

ASSIS RODRIGUES ABBUD VILLELA

**ANÁLISE DA BASE DE DADOS DE UM
GRUPO DE RODOVIAS PARA APLICAÇÃO
EM PROJETOS DE REABILITAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: *Prof^o Antônio Fortunato Marcon, D. Sc*

FLORIANÓPOLIS, SANTA CATARINA
1999

**ANÁLISE DA BASE DE DADOS DE UM
GRUPO DE RODOVIAS PARA APLICAÇÃO
EM PROJETOS DE REABILITAÇÃO**

ASSIS RODRIGUES ABBUD VILLELA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Infra-Estrutura e Gerência Viária

Orientador: *Prof^o Antônio Fortunato Marcon, D. Sc*

ANÁLISE DA BASE DE DADOS DE UM GRUPO DE RODOVIAS PARA APLICAÇÃO EM PROJETOS DE REABILITAÇÃO

ASSIS RODRIGUES ABBUD VILLELA

Esta dissertação foi julgada para a obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA

na especialidade de ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.


Professor Antônio Fortunato Marcon, D. Sc.
Orientador



Professor Juçifer Cordini, D. Sc.
Coordenador do Curso

COMISSÃO EXAMINADORA:


Professor Antônio Fortunato Marcon, D. Sc. - Moderador
UFSC, Departamento de Engenharia Civil


Professor Jorge Augusto Pereira Ceratti, D. Sc. - Membro
UFRGS, Departamento de Engenharia Civil


Professor Glicério Trichês, D. Sc. - Membro
UFSC, Departamento de Engenharia Civil


Professor Leto Momm, D. Sc. - Membro
UFSC, Departamento de Engenharia Civil

Manutenção

"Quando tudo está bem,
Ninguém lembra que existe.
Quando algo vai mal,
Dizem que não existe.
Quando é para gastar,
Acham que não precisa existir..
Porém, quando realmente não existe,
Todos concordam que deveria existir."

A. Sutter

à memória de meu pai,
Luiz Ernesto

*"Sonho que se sonha só,
É só um sonho que sonha só.
Mas sonho que se sonha junto é realidade."*

Esta música de Raul Seixas aplica-se muito a este trabalho. Para cada página, cada linha, cada palavra aqui formulada, registro minha gratidão:

- A Deus, nobre Homem que nos faz acreditar que tudo é sempre possível.
- À mãezona Rosa Alice e ao paição Luiz Ernesto ("in memoriam") pela firme determinação em sempre proporcionar aos seus filhos o melhor estudo e pelo estímulo para que conseguíssemos concretizar, passo a passo, a nossa realização pessoal e profissional. Aos super-manos Anthonizza e Juliano Luiz com os quais sempre pude, posso e certamente poderei contar. Aos meus tíos Nego, Z, Duca e Angelina pela forte torcida.
- À querida Heloisa por estar ao meu lado em todos os momentos, pelo carinho, compreensão e constante estímulo.
- Ao orientador e grande amigo Profº Antônio Fortunato Marcon que, pela sabedoria, paciência, compreensão e profissionalismo, o faz merecedor de toda minha admiração e respeito.
- Ao grande amigo e conselheiro Engº Armando Morilha Júnior que contribui para o meu desenvolvimento profissional e pessoal.
- Aos membros da banca por tê-los como examinadores e pela disposição de ler este trabalho.
- À Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), onde tive os primeiros contatos e a formação desta profissão. Ao Profº Gerardo Luciano de Oliveira Marques pela amizade, apoio e grandes contribuições.
- Ao corpo técnico do Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina (DER/SC) por ter cedido seus dados para a apresentação deste trabalho. Ao Engº Dilnei Cesa, do Distrito de Criciúma, e ao auxiliar de topografia Arno pela colaboração nos levantamentos dos quase cem quilômetros que compõem esta pesquisa.
- À ENGEMIN - Engenharia e Geologia Ltda, por intermédio dos diretores: Engº José Luiz Pinto Muniz, Engº Jacildo Albini Salgado e Geolº José Antônio Urroz Lopez, por terem acreditado no trabalho aqui apresentado, pelo apoio e incentivo ao meu mestrado. À Ana Paula pela força.
- À equipe técnica do Consórcio ENEFER-ENGEMIN, ao Engº José Carlos Dias Lopes da Conceição, futuro engenheiro Alessandro, Jaima, Paulo que mesmo envolvidos a projetos, medições, inspeções, supervisões, foram sempre solidários à realização deste trabalho. Ao Engº Mauro Rieke pelo incentivo e amizade demonstrados em todos os momentos. Ao Fábio pelas tantas horas e finais de semana "degolados", pelo zelo, grande paciência na ajuda na tabulação e formatação do trabalho e pela força, principalmente a ESPIRITUAL.
- Ao Rodolfo, Gera, Renato, Cássio que, no decorrer de todos estes anos de convivência, solidariedade (e muito mais...), facilmente me convenceram que são mais que amigos, IRMÃOS.
- À amiga Truci pela grande contribuição e torcida.
- À Roberta, Daniela e ao Profº Carlos Alberto Zsüics, com os quais desde o início pude contar. À Irizete que, além de todo apoio e amizade manifestados desde os primeiros contatos telefônicos para o meu ingresso no curso, passou a lembrar-me das minhas matrículas, pois sabia que iria esquecer de fazê-las.
- À toda família "de Quadros Coelho" por todo incentivo recebido durante a "realização" deste trabalho (sem esquecer do Bob Marley).
- Ao amigo Engº Rogério Walbach Tizzot por ceder bibliografias para formulação de minhas justificativas.
- Aos pacientes amigos Anelise, Clarissa e Gilmar que, por carta e até por telefone, ajudaram.
- À Capes pelo apoio financeiro por meio de bolsa de estudos.
- A todos da pós-graduação, pelos grandes momentos que passamos juntos e que nunca sairão de nossas lembranças.

Enfim, com todos vocês divido minha alegria - MEU SONHO!

SUMÁRIO

RELAÇÃO DE FIGURAS	xvi
RELAÇÃO DE QUADROS	xx
RELAÇÃO DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xxiv
RESUMO	xxviii
ABSTRACT	xxix

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1	INTRODUÇÃO – JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA	1
1.2	PLANO DA PESQUISA E DELIMITAÇÃO DO ASSUNTO	4
1.2.1	Problema da Pesquisa	4
1.2.2	Objetivos Gerais	4
1.2.3	Objetivos Específicos	4
1.3	HIPÓTESES	5
1.4	DELIMITAÇÃO DO TEMA	5
1.5	DESCRIÇÃO SUMÁRIA DOS CAPÍTULOS – ESTRUTURA DO TRABALHO	6

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1	IMPORTÂNCIA E ESTRUTURA DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	9
-----	---	---

2.2	OBJETIVOS DE UM SGP	11
2.3	ATUAÇÕES DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	13
2.3.1	<i>Em Nível de Rede</i>	13
2.3.2	<i>Em Nível de Projeto</i>	14
2.4	SUBSISTEMAS QUE COMPÕEM UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	15
2.4.1	<i>Subsistema de Informação</i>	16
2.4.2	<i>Subsistema de Estratégia de Manutenção</i>	16
2.4.3	<i>Subsistema de Otimização</i>	16
2.4.4	<i>Subsistema de Descrição</i>	16
2.5	SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS DO DER/SC	18
2.5.1	<i>Características Institucionais do DER/SC</i>	18
2.5.2	<i>Estrutura Básica do Sistema</i>	19
2.5.2.1	<i>Subsistema de Informação</i>	19
2.5.2.2	<i>Subsistema de Definição e Avaliação das Estratégias</i>	19
2.5.2.3	<i>Subsistema de Programação</i>	20
2.5.2.4	<i>Subsistema de Acompanhamento</i>	21
2.5.3	<i>Funcionamento do Sistema</i>	22
2.6	METODOLOGIAS DE TRATAMENTO DAS BASES DE DADOS	22
2.6.1	<i>Exemplos de Base de Dados</i>	24
2.6.1.1	<i>Sistemas ADOT</i>	24
2.6.1.2	<i>Base de Dados do DNER</i>	25
2.7	MODELOS DE DESEMPENHO	26
2.8	DEFEITOS DE PAVIMENTO	29
2.8.1	<i>Classes de Defeitos</i>	31
2.8.2	<i>Tipos de Defeitos</i>	31
2.9	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DOS DEFEITOS DE PAVIMENTOS	33
2.9.1	<i>DNER-PRO 08/78</i>	36

2.9.2	DNER-ES 128/83	37
2.9.3	VIZIR	37
2.9.4	<i>Avaliação Estrutural do Pavimento</i>	39
	2.9.4.1 <i>Ensaio Destrutivos</i>	39
	2.9.4.2 <i>Ensaio Não Destrutivos</i>	40
2.9.5	<i>Viga Benkelman</i>	42
2.9.6	<i>"Falling Weight Deflectometer" (FWD)</i>	43
	2.9.6.1 <i>FWD Dynatest</i>	44
	2.9.6.2 <i>FWD Kuab</i>	45
2.9.7	<i>Correlações entre Deflexões Recuperáveis Obtidas com "Falling Weight Deflectometer" e com Viga Benkelman</i>	45
2.10	IRREGULARIDADE	46
2.10.1	<i>Quociente de Irregularidade</i>	46
2.10.2	<i>Índice Internacional de Irregularidade</i>	47
2.11	PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE RESTAURAÇÃO	50
2.11.1	<i>Métodos Empíricos de Dimensionamentos de Reforços</i>	50
	2.11.1.1 <i>DNER-PRO 10/79 – Procedimento A</i>	51
	2.11.1.1.1 <i>Dados de Entrada</i>	52
	2.11.1.1.2 <i>Processamento e Dados de Saída</i>	52
	2.11.1.2 <i>DNER-PRO 11/79 – Procedimento B</i>	53
	2.11.1.2.1 <i>Dados de Entrada</i>	53
	2.11.1.2.2 <i>Processamento e Dados de Saída</i>	53
	2.11.1.3 <i>DNER-PRO159/85</i>	54
	2.11.1.3.1 <i>Dados de Entrada</i>	54
	2.11.1.3.2 <i>Processamento e Dados de Saída</i>	54
2.11.2	<i>Método da Resiliência</i>	54
	2.11.2.1 <i>DNER-PRO 269/94 – TECNAPAV</i>	54
	2.11.2.1.1 <i>Dados de Entrada</i>	55
	2.11.2.1.2 <i>Processamento e Dados de Saída</i>	55
2.12	PROGRAMAS DE RETROANÁLISE – ELSYM-5 E RETRAN-2CL	55
2.12.1	<i>Retroanálise</i>	55

2.12.2	<i>Coefficiente de Poisson (μ)</i>	56
2.12.3	<i>Módulo de Elasticidade (E)</i>	56
2.12.4	<i>Faixas de Módulos de Resiliência – “Módulos Sementes”</i>	57
2.12.5	<i>ELSYM-5</i>	58
2.12.5.1	<i>Dados de Entrada</i>	58
2.12.5.1.1	<i>Dados das Propriedades das Camadas</i>	58
2.12.5.1.2	<i>Dados do Carregamento</i>	59
2.12.5.1.3	<i>Dados das Coordenadas Avaliadas</i>	59
2.12.5.2	<i>Principais Limitações do Programa</i>	59
2.12.6	<i>RETRAN-2CL</i>	60
2.12.6.1	<i>Operação</i>	62
2.12.6.2	<i>Ajuste das Bacias Medidas no Campo</i>	62
2.12.6.3	<i>Equações Gerais de Retroanálise</i>	64
2.12.6.4	<i>Principais Limitações do Programa</i>	65

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1	INTRODUÇÃO	68
3.2	ESTUDOS E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	68
3.2.1	<i>Levantamento de Campo</i>	72
3.2.1.1	<i>DNER-ES 128/83 (Modificada)</i>	72
3.2.1.1.1	<i>Quadro do Percentual de Responsabilidade para as Causas Prováveis do Surgimento de Defeitos</i>	74
3.2.1.2	<i>Avaliação Expedita</i>	75
3.2.1.2.1	<i>Campo 01: Estado da Superfície da Pista de Rolamento e Acostamentos (LE e LD)</i>	76
3.2.1.2.2	<i>Campo 02: Seção Transversal</i>	77
3.2.1.2.3	<i>Campo 03: Observações – Anotações Adicionais</i>	77
3.2.1.2.4	<i>Campo 04: “Croquis-Chave” – Registro Fotográfico</i>	77
3.2.1.2.5	<i>Campo 05: Localização</i>	78
3.2.1.2.6	<i>Campo 06: Diagramas Unifilares</i>	79

3.2.2	<i>ETAPA-1: Tabulação e Análise de Base de Dados</i>	79
3.2.3	<i>ETAPA-2: Definição dos Subtrechos Homogêneos</i>	79
3.2.3.1	<i>Subtrechos Homogêneos</i>	79
	3.2.3.1.1 <i>Método das Diferenças Acumuladas</i>	81
	3.2.3.2 <i>Histogramas de Defeitos</i>	81
3.2.4	<i>ETAPA-3: Análise dos Subtrechos Homogêneos</i>	82
3.2.5	<i>Análise de Desempenho</i>	82
	3.2.5.1 <i>Irregularidade</i>	82
	3.2.5.2 <i>Trincamentos</i>	84
3.2.6	<i>Bacias Características</i>	85
	3.2.6.1 <i>Análise do Comportamento Estrutural do Pavimento e Conformação das Bacias Características</i>	87
3.2.7	<i>Retroanálise</i>	89

CAPÍTULO 4

A MALHA RODOVIÁRIA DE SANTA CATARINA E DADOS DISPONÍVEIS PARA O TRABALHO

4.1	<i>A MALHA RODOVIÁRIA DE SANTA CATARINA</i>	91
4.1.1	<i>Caracterização Técnica da Malha Rodoviária</i>	91
	4.1.1.1 <i>Caracterização da Rede</i>	91
	4.1.1.2 <i>Consolidação das Rodovias no Campo</i>	92
4.2	<i>DADOS DISPONÍVEIS PARA O TRABALHO</i>	92
4.2.1	<i>Dados das Estruturas do pavimento e do Tráfego</i>	94
4.2.2	<i>Definição de Subtrechos Homogêneos e Evolução dos Defeitos</i>	94
	4.2.2.1 <i>Definição de Subtrechos Homogêneos</i>	96
	4.2.2.2 <i>Evolução dos Defeitos</i>	96

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1	INTRODUÇÃO	113
5.2	RODOVIA SC-438, TRECHO ALTO DA SERRA – LAURO MÜLLER	113
5.2.1	Avaliação Estrutural	114
5.2.1.1	Bacias de Deflexão	114
5.2.1.2	Retroanálises	114
5.2.1.2.1	RETRAN-2CL	114
5.2.1.2.2	ELSYM-5	118
5.2.1.3	Levantamento de Campo	120
5.2.1.4	Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos	121
5.2.2	Irregularidade	122
5.3	RODOVIA SC-438, TRECHO LAURO MÜLLER – ORLEANS	123
5.3.1	Avaliação Estrutural	123
5.3.1.1	Bacias de Deflexão	123
5.3.1.2	Retroanálises	124
5.3.1.2.1	RETRAN-2CL	124
5.3.1.2.2	ELSYM-5	127
5.3.1.3	Levantamento de Campo	129
5.3.1.3	Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos	130
5.3.2	Irregularidade	131
5.4	RODOVIA SC-447, TRECHO NOVA VENEZA – RIO MAINA	132
5.4.1	Avaliação Estrutural	132
5.4.1.1	Bacias de Deflexão	132
5.4.1.2	Retroanálises	133
5.4.1.2.1	RETRAN-2CL	133
5.4.1.2.2	ELSYM-5	137
5.4.1.3	Levantamento de Campo	139
5.4.2	Irregularidade	139

5.5	RODOVIA SC-448, TRECHO FORQUILHINHA – MELEIRO	140
5.5.1	<i>Avaliação Estrutural</i>	140
5.5.1.1	<i>Bacias de Deflexão</i>	140
5.5.1.2	<i>Retroanálises</i>	141
	5.5.1.2.1 <i>RETRAN-2CL</i>	141
	5.5.1.2.2 <i>ELSYM-5</i>	143
5.5.1.3	<i>Levantamento de Campo</i>	145
5.5.1.4	<i>Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos</i>	146
5.5.2	<i>Irregularidade</i>	147
5.6	RODOVIA SC-285, TRECHO TIMBÉ DO SUL – TURVO	148
5.6.1	<i>Avaliação Estrutural</i>	149
5.6.1.1	<i>Bacias de Deflexão</i>	149
5.6.1.2	<i>Retroanálises</i>	149
	5.6.1.2.1 <i>RETRAN-2CL</i>	149
	5.6.1.2.2 <i>ELSYM-5</i>	152
5.6.1.3	<i>Levantamento de Campo</i>	154
5.6.1.4	<i>Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos</i>	155
5.6.2	<i>Irregularidade</i>	155
5.7	RODOVIA SC-448, TRECHO TURVO – ERMO	156
5.7.1	<i>Avaliação Estrutural</i>	156
5.7.1.1	<i>Bacias de Deflexão</i>	156
5.7.1.2	<i>Retroanálises</i>	157
	5.7.1.2.1 <i>RETRAN-2CL</i>	157
	5.7.1.2.2 <i>ELSYM-5</i>	160
5.7.1.3	<i>Levantamento de Campo</i>	162
5.7.1.4	<i>Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos</i>	162
5.7.2	<i>Irregularidade</i>	162
5.8	RODOVIA SC-483, TRECHO ERMO – JACINTO MACHADO	163
5.8.1	<i>Avaliação Estrutural</i>	164
5.8.1.1	<i>Bacias de Deflexão</i>	164
5.8.1.2	<i>Retroanálises</i>	164

	5.8.1.2.1	RETRAN-2CL	164
	5.8.1.2.2	ELSYM-5	167
	5.8.1.3	Levantamento de Campo	169
	5.8.1.4	Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos	170
5.8.2		Irregularidade	170
5.9		RODOVIA SC-448, TRECHO ERMO – BR 101	171
5.9.1		Avaliação Estrutural	172
	5.9.1.1	Bacias de Deflexão	172
	5.9.1.2	Retroanálises	173
	5.9.1.2.1	RETRAN-2CL	173
	5.9.1.2.2	ELSYM-5	175
	5.9.1.3	Levantamento de Campo	178
	5.9.1.4	Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos	179
5.9.2		Irregularidade	179
5.10		CONSIDERAÇÕES FINAIS	180
5.10.1		Estrutura dos Pavimentos e Materiais Constituintes das Camadas	180
5.10.2		Tráfego Suportado	180
5.10.3		Deflexões Máximas	180
	5.10.3.1	Bacia Característica Extremas	182
5.10.4		Retroanálises	184
	5.10.4.1	RETRAN-2CL	184
	5.10.4.2	ELSYM-5	187
	5.10.4.2.1	Correlação	187
	5.10.4.2.2	Módulo de Resiliência x Faixa de Deflexão Máxima – D ₀ (0,01mm)	188
	5.10.4.2.3	Comparação de Valores de Módulos de Resiliência Analisados com os Obtidos por Consultoras Locais	189
5.10.5		Levantamento de Campo	195
5.10.6		Causas de Defeitos	195
5.10.7		Análise de Desempenho	196
	5.10.7.1	Irregularidade	196
	5.10.7.2	Trincamento	199
5.10.8		Análise Geral dos Trechos	200

