2	FC-3	P	R
1	0	152	59	3,8	7,8	49,0	0,0	0,0
2	152	179	86	5,0	0,0	88,9	0,0	0,0
3	179	224	71	1,0	0,0	86,7	0,0	0,0
4	224	245	91	3,0	0,0	100,0	0,0	0,0
5	245	281	72	2,0	0,0	66,7	0,0	0,0
6	281	356	89	5,0	0,0	72,0	0,0	8,0
7	356	410	66	3,0	5,6	55,6	5,6	5,6
8	410	488	98	5,0	0,0	80,8	3,8	15,4
9	488	530	81	5,0	0,0	71,4	0,0	7,1
10	530	617	56	8,0	3,4	41,4	3,4	3,4
11	617	683	101	4,0	4,3	91,3	4,3	0,0
12	683	725	111	4,0	20,0	80,0	13,3	13,3
13	725	779	153	5,0	11,1	83,3	16,7	11,1
14	779	827	193	11,0	0,0	68,8	12,5	18,8
15	827	878	138	6,0	0,0	72,2	0,0	38,9
16	878	920	79	4,0	20,0	53,3	0,0	13,3
17	920	965	161	7,0	6,3	68,8	12,5	18,8
18	965	1088	152	5,0	0,0	92,7	22,0	29,3
19	1088	1172	27	1,0	3,4	17,2	3,4	0,0
20	1172	1214	126	3,0	40,0	100,0	0,0	0,0
21	1214	1256	52	2,0	0,0	35,7	0,0	0,0
22	1256	1379	86	4,0	0,0	57,1	2,4	0,0
23	1379	1424	129	7,0	0,0	93,8	0,0	0,0
24	1424	1610	47	3,0	0,0	22,6	0,0	1,6
25	1610	1640	140	8,0	0,0	70,0	0,0	0,0
26	1640	1691	123	6,0	0,0	58,8	0,0	23,5
27	1691	1790	127	7,0	0,0	51,5	3,0	9,1
28	1790	1892	126	4,0	0,0	88,6	11,4	20,0
29	1892	1940	147	4,0	0,0	68,8	25,0	37,5

em que:

IGG = Índice de Gravidade Global;

flecha = deformação permanente nas trilhas de roda;

FC-2 = trincas classe 2;

FC-3 = trincas classe 3;

P = panelas;

R = remendos;

Tabela 3.21. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da PR-280.

SH	Estaca		Capa		Base		Sub-base		Subleito
	Inicial	Final	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material
1	0	152	CBUQ	10,0	BGS	20,0	MS	30,0	Argila vermelha
2	152	179	CBUQ	10,0	BGS	20,0	MS	32,0	Argila vermelha
3	179	224	CBUQ	10,0	BGS	20,0	MS	36,0	Argila vermelha
4	224	245	CBUQ	10,0	BGS	20,0	MS	36,0	Argila vermelha
5	245	281	CBUQ	10,0	BGS	20,0	MS	36,0	Argila vermelha
6	281	356	CBUQ	10,0	BGS	20,0	MS	37,0	Argila vermelha
7	356	410	CBUQ	10,0	BGS	40,0	-		Argila vermelha
8	410	488	CBUQ	10,0	BGS	40,0	-		Argila vermelha
9	488	530	CBUQ	15,0	BGS	50,0	-		Argila vermelha
10	530	617	CBUQ	15,0	BGS	42,0	-		Argila vermelha
11	617	683	CBUQ	15,0	BGS	35,0	-		Argila vermelha
12	683	725	CBUQ	10,0	BGS	40,0	-		Argila vermelha
13	725	779	CBUQ	10,0	BGS	40,0	-		Argila vermelha
14	779	827	CBUQ	18,0	BGS	42,0	-		Argila vermelha
15	827	878	CBUQ	18,0	BGS	42,0	-		Argila vermelha
16	878	920	CBUQ	10,0	BGS	40,0	-		Argila vermelha
17	920	965	CBUQ	10,0	BGS	40,0	-		Argila vermelha
18	965	1088	CBUQ	10,0	BGS	70,0	-		Argila vermelha
19	1088	1172	CBUQ	10,0	BGS	40,0	-		Argila vermelha
20	1172	1214	CBUQ	15,0	BGS	30,0	MS	18,0	Argila vermelha
21	1214	1256	CBUQ	15,0	BGS	30,0	MS	18,0	Argila vermelha
22	1256	1379	CBUQ	14,0	BGS	20,0	MS	30,0	Argila vermelha
23	1379	1424	CBUQ	16,0	BGS	15,0	MS	25,0	Argila vermelha
24	1424	1610	CBUQ	14,0	BGS	20,0	MS	20,0	Argila vermelha
25	1610	1640	CBUQ	15,0	BGS	30,0	MS	30,0	Argila vermelha
26	1640	1691	CBUQ	15,0	BGS	30,0	MS	30,0	Argila vermelha
27	1691	1790	CBUQ	15,0	BGS	20,0	MS	30,0	Argila vermelha
28	1790	1892	CBUQ	13,0	BGS	25,0	MS	49,0	Argila vermelha
29	1892	1940	CBUQ	10,0	BGS	30,0	MS	30,0	Argila vermelha

em que:

CBUQ= concreto betuminoso usinado a quente;

BGS = brita graduada simples;

MS = macadame seco.

3.3.5. SP-294

Tabela 3.22. – Características do trecho da SP-294.

SP-294	
Localização:	São Paulo
Extensão:	29,760 km
Pista:	Simplex
Espaçamento:	60 – 60 m (intercalados entre as faixas de tráfego)
Carga Média:	40 kN
Raio da Placa:	15,0 cm
Revestimento:	CBUQ
Número N:	5,08 x 10 ⁶

Tabela 3.23. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da SP-294.

SH		Bacias de Deflexões FWD (0,01 mm)								Deflexão Característica		
km		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7		Desvio	C.V.	D _{CFWD}
Inicial	Final	0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	65 cm	90 cm	120 cm		Padrão	(%)	(0,01 mm)
1	559,980	560,460	72,8	49,2	35,5	21,3	12,3	6,7	4,0	25,1	34,5	97,9
2	560,460	560,940	83,0	62,1	49,8	35,4	23,6	13,9	7,6	37,4	45,1	120,4
3	560,940	564,360	34,0	24,9	20,2	14,4	9,9	5,9	3,5	13,0	38,2	47,0
4	564,360	564,840	48,1	34,6	27,4	18,4	11,7	6,7	3,9	14,4	29,9	62,5
5	564,840	566,100	41,4	31,3	25,3	17,6	11,7	7,0	4,1	15,7	37,8	57,1
6	566,100	566,580	52,1	39,2	31,2	21,3	13,1	7,0	3,6	17,3	33,2	69,4
7	566,580	567,300	53,8	38,9	31,3	21,7	14,1	8,1	4,5	21,5	39,9	75,3
8	567,300	568,080	62,5	48,3	38,8	27,2	17,7	10,1	5,5	16,6	26,5	79,1
9	568,080	568,560	47,6	36,9	30,4	21,9	14,8	8,7	4,5	15,5	32,4	63,1
10	568,560	568,980	47,1	36,2	29,6	21,0	13,9	8,0	4,5	12,9	27,3	59,9
11	568,980	570,240	32,4	24,3	20,2	15,0	10,7	6,8	4,0	15,5	47,7	47,9
12	570,240	570,960	37,4	28,5	23,6	17,4	12,3	7,5	4,4	16,1	43,0	53,5
13	570,960	572,100	37,4	28,3	24,0	18,0	12,6	7,7	4,5	22,4	59,9	59,8
14	572,100	572,700	68,2	51,3	42,4	29,4	18,2	10,4	5,8	39,6	58,1	107,7
15	572,700	573,540	52,2	39,4	32,0	22,5	14,7	8,4	4,7	29,1	55,8	81,3
16	573,540	575,520	35,7	27,1	22,2	15,8	10,8	6,3	3,8	22,2	62,2	57,9
17	575,520	575,940	54,3	42,4	34,4	23,9	16,1	9,6	5,4	17,9	33,0	72,3
18	575,940	577,440	32,2	24,4	19,9	14,3	9,9	6,2	3,8	22,5	69,9	54,6
19	577,440	578,640	74,3	55,8	42,7	26,9	15,5	7,9	4,4	26,0	35,0	100,3
20	578,640	579,300	46,7	39,0	30,2	21,5	14,7	8,7	4,8	36,5	78,2	83,2
21	579,300	579,900	55,5	36,7	28,6	18,8	12,0	6,9	4,1	9,9	17,8	65,3
22	579,900	580,620	40,6	29,7	24,2	16,9	11,1	6,5	3,7	9,3	22,9	49,9
23	580,620	581,160	58,0	43,2	35,1	24,3	15,6	9,1	5,3	35,8	61,6	93,7
24	581,160	582,660	34,9	26,2	22,1	16,0	11,2	6,8	4,0	16,9	48,4	51,7
25	582,660	583,140	60,6	45,2	36,0	24,6	15,5	8,9	5,2	20,1	33,1	80,7
26	583,140	583,560	60,8	41,7	31,9	22,4	15,0	9,1	5,8	25,5	42,0	86,3
27	583,560	583,980	49,9	36,7	29,5	20,6	13,7	8,0	5,0	11,3	22,6	61,1
28	583,980	584,400	71,7	50,5	38,8	25,1	15,0	8,8	5,0	27,7	38,7	99,4
29	584,400	584,880	64,8	46,7	37,1	24,6	15,5	9,1	5,2	27,6	42,6	92,4
30	584,880	585,300	47,3	33,5	26,1	17,1	10,8	6,1	3,3	14,1	29,7	61,3
31	585,300	585,720	59,4	41,9	31,9	19,7	11,5	6,1	3,4	17,8	29,9	77,2
32	585,720	586,320	73,5	52,2	39,9	25,2	14,7	8,0	4,5	18,8	25,5	92,3
33	586,320	587,100	69,2	51,1	39,8	26,1	15,9	8,4	4,4	21,8	31,5	91,0
34	587,100	589,080	81,8	57,6	42,6	25,2	14,5	7,8	4,4	33,1	40,4	114,9

em que:

SH = segmento homogêneo;

C.V. = coeficiente de variação;

D_{CFWD} = deflexão característica medida com FWD, (0,01 mm);

Tabela 3.24. – Parâmetros de avaliação do trecho da SP-294.

SH	km		IGG	Flecha (mm)	Ocorrência de Defeitos (%)			
	Inicial	Final			FC-2	FC-3	P	R
1	559,980	560,460	104	2,2	80,0	0,0	0,0	80,0
2	560,460	560,940	65	3,2	66,7	0,0	0,0	33,3
3	560,940	564,360	41	1,6	34,5	0,0	2,5	16,8
4	564,360	564,840	119	3,6	87,0	0,0	8,7	60,9
5	564,840	566,100	46	1,5	40,6	0,0	0,0	25,0
6	566,100	566,580	51	1,8	39,1	0,0	4,3	34,8
7	566,580	567,300	61	2,4	55,3	0,0	2,6	39,5
8	567,300	568,080	63	3,0	60,5	0,0	0,0	18,4
9	568,080	568,560	50	2,4	37,5	0,0	0,0	29,2
10	568,560	568,980	32	1,5	40,0	0,0	0,0	5,0
11	568,980	570,240	28	0,9	23,1	0,0	0,0	17,9
12	570,240	570,960	30	1,1	22,7	0,0	4,5	9,1
13	570,960	572,100	54	2,0	36,8	0,0	0,0	39,5
14	572,100	572,700	56	2,0	60,0	0,0	0,0	30,0
15	572,700	573,540	66	2,2	46,4	0,0	0,0	28,6
16	573,540	575,520	20	0,7	17,6	0,0	1,5	8,8
17	575,520	575,940	77	2,9	28,6	0,0	0,0	7,1
18	575,940	577,440	16	0,8	16,7	0,0	0,0	4,2
19	577,440	578,640	121	2,2	80,3	0,0	13,1	63,9
20	578,640	579,300	32	2,2	34,4	0,0	0,0	12,5
21	579,300	579,900	74	2,4	71,0	0,0	0,0	45,2
22	579,900	580,620	50	1,9	20,0	5,7	2,9	31,4
23	580,620	581,160	55	1,4	35,7	0,0	7,1	32,1
24	581,160	582,660	15	0,7	14,9	0,0	0,0	4,1
25	582,660	583,140	77	2,3	72,0	0,0	4,0	32,0
26	583,140	583,560	22	1,3	30,0	0,0	0,0	0,0
27	583,560	583,980	105	3,6	86,4	0,0	0,0	54,5
28	583,980	584,400	67	2,6	80,0	0,0	0,0	30,0
29	584,400	584,880	75	2,5	76,0	0,0	4,0	36,0
30	584,880	585,300	66	3,5	75,0	0,0	0,0	20,0
31	585,300	585,720	63	2,7	68,2	0,0	0,0	27,3
32	585,720	586,320	68	2,9	75,9	0,0	0,0	17,2
33	586,320	587,100	100	2,3	81,6	0,0	2,6	55,3
34	587,100	589,080	111	2,8	72,6	0,0	4,2	62,1

em que:

IGG = Índice de Gravidade Global;

flecha = deformação permanente nas trilhas de roda;

FC-2 = trincas classe 2;

FC-3 = trincas classe 3;

P = painéis;

R = remendos;

Tabela 3.25. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da SP-294.

SH	km		Capa		Base		Subleito
	Inicial	Final	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material
1	559,980	560,460	CBUQ	6,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
2	560,460	560,940	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
3	560,940	564,360	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
4	564,360	564,840	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
5	564,840	566,100	CBUQ	6,0	SC	10,0	Areia argilosa vermelha
6	566,100	566,580	CBUQ	6,0	SC	10,0	Areia argilosa vermelha
7	566,580	567,300	CBUQ	6,0	SC	10,0	Areia argilosa vermelha
8	567,300	568,080	CBUQ	6,0	SC	10,0	Areia argilosa vermelha
9	568,080	568,560	CBUQ	6,0	SC	10,0	Areia argilosa vermelha
10	568,560	568,980	CBUQ	6,0	SC	10,0	Areia argilosa vermelha
11	568,980	570,240	CBUQ	6,0	SC	10,0	Areia argilosa vermelha
12	570,240	570,960	CBUQ	6,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
13	570,960	572,100	CBUQ	6,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
14	572,100	572,700	CBUQ	6,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
15	572,700	573,540	CBUQ	6,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
16	573,540	575,520	CBUQ	6,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
17	575,520	575,940	CBUQ	7,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
18	575,940	577,440	CBUQ	7,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
19	577,440	578,640	CBUQ	7,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
20	578,640	579,300	CBUQ	7,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
21	579,300	579,900	CBUQ	7,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
22	579,900	580,620	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
23	580,620	581,160	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
24	581,160	582,660	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
25	582,660	583,140	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
26	583,140	583,560	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
27	583,560	583,980	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
28	583,980	584,400	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
29	584,400	584,880	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
30	584,880	585,300	CBUQ	5,0	SF	20,0	Areia argilosa vermelha
31	585,300	585,720	CBUQ	7,0	SC	13,0	Areia argilosa vermelha
32	585,720	586,320	CBUQ	7,0	SC	13,0	Areia argilosa vermelha
33	586,320	587,100	CBUQ	7,0	SC	13,0	Areia argilosa vermelha
34	587,100	589,080	CBUQ	7,0	SC	13,0	Areia argilosa vermelha

em que:

CBUQ= concreto betuminoso usinado a quente;

SF = solo fino;

SC = solo-cimento;

3.3.6. SP-421

Tabela 3.26. – Características do trecho da SP-421.

SP-421	
Localização:	São Paulo
Extensão:	25,08 km
Pista:	Simplex
Espaçamento:	60 – 60 m (intercalados entre as faixas de tráfego)
Carga Média:	40 kN
Raio da Placa:	15,0 cm
Revestimento:	CBUQ
Número N:	$3,8 \times 10^6$

Tabela 3.27. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da SP-421.

SH			Bacias de Deflexões FWD (0,01 mm)							Deflexão Característica		
	km		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Desvio	C.V.	D _{CFWD}
	Inicial	Final	0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	65 cm	90 cm	120 cm	Padrão	(%)	(0,01 mm)
1	56,000	56,420	39,9	26,9	20,0	12,7	7,5	4,6	3,1	11,7	29,2	51,6
2	56,420	57,140	37,8	25,5	19,0	11,9	6,9	4,0	2,8	10,9	28,8	48,7
3	57,140	57,620	35,1	25,1	19,7	13,1	8,0	4,8	3,3	9,1	25,9	44,2
4	57,620	59,060	48,3	34,7	26,6	17,4	10,1	5,3	3,4	11,9	24,7	60,2
5	59,060	59,540	43,4	30,4	22,0	13,9	8,1	5,1	3,4	12,9	29,7	56,3
6	59,540	60,140	45,2	32,3	24,4	15,8	8,8	4,6	2,9	12,9	28,5	58,1
7	60,140	60,680	38,4	28,5	22,3	14,8	8,9	5,0	3,5	17,3	45,0	55,8
8	60,680	61,100	45,1	34,1	27,1	18,4	11,3	6,5	4,1	14,7	32,7	59,9
9	61,100	61,520	39,9	28,9	22,7	15,4	9,0	5,1	2,9	11,4	28,6	51,3
10	61,520	62,540	33,1	23,6	18,8	13,5	8,3	5,0	3,1	6,9	20,7	39,9
11	62,540	62,960	38,8	25,5	18,4	10,7	5,8	3,4	2,6	3,9	10,0	42,7
12	62,960	63,380	45,2	31,6	22,1	12,6	6,4	3,7	2,6	12,9	28,6	58,1
13	63,380	63,920	33,8	24,3	18,9	12,2	7,3	3,9	2,6	12,7	37,5	46,5
14	63,920	64,520	28,8	21,3	17,6	12,8	8,2	5,0	3,2	6,2	21,6	35,1
15	64,520	65,000	31,0	23,9	18,9	13,6	9,0	5,2	3,2	9,6	31,0	40,6
16	65,000	65,660	31,1	22,6	18,3	12,7	8,2	5,0	3,1	9,2	29,4	40,2
17	65,660	66,620	32,9	24,5	19,2	13,1	8,0	4,4	2,7	9,9	30,0	42,8
18	66,620	68,180	29,3	22,0	18,0	12,7	8,1	4,8	3,1	9,6	32,9	39,0
19	68,180	68,720	48,1	35,9	28,5	19,2	11,7	6,7	4,1	11,4	23,7	59,5
20	68,720	69,200	31,4	23,5	18,8	13,3	8,9	5,5	3,5	5,4	17,3	36,8
21	69,200	69,620	37,3	27,0	21,4	14,5	9,2	5,6	3,7	9,5	25,4	46,8
22	69,620	70,040	37,0	26,2	20,9	13,2	8,2	5,0	3,2	7,7	20,9	44,7
23	70,040	71,000	53,1	38,3	28,5	17,4	10,2	5,6	3,6	13,2	24,9	66,3
24	71,000	71,480	33,0	25,9	21,2	15,4	9,7	5,6	3,2	10,3	31,2	43,4
25	71,480	71,900	37,7	28,2	22,5	15,2	8,8	4,8	2,9	9,1	24,1	46,8
26	71,900	72,500	44,7	31,9	24,1	15,8	9,9	5,6	3,7	18,3	41,0	63,1
27	72,500	73,160	32,3	23,1	17,7	11,8	7,4	4,4	2,7	9,9	30,7	42,2
28	73,160	73,640	46,7	33,7	25,0	16,6	9,9	5,6	3,2	24,5	52,4	71,2
29	73,640	74,360	31,1	24,3	20,1	15,0	10,2	6,5	3,8	9,1	29,4	40,3
30	74,360	74,960	37,2	27,1	21,0	13,9	8,2	4,5	2,8	11,3	30,3	48,4
31	74,960	75,440	35,6	24,8	19,1	12,4	6,7	3,8	2,8	8,8	24,6	44,3
32	75,440	76,460	32,7	25,2	20,3	14,6	9,2	5,5	3,2	10,1	30,9	42,8
33	76,460	77,540	44,4	32,9	25,7	17,6	11,0	6,5	3,9	9,4	21,1	53,8
34	77,540	77,960	34,9	26,7	22,0	15,8	10,5	6,5	3,8	7,8	22,3	42,6
35	77,960	78,920	29,3	21,6	17,1	11,8	7,4	4,5	2,9	12,4	42,2	41,6
36	78,920	79,460	35,6	25,0	19,4	13,2	8,1	5,0	3,1	12,2	34,3	47,8
37	79,460	80,300	30,5	22,1	17,5	12,0	7,5	4,7	3,2	7,2	23,7	37,7
38	80,300	81,080	43,2	29,6	21,9	13,8	8,0	4,7	3,2	16,7	38,6	59,9

em que:

SH = segmento homogêneo;

C.V. = coeficiente de variação;

D_{CFWD} = deflexão característica medida com FWD, (0,01 mm);

Tabela 3.28. – Parâmetros de avaliação do trecho da SP-421.

SH	Estaca		IGG	Flecha (mm)	Ocorrência de Defeitos (%)			
	Inicial	Final			FC-2	FC-3	P	R
1	56,000	56,420	72	2,4	20,0	0,0	0,0	53,3
2	56,420	57,140	39	1,1	4,2	0,0	12,5	8,3
3	57,140	57,620	16	0,9	18,8	0,0	0,0	0,0
4	57,620	59,060	81	4,4	25,5	0,0	6,4	21,3
5	59,060	59,540	16	0,9	6,3	0,0	0,0	6,3
6	59,540	60,140	14	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0
7	60,140	60,680	12	0,6	16,7	0,0	0,0	0,0
8	60,680	61,100	40	2,4	14,3	0,0	7,1	21,4
9	61,100	61,520	52	1,6	35,7	0,0	7,1	14,3
10	61,520	62,540	37	2,0	29,4	0,0	0,0	17,6
11	62,540	62,960	43	2,9	50,0	0,0	0,0	7,1
12	62,960	63,380	50	3,3	78,6	0,0	0,0	0,0
13	63,380	63,920	31	1,8	44,4	0,0	0,0	0,0
14	63,920	64,520	59	1,8	0,0	0,0	30,0	25,0
15	64,520	65,000	59	2,3	6,3	0,0	18,8	0,0
16	65,000	65,660	9	0,3	0,0	0,0	4,3	0,0
17	65,660	66,620	67	2,7	6,3	0,0	6,3	21,9
18	66,620	68,180	22	1,0	0,0	0,0	0,0	4,8
19	68,180	68,720	28	1,0	30,8	0,0	0,0	0,0
20	68,720	69,200	8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	69,200	69,620	44	3,2	33,3	0,0	0,0	0,0
22	69,620	70,040	59	3,8	20,0	0,0	0,0	0,0
23	70,040	71,000	46	2,3	20,8	0,0	4,2	0,0
24	71,000	71,480	32	2,0	6,3	0,0	6,3	6,3
25	71,480	71,900	34	3,0	21,4	0,0	0,0	0,0
26	71,900	72,500	47	3,9	15,8	0,0	0,0	5,3
27	72,500	73,160	35	1,9	4,8	0,0	0,0	0,0
28	73,160	73,640	21	1,6	12,5	0,0	0,0	0,0
29	73,640	74,360	13	1,1	4,2	0,0	0,0	0,0
30	74,360	74,960	22	1,7	5,0	0,0	0,0	5,0
31	74,960	75,440	39	2,3	8,7	0,0	4,3	8,7
32	75,440	76,460	31	2,5	5,9	0,0	0,0	2,0
33	76,460	77,540	36	2,4	13,0	0,0	1,9	0,0
34	77,540	77,960	43	3,2	38,1	0,0	0,0	14,3
35	77,960	78,920	13	0,9	0,0	0,0	0,0	4,2
36	78,920	79,460	8	0,7	7,1	0,0	0,0	0,0
37	79,460	80,300	13	0,5	4,8	0,0	4,8	4,8
38	80,300	81,080	17	0,9	11,1	0,0	0,0	0,0

em que:

IGG = Índice de Gravidade Global;

flecha = deformação permanente nas trilhas de roda;

FC-2 = trincas classe 2;

FC-3 = trincas classe 3;

P = panelas;

R = remendos;

Tabela 3.29. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da SP-421.

SH	km		Capa		Base		Sub-base		Subleito
	Inicial	Final	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material
1	56,000	56,420	CBUQ	4,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
2	56,420	57,140	CBUQ	4,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
3	57,140	57,620	CBUQ	4,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
4	57,620	59,060	CBUQ	5,5	SC	11,5	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
5	59,060	59,540	CBUQ	5,5	SC	11,5	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
6	59,540	60,140	CBUQ	5,5	SC	11,5	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
7	60,140	60,680	CBUQ	5,5	SC	11,5	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
8	60,680	61,100	CBUQ	5,5	SC	11,5	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
9	61,100	61,520	CBUQ	5,5	SC	11,5	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
10	61,520	62,540	CBUQ	5,5	SC	11,5	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
11	62,540	62,960	CBUQ	5,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
12	62,960	63,380	CBUQ	5,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
13	63,380	63,920	CBUQ	5,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
14	63,920	64,520	CBUQ	5,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
15	64,520	65,000	CBUQ	5,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
16	65,000	65,660	CBUQ	5,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
17	65,660	66,620	CBUQ	5,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
18	66,620	68,180	CBUQ	5,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
19	68,180	68,720	CBUQ	3,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
20	68,720	69,200	CBUQ	3,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
21	69,200	69,620	CBUQ	3,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
22	69,620	70,040	CBUQ	3,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
23	70,040	71,000	CBUQ	3,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
24	71,000	71,480	CBUQ	3,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
25	71,480	71,900	CBUQ	3,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
26	71,900	72,500	CBUQ	3,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
27	72,500	73,160	CBUQ	6,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
28	73,160	73,640	CBUQ	6,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
29	73,640	74,360	CBUQ	6,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
30	74,360	74,960	CBUQ	6,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
31	74,960	75,440	CBUQ	6,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
32	75,440	76,460	CBUQ	6,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
33	76,460	77,540	CBUQ	6,5	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
34	77,540	77,960	CBUQ	7,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
35	77,960	78,920	CBUQ	7,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
36	78,920	79,460	CBUQ	7,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
37	79,460	80,300	CBUQ	7,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
38	80,300	81,080	CBUQ	7,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha

em que:

CBUQ= concreto betuminoso usinado a quente;

SC = solo-cimento;

SF = solo fino;

3.3.7. SP-425

Tabela 3.30. – Características do trecho da SP-425.

SP-425	
Localização:	São Paulo
Extensão:	41,16 km
Pista:	Simples
Espaçamento:	60 – 60 m (intercalados entre as faixas de tráfego)
Carga Média:	40 kN
Raio da Placa:	15,0 cm
Revestimento:	CBUQ
Número N:	$3,0 \times 10^7$

Tabela 3.31.A. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da SP-425.