5.10.8.1	<i>Alto da Serra – Lauro Müller</i>	200
5.10.8.2	<i>Lauro Müller – Orleans</i>	201
5.10.8.3	<i>Nova Veneza – Rio Maina</i>	202
5.10.8.4	<i>Forquilha – Meleiro</i>	203
5.10.8.5	<i>Timbé do Sul – Turvo</i>	203
5.10.8.6	<i>Turvo – Emo</i>	204
5.10.8.7	<i>Emo – Jacinto Machado</i>	205
5.10.8.8	<i>Emo – BR-101</i>	206

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1	CONCLUSÃO	215
6.1.1	<i>Alcance dos Objetivos</i>	215
6.1.2	<i>Comprovação das Hipóteses</i>	216
6.1.3	<i>Conclusões</i>	217
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	220
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	221
	ANEXOS	232
	<i>Anexo-A Rodovia SC-438, Trecho Alto da Serra – Lauro Müller</i>	233
	<i>Mapa de Situação</i>	234
	<i>Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento</i>	235
	<i>Diagrama Unifilar</i>	236
	<i>Registro Fotográfico</i>	237
	<i>Anexo-B Rodovia SC-438, Trecho Lauro Müller – Orleans</i>	238
	<i>Mapa de Situação</i>	239
	<i>Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento</i>	240
	<i>Diagrama Unifilar</i>	241

Anexo-C	Rodovia SC-447, Trecho Nova Veneza – Rio Maina	242
	Mapa de Situação	243
	Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento	244
	Diagrama Unifilar	245
Anexo-D	Rodovia SC-448, Trecho Forquilha – Meleiro	246
	Mapa de Situação	247
	Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento	248
	Diagrama Unifilar	249
	Registro fotográfico	250
	Registro Fotográfico	251
	Registro Fotográfico	252
	Registro Fotográfico	253
Anexo-E	Rodovia SC-285, Trecho Timbé do Sul – Turvo	254
	Mapa de Situação	255
	Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento	256
	Diagrama Unifilar	257
Anexo-F	Rodovia SC-448, Trecho Turvo – Ermo	258
	Mapa de Situação	259
	Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento	260
	Diagrama Unifilar	261
Anexo-G	Rodovia SC-483, Trecho Ermo – Jacinto Machado	262
	Mapa de Situação	263
	Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento	264
	Diagrama Unifilar	265
	Registro Fotográfico	266
Anexo-H	Rodovia SC-448, Trecho Ermo – BR-101	267
	Mapa de Situação	268
	Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento	269
	Diagrama Unifilar	270

RELAÇÃO DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Figura 1.1	<i>Relação e localização dos trechos estudados</i>	8
------------	--	---

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 2.1	<i>Principais estágios no desenvolvimento e implantação de um SGP</i>	13
Figura 2.2	<i>Escala de QI (contagens/km) e IRI (m/km) para várias condições de pavimentos</i>	49
Figura 2.3	<i>Diferentes fases da vida da estrutura do pavimento</i>	50
Figura 2.4	<i>Figura esquemática dos módulos obtidos pelo RETRAN-2CL</i>	61

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Figura 3.1	<i>Fluxograma dos estudos e etapas do trabalho</i>	71
Figura 3.2	<i>Desenho esquemático de avaliação de densidade de defeitos</i>	72
Figura 3.3	<i>Avaliação das densidades de defeitos</i>	73
Figura 3.4	<i>Planilha de campo para avaliação expedita</i>	76
Figura 3.5	<i>Desenho esquemático dos dispositivos para identificação dos defeitos</i>	78
Figura 3.6	<i>Fluxograma de definição das bacias características</i>	88

CAPÍTULO 4

A MALHA RODOVIÁRIA DE SANTA CATARINA E DADOS DISPONÍVEIS PARA O TRABALHO

Figura 4.1	<i>Definição dos subtrechos homogêneos (SH) para os trechos Alto da Serra – Lauro Müller e Lauro Müller – Orleans</i>	98
Figura 4.2	<i>Definição dos subtrechos homogêneos (SH) para os trechos Nova Veneza – Rio Maina e Forquilha – Meleiro</i>	99
Figura 4.3	<i>Definição dos subtrechos homogêneos (SH) para os trechos Timbé do Sul – Turvo e Turvo – Ermo</i>	100
Figura 4.4	<i>Definição dos subtrechos homogêneos (SH) para os trechos Ermo – Jacinto Machado e Ermo – BR-101</i>	101

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 5.1	<i>Valores de deflexão D_{0c}</i>	115
Figura 5.2	<i>Comparação entre os valores E_{p-x} e E_{p-a}</i>	115
Figura 5.3	<i>Comparação entre os valores de E_{sg-x} e E_{sg-a}</i>	116
Figura 5.4	<i>Comparação entre os valores de S_{Neff-x} e S_{Neff-a}</i>	117
Figura 5.5	<i>Comparação entre os valores de T_x e T_a</i>	118
Figura 5.6	<i>Conformação das bacias características (corrigidas) por subtrecho homogêneo</i>	119
Figura 5.7	<i>Relação dos parâmetros MR_r, MR_b, MR_{sb} e MR_{sbl} com D_0</i>	120
Figura 5.8	<i>Valores de Q_l ao longo do trecho</i>	122
Figura 5.9	<i>Valores de deflexão D_{0c}</i>	124
Figura 5.10	<i>Comparação entre os valores E_{p-x} e E_{p-a}</i>	125
Figura 5.11	<i>Comparação entre os valores de E_{sg-x} e E_{sg-a}</i>	125
Figura 5.12	<i>Comparação entre os valores de S_{Neff-x} e S_{Neff-a}</i>	126
Figura 5.13	<i>Comparação entre os valores de T_x e T_a</i>	127
Figura 5.14	<i>Conformação das bacias características (corrigidas) por subtrecho homogêneo</i>	128
Figura 5.15	<i>Relação dos parâmetros MR_r, MR_b, MR_{sb} e MR_{sbl} com D_0</i>	129
Figura 5.16	<i>Valores de Q_l ao longo do trecho</i>	131
Figura 5.17	<i>Valores de deflexão D_0</i>	133

Figura 5.18	Comparação entre os valores $Ep-x$ e $Ep-a$	134
Figura 5.19	Comparação entre os valores de $Esg-x$ e $Esg-a$	135
Figura 5.20	Comparação entre os valores de $SNeff-x$ e $SNeff-a$	136
Figura 5.21	Comparação entre os valores de Tx e Ta	136
Figura 5.22	Conformação das bacias características por subtrecho homogêneo	137
Figura 5.23	Relação dos parâmetros MRr , MRb , $MRsb$ e $MRsbl$ com D_0	138
Figura 5.24	Valores de Ql ao longo do trecho	139
Figura 5.25	Valores de deflexão D_0	141
Figura 5.26	Comparação entre os valores $Ep-x$ e $Ep-a$	141
Figura 5.27	Comparação entre os valores de $Esg-x$ e $Esg-a$	143
Figura 5.28	Comparação entre os valores de $SNeff-x$ e $SNeff-a$	143
Figura 5.29	Comparação entre os valores de Tx e Ta	144
Figura 5.30	Conformação das bacias características por subtrecho homogêneo	144
Figura 5.31	Relação dos parâmetros MRr , MRb , $MRsb$ e $MRsbl$ com D_0	146
Figura 5.32	Valores de deflexão D_{0c}	150
Figura 5.33	Comparação entre os valores $Ep-x$ e $Ep-a$	150
Figura 5.34	Comparação entre os valores de $Esg-x$ e $Esg-a$	151
Figura 5.35	Comparação entre os valores de $SNeff-x$ e $SNeff-a$	151
Figura 5.36	Comparação entre os valores de Tx e Ta	152
Figura 5.37	Conformação das bacias características (corrigidas) por subtrecho homogêneo	153
Figura 5.38	Relação dos parâmetros MRr , MRb , $MRsb$ e $MRsbl$ com D_0	154
Figura 5.39	Valores de deflexão D_{0c}	157
Figura 5.40	Comparação entre os valores $Ep-x$ e $Ep-a$	157
Figura 5.41	Comparação entre os valores de $Esg-x$ e $Esg-a$	158
Figura 5.42	Comparação entre os valores de $SNeff-x$ e $SNeff-a$	159
Figura 5.43	Comparação entre os valores de Tx e Ta	160
Figura 5.44	Conformação das bacias características (corrigidas) por subtrecho homogêneo	161
Figura 5.45	Relação dos parâmetros MRr , MRb , $MRsb$ e $MRsbl$ com D_0	162
Figura 5.46	Valores de deflexão D_0	165
Figura 5.47	Comparação entre os valores $Ep-x$ e $Ep-a$	165
Figura 5.48	Comparação entre os valores de $Esg-x$ e $Esg-a$	166
Figura 5.49	Comparação entre os valores de $SNeff-x$ e $SNeff-a$	166
Figura 5.50	Comparação entre os valores de Tx e Ta	167
Figura 5.51	Conformação das bacias características por subtrecho homogêneo	168

Figura 5.52	Relação dos parâmetros MRr, MRb, MRsb e MRsbl com D_0	169
Figura 5.53	Valores de QI ao longo do trecho	171
Figura 5.54	Valores de deflexão D_{0c}	172
Figura 5.55	Comparação entre os valores $Ep-x$ e $Ep-a$	172
Figura 5.56	Comparação entre os valores de $Esg-x$ e $Esg-a$	174
Figura 5.57	Comparação entre os valores de $SNeff-x$ e $SNeff-a$	174
Figura 5.58	Comparação entre os valores de T_x e T_a	175
Figura 5.59	Conformação das bacias características (corrigidas) por subtrecho homogêneo	176
Figura 5.60	Relação dos parâmetros MRr, MRb, MRsb e MRsbl com D_0	177
Figura 5.61	Bacias características extremas	183
Figura 5.62	Bacias características extremas	184
Figura 5.63	Correlação MRr com D_0	187
Figura 5.64	Relação entre QI e idade e valores previstos pela equação 3.2 (PATERSON, 1987)	198
Figura 5.65	Relação entre QI e N e valores previstos pela equação 3.2 (PATERSON, 1987)	199
Figura 5.66	Relação entre CR e idade e valores previstos pela equação 3.3 (QUEIROZ, 1981)	200
Figura 5.67	Relação entre CR e N e valores previstos pela equação 3.3 (QUEIROZ, 1981)	200
Figura 5.68	Resumo dos resultados, trecho Alto da Serra – Lauro Müller	207
Figura 5.69	Resumo dos resultados, trecho Lauro Müller – Orleans	208
Figura 5.70	Resumo dos resultados, trecho Nova Veneza – Rio Maina	209
Figura 5.71	Resumo dos resultados, trecho Forquilha – Meleiro	210
Figura 5.72	Resumo dos resultados, trecho Timbé do Sul – Turvo	211
Figura 5.73	Resumo dos resultados, trecho Turvo – Ermo	212
Figura 5.74	Resumo dos resultados, trecho Ermo – Jacinto Machado	213
Figura 5.75	Resumo dos resultados, trecho Ermo – BR-101	214

RELAÇÃO DE QUADROS

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Quadro 1.1	<i>Resumo dos principais aspectos de delimitação do assunto</i>	7
------------	---	---

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Quadro 2.1	<i>Relação dos defeitos em pavimentos flexíveis causados por: carga/tráfego, meio ambiente/material e outros</i>	34
Quadro 2.2	<i>Valores de coeficientes de Poisson recomendados para diferentes materiais do pavimento</i>	57
Quadro 2.3	<i>Faixas de "módulos sementes" sugeridas</i>	57
Quadro 2.4	<i>Unidades de entrada e saída dos parâmetros das equações de retroanálise</i>	65
Quadro 2.5	<i>Comparação entre os programas de retroanálise: ELSYM-5 e RETRAN-2CL</i>	67

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Quadro 3.1	<i>Relação de trechos analisados</i>	69
Quadro 3.2	<i>Resumo de localização e frequência de defeitos</i>	74
Quadro 3.3	<i>Valores de z em relação ao número de medições (n)</i>	86
Quadro 3.4	<i>Valores de Coeficiente de Poisson admitidos para retroanálise com o ELSYM-5</i>	89

CAPÍTULO 4

A MALHA RODOVIÁRIA DE SANTA CATARINA E DADOS DISPONÍVEIS PARA O TRABALHO

Quadro 4.1	Relação dos conteúdos em anexo	93
Quadro 4.2	Relação de dados da estrutura do pavimento por trecho	94
Quadro 4.3	Relação de dados de tráfego por trecho	95
Quadro 4.4	Relação dos subtrechos homogêneos por trecho	102
Quadro 4.5	Quadro resumo dos parâmetros estatísticos das bacias características dos trechos levantados com "Falling Weight Deflecometer" (FWD)	103
Quadro 4.6	Quadro resumo dos parâmetros estatísticos das bacias características dos trechos levantados com a viga Benkelman	104
Quadro 4.7	Análise estatística das deflexões máximas características por subtrecho homogêneo (SH)	105
Quadro 4.8	Análise estatística dos raios de curvatura (RC) por subtrecho homogêneo (SH)	106
Quadro 4.9	Análise estatística das trincas por subtrecho homogêneo (SH)	107
Quadro 4.10	Análise estatística das trincas tipo "couro de jacaré" (classes C2 e C3) por subtrecho homogêneo (SH)	108
Quadro 4.11	Análise estatística dos Quocientes de Irregularidade (QI) por subtrecho homogêneo (SH)	109
Quadro 4.12	Análise estatística dos remendos por subtrecho homogêneo (SH)	110
Quadro 4.13	Análise estatística dos afundamentos por subtrecho homogêneo (SH)	111
Quadro 4.13	Análise estatística das exsudações por subtrecho homogêneo (SH)	112

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Quadro 5.1	Análise estatística dos parâmetros de retroanálise – Ep, Esg, S _{Neff} e T Rodovia SC-438, trecho Alto da Serra – Lauro Müller	118
Quadro 5.2	Parâmetros de retroanálise – ELSYM-5 por subtrecho homogêneo (SH) Rodovia SC-438, trecho Alto da Serra – Lauro Müller	119
Quadro 5.3	Resumo de localização e frequência de defeitos Rodovia SC-438, trecho Alto da Serra – Lauro Müller	121
Quadro 5.4	Percentual de responsabilidades para as causas prováveis do surgimento dos defeitos Rodovia SC-438, trecho Alto da Serra – Lauro Müller	122

Quadro 5.5	<i>Análise estatística dos parâmetros de QI Rodovia SC-438, trecho Alto da Serra – Lauro Müller</i>	123
Quadro 5.6	<i>Análise estatística dos parâmetros de retroanálise – Ep, Esg, SNeff e T Rodovia SC-438, trecho Lauro Müller – Orleans</i>	127
Quadro 5.7	<i>Parâmetros de retroanálise – ELSYM-5 por subtrecho homogêneo (SH) Rodovia SC-438, trecho Lauro Müller – Orleans</i>	128
Quadro 5.8	<i>Resumo de localização e frequência de defeitos Rodovia SC-438, trecho Lauro Müller – Orleans</i>	130
Quadro 5.9	<i>Percentual de responsabilidades para as causas prováveis do surgimento dos defeitos Rodovia SC-438, trecho Lauro Müller – Orleans</i>	131
Quadro 5.10	<i>Análise estatística dos parâmetros de QI Rodovia SC-438, trecho Lauro Müller – Orleans</i>	132
Quadro 5.11	<i>Análise estatística dos parâmetros de retroanálise – Ep, Esg, SNeff e T Rodovia SC-447, trecho Nova Veneza – Rio Maina</i>	136
Quadro 5.12	<i>Parâmetros de retroanálise – ELSYM-5 por subtrecho homogêneo (SH) Rodovia SC-447, trecho Nova Veneza – Rio Maina</i>	138
Quadro 5.13	<i>Análise estatística dos parâmetros de QI Rodovia SC-447, trecho Nova Veneza – Rio Maina</i>	140
Quadro 5.14	<i>Análise estatística dos parâmetros de retroanálise – Ep, Esg, SNeff e T Rodovia SC-448, trecho Forquilha – Meleiro</i>	144
Quadro 5.15	<i>Parâmetros de retroanálise – ELSYM-5 por subtrecho homogêneo (SH) Rodovia SC-448, trecho Forquilha – Meleiro</i>	145
Quadro 5.16	<i>Resumo de localização e frequência de defeitos Rodovia SC-448, trecho Forquilha – Meleiro</i>	147
Quadro 5.17	<i>Percentual de responsabilidades para as causas prováveis do surgimento dos defeitos Rodovia SC-448, trecho Forquilha – Meleiro</i>	148
Quadro 5.18	<i>Análise estatística dos parâmetros de QI Rodovia SC-448, trecho Forquilha – Meleiro</i>	148
Quadro 5.19	<i>Análise estatística dos parâmetros de retroanálise – Ep, Esg, SNeff e T Rodovia SC-285, trecho Timbé do Sul – Turvo</i>	152
Quadro 5.20	<i>Parâmetros de retroanálise – ELSYM-5 por subtrecho homogêneo (SH) Rodovia SC-285, trecho Timbé do Sul – Turvo</i>	153
Quadro 5.21	<i>Resumo de localização e frequência de defeitos Rodovia SC-285, trecho Timbé do Sul – Turvo</i>	155
Quadro 5.22	<i>Análise estatística dos parâmetros de QI Rodovia SC-285, trecho Timbé do Sul – Turvo</i>	156
Quadro 5.23	<i>Análise estatística dos parâmetros de retroanálise – Ep, Esg, SNeff e T Rodovia SC-448, trecho Turvo – Ermo</i>	160
Quadro 5.24	<i>Parâmetros de retroanálise – ELSYM-5 por subtrecho homogêneo (SH) Rodovia SC-448, trecho Turvo – Ermo</i>	161
Quadro 5.25	<i>Resumo de localização e frequência de defeitos Rodovia SC-448, trecho Turvo – Ermo</i>	163
Quadro 5.26	<i>Análise estatística dos parâmetros de QI Rodovia SC-448, trecho Turvo – Ermo</i>	163
Quadro 5.27	<i>Análise estatística dos parâmetros de retroanálise – Ep, Esg, SNeff e T Rodovia SC-483, trecho Ermo – Jacinto Machado</i>	167

Quadro 5.28	<i>Parâmetros de retroanálise – ELSYM-5 por subtrecho homogêneo (SH) Rodovia SC-483, trecho Ermo – Jacinto Machado</i>	168
Quadro 5.29	<i>Resumo de localização e frequência de defeitos Rodovia SC-483, trecho Ermo – Jacinto Machado</i>	170
Quadro 5.30	<i>Análise estatística dos parâmetros de QI Rodovia SC-483, trecho Ermo – Jacinto Machado</i>	171
Quadro 5.31	<i>Análise estatística dos parâmetros de retroanálise – Ep, Esg, SNeff e T Rodovia SC-488, trecho Ermo – BR-101</i>	175
Quadro 5.32	<i>Parâmetros de retroanálise – ELSYM-5 por subtrecho homogêneo (SH) Rodovia SC-488, trecho Ermo – BR-101</i>	177
Quadro 5.33	<i>Resumo de localização e frequência de defeitos Rodovia SC-488, trecho Ermo – BR-101</i>	178
Quadro 5.34	<i>Percentual de responsabilidades para as causas prováveis do surgimento dos defeitos Rodovia SC-488, trecho Ermo – BR-101</i>	179
Quadro 5.35	<i>Análise estatística dos parâmetros de QI Rodovia SC-488, trecho Ermo – BR-101</i>	179
Quadro 5.36	<i>Amplitudes dos parâmetros obtidos pelo RETRAN-2CL</i>	185
Quadro 5.37	<i>Comparação entre os parâmetros obtidos pelo RETRAN-2CL</i>	185
Quadro 5.38	<i>Módulos resilientes em função das faixas de deflexão máxima</i>	188
Quadro 5.39	<i>Amplitudes de módulos resilientes encontrados</i>	189
Quadro 5.40	<i>Comparação entre as faixas de módulos resilientes obtidos pelo ELSYM-5</i>	189
Quadro 5.41	<i>Relação de bacias de deflexão e suas bacias características por SH Rodovia SC-447, trecho Nova Veneza – Rio Maina</i>	191
Quadro 5.42	<i>Relação de bacias de deflexão e suas bacias características por SH Rodovia SC-448, trecho Forquilha - Meleiro</i>	192
Quadro 5.43	<i>Relação de bacias de deflexão e suas bacias características por SH Rodovia SC-483, trecho Ermo – Jacinto Machado</i>	193
Quadro 5.44	<i>Valores de módulos de resiliência obtidos por Consultoras Locais</i>	194
Quadro 5.45	<i>Valores de módulos de resiliência obtidos neste trabalho</i>	194
Quadro 5.46	<i>Comparação entre os valores médios dos módulos de resiliência encontrados e os obtidos por Consultoras Locais</i>	195
Quadro 5.47	<i>Frequência de defeitos nas superfícies</i>	196
Quadro 5.48	<i>Percentual de responsabilidade para as causas de deterioração</i>	196
Quadro 5.49	<i>Valores de irregularidade previstos pela equação 3.2 (PATERSON, 1987)</i>	197
Quadro 5.50	<i>Relação dos subtrechos homogêneos com condições indesejáveis de irregularidade</i>	198
Quadro 5.51	<i>Valores de grau de trincamento previstos pela equação 3.3 (QUEIROZ, 1981)</i>	199

LISTA DE ABREVIATURAS

ε	- deformação
ε_r	- deformação específica radial
ε_a	- deformação axial recuperável
σ	- tensão
σ_x	- desvio padrão
μ	- coeficiente de Poisson
θ	- ângulo do ponto de aplicação da carga (superfícies) até o ponto considerado (coordenadas cilíndricas)
a	- raio da placa
AASHTO	- "American Association of State Highway and Transportation Officials"
ADOT	- "Arizona Department of Transportation"
B	- coeficiente da equação ($b=1/d_0$)
BG	- brita graduada
Caltrans	- "California Department of Transportation"
CBR	- "California Bearing Ratio"
CBUQ	- concreto betuminoso usinado a quente
CCP	- concreto de cimento portland
CCR	- concreto compactado a rolo
CDH	- "California Division Highway"
CEPAL	- Comissão Econômica para América Latina e Caribe
CGRA	- "Canadian Good Roads Associations"
CL	- Consultoras Locais
COV	- custo operacional de veículo
CR	- grau de trincamento, em %
CV	- coeficiente de variação
D_0	- deflexão máxima
D_{0c}	- deflexão máxima corrigida
D_{0m}	- deflexão máxima média
D_1	- deflexão a 25cm do ponto de aplicação da carga
D_{1c}	- deflexão corrigida a 20cm do ponto de aplicação da carga
D_2	- deflexão a 65cm do ponto de aplicação da carga
D_{2c}	- deflexão corrigida a 25cm do ponto de aplicação da carga, deduzida por interpolação linear
D_3	- deflexão a 120cm do ponto de aplicação da carga
D_{3c}	- deflexão corrigida a 30cm do ponto de aplicação da carga

D_{4c}	– deflexão corrigida a 45cm do ponto de aplicação da carga
D_{5c}	– deflexão corrigida a 60cm do ponto de aplicação da carga
D_{6c}	– deflexão corrigida a 90cm do ponto de aplicação da carga
D_{7c}	– deflexão corrigida a 180cm do ponto de aplicação da carga
D_{ci}	– deflexão média no campo na posição $r_x = i$
DER	– Departamento de Estradas de Rodagem
D_{FWD}	– deflexão medida pelo “Falling Weight Deflectometer” (FWD)
D_h	– deflexão após o reforço (10^{-2} mm)
DNER	– Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
D_{pi}	– deflexão calculada relativa a posição $r_x = i$
D_{VBK}	– deflexão medida pela viga Benkelman
D_x	– deflexão a uma distância r do ponto de aplicação da carga
D_{xc}	– deflexão característica
E	– módulo de elasticidade
EBM	– “Expenditure Budgeting Model”
E_p	– módulo de resiliência do pavimento
E_{p-a}	– módulo de resiliência do pavimento correspondente a espessura real média
E_{p-x}	– módulo de resiliência do pavimento correspondente a espessura teórica
ES	– especificação
E_{sg}	– módulo de resiliência do subleito
E_{sg-a}	– módulo de resiliência do subleito correspondente a espessura real média
E_{sg-x}	– módulo de resiliência do subleito correspondente a espessura teórica
E_x	– coeficiente da equação obtido no ajuste da bacia
Ext	– extensão
FC1	– classe 1 – trincas capilares, com largura até 1mm, fissuras
FC2	– classe 2 – trincas com largura maior que 1mm sem erosão nas bordas
FC3	– classe 3 – trincas com largura maior que 1mm com erosão nas bordas
FD	– faixa direita
FE	– faixa esquerda
FE_t	– faixa etária
FHWA	– “Federal Highway Administration”
FWD	– “Falling Weight Deflectometer”
GIS	– “Geographic Information System”
H	– espessura do reforço (cm)
H_{cg}	– espessura da camada granular
HDM	– “Highway Design and Maintenance Standards Model”

<i>Id</i>	– índice de deformação
<i>IDADE</i>	– idade do pavimento desde a construção ou reabilitação, em anos
<i>If</i>	– índice de fissuração
<i>Igd</i>	– índice global de degradação
<i>IGG</i>	– índice de gravidade global
<i>IGI</i>	– índice de gravidade individual
<i>IPR</i>	– Instituto de Pesquisa Rodoviária
<i>IQG</i>	– índice de qualidade global
<i>IQP</i>	– índice de qualidade do patrimônio
<i>IQU</i>	– índice de qualidade para o usuário
<i>IRI</i>	– “International Roughness Index”
<i>Is</i>	– índice de superfície
<i>ISC</i>	– Índice Suporte Califórnia
<i>Itp</i>	– índice de tráfego correspondente ao período de projeto
<i>Km</i>	– quilômetro
<i>LCPC</i>	– “Laboratoire Central des Ponts et Chaussées”
<i>LD</i>	– lado direito
<i>LE</i>	– lado esquerdo
<i>LIC</i>	– limite inferior de controle
<i>LL</i>	– limite de liquidez
<i>LN</i>	– logaritmo decimal de <i>n</i>
<i>LP</i>	– limite de plasticidade
<i>LSC</i>	– limite superior de controle
<i>M</i>	– coeficiente da equação obtido no ajuste da bacia
<i>M_{alum}</i>	– módulo de elasticidade referencial, material alumínio
<i>MC</i>	– macadames
<i>MR</i>	– módulo de resiliência
<i>MRb</i>	– módulo de resiliência da base
<i>MRr</i>	– módulo de resiliência do revestimento
<i>MRsb</i>	– módulo de resiliência da sub-base
<i>MRsbl</i>	– módulo de resiliência do subleito
<i>n</i>	– quantidade de valores <i>d_{ci}</i> (ou <i>d_{pi}</i>) considerados no ajuste
<i>N</i>	– número equivalente de eixos padrão de 8,2tf (18000lbs)
<i>Np</i>	– número “N” calculado para o período de projeto
<i>P</i>	– carga aplicada
<i>PIB</i>	– produto interno bruto

PRO	– procedimento
QI	– quociente de irregularidade
R_d	– fator de redução de deflexões
R	– distância do ponto de aplicação da carga (superfícies) até o ponto considerado (coordenadas cilíndricas)
RC	– raio de curvatura
RI	– índice de irregularidade do pavimento por uma determinada idade, em m/km
RI_0	– índice de irregularidade no início da análise, em m/km
RMS	– “Root Mean Square”
r_x	– distância radial a partir do ponto de aplicação da carga
SAM	– Sistema de Administração da Manutenção
SC	– Santa Catarina
SGP	– Sistema de Gerência de Pavimentos
SH	– subtrecho homogêneo
SMITR	– Sistemas de Medidores de Irregularidade do Tipo Resposta
SNC	– número estrutural corrigido
S_{Neff}	– número estrutural efetivo
S_{Neff-a}	– número estrutural efetivo correspondente a espessura real média
S_{Neff-x}	– número estrutural efetivo correspondente a espessura teórica
T_a	– espessura real média
TER	– terminologia
TRE	– trilha de roda externa
TRI	– trilha de roda interna
T_x	– espessura teórica
UFSC	– Universidade Federal de Santa Catarina
VBK	– viga Benkelman
VMD	– volume médio diário
VSA	– valor da serventia atual
X_i	– variável individual
X_m	– média da variável da extensão total
YE_4	– número equivalente de eixos padrão de 8,2t calculado pelo método da AASHTO
z	– coeficiente de confiança, estimado em função do número de medições de deflexões
Z_c	– diferença entre a variável individual e a média da variável da extensão total

RESUMO

Este trabalho consiste em analisar a base de dados de oito trechos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina, fornecida pelo Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), do Departamento de Estradas de Rodagem (DER/SC), por meio da identificação dos fatores de deterioração da superfície do pavimento. Propõe diretrizes que propiciem otimizar os dados disponíveis a partir de análises gráficas, curvas de desempenho e retroanálises. Os oito trechos, constituídos de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) como revestimento, seixo britado como base e seixo bruto como sub-base, serviram de base para a apresentação dos resultados de levantamentos das condições das camadas retroanalizadas pelos programas ELSYM-5 e RETRAN-2CL. Neste estudo são mostradas a importância e as vantagens que podem advir da análise estrutural e funcional de rodovias. Por fim, neste trabalho são mostrados quadros e curvas que correlacionam as faixas das deflexões máximas (D_0) com os módulos resilientes encontrados nas camadas e o comportamento estrutural e funcional dos trechos de rodovias.

ABSTRACT

This work consists on analyzing the database to the eight road sections in the State of Santa Catarina, Brazil, supplied for Pavement Management System (PMS), implanted on the road agency of the same state, through identification the deterioration factors of the pavements. It considers actions to propitiate to available data optimization from graphical analysis, performance curves and backcalculations. The eight road sections, consisting of asphalt concrete surface and, granular base and subbase, had served for the analysis of the layer conditions the analysis was made using ELSYM-5 and RETRAN-2CL backcalculation programs. This study wants to show the importance and advantages of roads structural and functional analysis. Finally in this work, pictures and curves are shown correlating maximum deflection bands (D_0) with the layers resilient modulus and the structural and functional behavior to the road sections.

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 – INTRODUÇÃO – JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA

É notório que o setor rodoviário constitui insumo essencial da atividade econômica brasileira (PREUSSLER, 1998). No entanto, para HEYN e ARANOVICH (1995), a tarefa de conservar rodovias está sendo dificultada por fatores como custos dos serviços de reabilitação¹, aumento de tráfego pesado e a escassez de recursos.

MELO (1995) afirma que a impossibilidade da realização de um adequado planejamento e de uma eficiente manutenção da rede rodoviária, pela incerteza ou pela não disponibilidade dos recursos para conservação² das rodovias, implica na necessidade de investimentos cerca de cinco ou seis vezes maiores em sua restauração³.

¹ Reabilitação: conjunto de medidas destinadas a recompor a serventia (capacidade de um pavimento para servir ao tráfego com conforto e segurança) do pavimento e a adaptar a rodovia às condições de tráfego atual e futuro, prolongando seu período de vida (DNER/IPR, 1998).

² Conservação: "conjunto de atividades destinadas a assegurar um transporte seguro, econômico e confortável em uma rodovia ou rede de rodovias. [...] A conservação deve evitar a deterioração precoce dos pavimentos e, por conseguinte, a necessidade de serviços de restauração ou reconstrução." (DNER/IPR, 1998).

³ Restauração: conjunto de operações destinadas, fundamentalmente, a aumentar a capacidade estrutural do pavimento a fim de restabelecer suas características originais. (DNER/IPR, 1998).

A constatação quanto à precária situação do patrimônio rodoviário brasileiro, resultou em estudos que estão sendo desenvolvidos pelos órgãos rodoviários para reformular o setor. Espera-se que essa iniciativa resulte na eliminação dos enormes prejuízos causados pela inadequada ou ausente conservação rodoviária, restando, assim, mais recursos para atender às urgentes demandas sociais daqueles setores, incapazes de gerar receita para sua auto-sustentação tais como: saúde e educação (TIZZOT, 1996).

Segundo SCHLISSLER e BULL (1993), um fato que contribui para tal problema se deve ao conceito que muitos têm de “*dimensionamento de pavimentos para um número determinado de anos*”, ou seja, a rodovia ao longo de sua vida de projeto não necessita de conservação, mas somente reconstruí-la ao término do período estipulado. Tal reconstrução⁴ pode equivaler entre 50% e 80% do valor da rodovia completamente nova.

PREUSSLER (1998) complementa mencionando que as rodovias não são estruturas perenes e necessitam de reabilitação/restauração pois, pelo carregamento dinâmico que a elas é imposto, são suscetíveis ao desenvolvimento de deflexões, tensões e deformações de tração instalando-se o processo de fadiga responsável pela degradação do pavimento.

ZIETLOW (1996) afirma que o Brasil perde, anualmente, cerca de 2% a 3% do Produto Interno Bruto (PIB) devido à falta de adequada conservação da malha rodoviária. Tal fato ocorre em função do acréscimo do Custo Operacional dos Veículos (COV) que trafegam nas rodovias esburacadas, como concordam SCHLISSLER e BULL (1993), e dos elevados custos de restauração e reconstrução

⁴ Reconstrução: “*renovação completa da estrutura do pavimento. Pode envolver a remoção parcial ou total da estrutura existente e substituição por materiais novos [...]*” (DNER/IPR, 1998).

de trechos que se deterioraram por falta de conservação. Para PREUSSLER (1998), o COV, em rodovias nestas condições, chega a atingir valores superiores a 38%.

Além disso, ZIETLOW (1996) e PREUSSLER (1998) citam que os prejuízos são maiores quando é considerado o elevado número de acidentes com perdas de vidas (aumento de 50%) e, para TIZZOT (1996), quando exige o dobro do tempo de viagem, causando o encarecimento do custo final dos produtos brasileiros devido ao elevado custo dos transportes e ao aumento do consumo de combustível de até 58%, reduzindo sua competitividade no mercado internacional.

TIZZOT (1996) comenta que os trabalhos realizados pela Comissão Econômica para a América Latina e Caribe (CEPAL) demonstram que o atual sistema de conservação rodoviária exauriu-se e, em decorrência de sua ineficiência e ineficácia, gera enormes prejuízos às nações. Pelo menos um terço da rede rodoviária dos países da América Latina e Caribe (Brasil, Colômbia, Guatemala, Honduras, Nicarágua, Peru e Uruguai) apresenta-se em péssimas condições por falta de conservação.

Por isso, faz-se necessário a adoção de uma política de monitoramento e de prioridades mais eficazes a fim de ajudar na seleção de medidas adequadas para planejar, projetar, construir e manter os pavimentos em condições no mínimo aceitáveis de trafegabilidade, visando a melhor utilização dos recursos disponíveis.

Estas informações levantam a seguinte questão, que serve como motivação para esta pesquisa: *"O fato de se estudar e interpretar o histórico da degradação do pavimento, ao longo de um trecho de rodovia, implica numa significativa contribuição para tomadas de decisão frente a sua restauração e conservação?"*

1.2 – PLANO DA PESQUISA E DELIMITAÇÃO DO ASSUNTO

1.2.1 – Problema da Pesquisa

São questões fundamentais desta pesquisa: [i] *quais são os fatores existentes que levaram a degradação dos trechos analisados?*, e [ii] *que diretrizes podem ser definidas para a base de dados existente, tendo por fundamentação as análises gráficas de defeitos apresentados, os aspectos de avaliação quanto ao módulo de resiliência das diferentes camadas existentes nas estruturas dos pavimentos, os modelos de previsão de desempenho e, conseqüentemente, os comportamentos de seus materiais constituintes?*

1.2.2– Objetivos Gerais

- identificar as causas preponderantes da deterioração da superfície do pavimento, ao longo dos trechos pré-definidos; e
- propor diretrizes ou ações que propiciem otimizar os dados disponíveis a partir de análises gráficas, expeditas (no campo), das curvas de desempenho e de retroanálise (obtenção dos módulos de resiliência das camadas).

1.2.3 – Objetivos Específicos

- apresentar algumas formas concebidas de SGP e em particular as peculiaridades do SGP do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Santa Catarina (DER/SC);
- selecionar a base de dados para análise a partir dos estudos de casos em oito trechos da região sul do Estado de Santa Catarina;
- estimar as curvas de desempenho para as irregularidades superficiais e para os graus de trincamento, por meio dos valores do Quociente de Irregularidade (QI) e dos trincamentos, dos trechos estudados; e

- correlacionar os módulos de resiliência das camadas dos pavimentos com as deflexões das bacias.

1.3 – HIPÓTESES

- se conhecidos os fatores que mais afetam a degradação da superfície do pavimento pode-se obter melhor solução no projeto de restauração;
- se identificadas as causas da deterioração do pavimento pode-se obter diferença significativa em relação às avaliações comumente utilizadas;
- se analisados os fatores de degradação do pavimento pode-se obter uma boa descrição dos trechos inventariados, por intermédio da avaliação dos defeitos ao longo do tempo, e conseqüentemente em uma melhor escolha para as tomadas de decisão, quanto ao tipo de intervenção a adotar; e
- se estudados os módulos de resiliência das camadas dos pavimentos e o desempenho do pavimento pode-se obter elementos que contribuirão significativamente na avaliação estrutural e funcional dos trechos analisados.

1.4 – DELIMITAÇÃO DO TEMA

Procurar-se-á neste trabalho analisar a base de dados existente no SGP do DER/SC, correspondente a oito trechos da malha viária do Estado de Santa Catarina. O quadro 1.1 apresenta um resumo de como o assunto será delimitado.

Todos estes trechos encontram-se na região Sul do Estado de Santa Catarina, os quais apresentam mesmas características estruturais, ou seja, espessuras esbeltas constituídas de revestimentos em CBUQ, base de seixo britado e sub-base de seixo bruto, e semelhança na composição do tráfego por eles suportados, variando de 1.266 a 3.117 veículos médios diários sendo, em média, 25% destes compostos de veículos comerciais.

A figura 1.1 mostra a relação e a localização dos trechos estudados.