SH			Bacias de Deflexões FWD (0,01 mm)							Deflexão Característica		
N	Estaca		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Desvio Padrão	C.V. (%)	D _{CFWD} (0,01 mm)
	Inicial	Final	0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	65 cm	90 cm	120 cm			
1	0	18	51,6	36,3	26,9	15,9	9,5	5,9	4,2	14,4	28,0	66,1
2	18	48	40,5	31,7	24,9	17,4	11,8	7,5	5,1	15,9	39,1	56,4
3	48	75	33,6	24,8	20,2	14,4	9,9	6,2	4,0	3,8	11,3	37,4
4	75	111	49,3	34,5	26,3	17,0	10,6	6,6	4,2	14,0	28,4	63,3
5	111	165	35,9	25,1	19,5	13,3	8,8	5,7	3,9	8,7	24,2	44,6
6	165	189	46,6	34,7	27,0	18,2	11,5	7,2	4,6	8,5	18,2	55,1
7	189	204	31,7	24,1	19,8	14,3	9,7	6,3	4,2	7,7	24,3	39,3
8	204	222	45,0	33,0	25,3	17,0	10,8	6,5	4,1	8,6	19,2	53,6
9	222	237	32,5	24,3	18,6	11,8	7,5	4,6	3,0	5,5	17,0	38,0
10	237	267	48,8	34,5	25,6	15,4	9,5	5,7	3,8	10,9	22,3	59,6
11	267	312	35,2	26,4	21,1	15,0	10,2	6,6	4,0	11,2	31,8	46,3
12	312	342	48,4	34,0	26,0	16,6	10,4	6,8	4,3	14,0	28,9	62,3
13	342	375	37,1	26,3	20,8	14,4	9,8	6,3	4,0	11,2	30,1	48,3
14	375	396	48,5	33,9	25,2	15,7	9,8	6,0	3,9	16,6	34,1	65,1
15	396	414	42,4	29,6	21,9	13,6	8,5	5,3	3,7	7,5	17,6	49,9
16	414	465	34,2	24,6	19,0	12,6	8,3	5,3	3,4	9,1	26,7	43,3
17	465	495	46,3	32,5	24,8	15,8	9,7	6,2	4,0	10,6	23,0	57,0
18	495	549	35,4	25,6	19,9	13,1	8,3	5,4	3,8	7,3	20,5	42,7
19	549	633	39,3	28,7	22,2	14,5	9,2	5,8	4,1	7,8	20,0	47,1
20	633	663	47,9	34,3	26,4	17,5	11,4	7,2	4,6	12,9	26,9	60,8
21	663	726	37,1	26,9	20,9	13,8	8,9	5,6	3,8	9,8	26,4	46,9
22	726	783	47,8	32,4	24,1	14,8	9,3	6,1	4,3	11,9	24,8	59,6
23	783	795	31,4	20,7	14,9	8,5	4,9	2,9	1,9	11,9	38,0	43,3
24	795	819	43,1	30,6	23,2	14,4	8,7	5,3	3,5	5,3	12,2	48,3

Tabela 3.31.B. – Cálculo estatístico de deflexões para o trecho da SP-425.

N	SH		Bacias de Deflexões FWD (0,01 mm)							Deflexão Característica		
	Estaca		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Desvio Padrão	C.V. (%)	D _{CFWD} (0,01 mm)
	Inicial	Final	0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	65 cm	90 cm	120 cm			
25	819	864	32,3	22,2	16,6	10,2	6,5	4,2	2,9	6,0	18,7	38,3
26	864	888	44,1	31,3	24,6	16,2	10,4	6,3	4,0	11,1	25,1	55,2
27	888	927	34,7	24,5	18,9	12,2	7,7	4,7	3,2	9,6	27,8	44,3
28	927	936	56,9	36,7	27,5	16,9	10,0	5,8	3,9	20,7	36,4	77,6
29	936	963	40,9	27,2	20,6	13,2	8,3	5,3	3,8	9,1	22,2	50,0
30	963	990	40,2	27,3	20,7	13,2	8,4	5,3	3,8	4,1	10,3	44,3
31	990	1002	49,6	36,6	28,6	18,4	11,5	6,6	4,1	12,2	24,6	61,7
32	1002	1029	36,7	26,1	20,2	12,8	8,1	5,0	3,5	4,8	13,0	41,5
33	1029	1050	27,0	18,3	14,6	10,1	6,8	4,5	3,2	10,8	39,9	37,7
34	1050	1068	59,8	39,3	27,3	16,3	9,6	6,1	4,1	15,0	25,0	74,8
35	1068	1089	37,9	25,8	20,0	13,2	8,3	5,4	3,6	10,2	26,8	48,1
36	1089	1110	36,8	25,5	19,4	12,9	8,0	5,0	3,3	12,1	32,9	48,9
37	1110	1134	39,3	27,4	21,4	13,8	8,6	5,3	3,5	6,0	15,2	45,3
38	1134	1161	39,6	26,2	20,1	13,1	8,1	5,1	3,7	5,8	14,5	45,3
39	1161	1182	38,8	27,7	21,7	14,7	9,5	6,2	4,2	11,7	30,2	50,6
40	1182	1230	37,9	27,3	21,5	14,2	9,1	5,6	3,8	7,5	19,9	45,5
41	1230	1257	41,6	29,6	22,7	14,8	9,7	6,1	4,1	8,3	20,0	49,9
42	1257	1314	38,4	28,4	22,6	15,0	9,5	6,0	4,0	7,5	19,4	45,8
43	1314	1341	51,0	36,4	27,2	17,1	10,6	6,4	4,1	10,3	20,1	61,3
44	1341	1350	40,4	27,9	21,0	13,1	8,3	5,2	3,9	7,2	17,8	47,6
45	1350	1377	56,1	38,2	29,2	18,2	10,3	6,1	4,2	15,4	27,5	71,6
46	1377	1404	58,1	40,8	31,7	20,9	12,7	7,9	5,1	13,2	22,8	71,3
47	1404	1422	41,5	28,3	20,9	12,7	8,2	5,3	3,4	6,5	15,7	48,0
48	1422	1491	61,7	41,4	29,8	17,3	9,8	5,7	3,8	14,9	24,2	76,6
49	1491	1512	43,6	33,1	25,8	17,2	11,1	6,8	4,2	17,9	41,0	61,4
50	1512	1554	34,7	24,1	18,1	11,9	7,8	5,0	3,5	10,1	29,0	44,8
51	1554	1599	51,8	33,7	24,4	14,3	8,2	5,1	3,4	12,2	23,6	64,1
52	1599	1620	42,9	27,9	20,2	11,9	6,9	4,2	2,6	11,2	26,1	54,2
53	1620	1638	65,5	48,6	36,7	21,5	12,3	7,2	4,7	15,0	22,9	80,5
54	1638	1671	40,8	28,3	21,4	13,6	8,8	5,6	3,6	12,7	31,0	53,4
55	1671	1683	61,1	41,6	31,4	18,6	10,8	6,5	4,1	20,9	34,2	81,9
56	1683	1716	40,2	28,9	22,6	14,8	9,6	5,9	3,9	12,1	30,1	52,3
57	1716	1740	53,5	37,2	27,3	16,5	10,0	6,2	4,2	9,6	17,9	63,0
58	1740	1815	44,9	31,2	23,6	15,0	9,4	5,8	3,8	7,6	16,8	52,5
59	1815	1842	46,6	30,1	22,1	12,9	7,4	4,6	3,3	9,0	19,4	55,6
60	1842	1863	56,1	38,7	28,7	16,8	10,1	6,0	3,8	12,1	21,6	68,2
61	1863	1887	44,3	31,3	23,4	15,2	9,8	6,3	4,1	8,3	18,7	52,5
62	1887	1908	50,4	34,8	26,1	16,8	10,2	6,2	4,1	11,7	23,2	62,1
63	1908	1920	35,8	26,7	21,3	14,3	9,3	6,0	3,6	9,8	27,3	45,6
64	1920	1953	60,8	44,2	34,2	22,0	13,4	7,8	4,2	12,3	20,3	73,1
65	1953	1992	49,1	32,8	25,0	15,4	9,3	5,6	3,5	15,9	32,4	65,0
66	1992	2022	42,6	29,4	22,5	14,3	8,8	5,5	3,9	6,9	16,2	49,5
67	2022	2058	55,2	36,2	25,0	13,3	6,6	2,9	2,0	20,5	37,1	75,7

em que:

SH = segmento homogêneo;

C.V. = coeficiente de variação;

D_{CFWD} = deflexão característica medida com FWD, (0,01 mm);

Tabela 3.32.A. – Parâmetros de avaliação do trecho da SP-425.

SH	Estaca		IGG	Flecha (mm)	Ocorrência de Defeitos (%)			
	Inicial	Final			FC-2	FC-3	P	R
1	0	18	50	1,1	14,3	14,3	0,0	0,0
2	18	48	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	48	75	77	1,4	0,0	44,4	0,0	0,0
4	75	111	8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
5	111	165	81	2,5	16,7	22,2	5,6	0,0
6	165	189	48	1,2	12,5	12,5	0,0	0,0
7	189	204	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	204	222	5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
9	222	237	97	2,7	0,0	60,0	0,0	0,0
10	237	267	53	2,5	10,0	30,0	0,0	0,0
11	267	312	31	1,6	26,7	6,7	0,0	0,0
12	312	342	57	2,7	20,0	10,0	0,0	0,0
13	342	375	44	1,2	18,2	18,2	0,0	0,0
14	375	396	72	1,9	0,0	28,6	0,0	14,3
15	396	414	7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	414	465	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	465	495	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	495	549	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	549	633	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	633	663	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	663	726	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	726	783	9	0,2	5,3	0,0	0,0	0,0
23	783	795	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	795	819	8	0,3	12,5	0,0	0,0	0,0
25	819	864	9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
26	864	888	46	0,9	0,0	50,0	0,0	0,0
27	888	927	39	0,8	15,4	23,1	0,0	0,0
28	927	936	136	4,7	0,0	100,0	0,0	0,0
29	936	963	44	1,5	0,0	33,3	0,0	0,0
30	963	990	34	1,3	11,1	22,2	0,0	0,0
31	990	1002	54	1,3	0,0	50,0	0,0	0,0
32	1002	1029	13	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 3.32.B. – Parâmetros de avaliação do trecho da SP-425.

SH	Estaca		IGG	Flecha (mm)	Ocorrência de Defeitos (%)			
	Inicial	Final			FC-2	FC-3	P	R
33	1029	1050	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34	1050	1068	90	0,6	0,0	100,0	0,0	0,0
35	1068	1089	42	0,7	14,3	14,3	0,0	14,3
36	1089	1110	14	0,1	14,3	0,0	0,0	0,0
37	1110	1134	13	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
38	1134	1161	58	1,5	22,2	22,2	0,0	0,0
39	1161	1182	39	0,4	28,6	0,0	0,0	0,0
40	1182	1230	28	0,0	0,0	18,8	0,0	0,0
41	1230	1257	51	1,1	22,2	33,3	0,0	0,0
42	1257	1314	41	0,7	0,0	31,6	0,0	0,0
43	1314	1341	42	0,2	0,0	33,3	0,0	0,0
44	1341	1350	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
45	1350	1377	66	0,8	11,1	55,6	0,0	0,0
46	1377	1404	127	2,3	10,0	80,0	0,0	0,0
47	1404	1422	84	1,1	0,0	66,7	0,0	0,0
48	1422	1491	66	0,9	21,7	43,5	0,0	0,0
49	1491	1512	57	0,9	0,0	42,9	0,0	0,0
50	1512	1554	47	0,8	7,1	28,6	0,0	0,0
51	1554	1599	132	4,9	6,7	60,0	0,0	6,7
52	1599	1620	128	2,0	0,0	71,4	0,0	14,3
53	1620	1638	103	1,9	16,7	50,0	16,7	0,0
54	1638	1671	79	1,9	9,1	27,3	0,0	0,0
55	1671	1683	105	2,1	25,0	75,0	0,0	0,0
56	1683	1716	97	2,4	9,1	45,5	0,0	0,0
57	1716	1740	100	3,2	0,0	37,5	0,0	12,5
58	1740	1815	48	1,5	8,0	16,0	0,0	0,0
59	1815	1842	41	2,0	11,1	11,1	0,0	0,0
60	1842	1863	88	4,7	28,6	28,6	0,0	0,0
61	1863	1887	64	1,9	37,5	12,5	0,0	0,0
62	1887	1908	76	3,2	28,6	28,6	0,0	0,0
63	1908	1920	17	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
64	1920	1953	93	3,0	18,2	54,5	0,0	0,0
65	1953	1992	70	1,1	23,1	46,2	0,0	0,0
66	1992	2022	65	2,0	30,0	40,0	0,0	0,0
67	2022	2058	77	0,9	16,7	66,7	0,0	8,3

em que:

IGG = Índice de Gravidade Global;

flecha = deformação permanente nas trilhas de roda;

FC-2 = trincas classe 2;

FC-3 = trincas classe 3;

P = panelas;

R = remendos;

Tabela 3.33.A. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da SP-425.

SH	km		Capa		Base		Sub-base		Subleito
	Inicial	Final	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material
1	0	18	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
2	18	48	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
3	48	75	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
4	75	111	CBUQ	11,0	SC	15,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
5	111	165	CBUQ	11,0	SC	15,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
6	165	189	CBUQ	11,0	SC	15,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
7	189	204	CBUQ	11,0	SC	15,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
8	204	222	CBUQ	8,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
9	222	237	CBUQ	8,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
10	237	267	CBUQ	8,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
11	267	312	CBUQ	9,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
12	312	342	CBUQ	9,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
13	342	375	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
14	375	396	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
15	396	414	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
16	414	465	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
17	465	495	CBUQ	12,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
18	495	549	CBUQ	12,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
19	549	633	CBUQ	12,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
20	633	663	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
21	663	726	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
22	726	783	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
23	783	795	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
24	795	819	CBUQ	8,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
25	819	864	CBUQ	10,0	SC	8,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
26	864	888	CBUQ	10,0	SC	8,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
27	888	927	CBUQ	10,0	SC	8,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
28	927	936	CBUQ	10,0	SC	8,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
29	936	963	CBUQ	10,0	SC	8,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
30	963	990	CBUQ	10,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
31	990	1002	CBUQ	10,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
32	1002	1029	CBUQ	10,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha

Tabela 3.33.B. – Estrutura do pavimento (materiais e espessura das camadas) do trecho da SP-425.

SH	km		Capa		Base		Sub-base		Subleito
	Inicial	Final	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material	Espessura (cm)	Material
33	1029	1050	CBUQ	10,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
34	1050	1068	CBUQ	7,0	SC	8,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
35	1068	1089	CBUQ	7,0	SC	8,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
36	1089	1110	CBUQ	7,0	SC	8,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
37	1110	1134	CBUQ	7,0	SC	8,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
38	1134	1161	CBUQ	6,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
39	1161	1182	CBUQ	6,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
40	1182	1230	CBUQ	6,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
41	1230	1257	CBUQ	6,0	SC	13,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
42	1257	1314	CBUQ	5,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
43	1314	1341	CBUQ	5,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
44	1341	1350	CBUQ	5,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
45	1350	1377	CBUQ	5,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
46	1377	1404	CBUQ	11,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
47	1404	1422	CBUQ	11,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
48	1422	1491	CBUQ	11,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
49	1491	1512	CBUQ	11,0	SC	10,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
50	1512	1554	CBUQ	7,0	SC	11,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
51	1554	1599	CBUQ	7,0	SC	11,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
52	1599	1620	CBUQ	7,0	SC	11,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
53	1620	1638	CBUQ	9,0	SC	11,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
54	1638	1671	CBUQ	9,0	SC	11,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
55	1671	1683	CBUQ	9,0	SC	11,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
56	1683	1716	CBUQ	9,0	SC	11,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
57	1716	1740	CBUQ	5,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
58	1740	1815	CBUQ	5,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
59	1815	1842	CBUQ	7,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
60	1842	1863	CBUQ	7,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
61	1863	1887	CBUQ	7,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
62	1887	1908	CBUQ	7,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
63	1908	1920	CBUQ	8,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
64	1920	1953	CBUQ	8,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
65	1953	1992	CBUQ	8,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
66	1992	2022	CBUQ	8,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha
67	2022	2058	CBUQ	8,0	SC	12,0	SF	20,0	Argila arenosa vermelha

em que:

CBUQ= concreto betuminoso usinado a quente;

SC = solo-cimento;

SF = solo fino;

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Introdução

Os dados referentes aos trechos objetos desta pesquisa foram apresentados no Capítulo 03, bem como os programas computacionais que serão utilizados na retroanálise dos módulos e na análise mecânica.

Determinadas as deflexões características (deflexão máxima somada ao desvio padrão) para cada segmento homogêneo, faz-se a conversão dos valores obtidos com o equipamento FWD para valores equivalentes em Viga Benkelman, com o uso das expressões 24 e 25, de Duarte *et al.* (1996), e 26, de Rocha Filho & Rodrigues (1998), visando o estudo da influência destas correlações no resultado do dimensionamento de reforço pelas normas DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94.

As bacias de deflexão características e os resultados das sondagens de pavimento serviram de dados de entrada para a retroanálise elástico-linear dos módulos resilientes das camadas que compõem as diversas estruturas de pavimento.

Para o dimensionamento de reforço por um critério mecânico foram selecionados, entre todos os trechos, os cinquenta segmentos que apresentaram os valores mais coerentes para cada tipo de material e os menores erros finais na retroanálise.

Os valores limitantes para as respostas estruturais críticas foram determinados utilizando as equações da Shell (1978), do Instituto do Asfalto (1982) e de Pinto (1991) para a fadiga no revestimento betuminoso, as equações da Shell e do Instituto do Asfalto para a deformação permanente e a equação adotada por Franco (2000) para a fadiga em bases cimentadas.

O dimensionamento mecânico foi feito com a utilização do programa ELSYM5, sendo inseridos como dados de entrada os resultados das retroanálises. A camada de reforço é adicionada à estrutura existente e sua espessura é determinada comparando-se os esforços calculados pelo programa com as respostas estruturais críticas. Para o módulo de resiliência do reforço estrutural foi adotado o valor de 35.000 kgf/cm^2 para todos os segmentos.

Concluída a etapa de dimensionamento mecânico, foi feita a comparação com os resultados do dimensionamento pelas normas DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 e o dimensionamento mecânico.

4.2. Retroanálise dos Módulos Resilientes

Na retroanálise dos módulos resilientes foram utilizados os mesmos parâmetros para todos os segmentos em estudo. Dessa forma, foram fixados os valores para o coeficiente de Poisson, módulos iniciais (*seed moduli*) e do intervalo de variação dos módulos (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Parâmetros relativos às propriedades das camadas utilizados na retroanálise dos módulos resilientes.

Camada / Material	Coefficiente de Poisson	Módulo Inicial (kgf/cm ²)	Limite Inferior (kgf/cm ²)	Limite Superior (kgf/cm ²)
Capa / CBUQ	0,30	35.000	7.000	140.000
Base / SC	0,20	10.000	1.000	25.000
Base / PBG	0,35	2.500	1.000	7.500
Base / SEG	0,35	2.000	700	3.500
Sub-base / MS	0,35	1.500	500	3.000
Reforço / Solos finos	0,40	1.500	500	3.000
Subleito / Solos finos	0,45	1.000	500	3.000

A tolerância usada nas retroanálises foi de 1,0 % para o erro relativo às deflexões medidas e calculadas e para a tolerância em relação aos módulos calculados em duas iterações sucessivas. O número limite de iterações para a busca dos módulos foi estipulado em vinte.

A presença de uma camada rígida sob o subleito foi verificada apenas para os segmentos que não apresentaram, em sua maioria, concordância entre as bacias medidas e as calculadas, com erro final superior a 10%. Sendo verificado este fato, nova retroanálise foi efetuada considerando uma camada adicional, simulando a presença de uma camada rígida.

Somente o Trecho 02 da BR-101/SC e o trecho da SP-294 necessitaram da consideração de camada rígida. O módulo resiliente encontrado manualmente para esta camada, para os dois trechos, foi de 7.500 kgf/cm². Tal módulo refere-se a uma camada rígida “aparente” (Ullidtz & Coetzee, 1999).

As tabelas seguintes apresentam os resultados da retroanálise para cada segmento homogêneo.

Tabela 4.2. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos do Trecho 01 da BR-101/SC

SH	Módulos Resilientes (kgf/cm ²)				
	Carga (kN)	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Erro (RMS)
1	42,2	10.367	1.000	2.319	5,5
2	43,5	33.014	1.495	2.783	3,0
3	42,9	26.525	1.734	1.691	2,4
4	43,3	34.880	1.981	2.198	2,8
5	43,8	43.740	2.119	2.539	2,5
6	43,8	38.570	2.096	2.271	2,3
7	43,4	31.028	1.912	2.221	2,6
8	43,5	32.252	1.991	2.359	2,1
9	43,1	30.695	1.354	2.337	2,7
10	43,2	34.982	1.696	2.630	3,2
11	43,5	24.655	1.202	2.335	2,7
12	43,4	27.132	1.000	2.647	3,2
13	43,9	34.525	1.534	3.006	2,7
14	43,4	27.209	1.281	2.867	3,6
15	43,5	29.597	1.237	2.518	2,9
16	43,2	34.725	1.129	2.345	2,9
17	43,0	27.381	1.301	1.964	2,9
18	42,5	109.578	3.611	1.750	3,2
19	42,7	140.000	4.107	2.144	3,1
20	42,3	129.070	3.214	2.003	2,9
21	42,6	140.000	4.334	2.706	2,6
22	42,2	92.184	2.119	2.161	2,5
23	42,9	140.000	5.000	3.200	9,0
24	42,6	69.304	3.829	2.228	3,0
25	42,7	124.722	5.000	2.641	3,4
26	43,0	133.686	5.000	2.907	3,8
27	42,5	83.260	1.733	2.387	2,3
28	43,3	137.410	2.765	2.527	2,3
29	43,0	72.205	2.291	2.452	2,3
30	42,4	69.419	2.415	2.672	2,8
31	42,5	53.199	2.370	2.619	3,1
32	42,8	76.752	2.802	2.250	2,3
33	42,9	84.608	3.905	2.704	2,6
34	42,8	37.779	2.289	2.415	2,5

Tabela 4.3. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos do Trecho 02 da BR-101/SC

SH	Módulos Resilientes (kgf/cm ²)						Erro (RMS)
	Carga (kN)	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada Rígida		
					prof. (cm)	Módulo	
1	40,4	40.818	2.272	720	166,2	7.500	6,2
2	41,5	82.837	4.597	1.557	332,5	7.500	3,1
3	40,7	53.296	2.887	876	185,4	7.500	5,9
4	41,4	82.837	5.473	1.245	275,2	7.500	4,8
5	41,5	82.837	3.509	1.002	235,4	7.500	3,5
6	41,3	28.850	2.673	760	173,1	7.500	4,5
7	41,1	82.837	3.359	982	218,6	7.500	3,4
8	41,0	82.837	3.250	915	213,3	7.500	4,0
9	41,2	80.678	2.958	834	210,6	7.500	3,8
10	42,1	82.837	4.593	1.068	342,0	7.500	4,0
11	41,2	60.238	2.121	634	151,6	7.500	5,1
12	41,3	82.837	2.487	819	158,0	7.500	4,0
13	41,6	82.837	6.654	1.488	267,8	7.500	4,8
14	40,6	30.905	2.036	698	140,8	7.500	7,8
15	41,2	29.695	2.764	796	150,8	7.500	7,6
16	41,3	58.356	3.551	876	202,1	7.500	3,5
17	41,9	82.837	5.351	1.128	243,1	7.500	3,9
18	41,5	48.503	2.987	844	174,5	7.500	4,0
19	41,8	82.837	6.160	1.233	288,4	7.500	4,7
20	41,2	79.522	2.405	898	152,1	7.500	4,2
21	41,8	82.837	3.616	1.328	169,5	7.500	5,9
22	41,8	82.837	2.749	814	194,2	7.500	3,9
23	41,9	82.837	3.018	892	203,6	7.500	4,2
24	41,9	63.119	2.318	855	173,0	7.500	4,1
25	42,1	82.837	4.344	1.142	207,7	7.500	4,6
26	42,1	82.837	5.886	1.337	271,7	7.500	5,7
27	41,8	61.683	2.242	916	152,3	7.500	4,4
28	42,4	82.837	4.678	1.716	185,3	7.500	5,1
29	42,1	82.837	4.854	1.289	211,2	7.500	5,2
30	43,1	82.837	5.722	1.421	295,0	7.500	5,6

Tabela 4.4. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos com três camadas do Trecho da PR-218

SH	Módulos Resilientes (kgf/cm ²)				
	Carga (kN)	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Erro (RMS)
4	40,6	140.000	7.410	1.949	2,5
5	41,1	23.017	24.833	2.238	1,4
6	41,0	13.114	20.566	1.966	2,9
7	40,3	67.998	1.000	1.785	3,9
8	40,9	140.000	1.284	2.996	4,2
9	40,5	109.086	1.000	2.345	3,0
10	41,4	79.940	23.960	3.000	10,4
12	41,0	89.136	8.015	2.834	3,3
13	40,6	140.000	3.123	2.802	3,6
14	41,0	129.970	9.920	3.000	7,8
15	40,5	136.077	2.024	2.890	3,2
18	41,0	40.568	4.701	2.215	2,4
19	40,2	30.905	1.000	2.123	3,6
20	40,8	55.690	17.233	2.630	2,4
21	40,1	140.000	1.717	2.204	7,7

Tabela 4.5. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos com quatro camadas do Trecho da PR-218

SH	Módulos Resilientes (kgf/cm ²)					
	Carga (kN)	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4	Erro (RMS)
1	40,9	13.058	16.108	1.432	1.907	1,0
2	41,2	18.246	24.655	2.127	1.904	2,1
3	40,7	12.643	18.345	871	1.676	2,0
11	40,2	22.611	9.778	1.179	2.343	1,2
16	41,2	34.731	18.071	2.500	3.000	3,3
17	40,4	18.807	6.882	1.409	2.114	1,4

Tabela 4.6. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos com três camadas do Trecho da PR-280

SH	Módulos Resilientes (kgf/cm ²)				
	Carga (kN)	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Erro (RMS)
7	39,5	140.000	942	1.795	2,4
8	38,7	47.779	686	1.662	2,8
9	38,6	11.859	957	1.789	3,5
10	39,3	24.578	1.354	2.049	2,4
11	40,9	21.223	1.004	1.477	1,7
12	40,6	44.140	1.445	1.746	2,3
13	40,3	53.835	1.003	1.829	2,1
14	40,2	26.556	757	1.824	1,8
15	40,3	19.175	638	1.972	1,8
16	39,9	54.635	805	1.670	1,9
17	40,0	54.115	1.188	1.893	0,8
18	39,5	29.312	1.148	1.767	1,6
19	40,5	86.924	815	1.854	1,4

Tabela 4.7. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes dos segmentos com quatro camadas do Trecho da PR-280

SH	Módulos Resilientes (kgf/cm ²)					
	Carga (kN)	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4	Erro (RMS)
1	39,4	100.114	768	2.500	1.877	2,7
2	39,4	39.656	1.072	1.731	1.831	0,7
3	39,2	55.566	2.260	1.236	2.040	2,8
4	39,0	19.839	2.951	936	2.083	1,9
5	39,2	41.837	2.403	1.298	2.027	2,6
6	38,9	27.045	2.315	908	1.835	1,5
20	40,2	22.428	764	1.003	1.446	1,3
21	40,5	31.931	925	2.500	1.781	1,4
22	41,0	37.726	1.427	1.969	2.143	1,4
23	41,0	15.633	572	2.500	1.631	3,2
24	41,0	51.324	806	2.500	1.896	2,3
25	40,3	20.062	898	2.500	1.727	3,4
26	40,8	40.204	1.082	2.500	2.905	1,8
27	39,9	28.738	763	2.037	2.068	1,8
28	39,0	27.962	930	1.712	2.330	1,5
29	38,7	55.516	1.260	2.500	1.923	1,4

Tabela 4.8. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes do Trecho da SP-294