1.5 – DESCRIÇÃO SUMÁRIA DOS CAPÍTULOS – ESTRUTURA DO TRABALHO

O segundo capítulo consiste em expor idéias e conceitos dos principais autores e instituições, nacionais e internacionais sobre Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), defeitos de pavimentos, métodos de avaliação de pavimentos, modelos de previsão de desempenho e retroanálises.

Encontra-se no terceiro capítulo, a metodologia adotada para a análise dos dados de defeitos existentes.

No quarto capítulo são apresentados a descrição da malha rodoviária de Santa Catarina, os dados de defeitos disponíveis e também a definição dos respectivos subtrechos de comportamento homogêneo.

São contidos no quinto capítulo análises dos dados de defeitos demonstrando o comportamento estrutural e funcional de cada trecho em estudo. Pela extensão de dados de defeitos encontrados ao longo do período de inventário disponível tornou-se necessária a criação de oito anexos, todos referentes aos oito trechos estudados.

Por fim, reserva-se o sexto capítulo às conclusões obtidas e sugestões para trabalhos futuros.

Quadro 1.1 – Resumo dos principais aspectos de delimitação do assunto

<i>total ou maior enfoque do tema em:</i>	<i>menor ou nenhum enfoque do tema em:</i>
rodovias pavimentadas	rodovias não pavimentadas
proximidade a aglomerados populacionais	proximidade a aglomerados populacionais
<i>trechos rurais</i>	<i>trechos urbanos</i>
função	função
<i>sistemas locais</i>	<i>sistemas arteriais</i>
	<i>sistemas coletores</i>
jurisdição	jurisdição
<i>trechos estaduais</i>	<i>trechos federais</i>
	<i>trechos municipais</i>
	<i>trechos particulares</i>
estrutura do pavimento	estrutura do pavimento
<i>pavimentos flexíveis</i>	<i>pavimentos semi-rígidos e rígidos</i>
materiais constituintes das camadas	materiais constituintes das camadas
▪ <i>revestimento: CBUQ¹</i>	▪ <i>revestimento: CCP², CCR³ e outros</i>
▪ <i>base: seixo britado</i>	▪ <i>base: BG⁴, MC⁵ e outros</i>
▪ <i>sub-base: seixo bruto</i>	▪ <i>sub-base: BG⁴, MC⁵ e outros</i>
▪ <i>sem reforço do subleito</i>	▪ <i>com reforço do subleito</i>
carregamento	carregamento
<i>dinâmico (trechos rodoviários)</i>	<i>estático (paradas de ônibus, pátios e estacionamentos)</i>
Ns ⁶ – ordem de grandeza de tráfego suportado	Ns ⁶ – ordem de grandeza de tráfego suportado
$10^6 \leq Ns \leq 5 \times 10^6$	$Ns < 10^6$
	$Ns > 5 \times 10^6$
faixa etária (FE _t) dos pavimentos	faixa etária (FE _t) dos pavimentos
$11 \text{ anos} \leq FE_t \leq 19 \text{ anos}$	$FE_t < 11 \text{ anos}$
<i>idade média = 16 anos</i>	$FE_t > 19 \text{ anos}$
localização	localização
<i>quanto a região do Estado</i>	<i>quanto a região do Estado</i>
▪ <i>região sul de Santa Catarina</i>	▪ <i>demais regiões de Santa Catarina e do País</i>
<i>quanto a Categoria Geológica das Rochas:</i>	<i>quanto a Categoria Geológica das Rochas:</i>
▪ <i>rochas gonduânicas (sedimentares)</i>	▪ <i>rochas de embasamento e</i>
	▪ <i>rochas gonduânicas (vulcânicas)</i>
programas de retroanálise	programas de retroanálise
<i>RETRAN-2CL (Albernaz, 1997)</i>	<i>KENLAYER</i>
<i>ELSYM-5 (FHA, 1986)</i>	<i>ECOROUTE e outros</i>
¹ CBUQ = Concreto Betuminoso Usinado a Quente	⁴ BG = Brita Graduada
² CCP = Concreto de Cimento Portland	⁵ MC = Macadames (Seco, Hidráulico e Betuminoso)
³ CCR = Concreto Compactado a Rolo	⁶ N = Número equivalente de eixos padrão de 8,2t (18000lbs)

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – IMPORTÂNCIA E ESTRUTURA DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Para ressaltar a importância do planejamento e da implantação de um SGP deve-se, primeiramente, conceituá-lo.

Na bibliografia disponível, nota-se que o conceito de SGP diferencia-se pouco entre os autores. Compilando-se este material¹, pode-se dizer que SGP é um conjunto de ferramentas ou métodos que auxilia os tomadores de decisão a racionalizar decisões administrativas, com eficiência e eficácia, na procura da estratégia ótima, baseada em procedimentos racionais claramente estabelecidos que envolvem um tratamento coordenado de todas as atividades, incluindo planejamento ou programação de investimentos, dimensionamento, construção, manutenção, avaliação periódica, pesquisa e treinamento em engenharia de pavimentos, visando a conservação do pavimento numa condição adequada de uso por um determinado período de tempo.

Segundo CARDOSO (1998), *“o conceito de SGP teve sua origem no final da década de 60 e no início dos anos 70. Desde então, sucessivas melhorias foram*

¹ AASHTO (1993), CHEN *et al.* (1993), DNER (1983), QUEIROZ *et al.* (1992), HAAS *et al.* (1994), MARCON (1996); MAJIDZADEH *et al.* (1990); ULLIDTZ (1987).

introduzidas nos SGP". CARDOSO (1998) destaca que modernamente os SGP podem ser considerados como parte integrante de um sistema mais amplo o Sistema de Gerência de Infra-Estrutura ou de Rodovias, "totalmente vinculados a um GIS (Geographic Information System). Com isto, pode-se trazer à tela de um computador, não só qualquer elemento da estrada, como saber, exatamente, onde o mesmo se localiza, obtendo-se em segundos, todo seu histórico, condições atuais e as previsões para o futuro".

A proposta, segundo NOVAK e KUO (1992), é que o SGP *"analise corretamente os problemas e forneça ferramentas completas e de alta qualidade de análise e processamento de dados de gerenciamento de políticas essenciais para a tomada racional de decisões"*. Além disso, um SGP deve ser atualizado, considerar estratégias alternativas, basear decisões sobre atributos, critérios e restrições quantificáveis e usar retroalimentação da informação com respeito às conseqüências das decisões tomadas (QUEIROZ *et al.*, 1992).

O DER/SC (1997), particularmente, considera que *"um SGP, operando plenamente, permitirá a otimização dos custos de manutenção das rodovias e uma adequada elaboração de programas anuais e plurianuais otimizados para os diversos tipos de intervenções na malha rodoviária"*.

O enfoque sistêmico na gerência de pavimentos, de acordo com CARDOSO (1998), é *"indispensável para que o estado presente e a estimativa da evolução futura das condições dos pavimentos possam ser considerados no desencadeamento de procedimentos, para avaliação das opções de reparos, recapeamentos ou reabilitações, levando-se em conta, tanto as restrições orçamentárias e econômicas, como as necessidades da sociedade"*.

2.2 – OBJETIVOS DE UM SGP

De acordo com DNER (1983), *“um SGP tem como objetivo a otimização de investimentos em pavimentação. Um sistema como esse pode, também, influenciar ou direcionar o estabelecimento de estruturas administrativas eficientes, nos órgãos públicos responsáveis pelo gerenciamento dos fundos públicos envolvidos”* e a análise econômica de diversas alternativas de dimensionamento do pavimento pode servir de base principal, na escolha da melhor alternativa. No entanto, existem outros fatores a serem considerados que, em muitos casos, são igualmente essenciais na análise como, por exemplo:

- o comportamento geral de pavimentos semelhantes numa região e a experiência adquirida sobre os mesmos;
- os pavimentos existentes nas vizinhanças;
- as considerações sobre o projeto geométrico de pavimentos em nível ou em desnível;
- o sistema rodoviário em questão;
- as possibilidades de reciclagem;
- os métodos de construção;
- os riscos possíveis de disponibilidade de créditos para os futuros recapeamentos no momento desejado;
- as condições de manutenção previstas;
- o clima;
- os solos e as características de tráfego; e
- a segurança.

“De qualquer modo, todos estes fatores demonstram que um julgamento sólido é necessário para se optar por uma solução e que uma análise econômica é, de fato, apenas um dos principais fatores implicados” (DNER, 1983).

A primeira etapa de um SGP sugerida pelo DNER (1983) é a de planejamento ou programação do sistema, onde são desenvolvidas pesquisas sobre a demanda de tráfego e a avaliação das deficiências existentes. Após feita esta avaliação, passa-se, então, para a etapa de dimensionamento do pavimento. Em seguida, parte-se para a construção do pavimento e para a manutenção. Por fim, aplica-se a avaliação periódica da capacidade estrutural que é a retroalimentação do sistema implantado ou a implantar.

O guia da AASHTO (1993), indica que um SGP consiste de 3 módulos principais: a base de dados, o método de análise e a reavaliação do processo. Isto implica, de acordo com NOVAK e KUO (1992), que o método de análise de um SGP é uma parte integrante do processo de desenvolvimento dos programas de manutenção, reabilitação e reconstrução dos órgãos rodoviários.

Observando-se as duas concepções de estruturas de um SGP (AASHTO e DNER), nota-se que a diferença existente é a fase de implantação a qual elas estão planejadas.

No caso do DNER, a implantação do SGP possui uma conotação estratégica, uma vez que prevê uma estrutura desde o planejamento até a fase de avaliação do sistema implantado, enquanto que, no caso da estrutura da AASHTO, a conotação dada é mais operacional, uma vez que o método de análise (módulo 2), prevê três situações (Análises da condição do pavimento, Modelos de avaliação de prioridades e Modelos de otimização da rede), onde o sistema já foi implantado, dando assim, uma idéia de manutenção do sistema existente.

De acordo com QUEIROZ *et al.* (1992), a experiência sugere que os principais fatores na implantação e aperfeiçoamento do SGP são: fase

inicial, planejamento da pré-implantação e gerenciamento de suporte. Para o Brasil, estas atividades também são cruciais para a disseminação das técnicas do SGP para as autoridades rodoviárias. A figura 2.1 mostra os principais estágios que, geralmente, são seguidos no Brasil no desenvolvimento e implantação de um SGP.

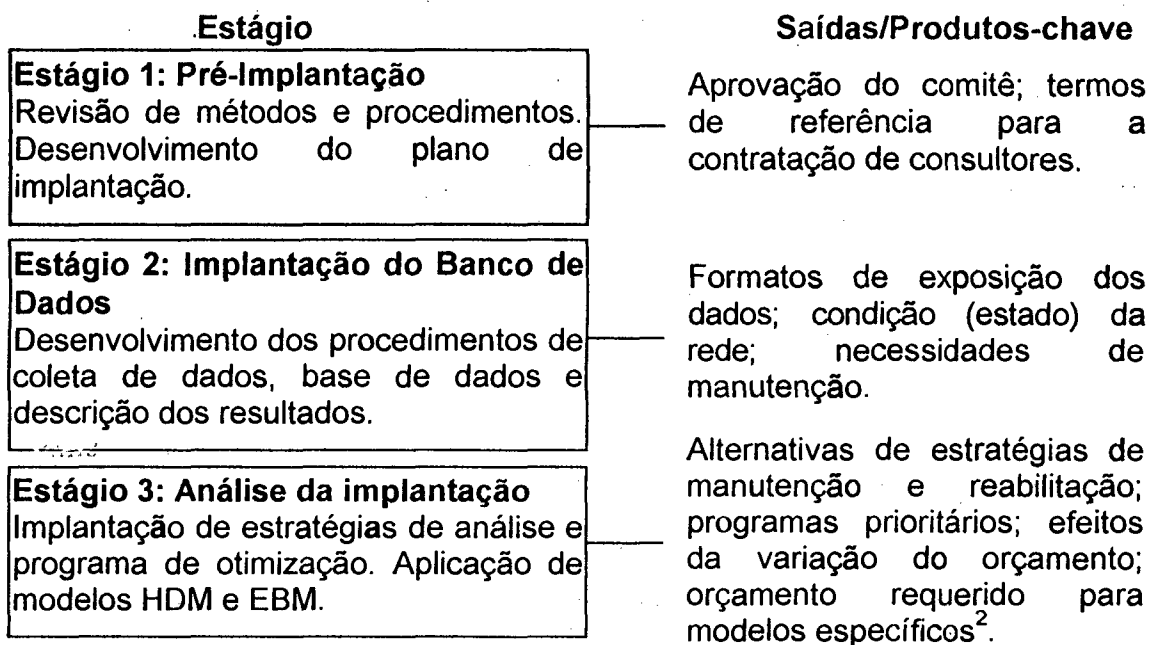


Figura 2.1 - Principais estágios no desenvolvimento e implantação de um SGP

Fonte: QUEIROZ *et al.* (1992)

2.3 ATUAÇÕES DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Um SGP pode atuar em nível de rede e em nível de projeto. A seguir são apresentadas as duas atuações de um SGP.

2.3.1 – Em Nível de Rede

No SGP atuando em rede são focadas as decisões administrativas que afetam um sistema de estradas, ou seja, *“as decisões são tomadas para um grande número de projetos ou para uma rede inteira de rodovias”* (MARCON,

² HDM (*Highway Design and Maintenance*) e EBM (*Expenditure Budgeting Model*) programas para aplicação rodoviária.

1996). CARDOSO (1998) destaca que o SGP atuando em rede *“permite que as necessidades de manutenção e reabilitação dos pavimentos sejam ordenadas, hierarquizadas e priorizadas, de acordo com critérios técnico-econômicos e políticos”* e diz respeito, portanto, a administradores, legisladores e políticos, além do corpo técnico de engenharia da instituição.

Considerando as necessidades da rede como um todo, um SGP fornece uma comparação entre benefícios e custos de programas alternativos de manutenção, reabilitação ou reconstrução, durante um determinado período de análise, apontando o de menor custo total ou o de maior rentabilidade a partir de determinada quantia de recursos (AASHTO, 1993).

De acordo com HAAS *et al.* (1994-a), normalmente é no SGP atuando em rede que são desenvolvidos programas genéricos, ou seja, que se preocupam com toda a rede de rodovias de um município, estado ou país. Por ter caráter abrangente, o suporte computacional é relativamente simples (SMITH e FALLAHA, 1992), sendo necessário apenas computadores pessoais para gerenciar os dados, uma vez que trabalha com um sistema apenas, o que unifica os dados das rodovias constituintes da rede.

2.3.2 – Em Nível de Projeto

No SGP atuando em projeto as decisões são tomadas para projetos específicos ou mesmo para parte destes, ou seja, para trechos de pavimentos. Para GRIVAS e SCHULTZ (1993), *“um dos principais objetivos da gerência de pavimentos atuando em projeto é gerar uma lista que prioriza as necessidades anuais do pavimento. Tal avaliação é baseada em condições e facilita a coerência no planejamento, programação e na alocação de*

recursos". Complementando, a AASHTO (1993) destaca que considerações detalhadas são tomadas como alternativas de atividades de projeto, construção, manutenção ou reabilitação para uma seção de rodovia ou projeto dentro de um programa global.

SMITH e FALLAHA (1992) consideram que em um sistema atuando em projeto são requeridas mais análises detalhadas, uma vez que cada rodovia é analisada profundamente, o que freqüentemente requer teste físico de materiais e, em consequência, grandes quantidades de análises necessitam de um bom suporte computacional.

Para CARDOSO (1998), esta parte da gerência diz mais respeito a técnicos, pois trata da geração de alternativas, estratégias de manutenção, reabilitação e recuperação em geral. Considera ainda que *"o elenco de opções selecionadas dentro de cada projeto passará a fazer parte do SGP atuando em rede"*.

Para que a implantação de um sistema eficiente e econômico torne-se possível, segundo SOUZA e FORATO (1992), *"comparam-se investimentos alternativos em um mesmo trecho de rodovia (atuação em projeto) e entre vários trechos (atuação em rede), coordenando-se as atividades"*.

2.4 – SUBSISTEMAS QUE COMPÕEM UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

A estrutura detalhada de um SGP depende da organização do departamento dentro do qual ela será implantada. Para o Brasil, segundo QUEIROZ *et al.* (1992), os seguintes subsistemas foram considerados como importantes:

2.4.1 – Subsistema de Informação

Inclui dados sobre a extensão da rodovia, tipo de pavimento, irregularidade, defeitos, adequação estrutural, tráfego e custos. Um procedimento simples e realista para a coleta periódica de dados sobre a rede rodoviária está baseado em uma técnica de amostragem, escolhido como o mais adequado às necessidades e capacidades do órgão rodoviário.

2.4.2 – Subsistema de Estratégia de Manutenção

Deve estar apto para simular as condições do ciclo de vida e dos custos totais para alternativas de manutenção (e eventualmente, projeto) de múltiplas rodovias que compõem a rede. Este subsistema deve também auxiliar na determinação das necessidades atuais e futuras (i.e., aqueles segmentos na rede que alcançaram ou devem alcançar seu nível de intervenção imediata ou limite aceitável), dependendo do critério especificado.

2.4.3 – Subsistema de Otimização

Descreve a tomada de decisão a ser adotada sempre que as necessidades excedem os recursos disponíveis (situação comum em países em desenvolvimento).

2.4.4 – Subsistema de Descrição

Deve estar apto a fornecer informação sobre o estado atual da rede pavimentada, programas prioritários de reabilitação, reconstrução e manutenção e efeitos de diferentes índices orçamentários sobre estes programas e sobre o estado da rede.

Conhecendo-se o conceito e a estrutura geral de um SGP, pode-se destacar a importância do desenvolvimento e da adoção de um sistema como este para os setores econômico e social de um país.

Um SGP analisa alternativas de programas financeiros, tornando possível identificar o programa que trará maior benefício dentro do período de análise considerado, além de permitir a seleção de alternativas de custo-benefício tanto para reconstrução e restauração quanto para conservação.

Estas características tornam-se importantes quando se consideram as crises econômicas e sociais mundiais, que têm provocado uma redução considerável nos investimentos nas áreas de infra-estrutura. De acordo com DER/SC (1997), em função dessas restrições financeiras, tem-se observado uma redução no ritmo de crescimento da rede rodoviária e um aumento nas atividades de conservação devido às seguintes razões:

- a necessidade de preservar os investimentos já feitos na rede;
- a necessidade de reduzir os custos de intervenção na rede;
- a manutenção dos custos de operação de veículos em valores aceitáveis; e
- a melhoria do conforto e da segurança dos usuários.

Outro aspecto importante de um SGP, segundo CHEN *et al.* (1993), é que o sistema apresenta-se como ferramenta para auxiliar engenheiros e tomadores de decisão, dando caráter objetivo à análise da situação do pavimento, ao contrário das situações subjetivas normalmente existentes.

2.5 – Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC

2.5.1 – Características Institucionais do DER/SC

O Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina (DER/SC) é uma autarquia vinculada à Secretaria de Estado dos Transportes e Obras.

As tarefas desenvolvidas no interior do Estado são coordenadas e/ou fiscalizadas por 22 distritos rodoviários. Com a estrutura organizacional implantada a partir de janeiro de 1995, o DER/SC passou a contar com uma Gerência de Pavimentos, vinculada à Diretoria de Estudos e Projetos. Esta gerência é a responsável pela implantação e operacionalização de um Sistema de Gerência de Pavimentos para o DER/SC (MARCON, 1996).