SH	Módulos Resilientes (kgf/cm²)						Erro (RMS)
	Carga (kN)	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada Rígida		
					prof. (cm)	Módulo	
1	40,0	42.605	1.459	778	168,6	7.500	5,2
2	39,6	140.000	1.236	500	213,0	7.500	5,9
3	40,3	140.000	4.451	1.155	204,0	7.500	3,6
4	40,2	140.000	2.675	861	174,3	7.500	2,6
5	40,2	87.868	12.643	1.096	264,2	7.500	2,9
6	40,1	82.334	9.673	794	180,6	7.500	4,9
7	39,8	68.842	10.298	821	223,3	7.500	4,7
8	39,7	70.508	9.299	636	218,9	7.500	4,2
9	39,8	87.407	14.441	799	221,9	7.500	2,3
10	40,0	93.506	12.971	850	224,4	7.500	3,6
11	40,3	123.558	24.238	1.290	297,1	7.500	3,4
12	40,2	140.000	3.366	1.058	271,1	7.500	4,3
13	40,2	140.000	3.444	1.030	271,8	7.500	5,0
14	39,8	129.163	1.323	593	200,8	7.500	1,8
15	40,1	140.000	1.976	758	199,0	7.500	1,7
16	40,4	140.000	3.483	1.101	215,2	7.500	3,3
17	40,0	120.508	1.536	764	240,6	7.500	1,2
18	40,3	140.000	3.160	1.415	323,8	7.500	2,6
19	39,8	43.214	1.336	558	144,3	7.500	6,0
20	40,2	140.000	1.765	843	230,6	7.500	2,3
21	39,2	40.799	2.064	902	203,0	7.500	2,3
22	39,4	140.000	3.307	955	190,1	7.500	3,4
23	39,3	140.000	2.144	647	193,1	7.500	2,5
24	39,5	140.000	4.380	1.037	227,7	7.500	4,8
25	39,0	140.000	1.980	620	181,3	7.500	2,9
26	39,0	73.516	2.401	725	234,0	7.500	2,4
27	39,1	140.000	2.793	726	191,1	7.500	3,2
28	39,1	96.045	1.569	645	187,3	7.500	2,9
29	39,1	134.248	1.728	660	199,0	7.500	1,8
30	39,4	140.000	2.501	914	165,2	7.500	1,6
31	39,0	33.319	3.425	827	174,1	7.500	7,1
32	38,9	27.002	2.975	651	186,5	7.500	7,3
33	38,9	34.639	4.016	592	173,1	7.500	6,5
34	38,8	21.955	2.207	636	181,6	7.500	8,5

Tabela 4.9. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes do Trecho da SP-421

SH	Módulos Resilientes (kgf/cm ²)					
	Carga (kN)	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4	Erro (RMS)
1	39,5	67.737	11.357	869	2.565	1,7
2	39,6	64.809	12.619	851	2.869	1,1
3	39,9	70.053	17.887	887	2.514	0,7
4	39,3	7.000	14.801	700	2.098	8,0
5	39,1	66.317	5.846	774	2.332	1,6
6	38,9	140.000	2.992	700	2.429	6,8
7	39,0	140.000	6.678	700	2.322	1,7
8	38,5	140.000	4.239	700	1.796	5,3
9	39,4	140.000	5.848	700	2.455	6,9
10	39,5	56.073	17.827	700	2.646	2,0
11	39,6	7.321	21.059	1.024	3.000	3,7
12	39,9	140.000	4.163	700	2.997	1,2
13	39,4	32.013	25.000	732	3.000	1,8
14	38,7	140.000	25.000	804	2.571	1,6
15	38,5	95.005	25.000	700	2.472	2,4
16	39,4	107.164	23.014	786	2.628	2,3
17	38,7	43.125	25.000	700	2.788	2,8
18	39,3	118.554	25.000	774	2.687	1,0
19	39,2	18.672	25.000	700	1.758	6,3
20	39,2	140.000	25.000	996	2.286	2,8
21	39,4	140.000	19.524	790	2.204	1,4
22	39,0	140.000	17.538	766	2.456	2,4
23	38,5	7.000	23.108	700	1.919	7,7
24	38,8	140.000	25.000	700	2.310	5,7
25	38,6	42.661	25.000	700	2.438	5,9
26	38,5	46.022	17.036	700	2.041	3,1
27	38,5	45.810	16.734	769	2.855	2,8
28	38,3	7.000	20.518	700	2.095	8,7
29	38,7	65.699	25.000	700	2.119	3,2
30	38,3	12.403	25.000	700	2.587	3,9
31	38,1	10.356	25.000	784	2.849	2,0
32	38,1	29.799	25.000	700	2.332	3,9
33	38,4	8.856	25.000	700	1.851	5,2
34	38,7	26.364	25.000	700	2.039	3,7
35	38,4	38.340	20.460	865	2.753	1,0
36	38,4	26.448	16.670	754	2.496	2,5
37	38,7	23.636	21.348	1.061	2.548	0,4
38	38,8	21.725	9.065	703	2.450	0,9

Tabela 4.10.A. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes do Trecho da SP-425

SH	Módulos Resilientes (kgf/cm ²)					Erro (RMS)
	Carga (kN)	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4	
1	41,2	47.062	1.862	899	2.027	1,4
2	41,1	58.706	7.714	854	1.728	1,3
3	41,0	23.641	25.000	892	2.178	1,9
4	41,1	20.459	2.325	700	2.018	1,9
5	40,9	21.353	4.420	1.066	2.286	0,7
6	40,9	32.111	1.971	700	1.865	1,5
7	41,3	40.031	5.745	848	2.208	0,5
8	41,1	67.595	3.157	700	2.024	2,5
9	40,8	67.768	5.267	936	2.818	2,0
10	40,4	35.497	3.073	700	2.166	2,2
11	40,7	22.985	11.641	700	2.169	2,4
12	40,8	21.441	4.135	700	1.953	2,6
13	40,9	13.023	25.000	997	2.108	2,8
14	40,6	20.213	6.877	700	2.088	2,6
15	40,5	33.551	4.921	967	2.269	1,5
16	40,8	26.420	13.459	1.021	2.464	2,5
17	40,7	17.173	2.569	756	2.111	2,0
18	40,9	33.695	1.542	1.815	2.326	0,6
19	40,8	31.527	1.309	1.544	2.146	0,8
20	40,6	17.706	9.983	700	1.804	2,5
21	40,8	34.952	9.108	974	2.250	1,2
22	40,8	32.540	3.168	1.087	1.988	1,4
23	41,1	47.900	2.995	2.287	3.000	27,2
24	40,7	31.457	6.606	742	2.354	1,8
25	41,0	29.838	5.514	1.483	2.923	2,0
26	40,7	11.531	18.399	700	2.054	2,3
27	40,9	20.485	12.688	1.003	2.649	1,4
28	40,6	24.024	2.197	700	2.032	3,5
29	40,9	14.491	7.956	1.163	2.279	0,8
30	40,9	21.352	4.501	1.144	2.290	1,0
31	40,7	54.747	1.000	700	1.971	2,9
32	40,9	34.097	4.194	1.071	2.456	1,3
33	41,2	16.937	15.591	1.964	2.807	0,7

Tabela 4.10.B. – Resumo da retroanálise com o programa EVERCALC dos módulos resilientes do Trecho da SP-425

SH	Módulos Resilientes (kgf/cm ²)					Erro (RMS)
	Carga (kN)	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4	
34	40,3	16.027	6.347	705	1.942	2,9
35	40,9	15.832	24.997	1.198	2.313	2,2
36	41,1	21.097	24.664	1.035	2.514	2,3
37	40,8	20.606	23.370	899	2.356	2,2
38	41,2	9.930	11.492	1.123	2.387	0,9
39	41,0	54.585	7.729	960	2.083	0,9
40	40,9	73.761	7.458	831	2.286	1,0
41	40,8	52.969	6.654	856	2.092	1,6
42	40,0	140.000	8.504	789	2.108	1,1
43	39,6	140.000	3.612	700	1.883	3,3
44	40,2	140.000	4.315	1.187	2.227	1,5
45	39,8	7.000	9.513	700	1.851	4,0
46	39,6	27.512	1.097	700	1.570	2,4
47	40,1	15.389	4.438	969	2.381	3,5
48	39,6	17.957	1.000	700	2.031	2,7
49	39,3	43.662	1.756	700	1.895	2,8
50	39,7	34.605	7.994	1.294	2.399	1,2
51	39,2	22.451	4.389	700	2.291	2,2
52	39,3	21.144	7.175	736	2.902	3,8
53	39,4	29.022	1.000	700	1.587	5,6
54	39,5	17.955	6.881	859	2.239	2,7
55	39,4	36.696	1.000	700	1.849	3,8
56	39,8	23.231	7.568	761	2.134	1,6
57	39,7	98.911	3.647	700	1.913	1,8
58	39,8	56.713	7.632	725	2.136	1,9
59	39,7	38.847	3.171	895	2.496	1,2
60	39,8	72.823	1.532	700	2.016	4,1
61	39,9	30.329	6.191	818	2.002	2,3
62	39,7	44.241	3.796	700	1.946	2,0
63	40,0	36.430	9.945	700	2.301	2,8
64	39,6	62.643	1.000	700	1.649	9,1
65	39,7	36.343	3.255	700	2.199	3,6
66	39,8	38.222	3.850	927	2.161	0,8
67	39,8	42.823	1.091	700	3.000	14,4

4.2.1. Comparação dos resultados das retroanálises com parâmetros estruturais

Com os resultados das retroanálises dos módulos resilientes, verificou-se a existência correlações satisfatórias entre os módulos do subleito e o Índice de Curvatura da Base (ICB) e entre os módulos de base (analisando separadamente os segmentos com base em solo-cimento) e o Índice de Destruição da Base (IDB), somente para o trecho 02 da BR-101 e para o trecho da rodovia SP-294. (Figuras 4.1 a 4.3).

Figura 4.1 – Correlação entre o Índice de Curvatura da Base (ICB) e o Módulo Resiliente do Subleito determinada com os dados do trecho 02 da BR-101 e do trecho da SP-294.

Figura 4.2 – Correlação entre o Índice de Destruição da Base (IDB) e o Módulo Resiliente da Base determinada com os dados do trecho 02 da BR-101 com base em BGS e do trecho da SP-294 com base em SF.

Figura 4.3 – Correlação entre o Índice de Destruição da Base (IDB) e o Módulo Resiliente da Base determinada com os dados do trecho 02 da BR-101 e do trecho da SP-294 para bases cimentadas.

Apesar do número de ensaios em bases de solo-cimento da SP-294 ser pequeno, verificou-se que existe uma diferença das correlações para diferentes materiais.

No trecho 2 da BR-101/SC e o trecho da SP-294, que apresentaram boas correlações entre os índices estruturais e os módulos retroanalizados da base e subleito foi prevista, durante a retroanálise, uma camada rígida sob o subleito. A profundidade desta camada foi estimada pelo programa EVERCALC, conforme o método apresentado no Capítulo 2, e o seu módulo foi obtido por tentativas, buscando a melhor concordância entre as leituras medidas e calculadas mais afastadas do ponto de aplicação de carga.

Conforme afirmam Ullidtz & Coetzee (1999), a camada “rígida”, é um dos maiores problemas encontrados na avaliação de bacias de deflexão. A divisão do subleito em duas camadas pode ser uma opção para considerar os efeitos da camada rígida e, ainda, compensar os efeitos da não-linearidade do subleito.

Conclui-se, portanto, que mesmo que haja boa concordância entre as bacias medidas e calculadas seja boa, deve ser feita a verificação dos resultados contemplando a divisão do subleito em duas camadas.

4.3. Dimensionamento de reforço

Foi feito o dimensionamento de reforço para todos os segmentos homogêneos pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94, utilizando, para posterior comparação, as deflexões características calculadas com as correlações de deflexões obtidas com FWD para equivalentes em Viga

Benkelman propostas por Duarte *et al.* (1996) e Rocha Filho & Rodrigues (1998).

Para o dimensionamento mecanístico foram selecionados cinquenta segmentos homogêneos (Tabela 4.11) dentre os que apresentaram os melhores resultados finais na retroanálise dos módulos resilientes, procurando-se trabalhar com segmentos homogêneos de todos os trechos.

Tabela 4.11. – Segmentos homogêneos selecionados para o dimensionamento mecanístico

Trecho/Rodovia	Segmentos Homogêneos Selecionados
Trecho 01 - BR-101/SC	3, 6, 8, 13, 22, 27, 29, 34
Trecho 02 - BR-101/SC	2, 6, 7, 16, 18, 20
PR-218	1, 4, 5, 6, 11, 17, 18, 20
PR-280	2, 5, 11, 13, 17, 19, 22, 29
SP-294	5, 9, 14, 17, 21, 26, 29
SP-421	3, 10, 18, 29, 31, 37, 38
SP-425	5, 18, 22, 27, 32, 39, 50

4.4. Influência das correlações FWD x Viga Benkelmann

O estudo da influência das correlações entre as deflexões medidas com FWD e com Viga Benkelman foi feito em função da espessura do revestimento existente (hexist).

A espessura requerida de reforço, determinada pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94, foi comparada para segmentos com espessuras de revestimento de 5, 7, 10, entre 15 e 20 e maiores do que 20 cm (Tabelas 4.4 a 4.13).

Figura 4.4 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 11/79 para 13 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 5 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte *et al.* (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998).

Figura 4.5 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 11/79 para 27 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 7 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte *et al.* (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998).

Figura 4.6 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 11/79 para 23 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 10 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte *et al.* (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998).

Figura 4.7 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 11/79 para 11 segmentos homogêneos com espessura de revestimento entre 15 e 20 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte *et al.* (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998).

Figura 4.8 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 11/79 para 16 segmentos homogêneos com espessura de revestimento maiores que 20 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte *et al.* (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998).

Figura 4.9 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 269/94 para 13 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 5 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte *et al.* (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998).

Figura 4.10 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 269/94 para 27 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 7 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte *et al.* (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998).

Figura 4.11 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 269/94 para 23 segmentos homogêneos com espessura de revestimento de 10 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte *et al.* (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998).

Figura 4.12 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 269/94 para 13 segmentos homogêneos com espessura de revestimento entre 15 e 20 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte *et al.* (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998).

Figura 4.13 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelo método DNER-PRO 269/94 para 16 segmentos homogêneos com espessura de revestimento maiores que 20 cm, utilizando as deflexões características obtidas pelas correlações Duarte *et al.* (1996), e de Rocha Filho & Rodrigues (1998).

A análise dos resultados mostra que as correlações de deflexões influenciam da mesma maneira o resultado do método DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94. Tal resultado já era esperado, uma vez que apenas a deflexão característica é alterada.

Para espessuras de revestimento existente igual a 5 cm, verificou-se que a correlação de Duarte *et al.* (1996) resultou em espessuras maiores de reforço, em relação à correlação de Rocha Filho & Rodrigues (1998).

As duas correlações se equivalem para espessuras de revestimento existente igual 7 cm. A partir dessa espessura, as espessuras calculadas pela correlação de Rocha Filho & Rodrigues (1998) passam a resultar em valores maiores do que a de Duarte *et al.* (1996).

Para espessuras de revestimento maiores que 20 cm, a diferença entre as espessuras de reforço requeridas torna-se maior. Em alguns casos, mesmo nos segmentos que não requerem espessura de reforço pela correlação de Duarte *et al.* (1996), a espessura requerida pela correlação de Rocha Filho & Rodrigues é significativamente grande, chegando até o valor de 17 cm.

4.5. Comparação entre os Métodos de Dimensionamento de Reforço

A comparação entre os métodos normalizados pelo DNER para dimensionamento de reforços e um método mecanístico, considerando-se diferentes curvas de previsão de esforços estruturais críticos foi feita para os cinquenta segmentos apresentados na Tabela 4.11.

Para esta etapa da pesquisa, serão utilizadas apenas deflexões características convertidas para Viga Benkelman pela correlação entre

deflexões FWD e Viga Benkelman proposta por Duarte *et al.* (1996), em função do apresentado e discutido no item 4.4.

Para a fadiga no revestimento betuminoso, foram determinadas as deformações horizontais de tração admissíveis na fibra inferior da camada pelas equações da Shell (1978), do Instituto do Asfalto (1982) e de Pinto (1991).

A deformação permanente foi controlada pela deformação específica vertical de compressão no topo do subleito com os valores limites obtidos das equações da Shell e do Instituto do Asfalto e a obtida por Heukelom & Klomp.

A equação adotada por Franco (2000) foi utilizada no controle da fadiga em bases cimentadas. Deve-se destacar que em todas as equações foram considerados os volumes de tráfego de projeto, em termos do Número N, apresentado nas Tabelas 3.5, 3.9, 3.13, 3.17, 3.21, 3.25 e 3.29.

Procedida a verificação das espessuras requeridas, respeitando todos os valores limites, foi constatado que nenhum dos segmentos, o pavimento em serviço atingiu o valor limite da deformação vertical no topo do subleito, para as três curvas estudadas. Ou seja, para todos os segmentos, o pavimento existente está atendendo os limites quanto ao acúmulo de deformações plásticas.

Nos segmentos com base em solo-cimento, em todos os casos, a espessura de reforço requerida para o controle da deformação nas bases cimentadas era superior às espessuras requeridas para o controle da fadiga no revestimento.

4.5.1. Trecho 01 – BR-101/SC

Para este trecho, o valor da deformação de tração limitante da vida de fadiga do revestimento obtido pela equação proposta por Pinto (1991) foi muito baixo ($0,31 \times 10^{-4}$), o que resultou em espessuras exageradas de reforço para que esta deformação não fosse atingida (Figura 4.14).

Figura 4.14 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 8 segmentos homogêneos do Trecho 1 da BR-101/SC.

4.5.2. Trecho 02 – BR-101/SC

Assim como no trecho anterior, a equação de Pinto (1991) exigiu as maiores espessuras de reforço para atender ao tráfego previsto (Figura 4.15). O critério mecânico foi o que exigiu as maiores espessuras de reforço em todos os segmentos homogêneos.

Figura 4.15 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 6 segmentos homogêneos do Trecho 2 da BR-101/SC.

4.5.3. PR-218

Conforme citado anteriormente, verificou-se que a espessura de reforço foi sempre determinada pela vida de fadiga das bases cimentadas. O método DNER-PRO 11/79, por reduzir a deflexão admissível à metade, também resultou em valores significativos.

Figura 4.16 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 7 segmentos homogêneos do Trecho PR-218.

4.5.4. PR-280

Nestes segmentos homogêneos, a equação de Pinto (1991) também resultou em grandes espessuras de reforço, muito maiores do que as obtidas com outras curvas de fadiga.

As espessuras de reforço obtidas com a equação da Shell (1978) são ligeiramente superiores às obtidas com os métodos normalizados pelo DNER.

Figura 4.17 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 8 segmentos homogêneos do Trecho da PR-280.

4.5.5. SP-294

Os segmentos 5 e 8, com base em solo-cimento, não requerem espessura de reforço quando se considera a fadiga do revestimento betuminoso. Por outro lado, para a proteção da base cimentada, as espessuras requeridas são grandes (Figura 4.18).

Para os segmentos com base em solo fino, as espessuras requeridas se equivalem para todos os métodos, sendo a equação de Pinto (1991) a que resultou nas maiores espessuras de reforço (Figura 4.18).

Figura 4.18 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 7 segmentos homogêneos do Trecho da SP-294.

4.5.6. SP-421

Figura 4.19 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 7 segmentos homogêneos do Trecho da SP-421.

As espessuras requeridas para os segmentos homogêneos da SP-421 seguiram o mesmo comportamento das espessuras para os segmentos com bases em solo-cimento já apresentados, havendo necessidade de reforço apenas para o método DNER-PRO 11/79 e para a proteção da base cimentada (Figura 4.19).

4.5.7. SP-425

Para os segmentos deste trecho, além das grandes espessuras requeridas pelo método DNER-PRO 11/79 e para a proteção da base cimentada, as curvas de vida de fadiga também requerem espessuras consideráveis de reforço (Figura 4.20).

Figura 4.20 – Comparação entre as espessuras de reforços obtidas pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e mecânico para 7 segmentos homogêneos do Trecho da SP-425.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A comparação dos resultados do dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79, DNER-PRO 269/94 e o método com considerações mecanísticas, mostrou uma grande variação nos resultados, tanto entre os métodos quanto entre as diferentes curvas de previsão de esforços admissíveis.

Constatou-se que, independentemente da curva de previsão de fadiga, o método mecanístico, comparado com os métodos tradicionais, sempre previu maiores espessuras de reforço.

Outro fato verificado é que, em relação ao dano de fadiga do revestimento e de bases cimentadas, a deformação permanente, controlada pela deformação vertical de compressão no topo do subleito, não foi fator determinante na espessura de reforço. Em todos os segmentos estudados, os esforços de compressão atuantes no topo do subleito foram menores do que os esforços admissíveis.

Para os trechos com Número N maior que $1,0 \times 10^7$, as curvas de fadiga resultaram em espessuras excessivas de reforço, incompatíveis com as espessuras de revestimento existentes no Brasil.

A curva utilizada para previsão da fadiga em bases cimentadas também resultou em grandes espessuras de reforço. Para estas curvas, não foi adotado nenhum fator de correção campo-laboratório, o que pode explicar estas espessuras excessivas.

Conforme ficou demonstrado no estudo da influência das correlações entre FWD e Viga Benkelman, sua utilização é indispensável para a aplicação dos métodos tradicionais, que consideram a deflexão recuperável em função de dados obtidos com Viga Benkelman. Apesar de considerar a influência da espessura do revestimento, as correlações apresentadas por Rocha Filho & Rodrigues (1998) podem levar a resultados exagerados para pavimentos com espessuras maiores que 15 cm.

O estudo da relação entre os Índices Estruturais e os módulos retroanalizados das camadas apresentou bons resultados para os segmentos do trecho 02 da BR-101/SC e do trecho da SP-294, que tiveram a consideração de camada rígida na retroanálise. Para os segmentos com base granular, o coeficiente de determinação encontrado para a relação entre o módulo da base e o Índice de Destruição da Base (IDB) foi de $R^2 = 0,91$. Para os segmentos com bases cimentadas, esta correlação apresentou o coeficiente de determinação igual a 0,84. A correlação entre o Índice de Curvatura da Base e o módulo do subleito apresentou $R^2 = 0,97$.

A verificação de boas correlações entre os Índices Estruturais e os módulos retroanalizados somente para os trechos onde foi considerada a presença de camada rígida atesta a importância da sua consideração, mesmo que esta seja uma camada rígida aparente, com módulo resiliente abaixo do esperado para camadas rochosas.

A verificação da diferença entre as diversas curvas para previsão de fadiga no revestimento e as grandes espessuras de reforço requeridas, indicam que os critérios mecanísticos necessitam de ajustes. Assim, por exemplo, os ensaios laboratoriais devem representar as condições dos pavimentos em serviço contemplando as diferenças de carregamento, climáticas e de envelhecimento do revestimento entre um pavimento em serviço e outro sob as condições ideais em laboratório.

A necessidade de ajustes deve ser entendida como um elemento motivador à disseminação dos ensaios de fadiga. Pesquisas visando o estabelecimento de curvas de fadiga em função de diferentes dosagens, granulometria de agregados, temperatura de ensaio, idade, oxidação e carregamento, podem resultar em uma maior precisão quando da utilização das curvas teóricas para prever o comportamento dos pavimentos em serviço.

Sugere-se a continuidade de estudos visando a determinação de correlações entre os Índices Estruturais e os módulos resilientes das camadas que podem ser utilizadas em Sistemas de Gerência de Pavimento, particularmente em nível de rede. Também podem fornecer estimativas da condição estrutural do pavimento, sem a necessidade da retroanálise, que demanda tempo e custo. São necessários, portanto, pesquisas mais detalhadas envolvendo diferentes tipos de materiais e a comparação dos Índices Estruturais com outros parâmetros de desempenho dos pavimentos.

A interpretação de dados deflectométricos para projeto de restauração e para análise de vida útil dos pavimentos é influenciada por diversos fatores. Dentre eles, é imprescindível a consideração da temperatura, uma vez que esta afeta significativamente o comportamento do módulo de resiliência do revestimento e, em consequência, os valores das deflexões recuperáveis. Sugere-se a ampliação dos estudos sobre a variação das deflexões com a

temperatura, na tentativa de particularização de critérios para as diferentes regiões e climas do Brasil.

A espessura das camadas é outro fator que afeta significativamente o resultado de uma retroanálise. Recomenda-se que os furos de sondagens para a caracterização e determinação das espessuras sejam feitos após a definição dos segmentos homogêneos, para que seja executado ao menos um furo por segmento. Ainda assim, existem variações que ocorrem entre dois poços de sondagem. Uma opção para a eliminação da variável espessura da camada é a utilização de georadares (*Ground Penetrator Radar* – GPR), que podem determinar a espessura das camadas ao longo da rodovia.

Os resultados deste trabalho mostraram que, conceitualmente, os métodos mecanísticos de dimensionamento são uma excelente alternativa para o projeto e avaliação de pavimentos. Entretanto, a transferência das expressões teóricas determinadas em laboratório para situações reais ainda necessita de pesquisas que possam considerar mais detalhadamente os diversos fatores que interferem no comportamento dos pavimentos. Atualmente, a limitação do processo mecanístico está no fato de que as equações de previsão de esforços admissíveis não abrangem todos estes fatores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACUM, W.E.A.; FOX, L. – *Computation of load stresses in a three-layered elastic systems, Geotechnique, Londres*, v.2, n.4, p. 293-302, 1951.
- ALBERNAZ, C.A. – Retroanálise do módulo de resiliência de pavimentos flexíveis e de subleitos para fins de anteprojeto, análise estrutural e gerência de pavimentos – 28º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1994
- ALBERNAZ, C.A.; MOTTA, L.M.G.; MEDINA, J.– Retroanálise: Uma Útil Ferramenta na Avaliação Estrutural de Pavimentos - 29º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1995
- ALBERNAZ, C.A.; CALDAS, J.E.F. E OLIVEIRA, S.E. – Avaliação Estrutural Simplificada de Pavimentos Através de Retroanálise - 30º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1996
- ALI, H.A.; TAYABI, S.D.; LA TORRE, F. – *Calibration of Mechanistic-Empirical Rutting Model for In-Service Pavements - - Transportation Research Record*, 1629, TRB, pp.159-168. 1998
- BURMISTER, D.M. – *The theory of stresses and displacements in layered systems, I, II and III – Journal os Apllied Physic, EUA*, v.16, n.2, p.86-96, n.3, p.126-127, n.5. p. 296-302; fev/mar./maio 1945.
- BAYOMY, FM; AL-KANDARI, FA; SMITH, RM - *Mechanistically Based Flexible Overlay Design System for Idaho - Transportation Research Record*, 1543, TRB, pp.10-28. 1996
- BOUSSINESQ, J. – *Application des Potentiels a l'Etude de l'Equilibre et du Movement des Solids Elastiques*, Gauthier-Villars, França. 1885.