O SGP possibilita ao corpo técnico do DER/SC, tomar decisões com base em estratégias devidamente avaliadas e otimizadas e em intervenções na malha adequadamente priorizadas. As tomadas de decisões com base nestes instrumentos de trabalho devem permitir a elaboração de programas anuais e plurianuais para as intervenções de manutenção, tendo em conta as eventuais restrições financeiras (que normalmente ocorrem) na conjuntura econômica.

Apresenta-se a seguir uma descrição, de forma geral, do SGP que se encontra implantado no DER/SC, objetivando com isso informar os diferentes subsistemas que o constituem, como funcionam e a interação existente entre eles (MARCON, 1996).

2.5.2 – Estrutura Básica do Sistema

O SGP do DER/SC, particularmente, foi desenvolvido para funcionar com base em 4 subsistemas fundamentais:

- subsistema de informação;
- subsistema de avaliação das estratégias;
- subsistema de programação; e
- subsistema de acompanhamento.

2.5.2.1 – Subsistema de Informação

É constituído por um banco de dados denominado VISAGE, desenvolvido na França, especialmente para funcionar com dados rodoviários. Ele engloba todos os dados necessários para caracterizar a malha rodoviária e, conseqüentemente, para servir de base à operação do SGP.

Todos os dados são localizados em relação ao sistema de referenciamento adotado que, no caso da rede de SC, é constituído por marcos quilométricos implantados ao longo de cada rodovia. É importante ressaltar que, para efeito da caracterização da rede, a unidade elementar de extensão (segmento unitário) é de 200 metros.

2.5.2.2 – Subsistema de Definição e Avaliação das Estratégias

Em função das políticas de conservação do DER/SC, são definidas as várias estratégias compostas por uma ou diversas intervenções para aplicação, com determinada freqüência, às diferentes categorias e classes de tráfego em que se dividiu a rede rodoviária.

A avaliação dessas estratégias de manutenção, a serem aplicadas ao conjunto de segmentos homogêneos das rodovias, é feita por meio do programa HDM-III. O uso deste programa foi adotado pelos seguintes motivos principais: [i] os modelos de deterioração são os mais adequados por terem sido determinados, principalmente, com dados coletados no Brasil; e [ii] enquanto não se dispôr de modelos de desempenho próprios, é possível, com base nos primeiros dados coletados, fazer ajustes (calibração) que permitam obter resultados mais precisos.

A otimização das estratégias é realizada por meio do programa EBM, que utiliza os dados processados pelo programa HDM-III.

2.5.2.3 – Subsistema de Programação

Funciona com base nos dados que caracterizam os segmentos unitários armazenados no banco de dados VISAGE e nos resultados da avaliação das estratégias aplicadas aos subtrechos homogêneos em que a malha rodoviária foi dividida. O princípio de funcionamento do subsistema proposto para a programação consiste em uma análise de parâmetros com base em indicadores elementares, considerando para cada um:

- um índice de alerta: que indica que a rodovia deve ser colocada sob controle e deve ser objeto de uma programação a curto prazo; e
- um índice de intervenção: que significa a necessidade de se proceder imediatamente à execução de trabalhos de manutenção leve ou pesada, conforme o tipo de intervenção a adotar.

Quando se ultrapassa o nível de alerta deve-se, de imediato, propor auscultações e levantamentos mais completos sobre a seção considerada, a fim de se determinar mais precisamente o tipo de

intervenção a ser adotado em função dos parâmetros relacionados com a qualidade de uso (conforto e segurança do usuário) ou de preservação do patrimônio, que são os objetivos da manutenção.

2.5.2.4 – Subsistema de Acompanhamento

Tem como objetivo a qualificação do estado de conservação da malha rodoviária, permitindo fazer o acompanhamento da evolução do comportamento dos pavimentos em função das políticas de intervenção estabelecidas para a rede. Este subsistema permite:

- medir o impacto da estratégia de manutenção em relação ao serviço oferecido ao usuário e em relação ao aspecto patrimonial, permitindo deste modo a valorização das simulações;
- perceber os efeitos de eventuais alterações orçamentárias; e
- fornecer elementos de negociação para justificar os orçamentos solicitados.

Este subsistema funciona a partir de uma série de 3 índices que são estabelecidos em função da agregação de diferentes indicadores (defeitos, irregularidade, deflexão etc.) que traduzem, o melhor possível, o estado de conservação do pavimento e contribuem para tomadas de decisões.

Os índices permitem estabelecer cinco conceitos que vão de péssimo a excelente, passando pelos estados intermediários, de forma a caracterizar bem a rede. O índice de qualidade para o usuário (IQU) é função da irregularidade, da aderência pneu-pavimento e dos defeitos de superfície, enquanto o índice de qualidade do patrimônio (IQP), por sua vez, é função do trincamento, da deflexão e da irregularidade. Com

base nos índices IQU e IQP é determinado o Índice de Qualidade Global (IQG).

2.5.3 – Funcionamento do Sistema

Com base nos quatro subsistemas descritos, desenvolveu-se uma série de operações que levam todo o SGP a operar na malha rodoviária, caracterizando-se em relação ao seu estado de conservação, prevendo as intervenções ótimas e programando-se de acordo com as prioridades mais aconselháveis para a conservação da rede considerada.

2.6 – METODOLOGIAS DE TRATAMENTO DAS BASES DE DADOS

MARCON (1996) define a base de dados como sendo o conjunto de elementos e informações relativos à malha viária de uma instituição federal, estadual ou municipal. Normalmente, quando se tem um conjunto de base de dados, integrado por um sistema computacional mais complexo, o mesmo passa a se chamar banco de dados.

Um banco de dados proporciona um meio eficiente para retroalimentação das várias fases de um SGP, serve para integrar as fases desse sistema e melhora a qualidade das decisões administrativas. Para que isso aconteça, alguns fatores deverão ser obrigatoriamente considerados, tais como:

- o público-alvo, ou seja, os usuários atuais e futuros dos bancos de dados;
- as funções básicas do banco de dados;
- as etapas básicas do seu desenvolvimento e de sua implantação;
- o armazenamento e a entrada de dados;
- a necessidade de processamento dos dados; e
- a recuperação e o uso dos dados.

O objetivo principal de uma base de dados é o fornecimento de informações solicitadas pelos usuários, de modo particular, à administração do órgão. A base de dados deve ser multifinalitária. Por isso, é ideal que as informações sejam compreensíveis, confiáveis, de fácil obtenção e de baixo custo (MARCON,1996).

A seleção do conjunto de dados a serem armazenados pode começar pela verificação de quais variáveis são julgadas mais importantes para o SGP implantado, tendo em vista os objetivos a que este foi proposto. Segundo HAAS *et al.* (1994-a) as principais classes de dados de pavimento são as seguintes:

- desempenho: irregularidade, defeitos de superfície, atrito, deflectometria e propriedades dos materiais das camadas;
- história: construção, manutenção, tráfego e de acidentes;
- custos: construção, manutenção, reabilitação e dos usuários;
- política: orçamento e alternativas disponíveis;
- geometria: dimensões da seção, curvas, inclinações transversal e longitudinal e degraus acostamento/meio-fio;
- meio ambiente: drenagem e clima.

Normalmente, os dados de uma rede de pavimentos são levantados por diferentes setores da instituição como: planejamento, projeto, construção e manutenção. Isto obriga a adoção de metodologia sistemática e acessível para a organização, a aquisição e o registro dos dados. Para isto a identificação espacial e temporal dos dados se faz necessária por meio de um referenciamento único.

A qualidade dos dados armazenados é uma meta importante a ser atingida, e pode ser avaliada com relação aos seguintes fatores (HAAS *et al.*, 1994-a):

- integridade: dois dados que representam o mesmo fato devem ser iguais em todo o banco de dados;
- acurácia: os valores das variáveis devem representar o mais próximo possível a situação real, no tempo e na localização;
- validade: os valores devem ser corretos, obedecendo a testes lógicos e de limites;
- segurança: três itens estão envolvidos: [i] acesso apropriado à base de dados; [ii] controle das mudanças dos dados e [iii] precaução na perda permanente dos dados; e
- documentação: os dados de campo devem ser devidamente documentados quanto ao significado, unidade de medida, formato, fonte, uso, relações e condições de seguridade.

2.6.1 – Exemplos de Base de Dados

2.6.1.1 – Sistema ADOT

Segundo ZANIEWSKI *et al.* (1990), o Departamento de Transportes do Arizona (ADOT) foi um dos primeiros departamentos de transportes a desenvolver um SGP formal. HAAS *et al.* (1994-a) afirmam que o SGP do ADOT começou em 1969, após a aquisição de um equipamento Dynaflect, sendo que este departamento armazena dados históricos do desempenho de pavimentos desde 1972.

A base de dados é gerida por um computador de grande porte que serve como armazenador de dados, permitindo a constituição de séries históricas, necessárias para avaliações das condições da rede e no desenvolvimento de modelos de desempenho; e por microcomputadores, para operações diárias do grupo de gerência, que administra o banco de dados, composto das seguintes bases:

- desempenho do pavimento: contém o registro do pavimento a cada quilômetro em rodovias de pista dupla. Há 90 campos de dados que podem ser classificados como informação de localização, dados de tráfego, dados de desempenho, custo de manutenção e dados de projeto;
- histórico de construção: contém dados importantes de cada projeto de construção ou reabilitação executado pelo ADOT. Estão inclusos: relatórios de execução de obras (*"as built"*), registros da construção e arquivos da contabilidade destes projetos. Os campos contêm dados do número do projeto, o número da rodovia, quilômetro de início e fim dos trechos, mês e ano de construção, tipo das camadas e estrutura do pavimento. Como as pesquisas geralmente se concentram em trechos das rodovias, foi criado um arquivo-índice por quilômetros;
- bacias de deflexão: contém as deflexões medidas por um Dynaflect e por um *"Falling Weight Deflectometer"* (FWD) Dynaflect 8.000. A localização das medidas é feita por frações de milha, faixa, direção e data (HAAS *et al.*, 1994-a).

2.6.1.2 – Base de Dados do DNER

Como descreve MARCON (1996), no início de 1990, o DNER possuía um conjunto de arquivos com dados obtidos de levantamentos executados em 1987, 1988 e 1989, que eram utilizados como dados de entrada de programas para avaliação de pavimentos, visando o planejamento da manutenção das rodovias federais. As informações armazenadas referiam-se à história, estrutura, geometria, deflexões, profundidade de trilha de roda e tráfego. Nesta mesma época, o DNER contratou a concepção, desenvolvimento e implantação de um SGP para a rede de rodovias federais. A base de dados criada possui as seguintes características principais:

- os dados principais armazenados foram: dados cadastrais (largura da pista, acostamento, etc), deflexões, estruturas dos pavimentos, irregularidade, identificação dos trechos, estado da superfície e tráfego;
- os arquivos em Dbase e ORACLE foram criados para facilitar o intercâmbio com outros programas. Além disto, foi feita a transposição para planilhas eletrônicas EXCEL 4.0 que facilitam a apresentação dos resultados em forma de gráficos e valores estatísticos como: média, desvio padrão, distribuição de frequência, etc;
- o equipamento utilizado para instalação e processamento do sistema foi: computador IBC PC AT 386 com processador, com 8 Mb de memória RAM e 100 Mb de memória no disco rígido;
- as saídas do sistema eram em forma de relatórios, gráficos e mapas digitalizados que representam características ou condições da rede; e
- o sistema contava ainda com glossário das variáveis utilizadas e um programa para depuração de dados.

2.7 – MODELOS DE DESEMPENHO

Segundo HAAS *et al.* (1994-a), os modelos de desempenho possibilitam a previsão da evolução dos parâmetros de deterioração ou de serventia³ em função do tempo ou das solicitações do tráfego.

As metodologias usualmente desenvolvidas para avaliação do comportamento e/ou desempenho dos pavimentos rodoviários são amplas e se propõem a fornecer os subsídios necessários à adequada concepção (natureza e tipo) das medidas corretivas que, eventualmente,

³ Serventia: capacidade de um pavimento para servir ao tráfego com conforto e segurança.

se imponham e à definição de suas respectivas magnitudes (GONTIJO *et al.*, 1994-a).

Ainda segundo GONTIJO *et al.* (1994-a), normalmente, as medidas corretivas necessárias enquadram-se no espectro definido entre as operações de conservação e o reforço estrutural ou a reconstrução parcial ou total do pavimento existente. No caso de avaliações, apresentam-se primeiramente as características funcionais (degradação superficial e de deformação em perfil). São elas que, predominantemente, determinam a necessidade de se promover a recuperação dos pavimentos e que traduzem as condições de conforto e de segurança do usuário.

Como elementos complementares e indissociáveis de análise, apresentam-se as características estruturais e de durabilidade. A consideração destas características permite detectar as causas mais prováveis das manifestações de ruína do pavimento e, conseqüentemente, definir a magnitude das operações necessárias à sua restauração.

Os requisitos para qualquer modelo de previsão, de acordo com DARTER citado por MARCON (1996), são:

- base de dados adequada;
- inclusão de todas as variáveis significativas que afetam a deterioração;
- seleção cuidadosa da forma funcional do modelo para representar a situação física e real; e
- critérios para determinar a precisão do modelo.

No caso dos modelos de previsão, estes podem ser agrupados em quatro tipos básicos para fins operacionais (HAAS *et al.*, 1994-a), como segue:

- puramente mecânicos: são baseados em parâmetros de resposta primária como tensão, deformação e deflexão;
- empírico-mecânicos: estes modelos utilizam parâmetros básicos de respostas relacionados com a deterioração funcional ou estrutural, por meio de equações de regressão;
- regressão: neste tipo de modelo, variáveis dependentes relativas à deterioração funcional ou estrutural medida ou observada são relacionadas a uma ou mais variáveis independentes, como capacidade de suporte do subleito, número de aplicações de carga, espessuras e propriedades das camadas, fatores ambientais e suas interações; e
- subjetivos: para o desenvolvimento destes modelos utiliza-se a experiência dos engenheiros de pavimentos, que é coletada e estruturada para este fim.

SARAF e MAJIDZADEH (1992) consideram que os modelos de previsão cumprem um papel importante, pois eles ajudam os engenheiros rodoviários no prognóstico do desempenho do pavimento tratado com ações de manutenção e restauração, que satisfaçam suas restrições de orçamento e desempenho.

Os modelos de previsão apresentam normalmente erros nas estimativas das datas para execução de serviços de manutenção ou de reabilitação. Estes erros costumam ser menores quando o pavimento se aproxima da vida final e maiores quando os pavimentos estão no início da vida útil. Por este motivo, os modelos devem ser periodicamente atualizados e as

previsões devem ser restritas a períodos em que se tenha um razoável grau de confiabilidade (HAAS *et al.*, 1994-a).

CARDOSO e CUNHA (1993) mencionam que *“as principais variáveis que devem ser monitoradas, em se tratando de rodovias, são as irregularidades superficiais, algum índice que indique a ‘condição do pavimento’ [...]”*.

CARDOSO e CUNHA (1993) apresentam, neste trabalho, uma metodologia para estimativas aproximadas das curvas de desempenho de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) sobre as lajes de concreto da ponte Rio-Niterói em termos de Índice de Gravidade Global (IGG), Valor da Serventia Atual (VSA) e Quociente de Irregularidade (QI) após os 19 anos de seu uso. Estas curvas são expressas *“em relação ao tempo (número de anos) em vez de número de solicitações de eixos padrões, pois estes são, assim, considerados de forma indireta [...]”*.

2.8 – DEFEITOS DE PAVIMENTO

Os pavimentos, com o decorrer de seu período de vida útil, sofrem interferência em sua estrutura e funcionamento por fatores que podem ser externos, tais como tráfego e clima, e por fatores internos, como limitações ou deficiências dos processos construtivos e características físicas dos materiais. A interação destes fatores resulta no surgimento de patologias de variadas gravidades, denominadas defeitos do pavimento.

O estado patológico do revestimento de um pavimento, definido pela auscultação dos defeitos, é denominado de condição do revestimento desse pavimento e constitui-se como peça fundamental para qualquer

SGP, pois fornece informações adequadas ao projeto de reabilitação, permitindo a seleção de alternativas corretas (DOMINGUES, 1993).

Para que estes defeitos possam ser caracterizados e tratados em programas de restauração/reabilitação de pavimentos, *“existem metodologias para executar os levantamentos das condições funcionais e estruturais dos pavimentos, que são baseadas nas medições da presença do defeito”* (MARCON *et al.*, 1995).

De acordo com MARCON (1996), *“a presença de um defeito de superfície num pavimento precisa ser descrita e caracterizada de forma adequada para que o engenheiro possa tomar decisões sobre a estratégia de manutenção a adotar, de forma eficaz e econômica”*. A caracterização de um defeito é obtida por meio de três requisitos principais:

- tipo: identificação de defeito, procurando classificá-lo pelo mecanismo causador;
- severidade: anotação da progressão de defeito a fim de determinar o grau de deterioração; e
- densidade: avaliação da extensão relativa de área do pavimento atingida por cada defeito e a respectiva severidade.

São inúmeros e variados os problemas que afetam os pavimentos. Cada problema apresenta um certo número de causas prováveis e, para cada uma, pode existir mais de um método de reabilitação. Conforme o problema e sua causa, a reabilitação pode ser relativamente simples e barata, ou pode implicar em reabilitação total, compreendendo o projeto e a colocação de uma nova camada de material. Para tanto, faz-se necessário identificar o mecanismo do defeito, ou seja, o agente causador da patologia presente.

2.8.1 – Classes de Defeitos

Segundo DOMINGUES (1993), os defeitos em pavimentos podem ser diferenciados por duas classes:

- Classe Funcional: trata-se de defeitos associados às qualidades de conforto e segurança no rolamento; e
- Classe Estrutural: trata-se de defeitos associados ao desempenho da estrutura do pavimento quanto a suportar a carga de projeto.

DOMINGUES (1993) complementa citando que *“os pavimentos com defeitos estruturais apresentarão, também, defeitos funcionais enquanto que os pavimentos funcionalmente defeituosos [...] podem estar estruturalmente corretos”*.

Para HAAS *et al.* (1994-a), a avaliação funcional de uma rodovia é voltada ao desempenho dos pavimentos como uma superfície de rolamento do veículo, principal preocupação dos usuários. Por outro lado, a avaliação estrutural, baseada em análises, é de grande interesse para os engenheiros.

2.8.2 – Tipos de Defeitos

Em consulta bibliográfica, MARCON (1996) estabeleceu uma relação de tipos de defeitos avaliados em pavimentos com revestimento asfálticos. Nesse trabalho, esta relação foi acrescida de alguns conceitos destes defeitos, retirados de DOMINGUES (1993); BALBO (1997) e DNER (1998).

No Brasil, foram normatizadas, pelo DNER, terminologias de tipos de defeitos, a DNER-TER 001/78 – Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos.