- CARVALHO, C.A.B.; SÓRIA, M.H.A.; PARREIRA, A.B.; FERNANDES JR., J.L. – Estimativa das Tensões e Deformações nas Camadas de um Pavimento para Estudo das Deformações Permanentes em Laboratório. 30º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1996
- CHANG, D-W; KANG, YV; ROESSET, JM; STOKOE, KH, II - *Effect of Depth to Bedrock on Deflection Basins Obtained with Dynaflect and Falling Weight Deflectometer Tests* - *Transportation Research Record*, 1355, TRB, pp. 8-16. 1992
- COELHO, V. – Contribuição ao Estudo das Deformações Permanentes, nas Condições do Brasil, em Camadas de Concreto Asfáltico de Pavimentação – Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de Transportes – Universidade de São Paulo - 1996
- COUTINHO, B.N. – Redes neurais artificiais como procedimento para retroanálise de pavimentos flexíveis. – Dissertação de Mestrado – USP/EESC, 2000
- DNER-PRO 08/96 - Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos - 1996
- DNER-PRO 10/79 - Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis (Procedimento A) - 1979
- DNER-PRO 11/79 - Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis (Procedimento B) - 1979
- DNER-PRO 128/83 – Levantamento da Condição da Superfície de Segmentos - Testemunha de Rodovias de Pavimento Flexível ou Semi-Rígido para Gerência de Pavimentos a Nível de Rede - 1983
- DNER-PRO 159/85 - Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos - 1985
- DNER-PRO 269/94 - Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis - TECNAPAV – 1994
- FABRÍCIO, J.M.; GONÇALVES, E.A. E FABRÍCIO, O.F. – Metodologia não Destrutiva para Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis Através da Interpretação das Bacias de Deformação - 23º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1988

- FABRÍCIO, J.M.; GONÇALVES, E.A.; FABRÍCIO, O.F.; FABRÍCIO, J.V.F. Roteiro para Avaliação dos Módulos de Elasticidade das Camadas de Pavimentos Flexíveis - 24º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1990
- FABRÍCIO, J.M.; SILVA, G.A.; GONÇALVES, E.A.; SILVA P.D.E.A. e FABRÍCIO, O.F. – Método Simplificado de Retroanálise em Pavimentos Flexíveis - 28º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1994.
- FABRÍCIO, J.M.; MAGALHÃES, J.P.; QUEIROZ, C. e FABRÍCIO, O.F. – Utilização dos Métodos de Desempenho da Norma DNER PRO-159/85 na Avaliação da Qualidade de Pavimentos Flexíveis - 33º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1994.
- FARIAS, M.M.; MONTEIRO, S.A. – Utilização de Modelos Elásticos Lineares e Não-lineares na Retroanálise de Propriedades de Pavimentos - 30º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1996
- FONSECA, O. – *Development of a time dependent model for the dynamic modulus of asphalt mixes*. Ph.D. dissertation, University of Maryland, Maryland, EUA, 1995.
- FRANCO, F.A.C.P. – Um Sistema para Análise Mecânica de Pavimentos Asfálticos – Tese de Mestrado – COPPE/UFRJ. 2000
- GEIPOT - Pesquisa Sobre o Interrelacionamento entre Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes - Brasília/DF. 1981
- GUIMARÃES, A.C.R.; MOTTA, L.M.G.; MEDINA, J. – Estudo de Deformação Permanente em Solo Típico de Subleito de Rodovia Brasileira – 33º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 2001
- HARICHANDRAN, R.S.; MAHMOOD, T.; RAAB, A.R.; BALADI, G.Y. – Backcalculation of Pavement Layer Moduli, Thickness and Stiff layer Depth Using a Modified Newton Method - Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli (Second Volume), ASTM STP 1198 - American Society for Testing and Materials - Filadélfia/E.U.A. 1994

- HARICHANDRAN, R. S.; KO, R.-S.; BUCH, N.; BALADI, G. Y. – *Michigan flexible pavement design system user's manual. Departamento de Transportes do Estado de Michigan. E.U.A. 1999.*
- HASS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. - *Modern Pavement Management. Malabar, Florida. 1994.*
- HRB – HIGHWAY RESEARCH BOARD. *The AASHO Road Test. Washington, D.C., Highway Research Board, Special Report 73, Publication No. 1012, 1962. 117 p.*
- JOOSTE, F.; KEKWICK, S.V.; MUTHEN, M. – *Effect of Allowable Thickness Variation on Backcalculated Moduli - Transportation Research Record, 1639, TRB, pp. 43-52. 1998.*
- KIM, Y.R.; HIBBS, B.O.; LEE, Y.C. – *Temperature Correction of Deflections and Backcalculated Asphalt Concrete Moduli - Transportation Research Record, 1473, TRB, pp. 55-62. 1996.*
- MEDINA, J.; MACEDO, J.A.G.; MOTTA, L.M.G.; J ALBERNAZ, C.A.– *Utilização de Ensaio Deflectométrico e de laboratório para a Avaliação Estrutural de Pavimentos – 28º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1994*
- MEDINA, J. *Mecânica dos Pavimentos – Editora UFRJ, 1997. 380 p.*
- MONTEIRO, S.A., FARIAS M.M., CARVALHO, J.C.– *Estudo Comparativo de Dimensionamento de Reforço de Pavimentos Flexíveis - 30º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1996*
- MOTTA, L.M.G.; MEDINA, J. – *A Questão da temperatura na Deformabilidade Elástica dos Pavimentos Flexíveis - 21º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1986*
- MOTTA, L.M.G.; MEDINA, J. – *Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis – Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. 1991*

- PARK, S.W.; KIM, Y.R. - *Temperature Correction of Backcalculated Moduli and Deflections Using Linear Viscoelasticity And Time-Temperature Superposition* - *Transportation Research Record*, 1570, TRB, pp. 108-117. 1997.
- PINTO, S. - Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos - Tese de Doutorado - COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro/RJ. 1991
- PINTO, S. E MOTTA, L.M.G. - Catálogo de Curvas de Fadiga - Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. Rio de Janeiro/RJ. 1995
- PINTO, S.; PREUSSLER, E. - Pavimentação Rodoviária - Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis - Ed. Copiarte, RJ, 2001.
- PITTA, D.M. - Contribuição à retroanálise das superfícies deformadas em pavimentos asfálticos típicos da região sul do Brasil. - Dissertação de Mestrado - USP/Escola Politécnica, 1998.
- PORTER, O.J. - *Foundation for Flexible Pavements* - EUA. 1942
- PREUSSLER, E.S. - Estudo da Deformação Resiliente de Pavimentos Flexíveis e Aplicação ao Projeto de Camadas de Reforço - Tese de Doutorado - COPPE/UFRJ. 1983
- ROCHA FILHO, N.R.; RODRIGUES, R.M. - A Avaliação Estrutural de Pavimentos por meio de Levantamentos Deflectométricos - 30^a. Reunião Anual de Pavimentação - Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV, 1996.
- ASPHALT INSTITUTE - Research and Development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1), 9th ed. - Research Report 82-2, 1982
- ROESSET, J.M.; STOKOE, K.H., II E SENG C-R - Determination of Depth to Bedrock from Falling Weight Deflectometer test Data - *Transportation Research Record*, 1504, TRB, pp. 68-78. 1995
- RUIZ, C. - *Sobre el calculo de espesores de refuerzo de pavimentos. XIII Reunión Anual Del Asfalto e V Congreso Argentino de Vialidad y Transito*. Embalse, Província de Córdoba, Argentina. 1964

- RUTH, B.E.; FERNANDES, J.L., Jr. – Procedimentos para a Obtenção de melhores Resultados em Retroanálises de Avaliações Estruturais de Pavimentos Flexíveis – 1999.
- SANTANA, H. – Evolução dos Métodos de Projeto, Avaliação e Reforço de Pavimentos Asfálticos no Brasil – 2º Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projeto de Reforço – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1989
- SANTANA, H.; GONTIJO P.R.A. – A problemática do Dimensionamento do Reforço de Pavimentos Asfálticos. – 24º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1989
- SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY – *Shell Pavement Design Manual – Asphalt Pavements and Overlays for Road Traffic*. Londres, 1978.
- SHRP's *Layer Moduli Backcalculation Procedure: Software Selection*, Contract No. SHRP-90-P-001B. Prepared by PCS/Law Engineering for SHRP, 1991
- SIVANESWARAN, N.; KRAMER, S.L.; MAHONEY, J.P. – *Advanced Backcalculation using a Nonlinear Least Squares Optimization Technique – Paper No. 910362 – 70th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., 1991.
- SOUTHGATE, H.F. – *An evaluation of temperature distribution within asphalt pavements and its relationship to pavement deflection – Kentucky Department of Highways Research Report*, EUA, 1968
- SOUZA, A.C.V. – A Fadiga de Materiais Asfálticos e o Fator Campo-Laboratório (Shif-Factor) – 32º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 2000
- SUZUKI, C.Y.; SOUZA, P.R.B.; NAGAO, E.M.; SILVA, A.D. – Procedimento para Determinação de Espessura de Recapeamento em Função de Parâmetros de Curvatura (Relação R/D) do Pavimento Flexível Existente. - 31º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 1998
- TONIAL, I.A.; MOTTA, L.M.G.; LEITE, L.F.M.; CONSTANTINO, R.S. – Alteração da Vida de Fadiga de Pavimentos Asfálticos devido ao Envelhecimento - - 33º Reunião Anual de Pavimentação – Associação Brasileira de Pavimentação, ABPV. 2001

- UDDIN, W.; MEYER A.H.; HUDSON, W.R.; STOKOE II, K.H. – *A Structural Evaluation Methodology for Pavements Based on Dynamic Deflections* – Center for Transportation Research – The University of Texas. Austin, Texas, E.U.A. 1985.
- ULLIDTZ, P.; COETZEE, N.F. – *Analytical Procedures in NDT Pavement Evaluation* – Offered For Presentation at The 1999 TRB Session on Structural Modelling Applications in Pavement Analysis And Design – <http://www.dynatest.com>, 1999.
- UZAN, J. - *Advanced Backcalculation Techniques - Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli (Second Volume)*, ASTM STP 1198 - American Society for Testing and Materials - Filadélfia/E.U.A. 1994
- WSDOT Pavement Guide – Volume 1 – Pavement Policy – For Design, Evaluation and Rehabilitation. Washington State Department of Transportation, Washington, 1999.
- WSDOT Pavement Guide – Volume 2 – Pavement Policy – For Design, Evaluation and Rehabilitation. Washington State Department of Transportation, Washington, 1999.
- WSDOT Pavement Guide – Volume 3 – Pavement Analysis Computer Software and Case Studies – For Design, Evaluation and Rehabilitation. Washington State Department of Transportation, Washington, 1999.

ANEXO A – RESULTADOS DA RETROANÁLISE

A.1. Resultados detalhados da retroanálise com o programa EVERCALC dos segmentos selecionados para estudo do trecho.

```

Backcalculation by Evercalc 5.0 - Detail Output
Route: brl01est.fwd Teste on 21/12/99
Plate Radius (cm): 15.0      No of Layers: 3
No of Sensors: 7      Stiff Layer: No
Offsets (cm): .0  20.0  30.0  45.0  65.0  90.0  120.0
P-Ratio: .300 .350 .450
Station: 3      No of Drops: 1      Average RMS Error(%): 2.40
Thickness (cm): 23.00  43.00      Pavement Temperature (C): 24.0
Drop No: 1      Load (N): 42900.0      No of Iterations: 4
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied      RMS Error (%): 2.40
Sensor No: 1      2      3      4      5      6      7
Measured Deflections (microns):      272.000      218.000      188.000
152.000 119.000      80.000      62.000
Calculated Deflection (microns):      274.005      216.622      187.702
152.223 115.566      83.954      60.418
Difference (%):      -.74      .63      .16      -.15
2.89      -4.94      2.55
Layer No: 1      2      3
Seed Moduli (MPa):      2234.49      344.83      183.56
Calculated Moduli (MPa):      2732.64      174.14      169.24
Layer No: 1      2      3
Radial Distance (cm): .00      .00      .00
Position: Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -81.65      -39.82      -24.36
Radial Stress (kPa): 532.87      .15      -2.54
Bulk Stress (kPa): 984.09      -39.51      -29.45
Deviator Stress (kPa): -614.51      -39.97      -21.82
Vertical Strain (10^-6): -127.38      -229.25      -130.44
Radial Strain (10^-6): 153.72      80.59      56.52
Station: 6      No of Drops: 1      Average RMS Error(%): 2.26
Thickness (cm): 21.00  50.00      Pavement Temperature (C): 26.0
Drop No: 1      Load (N): 43800.0      No of Iterations: 4
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied      RMS Error (%): 2.26
Sensor No: 1      2      3      4      5      6      7
Measured Deflections (microns):      222.000      178.000      154.000
123.000 94.000      62.000      47.000
Calculated Deflection (microns):      223.187      178.023      153.501
122.795 91.370      64.914      45.912
Difference (%):      -.53      -.01      .32      .17
2.80      -4.70      2.32
Layer No: 1      2      3
Seed Moduli (MPa):      2752.58      344.83      243.19
Calculated Moduli (MPa):      3973.65      210.23      227.20
Layer No: 1      2      3
Radial Distance (cm): .00      .00      .00
Position: Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -87.23      -39.44      -23.31
Radial Stress (kPa): 658.09      -.64      -2.47
Bulk Stress (kPa): 1228.96      -40.72      -28.25
Deviator Stress (kPa): -745.32      -38.80      -20.84
Vertical Strain (10^-6): -104.76      -185.46      -92.81
Radial Strain (10^-6): 129.70      63.68      40.19
Station: 8      No of Drops: 1      Average RMS Error(%): 2.11
Thickness (cm): 20.50  42.00      Pavement Temperature (C): N/A
Drop No: 1      Load (N): 43500.0      No of Iterations: 4
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied      RMS Error (%): 2.11
Sensor No: 1      2      3      4      5      6      7
Measured Deflections (microns):      238.000      188.000      159.000
123.000 91.000      59.000      44.000

```


Calculated Deflection (microns):	240.215	186.725	158.137
123.284 89.003 61.565	42.942		
Difference (%):	-.93	.68	.54
2.19 -4.35 2.40			-.23
Layer No: 1 2 3			
Seed Moduli (MPa):	2163.68	344.83	254.12
Calculated Moduli (MPa):	3322.74	199.78	236.13
Layer No: 1 2 3			
Radial Distance (cm):	.00 .00 .00		
Position: Bottom Middle Top			
Vertical Stress (kPa):	-97.12	-48.12	-29.80
Radial Stress (kPa):	638.14	-1.44	-3.48
Bulk Stress (kPa):	1179.16	-50.99	-36.76
Deviator Stress (kPa):	-735.26	-46.68	-26.32
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-125.25	-235.82	-112.94
Radial Strain (10 ⁻⁶):	151.35	79.63	48.69
Station: 13	No of Drops: 1	Average RMS Error(%):	2.72
Thickness (cm):	27.00 35.00	Pavement Temperature (C):	27.0
Drop No: 1	Load (N): 43900.0	No of Iterations:	4
Convergence: Close to Optimum (4)	RMS Error (%):	2.72	
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7			
Measured Deflections (microns):	182.000	145.000	127.000
103.000 78.000 51.000	38.000		
Calculated Deflection (microns):	184.937	144.291	125.214
101.816 76.598 53.939	36.840		
Difference (%):	-1.61	.49	1.41
1.80 -5.76 3.05			1.15
Layer No: 1 2 3			
Seed Moduli (MPa):	2644.57	344.83	297.30
Calculated Moduli (MPa):	3557.00	153.81	300.89
Layer No: 1 2 3			
Radial Distance (cm):	.00 .00 .00		
Position: Bottom Middle Top			
Vertical Stress (kPa):	-55.29	-35.74	-26.34
Radial Stress (kPa):	473.13	-4.69	-5.16
Bulk Stress (kPa):	890.96	-45.13	-36.66
Deviator Stress (kPa):	-528.42	-31.05	-21.18
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-82.05	-211.02	-72.10
Radial Strain (10 ⁻⁶):	103.65	61.50	29.96
Station: 22	No of Drops: 1	Average RMS Error(%):	2.53
Thickness (cm):	11.00 30.00	Pavement Temperature (C):	25.0
Drop No: 1	Load (N): 42200.0	No of Iterations:	4
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied	RMS Error (%):	2.53	
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7			
Measured Deflections (microns):	278.000	218.000	179.000
133.000 94.000 58.000	44.000		
Calculated Deflection (microns):	275.999	219.730	180.704
132.983 90.416 60.746	42.952		
Difference (%):	.72	-.79	-.95
3.81 -4.73 2.38			.01
Layer No: 1 2 3			
Seed Moduli (MPa):	2989.93	344.83	250.56
Calculated Moduli (MPa):	9501.63	212.11	216.16
Layer No: 1 2 3			
Radial Distance (cm):	.00 .00 .00		
Position: Bottom Middle Top			
Vertical Stress (kPa):	-137.44	-80.34	-51.79
Radial Stress (kPa):	1862.12	-4.68	-7.18
Bulk Stress (kPa):	3586.80	-89.71	-66.16
Deviator Stress (kPa):	-1999.56	-75.66	-44.61
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-112.45	-363.31	-209.70
Radial Strain (10 ⁻⁶):	150.60	118.22	89.54
Station: 27	No of Drops: 1	Average RMS Error(%):	2.34
Thickness (cm):	10.00 35.00	Pavement Temperature (C):	23.0
Drop No: 1	Load (N): 42500.0	No of Iterations:	5
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied	RMS Error (%):	2.34	
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7			

Measured Deflections (microns):	320.000	245.000	192.000
133.000 88.000 52.000	39.000		
Calculated Deflection (microns):	319.204	244.751	193.724
133.984 84.744 54.218	38.128		
Difference (%):	.25	.10	-.90
3.70 -4.27 2.24			-.74
Layer No: 1 2 3			
Seed Moduli (MPa):	1917.34	344.83	282.03
Calculated Moduli (MPa):	8578.58	173.45	238.81
Layer No: 1 2 3			
Radial Distance (cm):	.00 .00 .00		
Position: Bottom Middle Top			
Vertical Stress (kPa):	-153.02	-84.80	-53.18
Radial Stress (kPa):	2109.09	-7.23	-7.58
Bulk Stress (kPa):	4065.16	-99.26	-68.34
Deviator Stress (kPa):	-2262.10	-77.57	-45.60
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-140.76	-459.75	-194.13
Radial Strain (10 ⁻⁶):	188.85	144.04	82.76
Station: 29	No of Drops: 1	Average RMS Error(%):	2.33
Thickness (cm):	13.00 35.00	Pavement Temperature (C):	N/A
Drop No: 1	Load (N): 43000.0	No of Iterations:	5
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied		RMS Error (%):	2.33
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7			
Measured Deflections (microns):	245.000	195.000	160.000
120.000 85.000 53.000	40.000		
Calculated Deflection (microns):	245.269	194.734	161.149
119.908 82.354 55.453	38.996		
Difference (%):	-.11	.14	-.72
3.11 -4.63 2.51			.08
Layer No: 1 2 3			
Seed Moduli (MPa):	2856.31	344.83	279.87
Calculated Moduli (MPa):	7437.60	229.56	245.32
Layer No: 1 2 3			
Radial Distance (cm):	.00 .00 .00		
Position: Bottom Middle Top			
Vertical Stress (kPa):	-130.88	-70.31	-43.68
Radial Stress (kPa):	1401.11	-3.22	-5.48
Bulk Stress (kPa):	2671.34	-76.74	-54.63
Deviator Stress (kPa):	-1531.99	-67.09	-38.20
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-111.79	-296.45	-157.95
Radial Strain (10 ⁻⁶):	145.69	98.08	67.84
Station: 34	No of Drops: 1	Average RMS Error(%):	2.47
Thickness (cm):	13.00 25.00	Pavement Temperature (C):	23.0
Drop No: 1	Load (N): 42800.0	No of Iterations:	4
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied		RMS Error (%):	2.47
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7			
Measured Deflections (microns):	294.000	219.000	171.000
120.000 81.000 51.000	40.000		
Calculated Deflection (microns):	295.593	217.677	171.327
120.307 79.472 53.491	38.476		
Difference (%):	-.54	.60	-.19
1.89 -4.89 3.81			-.26
Layer No: 1 2 3			
Seed Moduli (MPa):	1698.88	344.83	289.20
Calculated Moduli (MPa):	3890.82	229.89	241.67
Layer No: 1 2 3			
Radial Distance (cm):	.00 .00 .00		
Position: Bottom Middle Top			
Vertical Stress (kPa):	-180.30	-106.98	-69.80
Radial Stress (kPa):	1045.27	-3.90	-8.78
Bulk Stress (kPa):	1910.24	-114.79	-87.36
Deviator Stress (kPa):	-1225.58	-103.08	-61.02
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-180.67	-453.48	-256.14
Radial Strain (10 ⁻⁶):	213.07	151.84	110.00

A.2. Resultados detalhados da retroanálise com o programa EVERCALC dos segmentos selecionados para estudo do trecho 02 da BR-101/SC.

Backcalculation by Evercalc 5.0 - Detail Output

Route: br101veg.fwd Teste on 20/06/99

Plate Radius (cm): 15.0 No of Layers: 4

No of Sensors: 7 Stiff Layer: Yes

Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 65.0 90.0 120.0

P-Ratio: .300 .350 .450 .200

Station: 2 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 3.05

Thickness (cm): 7.00 32.00 332.50 Pavement Temperature (C): 19.0

Drop No: 1 Load (N): 41530.0 No of Iterations: 5

Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): 3.05

Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7

Measured Deflections (microns): 270.000 211.000 170.000

127.000 89.000 56.000 40.000

Calculated Deflection (microns): 278.443 210.490 167.898

123.192 86.757 59.269 39.172

Difference (%): -3.13 .24 1.24 3.00

2.52 -5.84 2.07

Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)

Seed Moduli (MPa): 6898.56 227.23 71.96 750.00 N/A

Calculated Moduli (MPa): 14000.00 459.74 155.71 750.00

8283.692

Layer No: 1 2 3

Radial Distance (cm): .00 .00 .00

Position: Bottom Middle Top

Vertical Stress (kPa): -277.11 -117.37 -49.41

Radial Stress (kPa): 2424.55 16.78 -2.45

Bulk Stress (kPa): 4572.00 -83.80 -54.30

Deviator Stress (kPa): -2701.66 -134.15 -46.96

Vertical Strain (10⁻⁶): -123.70 -280.86 -303.17

Radial Strain (10⁻⁶): 127.17 113.08 134.15

Station: 6 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 4.49

Thickness (cm): 8.00 30.00 173.06 Pavement Temperature (C): 19.0

Drop No: 1 Load (N): 41340.0 No of Iterations: 5

Convergence: Close to Optimum (4) RMS Error (%): 4.49

Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7

Measured Deflections (microns): 490.000 359.000 283.000

206.000 136.000 75.000 48.000

Calculated Deflection (microns): 487.421 360.290 283.033

201.833 133.946 81.782 44.519

Difference (%): .53 -.36 -.01 2.02

1.51 -9.04 7.25

Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)

Seed Moduli (MPa): 14000.00 350.87 100.21 750.00 N/A

Calculated Moduli (MPa): 4875.81 267.31 75.98 750.00

2884.981

Layer No: 1 2 3

Radial Distance (cm): .00 .00 .00

Position: Bottom Middle Top

Vertical Stress (kPa): -286.06 -119.51 -49.10

Radial Stress (kPa): 1653.90 23.68 -3.01

Bulk Stress (kPa): 3021.73 -72.14 -55.12

Deviator Stress (kPa): -1939.96 -143.19 -46.09

Vertical Strain (10⁻⁶): -262.19 -509.10 -610.57

Radial Strain (10⁻⁶): 255.04 214.07 269.01

Station: 7 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 3.36

Thickness (cm): 7.50 33.00 218.59 Pavement Temperature (C): 19.0

Drop No: 1 Load (N): 41050.0 No of Iterations: 3

Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): 3.36

Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7

Measured Deflections (microns):	336.000	269.000	220.000
168.000 119.000 70.000	47.000		
Calculated Deflection (microns):	341.223	269.421	220.623
164.244 114.160 74.750	45.585		
Difference (%):	-1.55	-.16	-.28
4.07 -6.79 3.01			2.24
Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)			
Seed Moduli (MPa):	4875.81	267.31	75.98
Calculated Moduli (MPa):	14000.00	335.92	98.19
8283.692			750.00
Layer No: 1 2 3			
Radial Distance (cm):	.00	.00	.00
Position: Bottom Middle Top			
Vertical Stress (kPa):	-218.97	-92.99	-39.40
Radial Stress (kPa):	2779.08	17.21	-2.51
Bulk Stress (kPa):	5339.20	-58.56	-44.42
Deviator Stress (kPa):	-2998.06	-110.20	-36.88
Vertical Strain (10^-6):	-134.74	-312.68	-378.21
Radial Strain (10^-6):	143.65	130.19	166.48
Station: 16	No of Drops: 1	Average RMS Error(%):	3.46
Thickness (cm):	8.00 25.00 202.10	Pavement Temperature (C):	19.0
Drop No: 1	Load (N): 41340.0	No of Iterations:	4
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied	RMS Error (%)		3.46
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7			
Measured Deflections (microns):	392.000	308.000	254.000
191.000 131.000 75.000	48.000		
Calculated Deflection (microns):	391.346	309.154	253.663
188.458 128.493 80.385	45.533		
Difference (%):	.17	-.37	.13
1.91 -7.18 5.14			1.33
Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)			
Seed Moduli (MPa):	5018.59	276.43	79.55
Calculated Moduli (MPa):	9862.50	355.05	87.58
5835.561			750.00
Layer No: 1 2 3			
Radial Distance (cm):	.00	.00	.00
Position: Bottom Middle Top			
Vertical Stress (kPa):	-232.97	-108.68	-50.04
Radial Stress (kPa):	2274.65	32.01	-3.93
Bulk Stress (kPa):	4316.33	-44.65	-57.91
Deviator Stress (kPa):	-2507.61	-140.70	-46.11
Vertical Strain (10^-6):	-162.00	-369.21	-531.00
Radial Strain (10^-6):	168.53	165.74	232.44
Station: 18	No of Drops: 1	Average RMS Error(%):	3.99
Thickness (cm):	8.00 28.00 174.47	Pavement Temperature (C):	19.0
Drop No: 1	Load (N): 41530.0	No of Iterations:	4
Convergence: Close to Optimum (4)	RMS Error (%)		3.99
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7			
Measured Deflections (microns):	415.000	322.000	259.000
189.000 127.000 70.000	44.000		
Calculated Deflection (microns):	415.861	320.757	258.150
187.074 124.399 75.750	41.271		
Difference (%):	-.21	.39	.33
2.05 -8.21 6.20			1.02
Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)			
Seed Moduli (MPa):	14000.00	535.15	112.75
Calculated Moduli (MPa):	8197.33	298.68	84.43
4850.295			750.00
Layer No: 1 2 3			
Radial Distance (cm):	.00	.00	.00
Position: Bottom Middle Top			
Vertical Stress (kPa):	-240.87	-108.37	-48.64
Radial Stress (kPa):	2194.60	24.02	-3.59
Bulk Stress (kPa):	4148.33	-60.32	-55.82
Deviator Stress (kPa):	-2435.47	-132.40	-45.05
Vertical Strain (10^-6):	-190.02	-419.15	-537.80
Radial Strain (10^-6):	196.22	179.28	235.84

Station: 20 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 4.20
 Thickness (cm): 7.00 34.00 152.10 Pavement Temperature (C): 19.0
 Drop No: 1 Load (N): 41240.0 No of Iterations: 6
 Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): 4.20
 Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
 Measured Deflections (microns): 401.000 308.000 246.000
 175.000 113.000 60.000 37.000
 Calculated Deflection (microns): 401.617 308.504 244.815
 172.183 110.375 65.192 34.643
 Difference (%): -.15 -.16 .48 1.61
 2.32 -8.65 6.37
 Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)
 Seed Moduli (MPa): 14000.00 616.03 123.32 750.00 N/A
 Calculated Moduli (MPa): 13439.71 240.48 89.84 750.00
 7952.169
 Layer No: 1 2 3
 Radial Distance (cm): .00 .00 .00
 Position: Bottom Middle Top
 Vertical Stress (kPa): -213.14 -94.57 -43.28
 Radial Stress (kPa): 3348.66 10.78 -3.44
 Bulk Stress (kPa): 6484.18 -73.01 -50.16
 Deviator Stress (kPa): -3561.80 -105.36 -39.83
 Vertical Strain (10⁻⁶): -165.36 -424.66 -447.22
 Radial Strain (10⁻⁶): 179.17 166.79 195.69

A.3. Resultados detalhados da retroanálise com o programa EVERCALC dos segmentos selecionados para estudo do trecho da PR-218.