Os defeitos mais comuns encontrados em pavimentos flexíveis brasileiros são:

- Fissura: fenda capilar encontrada no revestimento, perceptível a uma distância inferior a 1,5m a olho nu. Segundo DOMINGUES (1993), a classe não é definida para este defeito;
- Trinca: fenda encontrada no revestimento com abertura superior à da fissura podendo apresentar-se interligada ou isoladamente. Esta trinca pode se encontrar de vários tipos: “couro de jacaré”; bloco; reflexão; escorregamento (parabólica); longitudinal; transversal e interligadas. Classe Estrutural e/ou Funcional (dependendo do tipo e severidade);
- Afundamento: deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada ou não de solevamento. Classe Estrutural e/ou Funcional (dependendo da severidade);
- Corrugação (“costela de vaca” / ondulação): defeito caracterizado por ondulações transversais ao longo da superfície, de caráter plástico e permanente. Classe Funcional;
- Empolamento: defeito caracterizado por um inchaço na superfície do pavimento, apresentado em pequena área ou como uma onda longa e gradual, podendo ser acompanhado por trincas. Classe Funcional e Estrutural;
- Desgaste (agregado polido): efeito do desalojamento progressivo do agregado do pavimento caracterizado pela aspereza superficial. É um defeito caracterizado pela situação onde os agregados são aparentes. Classe Funcional;

- Exsudação: excesso de material betuminoso na superfície do pavimento, criando um brilho vítreo. Este defeito compromete seriamente a aderência do revestimento aos pneumáticos. Classe Funcional;
- Panela: cavidade que se forma no revestimento provocada pela desagregação das camadas. Classe Funcional;
- Remendo: porção do revestimento onde o material original foi removido e substituído por outro material (similar ou diferente). Classe Funcional e Estrutural; e
- Erosão de borda (trinca de borda): fenda surgida na borda do pavimento e caracteriza-se por ser longitudinal acompanhada por erosão. Classe Funcional e Estrutural.

CARDOSO *et al.* (1993) classificam os tipos de defeitos em pavimentos flexíveis como causa a carga/tráfego, meio ambiente/material e outros. Esta classificação encontra-se no quadro 2.1 adaptado para este trabalho.

Considerando-se separadamente ou em grupos, para os tipos de defeitos em pavimentos asfálticos poderão ser adotadas medidas corretivas que envolvam desde a recuperação parcial ou total do revestimento e/ou de toda a estrutura do pavimento.

Para definir qual a medida mais correta, faz-se necessário conhecer os métodos de avaliação dos defeitos existentes. Os métodos utilizados pelo SGP do DER/SC são brevemente descritos a seguir.

2.9 – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DOS DEFEITOS DE PAVIMENTOS

A condição de deterioração da rede de rodovias pavimentadas e os limitados recursos disponíveis para reabilitação destas rodovias em

países em desenvolvimento, reforçam a necessidade de uma abordagem mais racional para selecionar prioridades de intervenção sobre a rede. Como resultado, alguns países em desenvolvimento têm estabelecido o SGP para melhor gerenciar seus patrimônios em infra-estrutura viária (QUEIROZ *et al.*, 1992).

A importância de um método de medição evidencia-se, segundo DOMINGUES (1993), quando da necessidade de se obter informações (técnicas e/ou estruturais) da deterioração do revestimento. Portanto, conclui DOMINGUES (1993), é preciso que o método utilizado para o levantamento dos danos existentes, permita a identificação de cada defeito ocorrente no subtrecho considerado, com a determinação dos tipos, das classes, das severidades, das magnitudes e das localizações dos defeitos. A magnitude de cada defeito do pavimento deve ser medida de maneira correta e expressa em unidades convenientes.

Quadro 2.1 - Relação dos defeitos em pavimentos flexíveis causados por: carga/tráfego, meio ambiente/material e outros

<i>causa</i>	<i>tipo de defeito</i>
carga/tráfego	trinca tipo "couro de jacaré" remendo desgaste afundamento de trilha de roda trinca de escorregamento (trincas parabólicas)
meio ambiente/material	defeito de exsudação trinca tipo bloco corrugação ("costela de vaca"/ondulação) trinca de reflexão trinca longitudinal e transversal
outros	ação por contaminação de agentes solventes (óleos, combustíveis, etc.)

Fonte: CARDOSO *et al.* (1993)

A avaliação dos defeitos de um pavimento pode ser executada de duas formas: manual e por equipamento. O levantamento manual consiste em auscultar a malha rodoviária por meio do registro em planilhas

(analógicas ou eletrônicas), preenchidas com as observações de um avaliador, que deve possuir conhecimentos técnicos sobre a aplicação de conceitos, definições e processos de medição, e que pode percorrer o trajeto considerado a pé ou em veículo em baixa velocidade, para permitir o registro das ocorrências observadas. O levantamento utilizando equipamentos consiste basicamente na aquisição de imagens (fotográficas ou não), que registram os defeitos da pista de rolamento e que terão sua avaliação feita por meio de equipamentos especialmente projetados para tal fim (MARCON, 1996 e MARCON *et al.*, 1995).

Em relação ao levantamento manual de dados, de acordo com MARCON (1996), constata-se que a ocorrência de erros de consideração de cada avaliador e a discrepância de resultados entre avaliadores é fato constatado em todas as aplicações dos métodos existentes. Na consideração deste assunto, é importante a análise de alguns tópicos gerais tais como:

- qualidade dos dados depende de fatores como:
 - precisão: relaciona-se aos erros cometidos nas medidas;
 - repetitividade: diz respeito à capacidade de um mesmo avaliador obter resultados idênticos repetindo várias vezes uma medida; e
 - reprodutibilidade: diz respeito à capacidade de diferentes avaliadores obterem o mesmo resultado.
- erros cometidos pelos avaliadores e cujas causas são próprias da subjetividade dos indivíduos.

A seguir são descritos alguns procedimentos e especificações que estabelecem como a medição dos defeitos pode ser realizada.

2.9.1 – DNER-PRO 08/94

Este procedimento foi desenvolvido pelo engenheiro Armando Martins Pereira, no qual é estabelecida uma metodologia para a quantificação numérica dos defeitos. Nesta metodologia, os resultados obtidos por meio de um inventário das condições superficiais possibilitam o cálculo das frequências absoluta e relativa de ocorrência individual de cada tipo de defeito detectado, o cálculo de um índice de gravidade (ou serventia) individual (IGI) estabelecido em função do peso ou da “responsabilidade” do defeito considerado e, por fim, o cálculo de um índice de gravidade (ou serventia) global (IGG), correspondente à soma dos índices individuais, tradutor da severidade dos defeitos verificados, ou seja, da serventia do pavimento existente (PEREIRA, 1976); (DNER, 1994-a); (GONTIJO *et al.*, 1994-a) e (MEDINA, 1997).

As características mais importantes do DNER-PRO 08/94, segundo MARCON (1996) são:

- a avaliação da superfície é feita por amostragem. O levantamento é feito a pé;
- os tipos e severidade dos defeitos são registrados manualmente em uma planilha sem a avaliação da extensão; e
- o índice de degradação calculado é denominado Índice de Gravidade Global (IGG).

MEDINA (1997) cita que de acordo este procedimento, em decorrência da distância tomada para as superfícies amostrais (de 40 em 40m em cada faixa de tráfego), atinge-se a um percentual de cobertura da superfície do pavimento de 15%.

2.9.2 – DNER-ES 128/83

Esta especificação de serviço proposta pelo IPR/DNER, consiste na medição das dimensões dos defeitos permitindo o cálculo das porcentagens de trincamento e de desgaste. No que se relaciona ao levantamento da condição de superfície, refere-se ao caso específico de avaliação de segmentos-testemunha. (GONTIJO *et al.*, 1994-a).

As características principais da especificação DNER-ES 128/83 são:

- a avaliação da superfície é feita por amostragem;
- os tipos, as severidades e as extensões dos defeitos são registrados em uma planilha; e
- o levantamento é feito a pé.

Neste procedimento, o percentual de cobertura da superfície do pavimento compreende na faixa de 1,8% (para subtrechos homogêneos de 20km – extensão máxima definida para cada subtrecho) até 12% (para subtrechos homogêneos de 0,3km – extensão mínima definida para cada subtrecho).

2.9.3 – VIZIR

De acordo com AUTRET e BROUSSE (1992), o método de avaliação de estruturas (ou de rodovias) por sistema computadorizado (VIZIR), deriva da experiência da agência técnica francesa SETRA e do LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*) no diagnóstico de pavimentos e avaliação de redes.

O VIZIR começou como um meio de reconhecimento de defeitos pela relação de sua extensão e severidade. O registro do defeito no pavimento, manual até 1988, foi substituído pelo “*hardware*” DESY do LCPC. Ele é complementado no

DESY, por um “*software*” que avalia o Índice de Superfície (Is), sobre uma escala de 1 (pavimento bom) até 7 (péssimo).

Os defeitos classificados pelo método VIZIR são divididos em duas categorias:

- Defeito Tipo A: caracterizam a capacidade estrutural do pavimento, afetando todas as camadas e subleito ou somente o revestimento. Este defeito pode ser de quatro tipos: deformação; afundamento de trilha de roda; trincamento e trinca de tipo “couro de jacaré”;
- Defeito Tipo B: estes tipos de defeitos conduzem a reparos que geralmente não estão ligados à capacidade estrutural dos pavimentos. Eles podem ser causados ou pela área defeituosa ou pela qualidade deficiente da estrutura, ou por alguma condição local, possivelmente agravada pelo tráfego. Este tipo de defeito inclui: trincamento não ligado à fadiga (trinca longitudinal, trinca por retração etc.), panelas e arrancamentos.

Estes defeitos são levantados por um operador que percorre a extensão do trecho em análise e registra, para qualquer ocorrência:

- seu tipo;
- sua severidade; e
- sua extensão, isto é, o comprimento da rodovia afetada ou, apropriadamente, a área.

As características mais importantes do VIZIR para MARCON (1996) são:

- a avaliação é feita de forma contínua, manualmente ou por meio do aparelho DESY 2000;
- o avaliador pode deslocar-se a pé ou com veículo trafegando a uma velocidade de 20km/h;

- os tipos, severidades e extensões dos defeitos são registrados;
- o método é aplicável a pavimentos flexíveis betuminosos; e
- os índices de fissuração (If), de deformação (Id) e o índice global de degradação (Igd) são calculados. Nos cálculos dos índices, o pavimento é seccionado em segmentos de 500m para gerência de rede e de 200m para de projeto.

2.9.4 – Avaliação Estrutural do Pavimento

Os métodos de avaliação são classificados em destrutivos e não-destrutivos. Os métodos destrutivos implicam na remoção de partes das camadas do pavimento para avaliação das suas características e condições “*in loco*” e extração de amostras para ensaios de laboratório. Os métodos não-destrutivos permitem inferir as condições estruturais sem danificar o pavimento, mediante ensaios executados na superfície do revestimento, em que se avalia a resposta do pavimento a uma carga (MARCON, 1996).

2.9.4.1 – Ensaio Destrutivos

Os métodos destrutivos são assim denominados porque invalidam, para futuros testes, as áreas do pavimento de onde foram retiradas como amostras. A retirada da amostra é feita por meio de abertura de trincheiras que permitem verificar: as espessuras das camadas, as condições dos materiais, as eventuais deformações das camadas, os tipos de materiais, as condições de umidade etc. (MARCON, 1996).

MACÊDO (1996), ressalta que os ensaios destrutivos, apresentam como principais inconvenientes na reprodução do estado de tensões e condições ambientais para análise das camadas estruturais do pavimento, a retirada de amostras em um pavimento em serviço, que é

um procedimento trabalhoso, o fato de não se conseguir simular exatamente as condições de campo (estado de tensões, índice de vazios etc.), conseqüentemente não refletindo em sua plenitude o desempenho do material em campo.

Os ensaios destrutivos incluem a determinação em laboratório de índice de caracterização (CBR, LL, LP), propriedades físicas (granulometria, densidade, umidade) ou propriedades fundamentais aos procedimentos mecânicos (módulo de resiliência, resistência à tração ou compressão, comportamento em fadiga e deformação permanente sob cargas repetidas).

São exemplos de ensaios destrutivos: ensaio triaxial e compressão diametral (MEDINA,1997).

São abordados como análise para este trabalho apenas ensaios realizados não-destrutivamente.

2.9.4.2 – Ensaios Não Destrutivos

Os ensaios não destrutivos consistem na investigação estrutural do comportamento dos materiais e seus componentes de modo que sejam examinados sem sua modificação ou sua destruição, possibilitando posterior avaliação no mesmo ponto.

Segundo MACÊDO (1996), os ensaios não destrutivos apresentam as seguintes vantagens:

- as interrupções no tráfego são reduzidas, permitindo maior flexibilidade para avaliação quantitativa da condição estrutural do pavimento em qualquer estágio de sua vida de serviço;

- o retorno no mesmo ponto a cada avaliação é possível, pois as medições são realizadas “*in situ*”, obtendo a resposta real ou imaginária do pavimento ao carregamento aplicado, sem submeter os materiais aos distúrbios causados pela retirada de amostras; e
- as propriedades representam o comportamento médio dos materiais em uma área considerável.

Segundo CARDOSO (1992), a necessidade de bons métodos de avaliação não-destrutivos de pavimentos promoveu o desenvolvimento de diferentes tipos de equipamentos para ensaios deflectométricos, visando atender as seguintes questões:

- aumentar a acurácia das medidas;
- aumentar a produtividade em termos de número de ensaios por dia de trabalho;
- simular, de forma mais real possível, as condições de carregamento do tráfego (magnitude, forma e tempo equivalente de carregamento);
- obter formas simples de operação e interpretação dos resultados; e
- procurar reduzir o custo dos ensaios.

WITCZAK (1989), abordando as vantagens e limitações de ensaios deflectométricos, destaca as aplicações para estes ensaios executados com equipamentos mais modernos associados a técnicas apropriadas. Nestas se incluem:

- o delineamento e análise de seções homogêneas, levando em consideração a distribuição estatística das propriedades em campo;
- a variabilidade e confiabilidade nos projetos;
- a caracterização dos materiais “*in situ*”, conseqüentemente, mede a resposta real do pavimento ao carregamento aplicado;

- a capacidade estrutural e previsão da vida dos pavimentos;
- os efeitos sazonais e anuais ao ambiente;
- o papel das deflexões nos sistemas de gerência de pavimentos; e
- o controle de qualidade no campo, comparando-se os módulos de resiliência obtidos para as camadas com os valores requeridos em projeto.

RODRIGUES *et al.* (1996) mencionam que os ensaios não-destrutivos geralmente são mais utilizados que os destrutivos. Porém, às vezes torna-se necessário a coleta e ensaio (em laboratório) de amostras das camadas do pavimento e do subleito para a identificação da verdadeira causa da sua deterioração.

2.9.5 – Viga Benkelman

Nos anos 50, A. C. Benkelman experimentou nas pistas da WASHO sua viga que permitia medir a deflexão da superfície do pavimento entre as rodas duplas de um caminhão. Naquela época foi considerado um instrumento avançado devido a sua economia, agilidade e facilidade de operação (CARNEIRO, 1966).

MOTTA *et al.* (1995) comentam que há muito tempo no Brasil é utilizado este aparelho no estudo do comportamento da estrutura dos pavimentos. Segundo MEDINA os estudos da deflectometria Benkelman nas estruturas de pavimentos brasileiros iniciaram-se nos anos 60.

ALBERNAZ (1997) cita que o desenvolvimento da aplicação da viga Benkelman foi dado pelos engenheiros da CGRA - *Canadian Good Roads Associations* que elaboraram o procedimento de ensaio. A norma DNER ME-24/78 baseou-se neste procedimento.

CARNEIRO (1966) descreve que a viga Benkelman é constituída de uma haste delgada de alumínio ou madeira com articulação intermediária, cuja relação entre os comprimentos dos braços é conhecida. O braço maior tem na extremidade uma ponta de prova que é posicionada entre os dois pneus de um eixo traseiro de caminhão de rodas duplas, cujo peso é padronizado. O braço menor aciona um extensômetro que registra a movimentação vertical da ponta de prova apoiada sobre o pavimento.

Existe uma versão automatizada da viga que foi implementada para aumentar a velocidade de operação. Para isso, o instrumento foi instalado no próprio caminhão de carga (HAAS *et al.*, 1994-a).

No Brasil, a metodologia definida para utilização da viga Benkelman foi normatizada pelo DNER, dispondo-se atualmente dos seguintes métodos de ensaio: DNER-ME 024/94 – Pavimento – Determinação das Deflexões pela Viga Benkelman (DNER, 1994-b) e DNER-ME 061/94 – Pavimento – Delineamento da Linha de Influência Longitudinal da Bacia de Deformação por Intermédio da Viga Benkelman (DNER, 1994-c), e também do procedimento para calibração do equipamento DNER-PRO 175/94 – Aferição de Viga Benkelman (DNER, 1994-d).

2.9.6 – “Falling Weight Deflectometer” (FWD)

O “Falling Weight Deflectometer” FWD é um equipamento que permite a avaliação da capacidade estrutural do pavimento por intermédio da medição de deslocamentos na superfície provocados por uma carga de impacto (HAAS *et al.*, 1994-a) e (GONTIJO e GUIMARÃES, 1996).

Os deslocamentos (deformações) são medidos por vários geofones (transdutores), dispostos ao longo de uma barra metálica de sustentação, um dos quais sob a placa de carga e os outros em pontos afastados dela. Por meio de um programa apropriado, obtém-se o conjunto de deslocamentos (bacias de deflexão) da estrutura analisada para utilização em modelos mecânicos de análise estrutural e projeto de reforço.

HAAS *et al.* (1994-a) citam que a maneira de caracterizar o seu impacto é pelo período de impulso, definido pelo tempo que o pulso de carga leva do repouso ao valor de pico da carga aplicada e retorna à posição original de repouso.

No Brasil, a metodologia definida para utilização do FWD foi normatizada pelo DNER, dispondo-se atualmente do procedimento DNER-PRO 273/96 - Determinação de Deflexões Utilizando Deflectômetro de Impacto Tipo "*Falling Weight Deflectometer*" (FWD).

2.9.6.1 – FWD Dynatest

O FWD Dynatest é um deflectômetro de impacto desenvolvido na Dinamarca e aperfeiçoado nos EUA. São produzidos o modelo 8000 para cargas que variam de 7 a 120kN e o modelo 800 para cargas de 30 a 85kN (HAAS *et al.*, 1994-a).

O pulso de carga é gerado pela queda de um conjunto de massas metálicas sobre um sistema de colchões amortecedores de borracha que transmite a carga ao pavimento por meio de uma placa com 300mm de diâmetro, apoiada sobre uma membrana de borracha. Ambas podem inclinar-se em até seis graus em relação a horizontal para facilitar sua conformação à superfície do pavimento. Uma configuração de massa

juntamente com um conjunto de amortecedores adequadamente projetados são importantes para a forma e duração do pulso de carga decorrente do impacto.

2.9.6.2 – FWD Kuab

O FWD Kuab é um equipamento de fabricação sueca e utiliza um princípio de operação semelhante ao FWD da Dynatest.

Segundo MARCON (1996), são fabricados o modelo 50 para cargas de 12 a 50kN e o modelo 150 para cargas de 12 a 150kN. As deflexões máximas são medidas por sismômetros. A carga é aplicada por um sistema de duas massas, que permite uma maior duração do pulso, representando melhor o tempo de aplicação da carga de roda de um caminhão. A placa de aplicação da carga é segmentada para melhorar o contato com a superfície do pavimento.