Backcalculation by Evercalc 5.0 - Detail Output
 Route: pr-218.fwd Teste on 21/12/94
 Plate Radius (cm): 15.0 No of Layers: 3
 No of Sensors: 7 Stiff Layer: No
 Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 65.0 90.0 120.0
 P-Ratio: .300 .200 .450
 Station: 5 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 1.41
 Thickness (cm): 7.50 12.50 Pavement Temperature (C): 24.8
 Drop No: 1 Load (N): 41100.0 No of Iterations: 6
 Convergence: Close to Optimum (4) RMS Error (%): 1.41
 Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
 Measured Deflections (microns): 250.500 184.700 150.400
 114.700 84.200 55.900 40.600
 Calculated Deflection (microns): 248.381 184.810 152.874
 115.872 81.885 56.621 40.372
 Difference (%): .85 -.06 -1.64 -1.02
 2.75 -1.29 .56
 Layer No: 1 2 3
 Seed Moduli (MPa): 6896.55 344.83 253.64
 Calculated Moduli (MPa): 2301.72 2483.33 223.76
 Layer No: 1 2 3
 Radial Distance (cm): .00 .00 .00
 Position: Bottom Middle Top
 Vertical Stress (kPa): -465.20 -251.32 -117.79
 Radial Stress (kPa): -249.31 149.63 -25.15
 Bulk Stress (kPa): -963.82 47.95 -168.08
 Deviator Stress (kPa): -215.90 -400.95 -92.64
 Vertical Strain (10⁻⁶): -137.12 -125.30 -425.26
 Radial Strain (10⁻⁶): -15.19 68.44 175.07
 Station: 6 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 2.89
 Thickness (cm): 9.50 13.50 Pavement Temperature (C): 24.0
 Drop No: 1 Load (N): 41000.0 No of Iterations: 9
 Convergence: Close to Optimum (4) RMS Error (%): 2.89

Sensor No:	1	2	3	4	5	6	7
Measured Deflections (microns):				279.500		205.700	169.400
131.800	97.200	65.100		43.800			
Calculated Deflection (microns):				284.181		202.497	168.473
129.762	93.143	64.984		46.317			
Difference (%):		-1.67		1.56		.55	1.55
4.17	.18	-5.75					
Layer No:	1	2	3				
Seed Moduli (MPa):		5120.41		344.83		217.32	
Calculated Moduli (MPa):			1311.45		2056.55		196.58
Layer No:	1	2	3				
Radial Distance (cm):		.00	.00	.00			
Position:	Bottom	Middle	Top				
Vertical Stress (kPa):	-451.85			-237.08		-107.18	
Radial Stress (kPa):	-224.25			122.34		-22.54	
Bulk Stress (kPa):	-900.36			7.60		-152.27	
Deviator Stress (kPa):	-227.59			-359.42		-84.63	
Vertical Strain (10 ⁻⁶):		-241.94			-139.07		-441.98
Radial Strain (10 ⁻⁶):	-16.34			70.65		182.26	
Station: 18		No of Drops: 1				Average RMS Error(%): 2.38	
Thickness (cm):	13.00	15.50				Pavement Temperature (C): 25.5	
Drop No: 1	Load (N): 41000.0					No of Iterations: 5	
Convergence: Close to Optimum (4)						RMS Error (%): 2.38	
Sensor No:	1	2	3	4	5	6	7
Measured Deflections (microns):				250.000		183.500	149.300
118.900	84.200	57.300		40.200			
Calculated Deflection (microns):				246.380		186.876	152.894
114.881	81.743	57.425		41.359			
Difference (%):		1.45		-1.84		-2.41	3.38
2.92	-.22	-2.88					
Layer No:	1	2	3				
Seed Moduli (MPa):		3252.10		344.83		247.05	
Calculated Moduli (MPa):			4056.82		470.05		221.47
Layer No:	1	2	3				
Radial Distance (cm):		.00	.00	.00			
Position:	Bottom	Middle	Top				
Vertical Stress (kPa):	-210.99			-126.22		-81.98	
Radial Stress (kPa):	746.94			42.33		-6.88	
Bulk Stress (kPa):	1282.88			-41.56		-95.74	
Deviator Stress (kPa):	-957.93			-168.55		-75.11	
Vertical Strain (10 ⁻⁶):		-162.48			-304.55		-342.25
Radial Strain (10 ⁻⁶):	144.49			125.75		149.51	
Station: 20		No of Drops: 1				Average RMS Error(%): 2.43	
Thickness (cm):	5.00	12.00				Pavement Temperature (C): 26.2	
Drop No: 1	Load (N): 40800.0					No of Iterations: 7	
Convergence: Close to Optimum (4)						RMS Error (%): 2.43	
Sensor No:	1	2	3	4	5	6	7
Measured Deflections (microns):				249.400		168.700	134.300
99.100	70.200	45.400		33.800			
Calculated Deflection (microns):				242.897		173.960	136.898
98.652	67.471	46.423		33.540			
Difference (%):		2.61		-3.12		-1.93	.45
3.89	-2.25	.77					
Layer No:	1	2	3				
Seed Moduli (MPa):		6896.55		344.83		310.56	
Calculated Moduli (MPa):			5569.02		1723.29		263.01
Layer No:	1	2	3				
Radial Distance (cm):		.00	.00	.00			
Position:	Bottom	Middle	Top				
Vertical Stress (kPa):	-487.84			-282.09		-153.01	
Radial Stress (kPa):	-53.71			144.56		-24.46	
Bulk Stress (kPa):	-595.26			7.04		-201.93	
Deviator Stress (kPa):	-434.13			-426.66		-128.55	
Vertical Strain (10 ⁻⁶):		-81.81			-197.25		-498.06
Radial Strain (10 ⁻⁶):	19.53			99.85		210.64	

Backcalculation by Evercalc 5.0 - Detail Output

Route: ARQUIVO.fwd Teste on 21/12/94

Plate Radius (cm): 15.0 No of Layers: 4

No of Sensors: 7 Stiff Layer: No

Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 65.0 90.0 120.0

P-Ratio: .250 .350 .350 .450

Station: 1 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 1.04

Thickness (cm): 14.50 8.50 32.00 Pavement Temperature (C): 25.1

Drop No: 1 Load (N): 40900.0 No of Iterations: 5

Convergence: Close to Optimum (5) RMS Error (%): 1.04

Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7

Measured Deflections (microns): 341.400 241.400 196.500

147.300 105.600 68.900 49.000

Calculated Deflection (microns): 341.460 240.991 196.856

148.328 103.635 70.099 48.666

Difference (%): -.02 .17 -.18 -.70

1.86 -1.74 .68

Layer No: 1 2 3 4

Seed Moduli (MPa): 3500.00 150.00 150.00 100.00

Calculated Moduli (MPa): 1305.83 1610.75 143.21 190.65

Layer No: 1 2 3

Radial Distance (cm): .00 .00 .00

Position: Bottom Middle Top

Vertical Stress (kPa): -282.59 -164.42 -101.43

Radial Stress (kPa): 26.48 231.17 -6.05

Bulk Stress (kPa): -229.62 297.92 -113.53

Deviator Stress (kPa): -309.08 -395.59 -95.38

Vertical Strain (10⁻⁶): -226.55 -202.54 -678.69Radial Strain (10⁻⁶): 69.31 129.01 220.44

Station: 11 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 1.21

Thickness (cm): 9.50 13.50 28.00 Pavement Temperature (C): 24.3

Drop No: 1 Load (N): 40200.0 No of Iterations: 4

Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): 1.21

Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7

Measured Deflections (microns): 324.100 230.800 184.800

130.800 89.000 54.900 38.200

Calculated Deflection (microns): 324.218 231.583 183.636

132.017 87.296 56.044 37.838

Difference (%): -.04 -.34 .63 -.93

1.92 -2.08 .95

Layer No: 1 2 3 4

Seed Moduli (MPa): 1264.27 1834.47 87.05 167.60

Calculated Moduli (MPa): 2261.05 977.76 117.94 234.33

Layer No: 1 2 3

Radial Distance (cm): .00 .00 .00

Position: Bottom Middle Top

Vertical Stress (kPa): -370.40 -192.11 -94.81

Radial Stress (kPa): 184.00 123.80 -3.74

Bulk Stress (kPa): -2.39 55.49 -102.29

Deviator Stress (kPa): -554.40 -315.90 -91.07

Vertical Strain (10⁻⁶): -204.50 -285.10 -781.67Radial Strain (10⁻⁶): 101.99 151.06 260.74

Station: 17 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 1.36

Thickness (cm): 13.50 8.50 20.00 Pavement Temperature (C): 25.2

Drop No: 1 Load (N): 40400.0 No of Iterations: 5

Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): 1.36

Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7

Measured Deflections (microns): 335.700 238.400 186.900

133.200 90.700 57.500 42.200

Calculated Deflection (microns): 335.732 237.961 187.721

133.712 88.861 58.984 41.639

Difference (%): -.01 .18 -.44 -.38

2.03 -2.58 1.33

Layer No: 1 2 3 4

Seed Moduli (MPa): 3473.10 1807.12 250.00 300.00

Calculated Moduli (MPa): 1880.74 688.21 140.93 211.38

Layer No: 1 2 3

Radial Distance (cm): .00 .00 .00

Position:	Bottom	Middle	Top
Vertical Stress (kPa):	-241.91	-160.41	-115.09
Radial Stress (kPa):	367.20	131.08	-1.77
Bulk Stress (kPa):	492.48	101.74	-118.63
Deviator Stress (kPa):	-609.10	-291.49	-113.32
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-226.24	-366.41	-807.82
Radial Strain (10 ⁻⁶):	178.59	205.38	277.65

A.4. Resultados detalhados da retroanálise com o programa EVERCALC dos segmentos selecionados para estudo do trecho da PR-280.

Backcalculation by Evercalc 5.0 - Detail Output
Route: PR280m.fwd Teste on 21/12/94
Plate Radius (cm): 15.0 No of Layers: 4
No of Sensors: 7 Stiff Layer: No
Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 65.0 90.0 120.0
P-Ratio: .300 .350 .350 .450
Station: 2 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): .72
Thickness (cm): 10.00 20.00 32.00 Pavement Temperature (C): 54.0
Drop No: 1 Load (N): 39400.0 No of Iterations: 5
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): .72
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
Measured Deflections (microns): 463.600 334.400 249.500
162.400 99.700 63.250 46.900
Calculated Deflection (microns): 462.980 333.650 251.033
162.632 98.615 64.051 46.612
Difference (%): .13 .22 -.61 -.14
1.09 -1.27 .61
Layer No: 1 2 3 4
Seed Moduli (MPa): 10011.37 76.84 250.00 187.72
Calculated Moduli (MPa): 3965.63 107.24 173.06 183.09
Layer No: 1 2 3
Radial Distance (cm): .00 .00 .00
Position: Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -170.11 -121.21 -88.37
Radial Stress (kPa): 1668.83 -19.30 -7.30
Bulk Stress (kPa): 3167.55 -159.81 -102.98
Deviator Stress (kPa): -1838.95 -101.91 -81.06
Vertical Strain (10⁻⁶): -253.31 -1004.31 -481.07
Radial Strain (10⁻⁶): 326.34 278.62 151.28
Station: 5 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 2.58
Thickness (cm): 10.00 20.00 36.00 Pavement Temperature (C): 53.0
Drop No: 1 Load (N): 39200.0 No of Iterations: 5
Convergence: Close to Optimum (4) RMS Error (%): 2.58
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
Measured Deflections (microns): 380.800 273.800 210.600
148.200 98.500 59.070 44.100
Calculated Deflection (microns): 377.678 276.007 213.647
147.000 94.994 61.957 43.034
Difference (%): .82 -.81 -1.45 .81
3.56 -4.89 2.42
Layer No: 1 2 3 4
Seed Moduli (MPa): 1983.93 295.13 93.62 208.34
Calculated Moduli (MPa): 4183.73 240.32 129.81 202.72
Layer No: 1 2 3
Radial Distance (cm): .00 .00 .00
Position: Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -214.70 -126.97 -78.74
Radial Stress (kPa): 1268.26 8.17 .40
Bulk Stress (kPa): 2321.83 -110.64 -77.94
Deviator Stress (kPa): -1482.96 -135.13 -79.14

Vertical Strain (10^{-6}): -202.89 -552.12 -608.74
 Radial Strain (10^{-6}): 240.19 207.00 214.31
 Station: 22 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 1.42
 Thickness (cm): 14.00 20.00 30.00 Pavement Temperature (C): 44.0
 Drop No: 1 Load (N): 41000.0 No of Iterations: 4
 Convergence: Close to Optimum (4) RMS Error (%): 1.42
 Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
 Measured Deflections (microns): 324.100 249.200 195.800
 140.500 95.000 59.180 42.600
 Calculated Deflection (microns): 324.191 246.732 198.340
 141.465 92.666 60.409 42.266
 Difference (%): -.03 .99 -1.30 -.69
 2.46 -2.08 .78
 Layer No: 1 2 3 4
 Seed Moduli (MPa): 3193.15 92.46 250.00 178.15
 Calculated Moduli (MPa): 3772.61 142.70 196.91 214.33
 Layer No: 1 2 3
 Radial Distance (cm): .00 .00 .00
 Position: Bottom Middle Top
 Vertical Stress (kPa): -130.30 -92.01 -67.97
 Radial Stress (kPa): 1097.66 -11.81 -4.39
 Bulk Stress (kPa): 2065.02 -115.63 -76.74
 Deviator Stress (kPa): -1227.96 -80.20 -63.58
 Vertical Strain (10^{-6}): -180.02 -586.83 -329.58
 Radial Strain (10^{-6}): 226.85 171.87 106.33
 Station: 29 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 1.37
 Thickness (cm): 10.00 30.00 30.00 Pavement Temperature (C): 35.4
 Drop No: 1 Load (N): 38700.0 No of Iterations: 4
 Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): 1.37
 Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
 Measured Deflections (microns): 380.500 290.000 217.600
 145.100 93.300 58.960 44.000
 Calculated Deflection (microns): 382.739 284.646 219.666
 147.029 91.372 59.818 43.763
 Difference (%): -.59 1.85 -.95 -1.33
 2.07 -1.45 .54
 Layer No: 1 2 3 4
 Seed Moduli (MPa): 2796.19 92.96 171.19 233.01
 Calculated Moduli (MPa): 5551.59 126.03 250.00 192.26
 Layer No: 1 2 3
 Radial Distance (cm): .00 .00 .00
 Position: Bottom Middle Top
 Vertical Stress (kPa): -150.94 -92.34 -60.93
 Radial Stress (kPa): 1789.51 -12.44 -3.97
 Bulk Stress (kPa): 3428.07 -117.23 -68.87
 Deviator Stress (kPa): -1940.45 -79.90 -56.96
 Vertical Strain (10^{-6}): -188.36 -663.56 -232.62
 Radial Strain (10^{-6}): 248.55 192.26 74.99

Backcalculation by Evercalc 5.0 - Detail Output

Route: PR280m.fwd Teste on 21/12/94

Plate Radius (cm): 15.0 No of Layers: 3

No of Sensors: 7 Stiff Layer: No

Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 65.0 90.0 120.0

P-Ratio: .300 .350 .450

Station: 11 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 1.70

Thickness (cm): 15.00 35.00 Pavement Temperature (C): 41.4

Drop No: 1 Load (N): 40900.0 No of Iterations: 5

Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): 1.70

Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7

Measured Deflections (microns): 476.200 372.400 294.200

207.200 137.200 84.920 61.500

Calculated Deflection (microns): 483.885 364.888 293.027

208.786 135.892 87.303 60.259

Difference (%): -1.61 2.02 .40 -.77

.95 -2.81 2.02

Layer No: 1 2 3


```

Seed Moduli (MPa):      918.72      344.83      164.91
Calculated Moduli (MPa): 2122.31      100.42      147.70
Layer No:      1      2      3
Radial Distance (cm): .00      .00      .00
Position:      Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -129.12      -70.10      -44.91
Radial Stress (kPa):   945.35      -5.00      -6.26
Bulk Stress (kPa):    1761.59      -80.11      -57.44
Deviator Stress (kPa): -1074.47      -65.10      -38.65
Vertical Strain (10^-6): -283.56      -663.26      -265.90
Radial Strain (10^-6):  349.29      211.97      113.51
Station: 13      No of Drops: 1      Average RMS Error(%): 2.10
Thickness (cm):  10.00  40.00      Pavement Temperature (C): 43.1
Drop No: 1      Load (N): 40300.0      No of Iterations: 5
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied      RMS Error (%): 2.10
Sensor No:      1      2      3      4      5      6      7
Measured Deflections (microns):      479.500      362.900      273.200
182.700 115.800      68.310      45.300
Calculated Deflection (microns):      472.945      358.466      279.668
187.355 112.099      67.427      46.140
Difference (%):      1.37      1.22      -2.37      -2.55
3.20      1.29      -1.85
Layer No:      1      2      3
Seed Moduli (MPa):   977.73      344.83      203.44
Calculated Moduli (MPa): 5383.52      100.31      182.87
Layer No:      1      2      3
Radial Distance (cm): .00      .00      .00
Position:      Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -140.13      -74.55      -46.48
Radial Stress (kPa):  2047.66      -7.36      -7.07
Bulk Stress (kPa):    3955.19      -89.27      -60.62
Deviator Stress (kPa): -2187.80      -67.19      -39.41
Vertical Strain (10^-6): -216.21      -691.82      -219.36
Radial Strain (10^-6):  291.78      212.41      93.11
Station: 17      No of Drops: 1      Average RMS Error(%): .77
Thickness (cm):  10.00  40.00      Pavement Temperature (C): 44.1
Drop No: 1      Load (N): 40000.0      No of Iterations: 6
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied      RMS Error (%): .77
Sensor No:      1      2      3      4      5      6      7
Measured Deflections (microns):      433.100      328.900      250.700
169.600 104.600      63.580      44.900
Calculated Deflection (microns):      433.494      325.958      253.358
170.006 103.436      64.152      44.755
Difference (%):      -.09      .89      -1.06      -.24
1.11      -.90      .32
Layer No:      1      2      3
Seed Moduli (MPa):   1117.87      344.83      216.72
Calculated Moduli (MPa): 5411.53      118.84      189.31
Layer No:      1      2      3
Radial Distance (cm): .00      .00      .00
Position:      Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -150.28      -76.96      -46.52
Radial Stress (kPa):  1916.05      -6.25      -6.34
Bulk Stress (kPa):    3681.83      -89.45      -59.20
Deviator Stress (kPa): -2066.33      -70.71      -40.18
Vertical Strain (10^-6): -204.80      -610.81      -215.61
Radial Strain (10^-6):  272.49      192.50      92.17
Station: 19      No of Drops: 1      Average RMS Error(%): 1.40
Thickness (cm):  10.00  40.00      Pavement Temperature (C): 42.4
Drop No: 1      Load (N): 40500.0      No of Iterations: 5
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied      RMS Error (%): 1.40
Sensor No:      1      2      3      4      5      6      7
Measured Deflections (microns):      444.200      350.900      280.700
199.200 128.300      72.820      46.000
Calculated Deflection (microns):      437.585      350.595      285.694
202.210 125.184      72.949      46.184

```

Difference (%):	1.49	.09	-1.78	-1.51
2.43	-.18	-.40		
Layer No:	1	2	3	
Seed Moduli (MPa):	1417.82	344.83	191.88	
Calculated Moduli (MPa):	8692.44	81.53	185.42	
Layer No:	1	2	3	
Radial Distance (cm):	.00	.00	.00	
Position:	Bottom	Middle	Top	
Vertical Stress (kPa):	-99.57	-59.72	-40.47	
Radial Stress (kPa):	2567.79	-8.86	-8.05	
Bulk Stress (kPa):	5036.02	-77.44	-56.57	
Deviator Stress (kPa):	-2667.36	-50.87	-32.42	
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-159.16	-656.52	-179.19	
Radial Strain (10 ⁻⁶):	224.42	185.78	74.34	

A.5. Resultados detalhados da retroanálise com o programa EVERCALC dos segmentos selecionados para estudo do trecho da SP-294.

Backcalculation by Evercalc 5.0 - Detail Output

Route: sp294.fwd Teste on 21/12/94

Plate Radius (cm): 15.0 No of Layers: 4

No of Sensors: 7 Stiff Layer: Yes

Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 65.0 90.0 120.0 P-Ratio: .300 .350 .450 .200

Station: 14	No of Drops: 1	Average RMS Error(%): 1.76
Thickness (cm): 6.00 30.00 200.80	Pavement Temperature (C): 45.0	
Drop No: 1 Load (N): 39800.0	No of Iterations: 5	
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied	RMS Error (%): 1.76	
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7		
Measured Deflections (microns):	682.000 513.000 424.000	
294.000 182.000 104.000	58.000	
Calculated Deflection (microns):	678.078 524.543 416.202	
290.374 183.114 106.660	56.778	
Difference (%):	.58 -2.25 1.84 1.23	-
.61 -2.56 2.11		
Layer No: 1 2 3 4		
Seed Moduli (MPa): 14000.00 344.40 102.96 750.00		
Calculated Moduli (MPa): 12916.29 132.34 59.28 750.00		
Layer No: 1 2 3		
Radial Distance (cm): .00 .00 .00		
Position: Bottom Middle Top		
Vertical Stress (kPa): -194.65 -98.39 -50.81		
Radial Stress (kPa): 4749.93 6.71 -4.61		
Bulk Stress (kPa): 9305.21 -84.97 -60.02		
Deviator Stress (kPa): -4944.58 -105.11 -46.20		
Vertical Strain (10 ⁻⁶): -235.72 -778.99 -787.19		
Radial Strain (10 ⁻⁶): 261.94 293.19 342.97		
Station: 17	No of Drops: 1	Average RMS Error(%): 1.21
Thickness (cm): 7.00 30.00 240.55	Pavement Temperature (C): 43.5	
Drop No: 1 Load (N): 40000.0	No of Iterations: 5	
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied	RMS Error (%): 1.21	
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7		
Measured Deflections (microns):	543.000 424.000 344.000	
239.000 161.000 96.000	54.000	
Calculated Deflection (microns):	540.978 425.188 342.482	
243.970 157.731 95.431	54.559	
Difference (%):	.37 -.28 .44 -2.08	
2.03 .59 -1.04		
Layer No: 1 2 3 4		
Seed Moduli (MPa): 14000.00 348.27 110.05 750.00		

Calculated Moduli (MPa):	12050.78	153.58	76.37	750.00
Layer No:	1	2	3	
Radial Distance (cm):	.00	.00	.00	
Position:	Bottom	Middle	Top	
Vertical Stress (kPa):	-176.01	-91.03	-49.21	
Radial Stress (kPa):	3786.55	5.12	-4.64	
Bulk Stress (kPa):	7397.10	-80.79	-58.50	
Deviator Stress (kPa):	-3962.57	-96.15	-44.56	
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-203.14	-616.07	-589.59	
Radial Strain (10 ⁻⁶):	224.33	229.13	256.50	
Station: 21	No of Drops: 1	Average RMS Error(%):	2.30	
Thickness (cm):	7.00	30.00	202.95	Pavement Temperature (C): 60.0
Drop No: 1	Load (N): 39200.0	No of Iterations: 4		
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied		RMS Error (%)	2.30	
Sensor No:	1	2	3	4
Measured Deflections (microns):	555.000	367.000	286.000	
188.000 120.000	69.000	41.000		
Calculated Deflection (microns):	548.654	377.632	279.850	
187.309 119.066	71.599	39.857		
Difference (%):	1.14	-2.90	2.15	.37
.78	-3.77	2.79		
Layer No:	1	2	3	4
Seed Moduli (MPa):	14000.00	176.50	84.27	750.00
Calculated Moduli (MPa):	4079.94	206.38	90.20	750.00
Layer No:	1	2	3	
Radial Distance (cm):	.00	.00	.00	
Position:	Bottom	Middle	Top	
Vertical Stress (kPa):	-308.46	-136.40	-61.36	
Radial Stress (kPa):	1702.36	12.60	-3.42	
Bulk Stress (kPa):	3096.26	-111.21	-68.19	
Deviator Stress (kPa):	-2010.83	-149.00	-57.94	
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-325.96	-703.63	-646.16	
Radial Strain (10 ⁻⁶):	314.76	270.99	285.28	
Station: 26	No of Drops: 1	Average RMS Error(%):	2.35	
Thickness (cm):	5.00	30.00	233.97	Pavement Temperature (C): 59.0
Drop No: 1	Load (N): 39000.0	No of Iterations: 3		
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied		RMS Error (%)	2.35	
Sensor No:	1	2	3	4
Measured Deflections (microns):	608.000	417.000	319.000	
224.000 150.000	91.000	58.000		
Calculated Deflection (microns):	605.427	419.628	316.741	
222.765 150.245	95.069	55.583		
Difference (%):	.42	-.63	.71	.55
.16	-4.47	4.17		
Layer No:	1	2	3	4
Seed Moduli (MPa):	14000.00	198.03	61.97	750.00
Calculated Moduli (MPa):	7351.55	240.11	72.50	750.00
Layer No:	1	2	3	
Radial Distance (cm):	.00	.00	.00	
Position:	Bottom	Middle	Top	
Vertical Stress (kPa):	-368.06	-153.21	-57.97	
Radial Stress (kPa):	2536.41	20.90	-2.56	
Bulk Stress (kPa):	4704.76	-111.40	-63.10	
Deviator Stress (kPa):	-2904.47	-174.11	-55.41	
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-257.08	-699.01	-767.75	
Radial Strain (10 ⁻⁶):	256.53	279.91	340.36	
Station: 29	No of Drops: 1	Average RMS Error(%):	1.80	
Thickness (cm):	5.00	30.00	198.98	Pavement Temperature (C): 59.4
Drop No: 1	Load (N): 39100.0	No of Iterations: 3		
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied		RMS Error (%)	1.80	
Sensor No:	1	2	3	4
Measured Deflections (microns):	648.000	467.000	371.000	
246.000 155.000	91.000	52.000		
Calculated Deflection (microns):	646.710	473.121	361.817	
246.558 156.660	93.210	50.546		
Difference (%):	.20	-1.31	2.48	-.23
1.07	-2.43	2.80		
Layer No:	1	2	3	4

Seed Moduli (MPa): 9604.50 156.86 64.48 750.00
 Calculated Moduli (MPa): 13424.84 172.85 66.05 750.00
 Layer No: 1 2 3
 Radial Distance (cm): .00 .00 .00
 Position: Bottom Middle Top
 Vertical Stress (kPa): -266.99 -124.17 -56.19
 Radial Stress (kPa): 4722.73 11.70 -3.75
 Bulk Stress (kPa): 9178.48 -100.77 -63.69
 Deviator Stress (kPa): -4989.72 -135.86 -52.44
 Vertical Strain (10⁻⁶): -230.96 -765.72 -799.66
 Radial Strain (10⁻⁶): 252.22 295.41 351.61

Backcalculation by Evercalc 5.0 - Detail Output

Route: ARQUIVO.fwd Teste on 21/12/94

Plate Radius (cm): 15.0 No of Layers: 4

No of Sensors: 7 Stiff Layer: Yes

Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 65.0 90.0 120.0

P-Ratio: .300 .200 .450 .200

Station: 5 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 2.90
 Thickness (cm): 6.00 10.00 264.15 Pavement Temperature (C): 42.5
 Drop No: 1 Load (N): 40200.0 No of Iterations: 7
 Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): 2.90
 Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
 Measured Deflections (microns): 414.000 313.000 253.000
 176.000 117.000 70.000 41.000
 Calculated Deflection (microns): 402.754 313.829 254.691
 184.013 118.675 69.825 38.821
 Difference (%): 2.72 -0.26 -0.67 -4.55
 1.43 .25 5.31
 Layer No: 1 2 3 4
 Seed Moduli (MPa): 3500.00 1000.00 100.00 750.00
 Calculated Moduli (MPa): 8786.83 1264.32 109.63 750.00
 Layer No: 1 2 3
 Radial Distance (cm): .00 .00 .00
 Position: Bottom Middle Top
 Vertical Stress (kPa): -362.31 -192.41 -104.21
 Radial Stress (kPa): 1115.50 257.67 -16.74
 Bulk Stress (kPa): 1868.70 322.93 -137.70
 Deviator Stress (kPa): -1477.81 -450.08 -87.47
 Vertical Strain (10⁻⁶): -117.40 -233.71 -813.08
 Radial Strain (10⁻⁶): 101.24 193.48 343.74
 Station: 9 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 2.34
 Thickness (cm): 6.00 10.00 221.90 Pavement Temperature (C): 40.8
 Drop No: 1 Load (N): 39800.0 No of Iterations: 7
 Convergence: Close to Optimum (4) RMS Error (%): 2.34
 Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
 Measured Deflections (microns): 476.000 369.000 304.000
 219.000 148.000 87.000 45.000
 Calculated Deflection (microns): 459.443 369.775 307.320
 228.018 149.253 86.031 43.884
 Difference (%): 3.48 -0.21 -1.09 -4.12
 .85 1.11 2.48
 Layer No: 1 2 3 4
 Seed Moduli (MPa): 7050.79 929.90 63.58 750.00
 Calculated Moduli (MPa): 8740.65 1444.06 79.90 750.00
 Layer No: 1 2 3
 Radial Distance (cm): .00 .00 .00
 Position: Bottom Middle Top
 Vertical Stress (kPa): -356.21 -174.51 -83.41
 Radial Stress (kPa): 1019.89 313.54 -15.84
 Bulk Stress (kPa): 1683.57 452.56 -115.08
 Deviator Stress (kPa): -1376.09 -488.05 -67.57
 Vertical Strain (10⁻⁶): -110.76 -207.70 -865.61
 Radial Strain (10⁻⁶): 93.90 197.87 360.79

A.6. Resultados detalhados da retroanálise com o programa EVERCALC dos segmentos selecionados para estudo do trecho da SP-421.

Backcalculation by Evercalc 5.0 - Detail Output

Route: sp421.fwd Teste on 21/12/94

Plate Radius (cm): 15.0 No of Layers: 4

No of Sensors: 7 Stiff Layer: No

Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 65.0 90.0 120.0

P-Ratio: .300 .200 .350 .450

Station: 3 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): .71

Thickness (cm): 4.50 10.00 20.00 Pavement Temperature (C): 46.0

Drop No: 1 Load (N): 39900.0 No of Iterations: 8

Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): .71

Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7

Measured Deflections (microns): 351.000 251.000 197.000

131.000 80.000 48.000 33.000

Calculated Deflection (microns): 347.925 254.262 196.163

131.578 79.347 48.079 33.058

Difference (%): .88 -1.30 .42 -.44

.82 -.17 -.18

Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)

Seed Moduli (MPa): 6480.85 1261.87 85.08 286.93 N/A

Calculated Moduli (MPa): 7005.31 1788.73 88.73 251.42

Layer No: 1 2 3

Radial Distance (cm): .00 .00 .00

Position: Bottom Middle Top

Vertical Stress (kPa): -447.17 -233.83 -116.45

Radial Stress (kPa): 115.28 292.88 -16.94

Bulk Stress (kPa): -216.60 351.94 -150.33

Deviator Stress (kPa): -562.45 -526.71 -99.52

Vertical Strain (10⁻⁶): -73.71 -196.22 -1178.85

Radial Strain (10⁻⁶): 30.67 157.13 335.29

Station: 10 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 1.99

Thickness (cm): 5.50 11.50 20.00 Pavement Temperature (C): 46.0

Drop No: 1 Load (N): 39500.0 No of Iterations: 7

Convergence: Close to Optimum (4) RMS Error (%): 1.99

Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7

Measured Deflections (microns): 331.000 236.000 188.000

135.000 83.000 50.000 31.000

Calculated Deflection (microns): 320.803 241.370 191.842

133.881 82.768 48.874 31.545

Difference (%): 3.08 -2.28 -2.04 .83

.28 2.25 -1.76

Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)

Seed Moduli (MPa): 14000.00 584.80 70.00 245.46 N/A

Calculated Moduli (MPa): 5607.28 1782.68 70.00 264.63

Layer No: 1 2 3

Radial Distance (cm): .00 .00 .00

Position: Bottom Middle Top

Vertical Stress (kPa): -428.80 -207.06 -87.52

Radial Stress (kPa): 70.04 252.09 -15.55

Bulk Stress (kPa): -288.72 297.12 -118.63

Deviator Stress (kPa): -498.84 -459.15 -71.96

Vertical Strain (10⁻⁶): -83.97 -172.71 -1094.67

Radial Strain (10⁻⁶): 31.69 136.36 293.14

Station: 18 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): .95

Thickness (cm): 5.00 10.00 20.00 Pavement Temperature (C): 46.5

Drop No: 1 Load (N): 39300.0 No of Iterations: 5

Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): .95

Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7

```

Measured Deflections (microns):      293.000      220.000      180.000
127.000  81.000      48.000      31.000
Calculated Deflection (microns):      288.769      223.701      180.118
127.531  80.142      47.986      31.100
Difference (%):      1.44      -1.68      -.07      -.42
1.06      .03      -.32
Layer No:      1      2      3      4      1-(adj)
Seed Moduli (MPa):      4312.47      2500.00      70.00      278.75      N/A
Calculated Moduli (MPa):      11855.43      2500.00      77.42      268.65
*****
Layer No:      1      2      3
Radial Distance (cm):      .00      .00      .00
Position:      Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -403.80      -192.55      -84.77
Radial Stress (kPa):      496.96      343.31      -15.70
Bulk Stress (kPa):      590.12      494.08      -116.16
Deviator Stress (kPa): -900.77      -535.86      -69.07
Vertical Strain (10^-6):      -59.21      -131.95      -952.99
Radial Strain (10^-6):      39.56      125.26      251.44
Station: 29      No of Drops: 1      Average RMS Error(%): 3.16
Thickness (cm):      6.50      10.00      20.00      Pavement Temperature (C): 51.5
Drop No: 1      Load (N): 38700.0      No of Iterations: 6
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied      RMS Error (%): 3.16
Sensor No:      1      2      3      4      5      6      7
Measured Deflections (microns):      311.000      243.000      201.000
150.000  102.000      65.000      38.000
Calculated Deflection (microns):      307.950      244.836      202.621
149.595  98.972      61.786      40.227
Difference (%):      .98      -.76      -.81      .27
2.97      4.94      -5.86
Layer No:      1      2      3      4      1-(adj)
Seed Moduli (MPa):      700.00      2051.84      70.00      209.48      N/A
Calculated Moduli (MPa):      6569.93      2500.00      70.00      211.89
*****
Layer No:      1      2      3
Radial Distance (cm):      .00      .00      .00
Position:      Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -369.12      -173.36      -74.16
Radial Stress (kPa):      193.45      332.28      -14.00
Bulk Stress (kPa):      17.79      491.20      -102.16
Deviator Stress (kPa): -562.58      -505.64      -60.16
Vertical Strain (10^-6):      -73.85      -122.51      -919.41
Radial Strain (10^-6):      37.47      120.20      240.79
Station: 31      No of Drops: 1      Average RMS Error(%): 2.02
Thickness (cm):      6.50      10.00      20.00      Pavement Temperature (C): 51.2
Drop No: 1      Load (N): 38100.0      No of Iterations: 4
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied      RMS Error (%): 2.02
Sensor No:      1      2      3      4      5      6      7
Measured Deflections (microns):      356.000      248.000      191.000
124.000  67.000      38.000      28.000
Calculated Deflection (microns):      361.719      248.460      188.940
121.080  67.942      39.114      27.170
Difference (%):      -1.61      -.19      1.08      2.35
1.41      -2.93      2.96
Layer No:      1      2      3      4      1-(adj)
Seed Moduli (MPa):      1240.35      2500.00      70.00      258.65      N/A
Calculated Moduli (MPa):      1035.65      2500.00      78.39      284.89
*****
Layer No:      1      2      3
Radial Distance (cm):      .00      .00      .00
Position:      Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -442.19      -249.25      -117.36
Radial Stress (kPa):      -351.73      193.39      -27.42
Bulk Stress (kPa):      -1145.66      137.53      -172.20
Deviator Stress (kPa): -90.46      -442.64      -89.94
Vertical Strain (10^-6):      -223.20      -130.64      -1252.32
Radial Strain (10^-6):      -109.64      81.82      296.64
Station: 37      No of Drops: 1      Average RMS Error(%): .38

```



```

Thickness (cm): 7.00 10.00 20.00 Pavement Temperature (C): 52.5
Drop No: 1 Load (N): 38700.0 No of Iterations: 4
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): .38
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
Measured Deflections (microns): 305.000 221.000 175.000
120.000 75.000 47.000 32.000
Calculated Deflection (microns): 304.504 221.576 174.394
120.398 75.112 46.674 32.144
Difference (%): .16 -.26 .35 -.33
.15 .69 -.45
Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)
Seed Moduli (MPa): 2644.85 1666.96 75.44 249.63 N/A
Calculated Moduli (MPa): 2363.65 2134.84 106.06 254.81
*****
Layer No: 1 2 3
Radial Distance (cm): .00 .00 .00
Position: Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -407.35 -219.77 -111.12
Radial Stress (kPa): -190.54 239.54 -17.37
Bulk Stress (kPa): -788.43 259.32 -145.87
Deviator Stress (kPa): -216.81 -459.31 -93.74
Vertical Strain (10^-6): -123.97 -147.83 -932.98
Radial Strain (10^-6): -4.73 110.35 260.20
Station: 38 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): .89
Thickness (cm): 7.00 10.00 20.00 Pavement Temperature (C): 52.0
Drop No: 1 Load (N): 38800.0 No of Iterations: 9
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): .89
Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
Measured Deflections (microns): 432.000 296.000 219.000
138.000 80.000 47.000 32.000
Calculated Deflection (microns): 429.388 295.661 219.757
139.664 79.238 46.466 32.385
Difference (%): .60 .11 -.35 -1.21
.95 1.14 -1.20
Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)
Seed Moduli (MPa): 2363.65 2134.84 106.06 254.81 N/A
Calculated Moduli (MPa): 2172.50 906.52 70.33 245.00
*****
Layer No: 1 2 3
Radial Distance (cm): .00 .00 .00
Position: Bottom Middle Top
Vertical Stress (kPa): -385.19 -214.90 -122.37
Radial Stress (kPa): 133.84 216.12 -16.45
Bulk Stress (kPa): -117.50 217.34 -155.28
Deviator Stress (kPa): -519.03 -431.02 -105.92
Vertical Strain (10^-6): -214.27 -332.42 -1576.30
Radial Strain (10^-6): 96.32 238.14 456.95

```

A.7. Resultados detalhados da retroanálise com o programa EVERCALC dos segmentos selecionados para estudo do trecho da SP-425.

```

Backcalculation by Evercalc 5.0 - Detail Output
Route: ARQUIVO.fwd Teste on 21/12/94
Plate Radius (cm): 15.0 No of Layers: 4
No of Sensors: 7 Stiff Layer: No
Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 65.0 90.0 120.0
P-Ratio: .300 .200 .350 .450
Station: 5 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): .67
Thickness (cm): 11.00 15.00 20.00 Pavement Temperature (C): 30.5
Drop No: 1 Load (N): 40900.0 No of Iterations: 4
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): .67

```

Sensor No:	1	2	3	4	5	6	7	
Measured Deflections (microns):				359.000		251.000		195.000
133.000	88.000		57.000	39.000				
Calculated Deflection (microns):				359.145		250.845		193.664
134.746	87.522		56.653	39.201				
Difference (%):			-.04	.06		.69		-1.31
.54	.61		-.52					
Layer No:	1	2	3	4	1-(adj)			
Seed Moduli (MPa):		2045.86		232.52		70.00		201.80
Calculated Moduli (MPa):			2135.27		442.01		106.62	228.61
			3703.091					
Layer No:	1	2	3					
Radial Distance (cm):		.00	.00	.00				
Position:		Bottom	Middle	Top				
Vertical Stress (kPa):				-298.26		-96.08		
Radial Stress (kPa):		498.45		73.00		-3.46		
Bulk Stress (kPa):		698.65		-17.73		-103.01		
Deviator Stress (kPa):		-796.71		-236.74		-92.62		
Vertical Strain (10 ⁻⁶):			-279.74		-436.50		-878.41	
Radial Strain (10 ⁻⁶):		205.31		206.22		294.29		
Station: 18		No of Drops: 1				Average RMS Error(%): .64		
Thickness (cm):	12.00	13.00	20.00			Pavement Temperature (C): 33.6		
Drop No: 1	Load (N): 40900.0		No of Iterations: 5					
Convergence: Modulus Tolerance Satisfied			RMS Error (%): .64					
Sensor No:	1	2	3	4	5	6	7	
Measured Deflections (microns):				354.000		256.000		199.000
131.000	83.000		54.000	38.000				
Calculated Deflection (microns):				354.410		256.445		196.928
132.377	82.879		53.656	38.173				
Difference (%):			-.12	-.17		1.04		-1.05
.15	.64		-.45					
Layer No:	1	2	3	4	1-(adj)			
Seed Moduli (MPa):		1717.27		256.89		75.56		211.08
Calculated Moduli (MPa):			3369.54		154.19		181.52	232.61
			8188.439					
Layer No:	1	2	3					
Radial Distance (cm):		.00	.00	.00				
Position:		Bottom	Middle	Top				
Vertical Stress (kPa):				-173.96		-130.38		-101.41
Radial Stress (kPa):		1190.44		8.28		-7.46		
Bulk Stress (kPa):		2206.92		-113.81		-116.34		
Deviator Stress (kPa):		-1364.40		-138.66		-93.95		
Vertical Strain (10 ⁻⁶):			-263.60		-867.07		-529.88	
Radial Strain (10 ⁻⁶):		262.79		212.10		168.81		
Station: 22		No of Drops: 1				Average RMS Error(%): 1.35		
Thickness (cm):	8.00	10.00	20.00			Pavement Temperature (C): 37.5		
Drop No: 1	Load (N): 40800.0		No of Iterations: 5					
Convergence: Close to Optimum (4)			RMS Error (%): 1.35					
Sensor No:	1	2	3	4	5	6	7	
Measured Deflections (microns):				478.000		324.000		241.000
148.000	93.000		61.000	43.000				
Calculated Deflection (microns):				478.002		325.184		236.951
151.101	92.098		60.110	43.654				
Difference (%):			.00	-.37		1.68		-2.10
.97	1.46		-1.52					
Layer No:	1	2	3	4	1-(adj)			
Seed Moduli (MPa):		3495.22		910.75		97.38		225.04
Calculated Moduli (MPa):			3253.99		316.78		108.67	198.82

Layer No:	1	2	3					
Radial Distance (cm):		.00	.00	.00				
Position:		Bottom	Middle	Top				
Vertical Stress (kPa):				-307.16		-211.20		-152.72
Radial Stress (kPa):		1188.23		80.10		-5.65		
Bulk Stress (kPa):		2069.31		-50.99		-164.03		
Deviator Stress (kPa):		-1495.39		-291.31		-147.07		
Vertical Strain (10 ⁻⁶):			-313.49		-767.87		-1369.00	
Radial Strain (10 ⁻⁶):		283.93		335.64		458.08		

Station: 27 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 1.35
 Thickness (cm): 10.00 8.00 20.00 Pavement Temperature (C): 37.4
 Drop No: 1 Load (N): 40900.0 No of Iterations: 4
 Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): 1.35
 Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
 Measured Deflections (microns): 347.000 245.000 189.000
 122.000 77.000 47.000 32.000
 Calculated Deflection (microns): 346.877 243.953 187.279
 125.266 75.819 46.539 32.347
 Difference (%): .04 .43 .91 -2.68
 1.53 .98 -1.08
 Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)
 Seed Moduli (MPa): 1153.14 1839.92 70.00 205.39 N/A
 Calculated Moduli (MPa): 2048.45 1268.76 100.32 264.94
 7815.283
 Layer No: 1 2 3
 Radial Distance (cm): .00 .00 .00
 Position: Bottom Middle Top
 Vertical Stress (kPa): -321.88 -191.87 -124.68
 Radial Stress (kPa): 183.30 269.87 -14.99
 Bulk Stress (kPa): 44.72 347.88 -154.66
 Deviator Stress (kPa): -505.18 -461.74 -109.69
 Vertical Strain (10⁻⁶): -210.82 -236.31 -1138.16
 Radial Strain (10⁻⁶): 109.78 200.41 337.83
 Station: 32 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): 1.30
 Thickness (cm): 10.00 10.00 20.00 Pavement Temperature (C): 37.0
 Drop No: 1 Load (N): 40900.0 No of Iterations: 8
 Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): 1.30
 Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
 Measured Deflections (microns): 367.000 261.000 202.000
 128.000 81.000 50.000 35.000
 Calculated Deflection (microns): 367.231 261.638 198.500
 131.198 79.767 49.939 35.159
 Difference (%): -.06 -.24 1.73 -2.50
 1.52 .12 -.45
 Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)
 Seed Moduli (MPa): 5474.73 100.00 70.00 197.11 N/A
 Calculated Moduli (MPa): 3409.73 419.35 107.06 245.64

 Layer No: 1 2 3
 Radial Distance (cm): .00 .00 .00
 Position: Bottom Middle Top
 Vertical Stress (kPa): -253.44 -168.37 -120.70
 Radial Stress (kPa): 986.41 93.04 -6.50
 Bulk Stress (kPa): 1719.39 17.71 -133.69
 Deviator Stress (kPa): -1239.85 -261.40 -114.20
 Vertical Strain (10⁻⁶): -247.90 -490.23 -1084.94
 Radial Strain (10⁻⁶): 224.80 257.78 355.15
 Station: 39 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): .90
 Thickness (cm): 6.00 13.00 20.00 Pavement Temperature (C): 37.0
 Drop No: 1 Load (N): 41000.0 No of Iterations: 5
 Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): .90
 Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
 Measured Deflections (microns): 388.000 277.000 217.000
 147.000 95.000 62.000 42.000
 Calculated Deflection (microns): 387.404 278.169 214.756
 148.540 95.216 61.061 42.398
 Difference (%): .15 -.42 1.03 -1.05
 .23 1.51 -.95
 Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)
 Seed Moduli (MPa): 992.97 1149.23 112.26 238.73 N/A
 Calculated Moduli (MPa): 5458.55 772.87 96.04 208.32

 Layer No: 1 2 3
 Radial Distance (cm): .00 .00 .00
 Position: Bottom Middle Top

Vertical Stress (kPa): -414.05 -219.08 -113.83
 Radial Stress (kPa): 773.65 144.08 -6.50
 Bulk Stress (kPa): 1133.26 69.08 -126.84
 Deviator Stress (kPa): -1187.70 -363.15 -107.33
 Vertical Strain (10^{-6}): -160.89 -358.03 -1137.85
 Radial Strain (10^{-6}): 121.97 205.83 370.83
 Station: 66 No of Drops: 1 Average RMS Error(%): .83
 Thickness (cm): 8.00 12.00 20.00 Pavement Temperature (C): 47.3
 Drop No: 1 Load (N): 39800.0 No of Iterations: 3
 Convergence: Modulus Tolerance Satisfied RMS Error (%): .83
 Sensor No: 1 2 3 4 5 6 7
 Measured Deflections (microns): 426.000 294.000 225.000
 143.000 88.000 55.000 39.000
 Calculated Deflection (microns): 425.030 297.171 221.512
 144.401 87.584 55.139 38.957
 Difference (%): .23 -1.08 1.55 -.98
 .47 -.25 .11
 Layer No: 1 2 3 4 1-(adj)
 Seed Moduli (MPa): 3634.26 325.52 70.00 219.85 N/A
 Calculated Moduli (MPa): 3822.24 384.97 92.71 216.10

 Layer No: 1 2 3
 Radial Distance (cm): .00 .00 .00
 Position: Bottom Middle Top
 Vertical Stress (kPa): -300.61 -184.44 -120.33
 Radial Stress (kPa): 1137.90 87.64 -6.27
 Bulk Stress (kPa): 1975.19 -9.15 -132.88
 Deviator Stress (kPa): -1438.50 -272.08 -114.06
 Vertical Strain (10^{-6}): -257.27 -570.17 -1250.52
 Radial Strain (10^{-6}): 231.99 277.95 410.28

**ANEXO B – MÉTODOS TRADICIONAIS DE
DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO**

Tabela B.1 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte *et al.* (1996) para os segmentos homogêneos do trecho 01 da BR-101/SC

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	65,7	1,10E+08	39,3	9,0	43,27	I	26,0	6,6	8,5
2	38,9	1,10E+08	39,3	0,0	43,27	I	25,0	15,0	0,0
3	48,2	1,10E+08	39,3	4,0	43,27	I	23,0	11,0	2,5
4	36,0	1,10E+08	39,3	0,0	43,27	I	23,0	16,7	0,0
5	35,1	1,10E+08	39,3	0,0	43,27	I	21,0	17,3	0,0
6	36,3	1,10E+08	39,3	0,0	43,27	I	23,0	16,5	0,0
7	49,7	1,10E+08	39,3	4,5	43,27	I	20,0	10,5	3,0
8	45,3	1,10E+08	39,3	2,5	43,27	I	20,5	12,1	1,0
9	47,3	1,10E+08	39,3	3,5	43,27	I	21,0	11,3	2,0
10	30,3	1,10E+08	39,3	0,0	43,27	I	26,0	20,9	0,0
11	47,4	1,10E+08	39,3	3,5	43,27	I	26,0	11,3	2,0
12	40,9	1,10E+08	39,3	1,0	43,27	I	27,0	14,0	0,0
13	27,4	1,10E+08	39,3	0,0	43,27	I	27,0	23,7	0,0
14	37,4	1,10E+08	39,3	0,0	43,27	I	27,0	15,9	0,0
15	35,9	1,10E+08	39,3	0,0	43,27	I	27,0	16,7	0,0
16	30,5	1,10E+08	39,3	0,0	43,27	I	28,0	20,8	0,0
17	46,6	1,10E+08	39,3	3,0	43,27	I	26,0	11,6	1,5
18	44,9	1,10E+08	39,3	2,5	43,27	I	11,0	11,0	2,5
19	37,2	1,10E+08	39,3	0,0	43,27	I	11,0	11,0	0,0
20	46,1	1,10E+08	39,3	3,00	43,27	I	10,0	10,0	4,0
21	32,4	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	11,0	11,0	0,0
22	51,3	1,10E+08	39,3	5,00	43,27	I	11,0	10,0	4,0
23	19,9	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	12,0	12,0	0,0
24	44,3	1,10E+08	39,3	2,50	43,27	I	13,0	12,5	0,5
25	38,3	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	11,0	11,0	0,0
26	34,0	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	11,0	11,0	0,0
27	59,6	1,10E+08	39,3	7,50	43,27	I	10,0	7,8	7,0
28	44,0	1,10E+08	39,3	2,00	43,27	I	11,0	11,0	2,5
29	47,9	1,10E+08	39,3	3,50	43,27	I	13,0	11,1	2,5
30	45,2	1,10E+08	39,3	2,50	43,27	I	13,0	12,1	1,0
31	46,2	1,10E+08	39,3	3,00	43,27	I	13,0	11,8	1,5
32	43,0	1,10E+08	39,3	2,00	43,27	I	13,0	13,0	0,0
33	37,6	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	13,0	13,0	0,0
34	56,3	1,10E+08	39,3	6,50	43,27	I	13,0	8,6	5,5

Tabela B.2 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho 01 da BR-101/SC

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	132,3	1,10E+08	39,3	21,5	43,27	I	26,0	0,4	17,0
2	68,9	1,10E+08	39,3	10,0	43,27	I	25,0	6,0	9,5
3	75,8	1,10E+08	39,3	11,5	43,27	I	23,0	4,9	11,0
4	59,9	1,10E+08	39,3	7,5	43,27	I	23,0	7,8	7,0
5	53,8	1,10E+08	39,3	5,5	43,27	I	21,0	9,3	5,0
6	60,2	1,10E+08	39,3	7,5	43,27	I	23,0	7,7	7,0
7	68,1	1,10E+08	39,3	10,0	43,27	I	20,0	6,1	9,0
8	63,4	1,10E+08	39,3	8,5	43,27	I	20,5	7,0	8,0
9	67,8	1,10E+08	39,3	9,5	43,27	I	21,0	6,2	9,0
10	63,2	1,10E+08	39,3	8,5	43,27	I	26,0	7,1	8,0
11	85,2	1,10E+08	39,3	13,5	43,27	I	26,0	3,7	12,5
12	78,0	1,10E+08	39,3	12,0	43,27	I	27,0	4,6	11,0
13	63,8	1,10E+08	39,3	8,5	43,27	I	27,0	6,9	8,0
14	73,3	1,10E+08	39,3	11,0	43,27	I	27,0	5,3	10,5
15	71,6	1,10E+08	39,3	10,5	43,27	I	27,0	5,5	10,0
16	69,0	1,10E+08	39,3	10,0	43,27	I	28,0	6,0	9,5
17	83,7	1,10E+08	39,3	13,5	43,27	I	26,0	3,9	12,0
18	39,8	1,10E+08	39,3	0,5	43,27	I	11,0	11,0	0,0
19	34,4	1,10E+08	39,3	0,0	43,27	I	11,0	11,0	0,0
20	39,0	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	10,0	10,0	0,0
21	32,0	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	11,0	11,0	0,0
22	45,8	1,10E+08	39,3	3,00	43,27	I	11,0	11,0	2,5
23	29,5	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	12,0	12,0	0,0
24	43,2	1,10E+08	39,3	2,00	43,27	I	13,0	13,0	0,0
25	35,1	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	11,0	11,0	0,0
26	32,7	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	11,0	11,0	0,0
27	53,3	1,10E+08	39,3	5,50	43,27	I	10,0	9,4	4,5
28	39,1	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	11,0	11,0	0,0
29	46,7	1,10E+08	39,3	3,00	43,27	I	13,0	11,6	1,5
30	44,0	1,10E+08	39,3	2,00	43,27	I	13,0	12,6	0,5
31	44,9	1,10E+08	39,3	2,50	43,27	I	13,0	12,2	1,0
32	42,1	1,10E+08	39,3	1,50	43,27	I	13,0	13,0	0,0
33	38,1	1,10E+08	39,3	0,00	43,27	I	13,0	13,0	0,0
34	56,6	1,10E+08	39,3	6,50	43,27	I	13,0	8,5	6,0

Tabela B.3 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte *et al.* (1996) para os segmentos homogêneos do trecho 02 da BR-101/SC

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	78,2	1,14E+08	39,1	12,5	42,98	I	7,0	4,6	11,5
2	58,6	1,14E+08	39,1	7,5	42,98	I	7,0	7,0	8,0
3	74,3	1,14E+08	39,1	11,5	42,98	I	7,0	5,1	10,5
4	54,7	1,14E+08	39,1	6,0	42,98	I	6,0	6,0	9,5
5	64,2	1,14E+08	39,1	9,0	42,98	I	7,0	6,8	8,5
6	76,7	1,14E+08	39,1	12,0	42,98	I	8,0	4,8	11,0
7	61,9	1,14E+08	39,1	8,0	42,98	I	7,5	7,3	7,5
8	69,8	1,14E+08	39,1	10,5	42,98	I	7,0	5,8	9,5
9	74,7	1,14E+08	39,1	11,5	42,98	I	7,0	5,1	10,5
10	61,8	1,14E+08	39,1	8,0	42,98	I	7,0	7,0	8,0
11	79,8	1,14E+08	39,1	12,5	42,98	I	7,0	4,4	11,5
12	71,2	1,14E+08	39,1	10,5	42,98	I	7,0	5,6	10,0
13	55,8	1,14E+08	39,1	6,5	42,98	I	7,0	7,0	8,0
14	83,7	1,14E+08	39,1	13,5	42,98	I	7,0	3,9	12,0
15	79,4	1,14E+08	39,1	12,5	42,98	I	8,0	4,4	11,5
16	66,6	1,14E+08	39,1	9,5	42,98	I	8,0	6,4	9,0
17	55,6	1,14E+08	39,1	6,5	42,98	I	7,0	7,0	8,0
18	69,0	1,14E+08	39,1	10,0	42,98	I	8,0	6,0	9,5
19	48,5	1,14E+08	39,1	4,0	42,98	I	7,5	7,5	7,5
20	70,5	1,14E+08	39,1	10,50	42,98	I	7,0	5,7	10,0
21	58,6	1,14E+08	39,1	7,50	42,98	I	7,0	7,0	8,0
22	69,2	1,14E+08	39,1	10,00	42,98	I	7,0	5,9	9,5
23	65,4	1,14E+08	39,1	9,00	42,98	I	7,5	6,6	8,5
24	71,4	1,14E+08	39,1	10,50	42,98	I	8,0	5,6	10,0
25	51,8	1,14E+08	39,1	5,00	42,98	I	7,0	7,0	8,0
26	54,8	1,14E+08	39,1	6,00	42,98	I	7,0	7,0	8,0
27	74,0	1,14E+08	39,1	11,50	42,98	I	7,5	5,2	10,5
28	49,5	1,14E+08	39,1	4,50	42,98	I	7,5	7,5	7,5
29	54,4	1,14E+08	39,1	6,00	42,98	I	7,0	7,0	8,0
30	48,3	1,14E+08	39,1	4,00	42,98	I	7,5	7,5	7,5