Assim como no FWD da Dynatest, acompanham o equipamento placas de carga com 300mm.

As deflexões são obtidas por sete acelerômetros (mas podem ser utilizados até nove) sendo um deles instalado na placa de carga e os restantes a distâncias variáveis numa barra metálica com 1,80 m de comprimento.

2.9.7 – Correlações entre Deflexões Recuperáveis Obtidas com “*Falling Weight Deflectometer*” e com Viga Benkelman

DUARTE *et al.* (1996) e DNER (1998) estabeleceram correlações entre as deflexões obtidas com a viga Benkelman (D_{VBK}) e com as deformações obtidas

com o FWD (D_{FWD}). Estas correlações são definidas por meio das equações 2.1, 2.2 e 2.3.

- para as deflexões $D_{FWD} \leq 19 \times 10^{-2} \text{mm}$

$$D_{VBK} = D_{FWD} \quad (\text{equação 2.1})$$

- para deflexões $19 \times 10^{-2} \text{mm} < D_{FWD} < 85 \times 10^{-2} \text{mm}$

$$D_{VBK} = 20,645 \times (D_{FWD} - 19)^{0,351} \rightarrow R^2 = 0,952 \quad (\text{equação 2.2})$$

- para as deflexões $D_{FWD} > 85 \times 10^{-2} \text{mm}$

$$D_{VBK} = 8,964 \times (D_{FWD} - 60)^{0,715} \rightarrow R^2 = 0,933 \quad (\text{equação 2.3})$$

DUARTE *et al.* (1996) concluem mencionando que as deflexões obtidas com o FWD podem ser utilizadas desde que sejam convertidas para as deflexões obtidas com a viga Benkelman, tendo em vista que para os procedimentos do DNER de reforço de pavimentos flexíveis foram utilizadas estas determinações.

2.10 – IRREGULARIDADE

A irregularidade trata-se de um desvio da superfície da rodovia em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via (DNER, 1986); (DNER, 1994-e); (DNER, 1994-f) e (DNER, 1994-g).

2.10.1 – Quociente de Irregularidade

O Quociente de Irregularidade (QI), é definido em GONTIJO *et al.* (1994-a), como sendo o quociente entre a soma dos deslocamentos medidos e a extensão do trecho considerado. GONTIJO *et al.* (1994-a) comentam ainda que no Brasil, tem sido aplicado com maior frequência os “sistemas medidores de irregularidade do tipo resposta - SMITR”, principalmente aquele representado pelo Integrador de Irregularidade IPR/USP.

As medições são processadas continuamente a velocidades padronizadas de 30, 50 ou 80km/h e, normalmente, são efetuadas leituras a cada segmento de 320 m, podendo ser também avaliados segmentos com outras extensões, principalmente submúltiplos dessa extensão padrão. As leituras feitas no Integrador IPR/USP precisam ser convertidas em QI, expressos em contagens/km (BALBO, 1997).

Uma vez calculados os QI, torna-se conveniente determinar o parâmetro denominado IRI (*"International Roughness Index"*), expresso em m/km (GONTIJO *et al.*, 1994-a). A equação 2.4 define esta correlação.

$$QI = 13 \times IRI \quad (\text{equação 2.4})$$

2.10.2 – Índice Internacional de Irregularidade

SAYERS e KARAMIHAS (1996), definem o IRI como uma escala de defeitos baseada na resposta de um veículo genérico aos defeitos da superfície de uma estrada. Seu valor verdadeiro é determinado pela medida convenientemente exata do perfil da estrada, processando esta medida por um algoritmo que simula o modo como um veículo-referência responderia aos defeitos.

O IRI resume as propriedades dos defeitos e elas são necessárias quando a medida é destinada a relatar dados como: custo geral de operação de veículos, qualidade geral de tráfego, carga dinâmica da roda e condições gerais da superfície de rolamento, por exemplo.

Em 1982, o Banco Mundial iniciou um experimento no Brasil para estabelecer a correlação e uma calibração padrão para medidas de

defeitos. No procedimento dos dados, ficou claro que quase todos os instrumentos de medição de defeitos em uso no mundo foram capazes de realizar medidas em alguma escala, se esta escala fosse convenientemente selecionada. Alguns métodos foram testados e a calibração (em polegadas/milhas) foi estabelecida como a mais adequada para definir uma escala mundial.

Dessa forma, de acordo com GILLESPIE (1992), o IRI tornou-se a escala padrão cuja informação de irregularidade da rodovia é utilizada nos Estados Unidos e em alguns países do mundo. Os procedimentos para determinar o IRI são bem desenvolvidos e confiáveis, ainda que muitos usuários ignorem a história de seu desenvolvimento e as importâncias físicas destas medidas.

Os resultados dos esforços para a identificação de uma escala padrão (IRI), levou aos seguintes fatores de consideração:

- o índice deve ser relacionado à vibração de veículos motores, muitos índices de irregularidade estavam direta ou indiretamente ligados ao desempenho do veículo;
- a escala deve estar matematicamente relacionada ao perfil de estrada com o objetivo de ser estável no tempo;
- o índice deve ser mensurável por uma ampla variedade de "hardware" (isto é, comprimento e nível, perfilômetros etc.); e
- o índice deve ser transferível (isto é, procedimentos e necessidades de "hardware" devem ser definidos de modo que ele possa ser reproduzido por todo o mundo).

A figura 2.2 apresenta a escala para várias condições de QI e de IRI.

Os métodos normatizados pelo DNER para promover as calibrações dos medidores são o DNER-PRO 164/94 - Calibração e Controle de Sistemas Medidores da Irregularidade de Superfície de Pavimentos (DNER, 1994-e) e o DNER-ES 173/86 - Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta (DNER, 1986).

No Brasil, as metodologias definidas para utilização de SMITR foram normatizadas pelo DNER, dispondo-se atualmente dos seguintes procedimentos: DNER-PRO 182/94 - Medição de Irregularidade de Superfície de Rodovias com Medidores Tipo Resposta (DNER, 1994-f) e DNER-PRO 229/94 - Manutenção de Sistemas Medidores de Irregularidade (DNER, 1994-g).

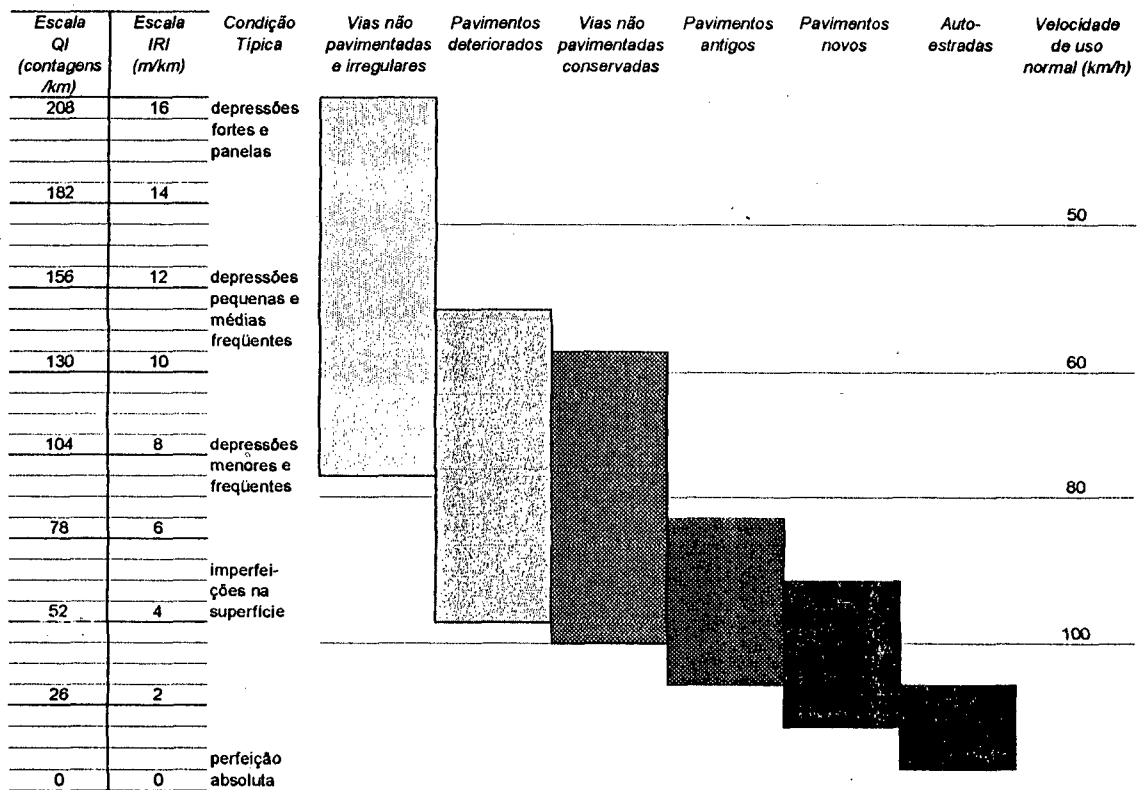


Figura 2.2 - Escala de QI (contagens/km) e IRI (m/km) para várias condições de pavimentos

Fonte: SAYERS et al. (1986)

2.11 – PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE RESTAURAÇÃO

Segundo MEDINA (1997), os procedimentos de dimensionamento de reforço de pavimento para restauração utilizados no Brasil são divididos em duas formas de tratamentos:

- métodos empíricos de dimensionamento de reforços; e
- método da resiliência.

2.11.1 – Métodos Empíricos de Dimensionamento de Reforços

Os dois primeiros procedimentos apresentados a seguir, tanto PRO-10/79 (DNER, 1979-a) como PRO-11/79 (DNER, 1979-b), estão baseados nas fases de vida de uma estrutura viária.

As diferentes fases citadas a seguir são em número de três e estão ilustradas na figura 2.3.

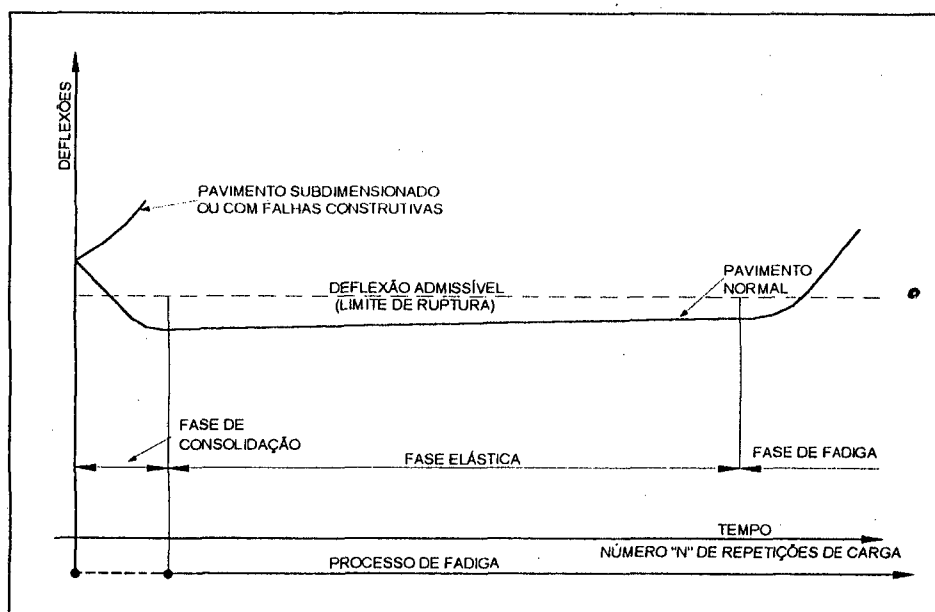


Figura 2.3 - Diferentes fases da vida da estrutura do pavimento

Fontes: DNER (1979-a) e DNER (1979-b)

- fase de consolidação: fase durante a qual as camadas do pavimento sofrem uma compactação suplementar devida ao tráfego. Durante este período, uma pequena parte da deflexão medida é constituída por uma deformação permanente. A duração desta fase depende do tráfego atuante, natureza dos materiais constituintes das camadas e do clima;
- fase elástica: fase durante a qual a estrutura adquire suas características ótimas de funcionamento. A deflexão após ter passado pelo mínimo correspondente ao término da fase de consolidação, cresce lentamente sendo que os materiais constituintes da estrutura perdem, pouco a pouco, a capacidade de distribuição de cargas principalmente pela fadiga; e
- fase de fadiga: fase durante a qual a estrutura do pavimento apresenta-se em processo generalizado de fadiga (trincas tipo “couro de jacaré”). Nesta, necessita-se de medidas preventivas urgentes, caso contrário observa-se grande aceleração na deterioração e cada defeito dá origem a outro.

Também os estudos de inventário de defeitos da superfície do pavimento, sondagens, definição dos subtrechos homogêneos, deflexão de projeto, deflexão característica e seus respectivos tratamentos estatísticos são iguais, para os dois métodos: DNER-PRO 10/79 - Procedimento A e DNER-PRO 11/79 - Procedimento B.

As principais diferenças de concepção dos procedimentos encontram-se nos itens a seguir.

2.11.1.1 – DNER-PRO 10/79 – Procedimento A

Este procedimento é baseado no método da antiga *California Division Highway* (CDH) a atual *California Department of Transportation* (Caltrans) e adaptado pelo engenheiro Armando Martins Pereira (MEDINA, 1997).

2.11.1.1.1 – Dados de Entrada

Alguns critérios para o estabelecimento das diretrizes de projeto são definidos a partir de subtrechos homogêneos pré-definidos. São eles:

- Índice de Gravidade Global (IGG);
- média das flechas nas trilhas de roda;
- deflexão de projeto referida a uma carga de eixo de 6,8tf;
- deflexão admissível pelo pavimento existente referida à carga de eixo de 6,8tf;
- número “N” calculado para o período de projeto (N_p);
- índice de tráfego correspondente ao período de projeto (IT_p); e
- porcentagens de trincas tipo FC-01, FC-02 e FC-03.

2.11.1.1.2 – Processamento e Dados de Saída

Com base nos dados anteriormente citados obtêm-se o Índice de Fissuração (IF) e indica-se em que condição de fissuração encontra-se o subtrecho homogêneo analisado com base em critérios de densidades de trincas FC-03 e conjunto de trincas FC-02 + FC-03 pré-determinados.

Em função das condições definidas de IF e densidades de trincas, várias possibilidades de tratamento de dados são apresentadas a fim de converter “as espessuras dos diferentes materiais das camadas do pavimento em valores equivalentes de pedregulho (gravel equivalent) de modo que o cálculo do reforço leve em conta a espessura virtual de material granular” (MEDINA, 1997).

2.11.1.2 – DNER-PRO 11/79 – Procedimento B

Este procedimento é baseado no método de Ruiz⁴ e adaptado pelo engenheiro Francisco Bolivar Lobo Carneiro (MEDINA, 1997).

2.11.1.2.1 – Dados de Entrada

Alguns parâmetros para o estabelecimento das diretrizes de projeto são definidos a partir de subtrechos homogêneos pré-definidos. São eles:

- Índice de Gravidade Global (IGG);
- deflexão de projeto referida a uma carga de eixo padrão de 8,2tf;
- raio de curvatura (RC);
- deflexão admissível pelo pavimento existente referida à carga de eixo padrão de 8,2tf; e
- número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2tf, por meio dos fatores de equivalência de veículos do DNER.

2.11.1.2.2 – Processamento e Dados de Saída

Por meio dos dados anteriormente mencionados e a partir dos critérios de avaliação estrutural pré-definidos neste procedimento deduz-se a qualidade da estrutura do pavimento.

Em função da qualidade estrutural do pavimento, a espessura de seu reforço pode ser calculada pelo critério deflectométrico e/ou pelo de resistência.

⁴ Segundo MEDINA (1997) o dimensionamento do reforço pelo PRO-11/79 tem como base a fórmula de RUIZ:

$$h = \left(\frac{R_d}{0,434} \right) \cdot \log_{10} \left(\frac{D_0}{D_h} \right);$$

onde: h – espessura do reforço (cm); D_0 – deflexão antes do reforço (10^{-2} mm);
 D_h – deflexão após o reforço (10^{-2} mm) e R_d – fator de redução de deflexões.

2.11.1.3 – DNER-PRO 159/85

2.11.1.3.1 – Dados de Entrada

Para cada subtrecho homogêneo pré-definido analisam-se certos aspectos. São eles:

- porcentagens de trincas tipo FC-02 e FC-03;
- porcentagens de desgastes;
- deflexão recuperável;
- Índice de Suporte Califórnia (ISC);
- módulo de resiliência;
- número estrutural corrigido (SNC); e
- número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2tf (N_p), por meio dos fatores de equivalência de veículos da AASHTO.

2.11.1.3.2 – Processamento e Dados de Saída

Com estes parâmetros utiliza-se as curvas de desempenho para a previsão da evolução futura dos defeitos e define-se qual a melhor alternativa de reforço, seja em concreto betuminoso, tratamento superficial ou em lama asfáltica.

2.11.2 – Método da Resiliência

2.11.2.1 – DNER-PRO 269/94 – TECNAPAV

Este procedimento é baseado no estudo desenvolvido por PREUSSLER e PINTO (1982).

2.11.2.1.1 – Dados de Entrada

Para cada subtrecho homogêneo pré-definido analisam-se certos aspectos. São eles:

- porcentagens de trincas tipo FC-02 e FC-03;
- espessura do pavimento existente;
- deflexão característica;
- Índice de Suporte Califórnia (ISC);
- porcentagem de silte contida nos solos;
- classificação dos solos (Grupos: I, II e III);
- espessura da camada granular (H_{cg}); e
- número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2tf (N).

2.11.2.1.2 – Processamento e Dados de Saída

Por meio destes dados define-se a estrutura efetiva e a partir do critério de fadiga, que indica a deflexão máxima admissível do subtrecho em estudo, obtém-se a espessura de reforço em concreto asfáltico.

2.12 – PROGRAMAS DE RETROANÁLISE – ELSYM-5 E RETRAN-2CL

2.12.1 – Retroanálise

A retroanálise é o procedimento que, a partir da forma e da intensidade da deformação recuperável (bacia de deformação), possibilita a obtenção dos módulos de elasticidade das camadas do pavimento e do subleito, "in situ", causadas por um carregamento externo.

A retroanálise permite a obtenção dos módulos de resiliência das camadas do pavimento e do subleito, a partir de modelagens matemáticas que servem de subsídios para o projeto estrutural, de tal forma que o sistema pavimento-

subleito trabalhe em índices compatíveis de tensão e deformação com relação à resistência característica de cada material constituinte do sistema e, também, de reforço estrutural de pavimentos, a fim de que uma camada trabalhe harmoniosamente com a outra.

2.12.2 – Coeficiente de Poisson (μ)

Segundo ULLIDTZ (1977); MAHLER e TRICHÊS (1983) e MEDINA (1997) o coeficiente de Poisson (μ) é a razão da deformação específica radial (na direção ortogonal ao eixo de aplicação da carga) (ε_r) e a deformação axial recuperável (ε_a) gerado em cada uma das camadas do pavimento. O coeficiente de Poisson (μ) é definido pela equação 2.5:

$$\mu = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_a} \quad (\text{equação 2.5})$$

Alguns autores como HICKS e MCHATTIE (1982); UDDIN *et al.* (1985) apud CARVALHO *et al.* (1996); GONTIJO e GUIMARÃES (1996) e MEDINA (1997) apresentam valores de coeficientes de Poisson para diferentes materiais quando não são disponíveis ensaios de laboratório. Estes valores encontram-se no quadro 2.2 (adaptado).