Tabela B.4 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho 02 da BR-101/SC

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	75,3	1,14E+08	39,1	11,5	42,98	I	7,0	5,0	11,0
2	45,7	1,14E+08	39,1	3,0	42,98	I	7,0	7,0	8,0
3	68,1	1,14E+08	39,1	10,0	42,98	I	7,0	6,1	9,5
4	40,0	1,14E+08	39,1	0,5	42,98	I	6,0	6,0	0,0
5	52,6	1,14E+08	39,1	5,5	42,98	I	7,0	7,0	8,0
6	75,6	1,14E+08	39,1	11,5	42,98	I	8,0	5,0	11,0
7	50,7	1,14E+08	39,1	5,0	42,98	I	7,5	7,5	7,5
8	60,7	1,14E+08	39,1	8,0	42,98	I	7,0	7,0	8,0
9	68,9	1,14E+08	39,1	10,0	42,98	I	7,0	6,0	9,5
10	49,5	1,14E+08	39,1	4,5	42,98	I	7,0	7,0	8,0
11	78,5	1,14E+08	39,1	12,5	42,98	I	7,0	4,6	11,5
12	62,9	1,14E+08	39,1	8,5	42,98	I	7,0	7,0	8,0
13	42,7	1,14E+08	39,1	2,0	42,98	I	7,0	7,0	0,0
14	86,5	1,14E+08	39,1	14,0	42,98	I	7,0	3,6	12,5
15	80,9	1,14E+08	39,1	13,0	42,98	I	8,0	4,3	12,0
16	58,3	1,14E+08	39,1	7,0	42,98	I	8,0	8,0	6,5
17	42,5	1,14E+08	39,1	1,5	42,98	I	7,0	7,0	0,0
18	62,0	1,14E+08	39,1	8,5	42,98	I	8,0	7,3	7,5
19	36,8	1,14E+08	39,1	0,0	42,98	I	7,5	7,5	0,0
20	61,8	1,14E+08	39,1	8,00	42,98	I	7,0	7,0	8,0
21	45,7	1,14E+08	39,1	3,00	42,98	I	7,0	7,0	8,0
22	59,8	1,14E+08	39,1	7,50	42,98	I	7,0	7,0	8,0
23	55,3	1,14E+08	39,1	6,50	42,98	I	7,5	7,5	7,5
24	66,0	1,14E+08	39,1	9,50	42,98	I	8,0	6,5	8,5
25	38,8	1,14E+08	39,1	0,00	42,98	I	7,0	7,0	0,0
26	41,8	1,14E+08	39,1	1,50	42,98	I	7,0	7,0	0,0
27	69,0	1,14E+08	39,1	10,00	42,98	I	7,5	6,0	9,5
28	37,6	1,14E+08	39,1	0,00	42,98	I	7,5	7,5	0,0
29	41,3	1,14E+08	39,1	1,00	42,98	I	7,0	7,0	0,0
30	36,6	1,14E+08	39,1	0,00	42,98	I	7,5	7,5	0,0

Tabela B.5 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte *et al.* (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da PR-218

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	66,9	3,77E+07	23,7	18,5	52,92	I	14,5	6,3	5,5
2	54,3	3,77E+07	23,7	14,5	52,92	I	10,0	9,1	1,5
3	69,9	3,77E+07	23,7	19,0	52,92	I	10,0	5,8	6,0
4	54,1	3,77E+07	23,7	14,5	52,92	I	7,5	7,5	4,0
5	53,4	3,77E+07	23,7	14,5	52,92	I	9,5	9,4	1,0
6	54,7	3,77E+07	23,7	15,0	52,92	I	9,5	9,0	1,5
7	73,2	3,77E+07	23,7	20,0	52,92	I	14,0	5,3	7,0
8	53,0	3,77E+07	23,7	14,0	52,92	I	14,0	9,5	1,0
9	63,1	3,77E+07	23,7	17,0	52,92	I	10,0	7,1	4,5
10	22,1	3,77E+07	23,7	0,0	52,92	II	10,0	10,0	0,0
11	60,8	3,77E+07	23,7	16,5	52,92	II	9,5	8,5	3,5
12	27,5	3,48E+07	24,1	2,5	53,73	II	11,0	11,0	0,0
13	59,8	3,48E+07	24,1	16,0	53,73	I	6,5	6,5	5,0
14	36,5	3,48E+07	24,1	7,5	53,73	I	6,5	6,5	0,0
15	54,5	3,10E+07	24,6	14,0	54,91	II	9,0	9,0	0,0
16	43,0	3,10E+07	24,6	10,0	54,91	II	13,5	13,5	0,0
17	68,4	3,10E+07	24,6	18,0	54,91	II	13,5	7,0	5,0
18	54,3	3,10E+07	24,6	14,0	54,91	I	13,0	9,2	0,0
19	69,2	3,10E+07	24,6	18,0	54,91	I	13,0	5,9	5,5
20	52,4	3,10E+07	24,6	13,50	54,91	I	13,0	9,7	0,0
21	77,1	3,10E+07	24,6	20,00	54,91	I	5,0	4,7	7,0

Tabela B.6 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho da PR-218

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{eb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	79,5	3,77E+07	23,7	21,0	52,92	I	14,5	4,4	8,0
2	46,9	3,77E+07	23,7	12,0	52,92	I	10,0	10,0	0,0
3	69,3	3,77E+07	23,7	19,0	52,92	I	10,0	5,9	6,0
4	41,8	3,77E+07	23,7	10,0	52,92	I	7,5	7,5	0,0
5	44,9	3,77E+07	23,7	11,5	52,92	I	9,5	9,5	0,0
6	46,3	3,77E+07	23,7	12,0	52,92	I	9,5	9,5	0,0
7	91,2	3,77E+07	23,7	23,5	52,92	I	14,0	3,1	9,5
8	55,0	3,77E+07	23,7	15,0	52,92	I	14,0	9,0	2,0
9	58,3	3,77E+07	23,7	16,0	52,92	I	10,0	8,1	3,0
10	27,3	3,77E+07	23,7	2,5	52,92	II	10,0	10,0	0,0
11	53,7	3,77E+07	23,7	14,5	52,92	II	9,5	9,5	2,0
12	30,1	3,48E+07	24,1	4,0	53,73	II	11,0	11,0	0,0
13	46,2	3,48E+07	24,1	11,5	53,73	I	6,5	6,5	0,0
14	28,0	3,48E+07	24,1	3,0	53,73	I	6,5	6,5	0,0
15	45,1	3,10E+07	24,6	11,0	54,91	II	9,0	9,0	0,0
16	43,1	3,10E+07	24,6	10,0	54,91	II	13,5	13,5	0,0
17	78,7	3,10E+07	24,6	20,5	54,91	II	13,5	5,5	7,0
18	53,9	3,10E+07	24,6	14,0	54,91	I	13,0	9,2	0,0
19	78,4	3,10E+07	24,6	20,5	54,91	I	13,0	4,6	7,0
20	51,6	3,10E+07	24,6	13,00	54,91	I	13,0	9,9	0,0
21	68,0	3,10E+07	24,6	18,00	54,91	I	5,0	5,0	6,5

Tabela B.7 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte *et al.* (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da PR-280

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	62,7	7,17E+07	42,4	7,0	46,90	I	10,0	7,1	6,5
2	73,1	7,17E+07	42,4	9,5	46,90	I	10,0	5,3	9,0
3	63,4	7,17E+07	42,4	7,0	46,90	I	10,0	7,0	6,5
4	73,6	7,17E+07	42,4	10,0	46,90	I	10,0	5,2	9,0
5	63,0	7,17E+07	42,4	7,0	46,90	I	10,0	7,1	6,5
6	75,4	7,17E+07	42,4	10,0	46,90	I	10,0	5,0	9,0
7	61,7	7,17E+07	42,4	7,0	46,90	I	10,0	7,4	6,0
8	82,2	7,17E+07	42,4	12,0	46,90	I	10,0	4,1	10,5
9	81,9	7,17E+07	42,4	11,5	46,90	I	15,0	4,1	10,5
10	65,0	7,17E+07	42,4	7,5	46,90	I	15,0	6,7	7,0
11	77,0	7,17E+07	42,4	10,5	46,90	I	15,0	4,8	9,5
12	70,6	7,17E+07	42,4	9,0	46,90	I	10,0	5,7	8,5
13	78,5	7,17E+07	42,4	11,0	46,90	I	10,0	4,6	10,0
14	71,5	7,17E+07	42,4	9,5	46,90	I	10,0	5,6	8,5
15	76,1	7,17E+07	42,4	10,5	46,90	I	18,0	4,9	9,5
16	81,6	7,17E+07	42,4	11,5	46,90	I	10,0	4,2	10,5
17	72,6	7,17E+07	42,4	9,5	46,90	I	10,0	5,4	8,5
18	81,4	7,17E+07	42,4	11,5	46,90	I	10,0	4,2	10,5
19	76,3	7,17E+07	42,4	10,5	46,90	I	10,0	4,9	9,5
20	80,4	7,17E+07	42,4	11,50	46,90	I	10,0	4,3	10,0
21	67,7	7,17E+07	42,4	8,50	46,90	I	15,0	6,2	7,5
22	62,6	7,17E+07	42,4	7,00	46,90	I	14,0	7,2	6,5
23	78,9	7,17E+07	42,4	11,00	46,90	I	16,0	4,5	10,0
24	60,9	7,17E+07	42,4	6,50	46,90	I	15,0	7,5	6,0
25	69,1	7,17E+07	42,4	8,50	46,90	I	15,0	6,0	8,0
26	58,0	7,17E+07	42,4	5,50	46,90	I	15,0	8,2	5,0
27	68,3	7,17E+07	42,4	8,50	46,90	I	15,0	6,1	7,5
28	71,8	7,17E+07	42,4	9,50	46,90	I	13,0	5,5	8,5
29	68,8	7,17E+07	42,4	8,50	46,90	I	10,0	6,0	8,0

Tabela B.8 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho da PR-280

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	h _{ef} (cm)	HR (cm)
1	57,7	7,17E+07	42,4	5,5	46,90	I	10,0	8,3	5,0
2	75,2	7,17E+07	42,4	10,0	46,90	I	10,0	5,0	9,0
3	58,7	7,17E+07	42,4	6,0	46,90	I	10,0	8,0	5,0
4	76,1	7,17E+07	42,4	10,5	46,90	I	10,0	4,9	9,5
5	58,1	7,17E+07	42,4	5,5	46,90	I	10,0	8,2	5,0
6	79,7	7,17E+07	42,4	11,0	46,90	I	10,0	4,4	10,0
7	56,1	7,17E+07	42,4	5,0	46,90	I	10,0	8,7	4,5
8	94,9	7,17E+07	42,4	14,0	46,90	I	10,0	2,8	12,0
9	119,4	7,17E+07	42,4	18,0	46,90	I	15,0	1,0	14,5
10	77,5	7,17E+07	42,4	10,5	46,90	I	15,0	4,7	9,5
11	105,4	7,17E+07	42,4	16,0	46,90	I	15,0	1,9	13,5
12	70,4	7,17E+07	42,4	9,0	46,90	I	10,0	5,7	8,0
13	86,2	7,17E+07	42,4	12,5	46,90	I	10,0	3,6	11,0
14	72,0	7,17E+07	42,4	9,5	46,90	I	10,0	5,5	8,5
15	119,0	7,17E+07	42,4	18,0	46,90	I	18,0	1,1	14,5
16	93,5	7,17E+07	42,4	14,0	46,90	I	10,0	2,9	12,0
17	74,1	7,17E+07	42,4	10,0	46,90	I	10,0	5,2	9,0
18	92,9	7,17E+07	42,4	14,0	46,90	I	10,0	3,0	12,0
19	81,6	7,17E+07	42,4	11,5	46,90	I	10,0	4,2	10,5
20	90,5	7,17E+07	42,4	13,50	46,90	I	10,0	3,2	11,5
21	83,1	7,17E+07	42,4	12,00	46,90	I	15,0	4,0	10,5
22	69,4	7,17E+07	42,4	9,00	46,90	I	14,0	5,9	8,0
23	116,2	7,17E+07	42,4	18,00	46,90	I	16,0	1,2	14,5
24	69,8	7,17E+07	42,4	9,00	46,90	I	15,0	5,8	8,0
25	86,0	7,17E+07	42,4	12,50	46,90	I	15,0	3,7	11,0
26	65,1	7,17E+07	42,4	7,50	46,90	I	15,0	6,7	7,0
27	84,3	7,17E+07	42,4	12,00	46,90	I	15,0	3,8	11,0
28	83,8	7,17E+07	42,4	12,00	46,90	I	13,0	3,9	10,5
29	67,3	7,17E+07	42,4	8,50	46,90	I	10,0	6,3	7,5

Tabela B.9 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte *et al.* (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-294

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	120,7	5,08E+06	67,6	10,5	77,14	II	6,0	1,9	6,5
2	168,2	5,08E+06	67,6	16,0	77,14	II	5,0	0,0	9,5
3	66,5	5,08E+06	67,6	0,0	77,14	II	5,0	5,0	0,0
4	77,6	5,08E+06	67,6	2,5	77,14	II	5,0	5,0	2,5
5	74,1	5,08E+06	33,8	14,0	77,14	II	6,0	6,0	0,0
6	81,7	5,08E+06	33,8	15,5	77,14	II	6,0	5,1	2,5
7	85,0	5,08E+06	33,8	16,5	77,14	II	6,0	4,7	3,0
8	86,9	5,08E+06	33,8	16,5	77,14	II	6,0	4,5	3,0
9	78,0	5,08E+06	33,8	15,0	77,14	II	6,0	5,6	2,0
10	76,0	5,08E+06	33,8	14,5	77,14	II	6,0	5,9	0,0
11	67,2	5,08E+06	33,8	12,0	77,14	II	6,0	6,0	0,0
12	71,5	5,08E+06	67,6	1,0	77,14	II	6,0	6,0	0,0
13	75,9	5,08E+06	67,6	2,5	77,14	II	6,0	5,9	0,0
14	142,2	5,08E+06	67,6	13,0	77,14	II	6,0	0,9	8,0
15	88,0	5,08E+06	67,6	5,0	77,14	II	6,0	4,4	3,5
16	74,6	5,08E+06	67,6	2,0	77,14	II	6,0	6,0	0,0
17	83,3	5,08E+06	67,6	4,0	77,14	II	7,0	4,9	2,5
18	72,4	5,08E+06	67,6	1,5	77,14	II	7,0	6,4	0,0
19	126,0	5,08E+06	67,6	11,0	77,14	II	7,0	1,6	7,0
20	89,0	5,08E+06	67,6	5,00	77,14	II	7,0	4,3	3,5
21	79,3	5,08E+06	67,6	3,00	77,14	II	7,0	5,4	2,0
22	68,8	5,08E+06	67,6	0,50	77,14	II	5,0	5,0	0,0
23	110,9	5,08E+06	67,6	9,00	77,14	II	5,0	2,5	6,0
24	70,2	5,08E+06	67,6	1,00	77,14	II	5,0	5,0	0,0
25	87,7	5,08E+06	67,6	5,00	77,14	II	5,0	4,4	3,5
26	92,7	5,08E+06	67,6	6,00	77,14	II	5,0	3,9	4,0
27	76,7	5,08E+06	67,6	2,50	77,14	II	5,0	5,0	0,0
28	124,0	5,08E+06	67,6	11,00	77,14	II	5,0	1,8	7,0
29	107,8	5,08E+06	67,6	8,50	77,14	II	5,0	2,7	5,5
30	76,9	5,08E+06	67,6	2,50	77,14	II	5,0	5,0	0,0
31	86,0	5,08E+06	33,8	16,50	77,14	II	7,0	4,6	3,0
32	107,5	5,08E+06	33,8	20,50	77,14	II	7,0	2,7	5,5
33	104,3	5,08E+06	33,8	20,00	77,14	II	7,0	3,0	5,5
34	157,1	5,08E+06	33,8	27,00	77,14	II	7,0	0,4	9,0

Tabela B.10 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-294

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	111,9	5,08E+06	67,6	9,0	77,14	II	6,0	2,5	6,0
2	132,9	5,08E+06	67,6	12,0	77,14	II	5,0	1,3	7,5
3	51,8	5,08E+06	67,6	0,0	77,14	II	5,0	5,0	0,0
4	68,9	5,08E+06	67,6	0,5	77,14	II	5,0	5,0	0,0
5	65,3	5,08E+06	33,8	11,5	77,14	II	6,0	6,0	0,0
6	79,3	5,08E+06	33,8	15,0	77,14	II	6,0	5,4	2,0
7	86,0	5,08E+06	33,8	16,5	77,14	II	6,0	4,6	3,0
8	90,3	5,08E+06	33,8	17,5	77,14	II	6,0	4,2	3,5
9	72,1	5,08E+06	33,8	13,5	77,14	II	6,0	6,0	0,0
10	68,5	5,08E+06	33,8	12,5	77,14	II	6,0	6,0	0,0
11	54,7	5,08E+06	33,8	8,5	77,14	II	6,0	6,0	0,0
12	61,1	5,08E+06	67,6	0,0	77,14	II	6,0	6,0	0,0
13	68,3	5,08E+06	67,6	0,5	77,14	II	6,0	6,0	0,0
14	123,1	5,08E+06	67,6	10,5	77,14	II	6,0	1,8	7,0
15	92,9	5,08E+06	67,6	6,0	77,14	II	6,0	3,9	4,0
16	66,2	5,08E+06	67,6	0,0	77,14	II	6,0	6,0	0,0
17	85,8	5,08E+06	67,6	4,5	77,14	II	7,0	4,7	3,0
18	64,8	5,08E+06	67,6	0,0	77,14	II	7,0	7,0	0,0
19	119,1	5,08E+06	67,6	10,0	77,14	II	7,0	2,0	6,5
20	98,8	5,08E+06	67,6	7,00	77,14	II	7,0	3,4	4,5
21	77,5	5,08E+06	67,6	2,50	77,14	II	7,0	5,7	1,5
22	55,0	5,08E+06	67,6	0,00	77,14	II	5,0	5,0	0,0
23	103,4	5,08E+06	67,6	7,50	77,14	II	5,0	3,0	5,0
24	57,1	5,08E+06	67,6	0,00	77,14	II	5,0	5,0	0,0
25	89,0	5,08E+06	67,6	5,00	77,14	II	5,0	4,3	3,5
26	95,2	5,08E+06	67,6	6,00	77,14	II	5,0	3,7	4,5
27	67,5	5,08E+06	67,6	0,00	77,14	II	5,0	5,0	0,0
28	109,7	5,08E+06	67,6	8,50	77,14	II	5,0	2,6	6,0
29	102,0	5,08E+06	67,6	7,50	77,14	II	5,0	3,2	5,0
30	67,7	5,08E+06	67,6	0,50	77,14	II	5,0	5,0	0,0
31	91,7	5,08E+06	33,8	17,50	77,14	II	7,0	4,0	4,0
32	109,5	5,08E+06	33,8	20,50	77,14	II	7,0	2,6	6,0
33	108,0	5,08E+06	33,8	20,50	77,14	II	7,0	2,7	5,5
34	136,4	5,08E+06	33,8	24,50	77,14	II	7,0	1,2	8,0

Tabela B.11 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte *et al.* (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-421

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	70,1	3,80E+06	35,6	12,0	81,47	1	4,5	4,5	0,0
2	67,9	3,80E+06	35,6	11,5	81,47	1	4,5	4,5	0,0
3	64,1	3,80E+06	35,6	10,5	81,47	1	4,5	4,5	0,0
4	76,1	3,80E+06	35,6	13,5	81,47	1	5,5	4,9	0,0
5	73,5	3,80E+06	35,6	13,0	81,47	1	5,5	5,3	0,0
6	74,8	3,80E+06	35,6	13,0	81,47	1	5,5	5,1	0,0
7	73,2	3,80E+06	35,6	13,0	81,47	1	5,5	5,3	0,0
8	76,0	3,80E+06	35,6	13,5	81,47	1	5,5	4,9	0,0
9	69,9	3,80E+06	35,6	12,0	81,47	1	5,5	5,5	0,0
10	60,0	3,80E+06	35,6	9,5	81,47	1	5,5	5,5	0,0
11	62,7	3,80E+06	35,6	10,0	81,47	1	5,0	5,0	0,0
12	74,8	3,80E+06	35,6	13,0	81,47	1	5,0	5,0	0,0
13	66,1	3,80E+06	35,6	11,0	81,47	1	5,0	5,0	0,0
14	54,8	3,80E+06	35,6	7,5	81,47	1	5,0	5,0	0,0
15	60,7	3,80E+06	35,6	9,5	81,47	1	5,0	5,0	0,0
16	60,3	3,80E+06	35,6	9,5	81,47	1	5,0	5,0	0,0
17	62,8	3,80E+06	35,6	10,0	81,47	1	5,0	5,0	0,0
18	59,1	3,80E+06	35,6	9,0	81,47	1	5,0	5,0	0,0
19	75,7	3,80E+06	35,6	13,5	81,47	1	3,5	3,5	0,0
20	56,7	3,80E+06	35,6	8,5	81,47	1	3,5	3,5	0,0
21	66,3	3,80E+06	35,6	11,0	81,47	1	3,5	3,5	0,0
22	64,5	3,80E+06	35,6	10,5	81,47	1	3,5	3,5	0,0
23	79,9	3,80E+06	35,6	14,5	81,47	1	3,5	3,5	0,0
24	63,4	3,80E+06	35,6	10,5	81,47	1	3,5	3,5	0,0
25	66,3	3,80E+06	35,6	11,0	81,47	1	3,5	3,5	0,0
26	78,0	3,80E+06	35,6	14,0	81,47	1	3,5	3,5	0,0
27	62,2	3,80E+06	35,6	10,0	81,47	1	6,5	6,5	0,0
28	82,7	3,80E+06	35,6	15,0	81,47	1	6,5	4,0	2,0
29	60,4	3,80E+06	35,6	9,5	81,47	1	6,5	6,5	0,0
30	67,6	3,80E+06	35,6	11,5	81,47	1	6,5	6,2	0,0
31	64,2	3,80E+06	35,6	10,5	81,47	1	6,5	6,5	0,0
32	62,8	3,80E+06	35,6	10,0	81,47	1	6,5	6,5	0,0
33	71,8	3,80E+06	35,6	12,5	81,47	1	6,5	5,5	0,0
34	62,6	3,80E+06	35,6	10,0	81,47	1	7,0	7,0	0,0
35	61,7	3,80E+06	35,6	10,0	81,47	1	7,0	7,0	0,0
36	67,2	3,80E+06	35,6	11,5	81,47	1	7,0	6,3	0,0
37	57,7	3,80E+06	35,6	8,5	81,47	1	7,0	7,0	0,0
38	76,0	3,80E+06	35,6	13,5	81,47	1	7,0	4,9	0,0

Tabela B.12 – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-421

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	h _{ef} (cm)	HR (cm)
1	56,0	3,80E+06	35,6	8,0	81,47	I	4,5	4,5	0,0
2	52,9	3,80E+06	35,6	7,0	81,47	I	4,5	4,5	0,0
3	48,0	3,80E+06	35,6	5,5	81,47	I	4,5	4,5	0,0
4	67,6	3,80E+06	35,6	11,5	81,47	I	5,5	5,5	0,0
5	63,2	3,80E+06	35,6	10,0	81,47	I	5,5	5,5	0,0
6	65,2	3,80E+06	35,6	11,0	81,47	I	5,5	5,5	0,0
7	62,6	3,80E+06	35,6	10,0	81,47	I	5,5	5,5	0,0
8	67,2	3,80E+06	35,6	11,5	81,47	I	5,5	5,5	0,0
9	57,6	3,80E+06	35,6	8,5	81,47	I	5,5	5,5	0,0
10	44,8	3,80E+06	35,6	4,5	81,47	I	5,5	5,5	0,0
11	47,1	3,80E+06	35,6	5,0	81,47	I	5,0	5,0	0,0
12	64,1	3,80E+06	35,6	10,5	81,47	I	5,0	5,0	0,0
13	51,3	3,80E+06	35,6	6,5	81,47	I	5,0	5,0	0,0
14	38,7	3,80E+06	35,6	1,5	81,47	I	5,0	5,0	0,0
15	44,8	3,80E+06	35,6	4,5	81,47	I	5,0	5,0	0,0
16	44,4	3,80E+06	35,6	4,0	81,47	I	5,0	5,0	0,0
17	47,2	3,80E+06	35,6	5,0	81,47	I	5,0	5,0	0,0
18	43,0	3,80E+06	35,6	3,5	81,47	I	5,0	5,0	0,0
19	62,8	3,80E+06	35,6	10,0	81,47	I	3,5	3,5	0,0
20	38,8	3,80E+06	35,6	2,0	81,47	I	3,5	3,5	0,0
21	49,4	3,80E+06	35,6	6,0	81,47	I	3,5	3,5	0,0
22	47,2	3,80E+06	35,6	5,0	81,47	I	3,5	3,5	0,0
23	70,0	3,80E+06	35,6	12,0	81,47	I	3,5	3,5	0,0
24	45,8	3,80E+06	35,6	4,5	81,47	I	3,5	3,5	0,0
25	49,4	3,80E+06	35,6	6,0	81,47	I	3,5	3,5	0,0
26	66,6	3,80E+06	35,6	11,0	81,47	I	3,5	3,5	0,0
27	49,1	3,80E+06	35,6	6,0	81,47	I	6,5	6,5	0,0
28	82,9	3,80E+06	35,6	15,0	81,47	I	6,5	4,0	2,0
29	46,9	3,80E+06	35,6	5,0	81,47	I	6,5	6,5	0,0
30	56,3	3,80E+06	35,6	8,0	81,47	I	6,5	6,5	0,0
31	51,6	3,80E+06	35,6	6,5	81,47	I	6,5	6,5	0,0
32	49,8	3,80E+06	35,6	6,0	81,47	I	6,5	6,5	0,0
33	62,6	3,80E+06	35,6	10,0	81,47	I	6,5	6,5	0,0
34	50,6	3,80E+06	35,6	6,5	81,47	I	7,0	7,0	0,0
35	49,4	3,80E+06	35,6	6,0	81,47	I	7,0	7,0	0,0
36	56,7	3,80E+06	35,6	8,5	81,47	I	7,0	7,0	0,0
37	44,8	3,80E+06	35,6	4,0	81,47	I	7,0	7,0	0,0
38	71,1	3,80E+06	35,6	12,5	81,47	I	7,0	5,6	0,0

Tabela B.13.A – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte *et al.* (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-425

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	79,8	3,00E+06	37,1	13,5	85,17	I	4,5	4,4	0,0
2	73,6	3,00E+06	37,1	12,0	85,17	I	4,5	4,5	0,0
3	57,4	3,00E+06	37,1	8,0	85,17	I	4,5	4,5	0,0
4	78,1	3,00E+06	37,1	13,0	85,17	I	5,5	4,6	0,0
5	64,4	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	5,5	5,5	0,0
6	72,7	3,00E+06	37,1	12,0	85,17	I	5,5	5,4	0,0
7	59,4	3,00E+06	37,1	8,5	85,17	I	5,5	5,5	0,0
8	71,6	3,00E+06	37,1	11,5	85,17	I	5,5	5,5	0,0
9	58,0	3,00E+06	37,1	8,0	85,17	I	5,5	5,5	0,0
10	75,8	3,00E+06	37,1	12,5	85,17	I	5,5	4,9	0,0
11	65,9	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	5,0	5,0	0,0
12	77,5	3,00E+06	37,1	13,0	85,17	I	5,0	4,7	0,0
13	67,6	3,00E+06	37,1	10,5	85,17	I	5,0	5,0	0,0
14	79,2	3,00E+06	37,1	13,5	85,17	I	5,0	4,5	0,0
15	68,8	3,00E+06	37,1	11,0	85,17	I	5,0	5,0	0,0
16	63,3	3,00E+06	37,1	9,5	85,17	I	5,0	5,0	0,0
17	74,0	3,00E+06	37,1	12,5	85,17	I	5,0	5,0	0,0
18	62,7	3,00E+06	37,1	9,5	85,17	I	5,0	5,0	0,0
19	66,6	3,00E+06	37,1	10,5	85,17	I	3,5	3,5	0,0
20	76,5	3,00E+06	37,1	13,0	85,17	I	3,5	3,5	0,0
21	66,4	3,00E+06	37,1	10,5	85,17	I	3,5	3,5	0,0
22	75,8	3,00E+06	37,1	12,5	85,17	I	3,5	3,5	0,0
23	63,3	3,00E+06	37,1	9,5	85,17	I	3,5	3,5	0,0
24	67,6	3,00E+06	37,1	10,5	85,17	I	3,5	3,5	0,0
25	58,4	3,00E+06	37,1	8,0	85,17	I	3,5	3,5	0,0
26	72,8	3,00E+06	37,1	12,0	85,17	I	3,5	3,5	0,0
27	64,2	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	6,5	6,5	0,0
28	86,2	3,00E+06	37,1	15,0	85,17	I	6,5	3,6	2,0
29	68,9	3,00E+06	37,1	11,0	85,17	I	6,5	6,0	0,0
30	64,2	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	6,5	6,5	0,0
31	77,1	3,00E+06	37,1	13,0	85,17	I	6,5	4,7	0,0
32	61,6	3,00E+06	37,1	9,0	85,17	I	6,5	6,5	0,0
33	57,7	3,00E+06	37,1	8,0	85,17	I	6,5	6,5	0,0
34	84,7	3,00E+06	37,1	14,5	85,17	I	7,0	3,8	0,0

Tabela B.13.B – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Duarte *et al.* (1996) para os segmentos homogêneos do trecho da SP-425

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
35	67,4	3,00E+06	37,1	10,5	85,17	I	7,0	6,3	0,0
36	68,0	3,00E+06	37,1	11,0	85,17	I	7,0	6,1	0,0
37	65,0	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	7,0	6,7	0,0
38	65,0	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	7,0	6,7	0,0
39	69,4	3,00E+06	37,1	11,0	85,17	I	7,0	5,9	0,0
40	65,2	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	7,0	6,7	0,0
41	68,8	3,00E+06	37,1	11,0	85,17	I	7,0	6,0	0,0
42	65,5	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	7,0	6,6	0,0
43	76,9	3,00E+06	37,1	13,0	85,17	I	7,0	4,8	0,0
44	67,0	3,00E+06	37,1	10,5	85,17	I	7,0	6,3	0,0
45	83,0	3,00E+06	37,1	14,0	85,17	I	7,0	4,0	0,0
46	82,8	3,00E+06	37,1	14,0	85,17	I	7,0	4,0	0,0
47	67,3	3,00E+06	37,1	10,5	85,17	I	7,0	6,3	0,0
48	85,6	3,00E+06	37,1	15,0	85,17	I	7,0	3,7	2,0
49	76,9	3,00E+06	37,1	13,0	85,17	I	7,0	4,8	0,0
50	64,6	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	7,0	6,8	0,0
51	78,6	3,00E+06	37,1	13,5	85,17	I	7,0	4,5	0,0
52	72,1	3,00E+06	37,1	12,0	85,17	I	7,0	5,5	0,0
53	87,6	3,00E+06	37,1	15,0	85,17	I	7,0	3,5	2,5
54	71,5	3,00E+06	37,1	11,5	85,17	I	7,0	5,6	0,0
55	88,3	3,00E+06	37,1	15,5	85,17	I	7,0	3,4	2,5
56	70,7	3,00E+06	37,1	11,5	85,17	I	7,0	5,7	0,0
57	77,9	3,00E+06	37,1	13,0	85,17	I	7,0	4,6	0,0
58	70,8	3,00E+06	37,1	11,5	85,17	I	7,0	5,7	0,0
59	73,0	3,00E+06	37,1	12,0	85,17	I	7,0	5,3	0,0
60	81,0	3,00E+06	37,1	14,0	85,17	I	7,0	4,2	0,0
61	70,8	3,00E+06	37,1	11,5	85,17	I	7,0	5,7	0,0
62	77,4	3,00E+06	37,1	13,0	85,17	I	7,0	4,7	0,0
63	65,3	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	7,0	6,6	0,0
64	83,8	3,00E+06	37,1	14,5	85,17	I	7,0	3,9	0,0
65	79,1	3,00E+06	37,1	13,5	85,17	I	7,0	4,5	0,0
66	68,5	3,00E+06	37,1	11,0	85,17	I	7,0	6,1	0,0
67	85,2	3,00E+06	37,1	14,5	85,17	I	7,0	3,7	2,0

Tabela B.14.A – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho 02 da BR-101/SC

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{eb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
1	71,8	3,00E+06	37,1	11,5	85,17	I	4,5	4,5	0,0
2	61,3	3,00E+06	37,1	9,0	85,17	I	4,5	4,5	0,0
3	40,6	3,00E+06	37,1	2,0	85,17	I	4,5	4,5	0,0
4	71,1	3,00E+06	37,1	11,5	85,17	I	5,5	5,5	0,0
5	50,1	3,00E+06	37,1	5,5	85,17	I	5,5	5,5	0,0
6	61,8	3,00E+06	37,1	9,0	85,17	I	5,5	5,5	0,0
7	44,1	3,00E+06	37,1	3,5	85,17	I	5,5	5,5	0,0
8	60,2	3,00E+06	37,1	8,5	85,17	I	5,5	5,5	0,0
9	42,7	3,00E+06	37,1	2,5	85,17	I	5,5	5,5	0,0
10	66,9	3,00E+06	37,1	10,5	85,17	I	5,5	5,5	0,0
11	51,1	3,00E+06	37,1	6,0	85,17	I	5,0	5,0	0,0
12	68,8	3,00E+06	37,1	11,0	85,17	I	5,0	5,0	0,0
13	53,3	3,00E+06	37,1	6,5	85,17	I	5,0	5,0	0,0
14	71,8	3,00E+06	37,1	11,5	85,17	I	5,0	5,0	0,0
15	55,1	3,00E+06	37,1	7,0	85,17	I	5,0	5,0	0,0
16	47,8	3,00E+06	37,1	4,5	85,17	I	5,0	5,0	0,0
17	62,9	3,00E+06	37,1	9,5	85,17	I	5,0	5,0	0,0
18	47,1	3,00E+06	37,1	4,5	85,17	I	5,0	5,0	0,0
19	49,7	3,00E+06	37,1	5,5	85,17	I	3,5	3,5	0,0
20	64,2	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	3,5	3,5	0,0
21	49,5	3,00E+06	37,1	5,5	85,17	I	3,5	3,5	0,0
22	62,9	3,00E+06	37,1	9,5	85,17	I	3,5	3,5	0,0
23	45,7	3,00E+06	37,1	4,0	85,17	I	3,5	3,5	0,0
24	51,0	3,00E+06	37,1	6,0	85,17	I	3,5	3,5	0,0
25	40,4	3,00E+06	37,1	2,0	85,17	I	3,5	3,5	0,0
26	58,3	3,00E+06	37,1	8,0	85,17	I	3,5	3,5	0,0
27	51,6	3,00E+06	37,1	6,0	85,17	I	6,5	6,5	0,0
28	90,3	3,00E+06	37,1	15,5	85,17	I	6,5	3,2	2,5
29	58,2	3,00E+06	37,1	8,0	85,17	I	6,5	6,5	0,0
30	51,6	3,00E+06	37,1	6,0	85,17	I	6,5	6,5	0,0
31	71,8	3,00E+06	37,1	11,5	85,17	I	6,5	5,5	0,0
32	48,3	3,00E+06	37,1	5,0	85,17	I	6,5	6,5	0,0
33	43,9	3,00E+06	37,1	3,0	85,17	I	6,5	6,5	0,0
34	88,8	3,00E+06	37,1	15,5	85,17	I	7,0	3,4	2,5

Tabela B.14.B – Dimensionamento de reforço pelos métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 considerando a correlação entre FWD e Viga Benkelman obtida de Rocha Filho & Rodrigues (1998) para os segmentos homogêneos do trecho 02 da BR-101/SC

DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO - PRO-11/79 - PRO-269/94									
Dados do Segmento			PRO-11		PRO-269				
SH	D _{CVB} (0,01 mm)	N	D _{adm} (0,01 mm)	h _{cb} (cm)	D _{adm} (0,01 mm)	Subleito (resiliência)	h exist (cm)	hef (cm)	HR (cm)
35	57,1	3,00E+06	37,1	8,0	85,17	I	7,0	7,0	0,0
36	58,0	3,00E+06	37,1	8,0	85,17	I	7,0	7,0	0,0
37	53,8	3,00E+06	37,1	6,5	85,17	I	7,0	7,0	0,0
38	53,8	3,00E+06	37,1	6,5	85,17	I	7,0	7,0	0,0
39	60,1	3,00E+06	37,1	8,5	85,17	I	7,0	7,0	0,0
40	54,0	3,00E+06	37,1	7,0	85,17	I	7,0	7,0	0,0
41	59,2	3,00E+06	37,1	8,5	85,17	I	7,0	7,0	0,0
42	54,4	3,00E+06	37,1	7,0	85,17	I	7,0	7,0	0,0
43	72,8	3,00E+06	37,1	12,0	85,17	I	7,0	5,4	0,0
44	56,5	3,00E+06	37,1	7,5	85,17	I	7,0	7,0	0,0
45	85,0	3,00E+06	37,1	14,5	85,17	I	7,0	3,8	0,0
46	84,6	3,00E+06	37,1	14,5	85,17	I	7,0	3,8	0,0
47	57,0	3,00E+06	37,1	7,5	85,17	I	7,0	7,0	0,0
48	90,9	3,00E+06	37,1	16,0	85,17	I	7,0	3,1	3,0
49	72,9	3,00E+06	37,1	12,0	85,17	I	7,0	5,3	0,0
50	53,2	3,00E+06	37,1	6,5	85,17	I	7,0	7,0	0,0
51	76,1	3,00E+06	37,1	12,5	85,17	I	7,0	4,9	0,0
52	64,3	3,00E+06	37,1	10,0	85,17	I	7,0	6,8	0,0
53	95,6	3,00E+06	37,1	16,5	85,17	I	7,0	2,7	3,5
54	63,4	3,00E+06	37,1	9,5	85,17	I	7,0	7,0	0,0
55	97,2	3,00E+06	37,1	17,0	85,17	I	7,0	2,6	3,5
56	62,1	3,00E+06	37,1	9,0	85,17	I	7,0	7,0	0,0
57	74,8	3,00E+06	37,1	12,5	85,17	I	7,0	5,1	0,0
58	62,3	3,00E+06	37,1	9,5	85,17	I	7,0	7,0	0,0
59	66,0	3,00E+06	37,1	10,5	85,17	I	7,0	6,5	0,0
60	81,0	3,00E+06	37,1	14,0	85,17	I	7,0	4,2	0,0
61	62,3	3,00E+06	37,1	9,5	85,17	I	7,0	7,0	0,0
62	73,7	3,00E+06	37,1	12,0	85,17	I	7,0	5,2	0,0
63	54,1	3,00E+06	37,1	7,0	85,17	I	7,0	7,0	0,0
64	86,8	3,00E+06	37,1	15,0	85,17	I	7,0	3,6	2,0
65	77,2	3,00E+06	37,1	13,0	85,17	I	7,0	4,7	0,0
66	58,8	3,00E+06	37,1	8,5	85,17	I	7,0	7,0	0,0
67	89,9	3,00E+06	37,1	15,5	85,17	I	7,0	3,3	2,5

**ANEXO C – DIMENSIONAMENTO MECANÍSTICO
DE REFORÇO**

Tabela C.1.A – Dimensionamento mecânico dos segmentos seccionados entre todos os trechos (em ordem para os trechos 01 da BR-101/SC, 02 da BR-101/SC, PR-218, PR-280, SP-294, SP-421 e SP-425).

Dimensionamento pelas curvas de previsão de fadiga no revestimento.

SH	Pinto - Fadiga no revestimento			Instituto do Asfalto - Fadiga no revestimento					Shell Oil - Fadiga no revestimento						
	Capa	Ref	hR (cm)	Capa	Ref	Capa	Ref	hR (cm)	Capa	Ref	Capa	Ref	hR (cm)	Capa	Ref
	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)		ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)		ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)		ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)
1	0,31	0,31	32,0	0,31	0,17	0,69	0,64	12,0	0,68	0,25	1,13	1,01	2,5	1,10	-
2	0,31	0,31	28,0	0,31	0,13	0,63	0,64	10,0	0,63	0,08	0,97	1,01	2,0	0,94	-
3	0,31	0,31	30,0	0,31	0,15	0,66	0,64	12,0	0,65	0,19	1,04	1,01	3,0	1,02	-
4	0,31	0,31	24,0	0,31	0,14	0,64	0,64	6,0	0,64	-	1,01	1,01	-	-	-
5	0,32	0,31	27,0	0,31	0,06	0,50	0,64	17,0	0,48	0,01	0,67	1,01	11,0	0,65	-
6	0,32	0,31	30,0	0,31	0,09	0,51	0,64	19,0	0,50	0,06	0,70	1,01	13,0	0,68	-
7	0,32	0,31	28,0	0,30	0,07	0,53	0,64	15,0	0,52	0,02	0,74	1,01	-	0,71	-
8	0,31	0,31	30,0	0,31	0,13	0,63	0,64	18,0	0,62	0,21	0,97	1,01	9,0	0,97	0,11
9	0,31	0,31	35,0	0,31	0,16	0,51	0,64	18,0	0,51	0,11	0,70	1,00	12,0	0,68	0,03
10	0,31	0,31	44,0	0,31	0,22	0,67	0,64	25,0	0,67	0,39	1,08	1,00	16,0	1,05	0,46
11	0,31	0,31	32,0	0,31	0,13	0,51	0,64	20,0	0,51	0,12	0,70	1,00	14,0	0,69	0,06
12	0,31	0,31	36,0	0,31	0,16	0,56	0,64	22,0	0,56	0,20	0,81	1,00	14,0	0,81	0,13
13	0,31	0,31	38,0	0,31	0,18	0,58	0,64	24,0	0,57	0,25	0,87	1,00	15,0	0,87	0,22
14	0,31	0,31	35,0	0,31	0,15	0,51	0,64	23,0	0,51	0,17	0,71	1,00	16,0	0,71	0,13
15	0,47	0,47	-	-	-	0,99	0,89	-	-	-	1,45	1,22	-	-	-
16	0,46	0,47	-	-	-	1,15	0,89	-	-	-	1,83	1,22	-	-	-
17	0,47	0,47	-	-	-	0,86	0,89	-	-	-	1,14	1,22	-	-	-
18	0,47	0,47	-	-	-	0,79	0,89	-	-	-	1,00	1,22	-	-	-
19	0,46	0,47	-	-	-	1,15	0,89	-	-	-	1,83	1,22	-	-	-
20	0,47	0,47	-	-	-	1,00	0,89	-	-	-	1,46	1,22	-	-	-
21	0,47	0,47	-	-	-	1,05	0,89	-	-	-	1,57	1,22	-	-	-
22	0,37	0,37	36,0	0,37	0,20	0,71	0,73	21,0	0,71	0,27	1,03	1,09	14,0	1,03	0,23
23	0,37	0,37	33,0	0,37	0,19	0,70	0,73	19,0	0,69	0,24	1,01	1,09	12,0	0,98	0,14
24	0,37	0,37	40,0	0,36	0,23	0,83	0,73	20,0	0,84	0,39	1,34	1,09	11,0	1,35	0,14
25	0,37	0,37	34,0	0,36	0,16	0,65	0,73	21,0	0,64	0,19	0,91	1,09	14,0	0,92	0,11

**Tabela C.1.B – Dimensionamento mecânico dos segmentos seccionados entre todos os trechos (em ordem para os trechos 01 da BR-101/SC, 02 da BR-101/SC, PR-218, PR-280, SP-294, SP-421 e SP-425).
Dimensionamento pelas curvas de previsão de fadiga no revestimento.**

SH	Pinto - Fadiga no revestimento						Instituto do Asfalto - Fadiga no revestimento						Shell Oil - Fadiga no revestimento					
	Capa	Ref	hR (cm)	Capa	Ref	hR (cm)	Capa	Ref	Capa	Ref	hR (cm)	Capa	Ref	Capa	Ref	hR (cm)	Capa	Ref
	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)		ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)		ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)		ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)		ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)
26	0,37	0,37	33,0	0,37	0,16	0,65	0,73	20,0	0,65	0,18	0,91	1,09	14,0	0,88	0,11			
27	0,37	0,37	28,0	0,37	0,09	0,58	0,73	19,0	0,56	0,06	0,74	1,09	14,0	0,73	-			
28	0,37	0,37	32,0	0,36	0,17	0,72	0,73	16,0	0,72	0,20	1,05	1,09	9,0	1,04	0,06			
29	0,37	0,37	32,0	0,37	0,16	0,65	0,73	19,0	0,65	0,16	0,90	1,09	13,0	0,89	0,11			
30	1,01	1,00	-	-	-	1,29	1,64	-	-	-	1,18	1,73	-	-	-			
31	1,01	1,00	-	-	-	1,29	1,64	-	-	-	1,18	1,73	-	-	-			
32	1,02	1,00	10,0	1,03	-	1,17	1,64	9,0	1,10	-	1,00	1,73	11,0	0,97	-			
33	1,02	1,00	9,0	1,01	-	1,19	1,64	7,0	1,16	-	1,03	1,73	9,0	1,01	-			
34	1,00	1,00	17,0	0,97	0,39	1,57	1,64	9,0	1,52	0,24	1,62	1,73	8,0	1,62	0,16			
35	1,01	1,00	14,0	0,97	0,28	1,35	1,64	9,0	1,31	0,10	1,27	1,73	10,0	1,21	0,16			
36	1,02	1,00	10,0	1,02	-	1,15	1,64	9,0	1,10	-	0,99	1,73	11,0	0,95	-			
37	1,13	1,12	-	-	-	1,49	1,79	-	-	-	1,36	1,82	-	-	-			
38	1,12	1,12	-	-	-	1,58	1,79	-	-	-	1,50	1,82	-	-	-			
39	1,13	1,12	-	-	-	1,30	1,79	-	-	-	1,10	1,82	-	-	-			
40	1,13	1,12	-	-	-	1,52	1,79	-	-	-	1,40	1,82	-	-	-			
41	1,10	1,12	-	-	-	2,45	1,79	-	-	-	3,03	1,82	-	-	-			
42	1,11	1,12	-	-	-	1,98	1,79	-	-	-	2,15	1,82	-	-	-			
43	1,11	1,12	-	-	-	2,02	1,79	-	-	-	2,22	1,82	-	-	-			
44	1,21	1,22	8,0	1,20	0,35	2,18	1,92	-	-	-	2,33	1,90	-	-	-			
45	1,22	1,22	9,0	1,19	0,41	1,94	1,92	-	-	-	1,93	1,90	-	-	-			
46	1,22	1,22	12,0	1,19	0,36	1,96	1,92	5,0	1,85	-	1,96	1,90	5,0	1,85	-			
47	1,21	1,22	-	-	-	2,21	1,92	-	-	-	2,37	1,90	-	-	-			
48	1,22	1,22	8,0	1,22	0,11	1,93	1,92	-	-	-	1,92	1,90	-	-	-			
49	1,23	1,22	3,0	1,20	-	1,71	1,92	-	-	-	1,58	1,90	-	-	-			
50	1,22	1,22	10,0	1,19	0,23	1,88	1,92	4,0	1,70	-	1,83	1,90	3,0	1,81	-			

**Tabela C.2.A – Dimensionamento mecânico dos segmentos seccionados entre todos os trechos (em ordem para os trechos 01 da BR-101/SC, 02 da BR-101/SC, PR-218, PR-280, SP-294, SP-421 e SP-425).
Dimensionamento pelas curvas de previsão de fadiga em bases cimentadas e de deformação permanente.**

SH	Deformação permanente					Fadiga em bases em solo-cimento						
	I. Asf.	Shell	Subleito	Heukelom		Franco	hR (cm)	Capa	Ref	SC	Def. permanete	
	ϵ_{vadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_{vadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_v ($\times 10^{-4}$)	σ_{vadm} (kgf/cm ²)	σ_v (kgf/cm ²)	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)		ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_v ($\times 10^{-4}$)	σ_v (kgf/cm ²)
1	1,58	1,97	1,17	1,47	0,19	-	-	-	-	-	-	-
2	1,58	1,97	0,91	2,06	0,19	-	-	-	-	-	-	-
3	1,58	1,97	1,1	2,14	0,23	-	-	-	-	-	-	-
4	1,58	1,97	0,95	2,71	0,18	-	-	-	-	-	-	-
5	1,58	1,97	1,21	1,96	0,26	-	-	-	-	-	-	-
6	1,58	1,97	1,21	2,16	0,24	-	-	-	-	-	-	-
7	1,58	1,97	1,08	2,22	0,25	-	-	-	-	-	-	-
8	1,58	1,97	1,02	2,19	0,34	-	-	-	-	-	-	-
9	1,57	1,95	1,46	1,41	0,25	-	-	-	-	-	-	-
10	1,57	1,95	1,35	0,69	0,17	-	-	-	-	-	-	-
11	1,57	1,95	1,1	0,89	0,18	-	-	-	-	-	-	-
12	1,57	1,95	1,3	0,79	0,2	-	-	-	-	-	-	-
13	1,57	1,95	1,29	0,76	0,18	-	-	-	-	-	-	-
14	1,57	1,95	1,18	0,81	0,17	-	-	-	-	-	-	-
15	2,01	2,50	-	2,13	-	0,48	23,0	0,25	0,26	0,48	0,30	0,25
16	2,01	2,50	-	1,87	-	0,48	24,0	0,24	0,37	0,47	0,31	0,22
17	2,01	2,50	-	2,11	-	0,48	20,0	0,46	0,16	0,47	0,67	0,24
18	2,01	2,50	-	2,50	-	0,48	25,0	0,31	0,18	0,48	0,36	0,30
19	2,01	2,50	-	1,82	-	0,48	27,0	0,33	0,37	0,48	0,7	0,11
20	2,01	2,50	-	2,23	-	0,48	30,0	0,36	0,27	0,48	0,77	0,11
21	2,01	2,50	-	2,01	-	0,48	31,0	0,39	0,29	0,47	0,79	0,12
22	1,74	2,17	0,98	1,69	0,17	-	-	-	-	-	-	-
23	1,74	2,17	1,15	1,87	0,17	-	-	-	-	-	-	-
24	1,74	2,17	1,75	1,36	0,21	-	-	-	-	-	-	-
25	1,74	2,17	1,57	1,69	0,19	-	-	-	-	-	-	-

Tabela C.2.B – Dimensionamento mecânico dos segmentos seccionados entre todos os trechos (em ordem para os trechos 01 da BR-101/SC, 02 da BR-101/SC, PR-218, PR-280, SP-294, SP-421 e SP-425).
Dimensionamento pelas curvas de previsão de fadiga em bases cimentadas e de deformação permanente.

SH	Deformação permanente					Fadiga em bases em solo-cimento						
	I. Asf.	Shell	Subleito	Heukelom		Franco	hR (cm)	Capa	Ref	SC	Def. permanente	
	ϵ_{vadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_{vadm} ($\times 10^{-4}$)	ϵ_v ($\times 10^{-4}$)	σ_{vadm} (kgf/cm ²)	σ_v (kgf/cm ²)	ϵ_{tadm} ($\times 10^{-4}$)		ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_t ($\times 10^{-4}$)	ϵ_v ($\times 10^{-4}$)	σ_v (kgf/cm ²)
26	1,74	2,17	1,41	1,75	0,2	-	-	-	-	-	-	-
27	1,74	2,17	1,65	1,71	0,18	-	-	-	-	-	-	-
28	1,74	2,17	0,97	1,98	0,19	-	-	-	-	-	-	-
29	1,74	2,17	0,7	1,78	0,15	-	-	-	-	-	-	-
30	3,15	3,90	-	1,15	-	0,66	24,0	0,40	0,15	0,65	0,42	0,19
31	3,15	3,90	-	0,84	-	0,66	25,0	0,39	0,15	0,65	0,38	0,19
32	3,15	3,90	2,73	0,62	0,25	-	-	-	-	-	-	-
33	3,15	3,90	2,28	0,81	0,25	-	-	-	-	-	-	-
34	3,15	3,90	2,38	0,95	0,31	-	-	-	-	-	-	-
35	3,15	3,90	2,33	0,76	0,28	-	-	-	-	-	-	-
36	3,15	3,90	2,6	0,70	0,27	-	-	-	-	-	-	-
37	3,36	4,16	-	2,69	-	0,68	23,0	0,25	0,20	0,68	1,56	0,19
38	3,36	4,16	-	2,83	-	0,68	23,0	0,38	0,19	0,66	1,69	0,17
39	3,36	4,16	-	2,88	-	0,68	20,0	0,32	0,07	0,65	1,78	0,2
40	3,36	4,16	-	2,27	-	0,68	20,0	0,36	0,12	0,67	1,75	0,17
41	3,36	4,16	-	3,05	-	0,68	22,0	0,29	0,48	0,67	1,79	0,2
42	3,36	4,16	-	2,73	-	0,68	21,0	0,39	0,32	0,68	1,42	0,2
43	3,36	4,16	-	2,62	-	0,68	29,0	0,48	0,36	0,66	1,51	0,15
44	3,55	4,38	2,25	2,48	0,3	0,70	22,0	0,62	0,38	0,69	1,25	0,17
45	3,55	4,38	1,47	2,52	0,29	0,70	11,0	1,06	0,14	0,70	1,33	0,26
46	3,55	4,38	3,48	2,16	0,45	0,70	25,0	0,62	0,34	0,70	1,27	0,17
47	3,55	4,38	3,39	2,87	0,45	0,70	24,0	0,48	0,35	0,68	1,36	0,18
48	3,55	4,38	2,56	2,66	0,35	0,70	23,0	0,57	0,27	0,68	1,29	0,18
49	3,55	4,38	3,50	2,26	0,45	0,70	24,0	0,48	0,24	0,67	1,34	0,16
50	3,55	4,38	3,42	2,34	0,48	0,70	25,0	0,56	0,29	0,68	1,33	0,16