2.12.3 – Módulo de Elasticidade (E)

MOTTA (1993) e ALBERNAZ (1997) definem módulo de elasticidade (E) de um material como sendo a relação entre tensões (σ) e deformações (ε) para um dado número de aplicações de carga. O módulo de elasticidade é definido pela equação 2.6:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{equação 2.6})$$

ALBERNAZ (1997) complementa que o módulo de resiliência pode ser estimado de duas maneiras:

- por meio de ensaios triaxiais dinâmicos (solos) ou compressão diametral (materiais cimentados e misturas asfálticas), em laboratórios; e
- por meio de programas de retroanálise, analiticamente.

Quadro 2.2 – Valores de coeficientes de Poisson recomendados para diferentes materiais do pavimento

μ		HICKS e MCHATTIE (1982)	UDDIN et al. (1985)	GONTIJO e GUIMARÃES (1996)	MEDINA (1997)
camada (materiais)					
concreto de cimento portland (CCP)		-	0,15-0,20	0,15	0,15
revestimento (CBUQ)		0,30	0,25-0,35	0,30-0,35	0,25
base tratada com cimento		0,35	0,20-0,30	0,20	-
base (material granular)		0,40	0,20-0,50	0,35	0,35
subleito	granular	0,30-0,50	0,45	0,35	-
	arginoso/siltoso	0,40-0,50		0,45	0,45

2.12.4 – Faixas de Módulos de Resiliência – “Módulos Sementes”

CARDOSO (1995) apresenta resultados de módulos de resiliência de diversos tipos de materiais das camadas do pavimento e subleito obtidos por retroanálises durante sete anos. CARDOSO (1995) conclui seu trabalho apresentando um quadro (quadro 2.3) com sugestões de grandezas de módulos de resiliência (valor máximo, médio e mínimo) para uso prático.

Quadro 2.3 – Faixas de “módulos sementes” sugeridas

camada	média (kgf/cm ²)	mínimo (kgf/cm ²)	Máximo (kgf/cm ²)
revestimentos	29.000	11.300	58.200
bases (*)	2.700	1.000	7.300
sub-bases	1.500	700	3.000
reforços de subleito	1.200	300	3.000
subleitos	1.500	800	2.700

(*) Exceto bases cimentadas

Fonte: CARDOSO (1995)

2.12.5 – ELSYM-5

O ELSYM-5 é um programa desenvolvido pela *Federal Highway Administration* (FHWA) que admite que a estrutura do pavimento “se comporta de uma maneira idealmente elástica de acordo com a Lei de Hooke” e idealizado tridimensionalmente (FHWA, 1986).

O programa é baseado na solução de BURMISTER, ampliada para cinco camadas, e considera as camadas do pavimento como sendo homogêneas, isotrópicas e horizontalmente finitas, sendo o subleito um meio semi-infinito (MEDINA, 1997) e (FHWA, 1986).

A FHWA (1986) e MEDINA (1997) citam que este programa relaciona várias componentes (tensão, deflexão e deformação) nas posições de análise no pavimento especificadas pelo usuário, onde o número de pontos observados chega a cem (combinando dez pares em dez profundidades) e o número de cargas a dez.

2.12.5.1 – Dados de Entrada

Segundo a FHWA (1986), os dados de entrada requeridos para o ELSYM-5 são divididos em três categorias como segue:

- dados das propriedades das camadas;
- dados do carregamento; e
- dados das coordenadas avaliadas.

2.12.5.1.1 – Dados das Propriedades das Camadas

Cada pavimento analisado pelo ELSYM-5 pode ser composto de até cinco camadas. As três propriedades requeridas para cada camada são: [i] a

espessura; [ii] o coeficiente de Poisson; e [iii] o módulo de resiliência. Ao fixar em zero a espessura do subleito esta camada assume comprimento semi-infinito.

2.12.5.1.2 – Dados do Carregamento

Simula-se o pavimento com uma série de até dez cargas circulares uniformes aplicadas normal à superfície do pavimento. As cargas são definidas por quaisquer duas das três características a seguir: [i] carga; [ii] pressão da carga ou [iii] raio. O programa calcula a terceira baseada nos dois outros dados de entrada. A posição da carga é definida pelas coordenadas X e Y da superfície do pavimento.

2.12.5.1.3 – Dados das Coordenadas Avaliadas

O programa avalia as componentes (tensão, deflexão e deformação) onde são avaliadas todas as combinações das coordenadas XY e profundidades Z determinadas pelo usuário.

2.12.5.2 – Principais Limitações do Programa

A FHWA (1986) cita uma série de limitações do programa ELSYM-5, as principais são:

- o coeficiente de Poisson (μ) não deve exceder o valor de $\mu = 1,0$;
- o número de camadas analisadas não deve exceder a cinco;
- o número de cargas para análise deve ser de no máximo dez;
- o número de pontos observados não deve ultrapassar a cem (combinados dez pares em dez profundidades); e
- os valores devem ser positivos, com exceção das coordenadas XY.

2.12.6 – RETRAN-2CL

O RETRAN - 2 CL (RETRoANálise - 2 Camadas Lineares) é um programa que efetua a retroanálise dos módulos de resiliência da estrutura do pavimento pelo método de NOURELDIN (1993), por meio das equações genéricas obtidas por ALBERNAZ *et al.*, (1996).

O programa desenvolvido por ALBERNAZ (1997) é baseado na hipótese de que o pavimento pode ser representado por um sistema de duas camadas constituintes. A primeira como sendo propriamente a camada do pavimento (revestimento + base + sub-base + reforço do subleito, quando existir) e a segunda como sendo do subleito.

Para o cálculo dos módulos de resiliência o método de NOURELDIN (1993) baseou-se na equação de BOUSSINESQ, equação 2.7, de cálculo de deflexões e trata as camadas conforme esquematizado na figura 2.4.

- Camada Pavimento:

Seu módulo é denominado módulo efetivo do pavimento, E_p , onde, pelas definições de BOUSSINESQ, a camada é concebida para um meio elástico, homogêneo e isotrópico (sistema de uma camada).

- Camada Subleito:

Seu módulo é denominado E_{SG} e definido a partir da bacia de deformação que pressupõe duas considerações:

- à medida que a distância a partir do ponto de aplicação da carga aumenta, a compressão das camadas acima do subleito se torna menos significativa e, portanto, menos

influência exerce sobre as deflexões medidas, as quais são devidas exclusivamente ao subleito; e

- à medida que a distância a partir do ponto de aplicação da carga aumenta, mais o efeito do carregamento distribuído se aproxima do efeito de um carregamento pontual.

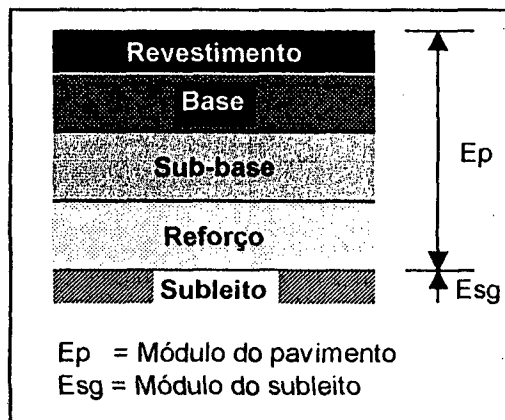


Figura 2.4 - Figura esquemática dos módulos obtidos pelo RETRAN-2CL

$$D_x = \frac{P(1+\mu)}{2\pi \cdot R \cdot E} \cdot [2(1-\mu) + \cos^2 \phi] \quad (\text{equação 2.7})$$

Onde:

D_x - deflexão a uma distância r do ponto de aplicação da carga;

μ - coeficiente de Poisson, para o método de ALBERNAZ (1997), fixado em 0,5;

P - carga aplicada;

E - módulo de elasticidade; e

ϕ, R - ângulo e distância do ponto de aplicação da carga (superfície) até o ponto considerado (coordenadas cilíndricas);

2.12.6.1 – Operação

O programa executa 03 (três) tarefas básicas:

- ajusta as bacias de deformação, obtidas por meio de ensaios não destrutivos realizados em campo (dados de entrada), aos modelos matemáticos;
- processa a retroanálise; e
- armazena e emite listagem de dados (saída de dados).

2.12.6.2 – Ajuste das Bacias Medidas no Campo

Esse processo consiste em normalizar todas as deflexões da bacia em relação à deflexão máxima (D_0), ou seja, a bacia de campo é transformada em uma bacia percentual. O ajuste é realizado a partir da equação 2.8.

Com base nesta conversão, o programa utiliza o valor da deflexão percentual referente à distância radial $r(x) = 100$ cm, $D_{100\%}$, para definição do intervalo em que será realizada a iteração de ajuste da bacia de deformação. Esse tipo de procedimento resultou em considerável redução do tempo de processamento de ajuste da bacia.

$$D_x = \frac{1}{M \cdot r_x^{E_x} + B} \quad (\text{equação 2.8})$$

Onde:

D_x – deflexão a uma distância r do ponto de aplicação da carga;

r_x – distância radial;

D_0 – deflexão máxima sob o centro da área carregada ($r_x = 0$);

B – coeficiente da equação ($B = 1 / D_0$); e

M, E_x – coeficientes da equação obtidos no ajuste da bacia.

O conjunto de valores M , B e E_x define uma bacia teórica que é comparada com a da bacia de campo por meio da diferença entre os valores medidos e calculados de cada uma das deflexões pela Raiz Média Quadrática ou “*Root Mean Square*” (RMS), que é similar ao Desvio-Padrão (equação 2.9).

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (D_{ci} - D_{pi})^2}{n}} \quad (\text{equação 2.9})$$

Onde:

RMS - raiz média quadrática;

D_{ci} - deflexão medida no campo na posição $r_x = i$;

D_{pi} - deflexão calculada relativa à posição $r_x = i$; e

n - quantidade de valores D_{ci} (ou D_{pi}) considerados no ajuste.

O programa desenvolve iterações deste conjunto de valores até obter o menor valor de RMS obtendo-se assim uma bacia teórica considerada representativa daquela medida em campo.

Definida a equação da bacia, o RETRAN-2CL determina os valores das bacias relativas a distâncias radiais ao longo da bacia em intervalos fixados em 2,5cm.

A seguir é pesquisado o par de valores (r_x , D_x) que conduz ao maior produto $r_x \times D_x$ para obtenção dos valores do Módulo de Resiliência do Pavimento (E_p), Módulo de Resiliência do Subleito (E_{sg}), Espessura Teórica (T_x) e Número Estrutural Efetivo (S_{Neff}) calculados pelas equações gerais do método de NOURELDIN (1993).

2.12.6.3 – Equações Gerais de Retroanálise

As equações gerais (2.10, 2.11, 2.12, 2.13 e 2.14) do método de NOURELDIN que definem E_p , E_{sg} , T_x e S_{Neff} são apresentadas a seguir:

- Módulo de Resiliência do Pavimento (E_p):

$$E_p = \frac{\frac{P}{\pi} \left(\frac{1,5}{a} - \frac{(1 - \mu^2)}{r_x} \right)}{D_0 - D_x} \quad \text{(equação 2.10)}$$

- Módulo de Resiliência do Subleito (E_{sg}):

$$E_{sg} = \frac{P(1 - \mu^2)}{\pi \cdot r_x \cdot D_x} \quad \text{(equação 2.11)}$$

- Espessura Efetiva do Pavimento (T_x):

$$T_x = \sqrt{\frac{2,5 \cdot r_x^2 - a^2}{(1 - \mu^2)^2}} \times \sqrt[3]{\frac{D_0 - D_x}{D_x \left(\frac{1,5 \cdot r_x}{a \cdot (1 - \mu^2)} - 1 \right)^2}} \quad \text{(equação 2.12)}$$

- Número Estrutural Efetivo (S_{Neff}):

$$S_{Neff} = \frac{1}{\sqrt[3]{M_{alum}}} \sqrt{\frac{2,25 r_x^2}{[1 - \mu^2]^2} - a^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{P(1 - \mu^2)}{\pi \cdot r_x \cdot D_x}} \quad \text{(equação 2.13)}$$

ou

$$S_{Neff} = T_x \cdot \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_{alum}}} \quad \text{(equação 2.14)}$$

Onde:

P – carga aplicada;

μ – coeficiente de Poisson (=0,50);

a – raio da placa;

r_x – distância radial a partir do ponto de aplicação da carga;

D_0 – deflexão máxima;

D_x – deflexão a r_x centímetros do ponto de aplicação da carga; e

$Malum$ – módulo de elasticidade referencial, material alumínio.

O quadro 2.4 apresentado por ALBERNAZ (1997) indica as unidades de entrada e de saída de todos os parâmetros das equações de retroanálise.

Quadro 2.4 – Unidades de entrada e saída dos parâmetros das equações de retroanálise

parâmetros de entrada					parâmetros de saída			
P	a	r_x	D_x	D_0	Ep	Esg	T_x	S_{Neff}
kgf	cm	cm	cm	cm	kgf/cm ²	kgf/cm ²	cm	cm
kN	cm	cm	cm	cm	kPa	kPa	m	m

$Malum = 774.070 \text{ kgf/cm}^2 = 77.470.000 \text{ kPa} = 77.407 \text{ Mpa} (= 11 \times 10^6 \text{ psi})$

Fonte: ALBERNAZ (1997)

2.12.6.4 – Principais Limitações do Programa

O RETRAN-2CL trata-se de um programa de retroanálise tendo como principal vantagem sua velocidade de processamento das bacias. No entanto, por se tratar de um método simplificado trás algumas limitações a saber.

- o coeficiente de Poisson (μ) fixado em $\mu = 0,5$ para o conjunto pavimento-subleito;
- as camadas analisadas são duas: a camada pavimento (revestimento + base + sub-base + reforço do subleito, quando existir) e a camada subleito;
- o programa não permite a análise individualizada de camadas de revestimento, base, sub-base ou reforço do subleito;
- o número de cargas para análise deve ser de no máximo sete, na distância radial;
- o número de pontos observados não deve ultrapassar os sete do carregamento pois não permite a entrada de valores transversais (eixo Y) nem dados de profundidade Z;
- a carga e o raio de aplicação da carga são também pré-definidos pelo programa. São eles:
 - para a viga Benkelman: carga $P = 50\text{kN}$ e raio $R = 16,8\text{ cm}$; e
 - para o "*Falling Weight Deflectometer*" (FWD): carga $P = 40\text{kN}$ e raio $R = 15,24\text{ cm}$.
- os valores de entrada no programa devem ser positivos.

Apresenta-se no quadro 2.5 uma comparação entre os dois programas utilizados neste trabalho para a retroanálise das bacias de deflexão segundo determinados aspectos.

Quadro 2.5-Comparação entre os programas de retroanálise: ELSYM-5 e RETRAN-2CL

<i>aspecto</i> <i>programa</i>	<i>nº de camadas avaliadas</i>	<i>distâncias radiais (x)</i>	<i>sistema de coordenadas (xy)</i>	<i>profundidades (z)</i>	μ	<i>carga p</i>	<i>raio de atuação da carga (a)</i>	<i>rotina de processamento de retroanálise</i>	<i>atuação</i>
ELSYM-5 (FHWA, 1986)	até 5	até 10	permite (dados de entrada)	permite (dados de entrada)	dado de entrada	dado de entrada	dado de entrada	exaustivo (depende da experiência do operador)	bom comportamento: atuando em projeto
RETRAN-2CL (ALBERNAZ, 1997)	2 (camada pavimento e camada subleito)	até 7	não permite	não permite	$\mu=0,5$ (para as 2 camadas)	p/ VBK ¹ P=50kN p/FWD ² P=40kN	p/ VBK ¹ a=16,8cm p/ FWD ² a=15,24cm	amigável	bom comportamento: atuando em rede

¹VBK = viga Benkelman²FWD = "Falling Weight Deflectometer"

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1 – INTRODUÇÃO

A pesquisa apresentada possui características de estudo exploratório, tanto da análise de uma base de dados definida, como também das investigações de campo, visto que o tema se caracteriza por ser muito abrangente sendo vários os seus fatores de influência.

Estes estudos e análises foram realizados a fim de responder às causas da degradação da superfície do pavimento dos trechos abordados nesta pesquisa.

A relação dos trechos das rodovias e seus respectivos levantamentos estão mencionados no quadro 3.1.

3.2 – ESTUDOS E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

Para fazer o estudo destes trechos foi reunido um conjunto de informações, quanto ao desempenho estrutural e funcional do pavimento, que analisado e comparado permitiu orientar a explicação do surgimento e da evolução dos seus principais defeitos.

Quadro 3.1 - Relação de trechos analisados

<i>nº</i>	<i>Rodovia</i>	<i>Trecho</i>	<i>Extensão de levantamento (km)</i>	<i>Estrutura do pavimento (espessura)</i>
1	SC-438	Alto da Serra – Lauro Müller	14,20	revestimento: 4cm
				base: 22cm
				sub-base: 32cm
2	SC-438	Lauro Müller – Orleans	12,80	revestimento: 3,5cm
				base: 15cm
				sub-base: 20cm
3	SC-447	Nova Veneza – Rio Maina	7,70	revestimento: 4cm
				base: 17cm
				sub-base: 25cm
4	SC-448	Forquilha – Meleiro	15,50	revestimento: 4cm
				base: 15cm
				sub-base: 22cm
5	SC-285T	Timbé do Sul – Turvo	18,20	revestimento: 4cm
				base: 16cm
				sub-base: 20cm
6	SC-448	Turvo – Ermo	6,20	revestimento: 4cm
				base: 18cm
				sub-base: 24cm
7	SC-483	Ermo – Jacinto Machado	11,22	revestimento: 4 cm
				base: 16cm
				sub-base: 16cm
8	SC-448	Ermo – BR-101	5,80	revestimento: 5cm
				base: 18cm
				sub-base: 21cm
Total			91,62	

A metodologia empregada pautou-se em dois estudos:

- Estudo 1 – análise de base de dados:

Este estudo foi realizado por meio da coleta dos registros de defeitos de 1990, inventários e avaliações realizados por consultoras em 1994 e com dados de 1995 e 1997 extraídos do Sistema de Gerência Pavimentos (SGP) do DER/SC.

- Estudo 2 – levantamento de campo:

Este inventário foi realizado no período de 24 a 26 de novembro de 1998, utilizando o procedimento do DNER-PRO 128/83 (DNER, 1983), com alterações nas áreas das superfícies dos segmentos-testemunha e em seus respectivos intervalos de avaliação, não sendo avaliada suas deformações permanentes (trilhas de roda); e uma inspeção expedita para o reconhecimento do estado geral e atual das pistas de rolamento e acostamentos de todos os trechos das rodovias analisadas.

A avaliação dos dados dos estudos mencionados pode ser segmentada em quatro etapas: [i] tabulação e análise de dados; [ii] definição dos segmentos homogêneos; [iii] análise dos subtrechos homogêneos e [iv] análise dos resultados. A figura 3.1 ilustra a seqüência e evolução das etapas da metodologia.

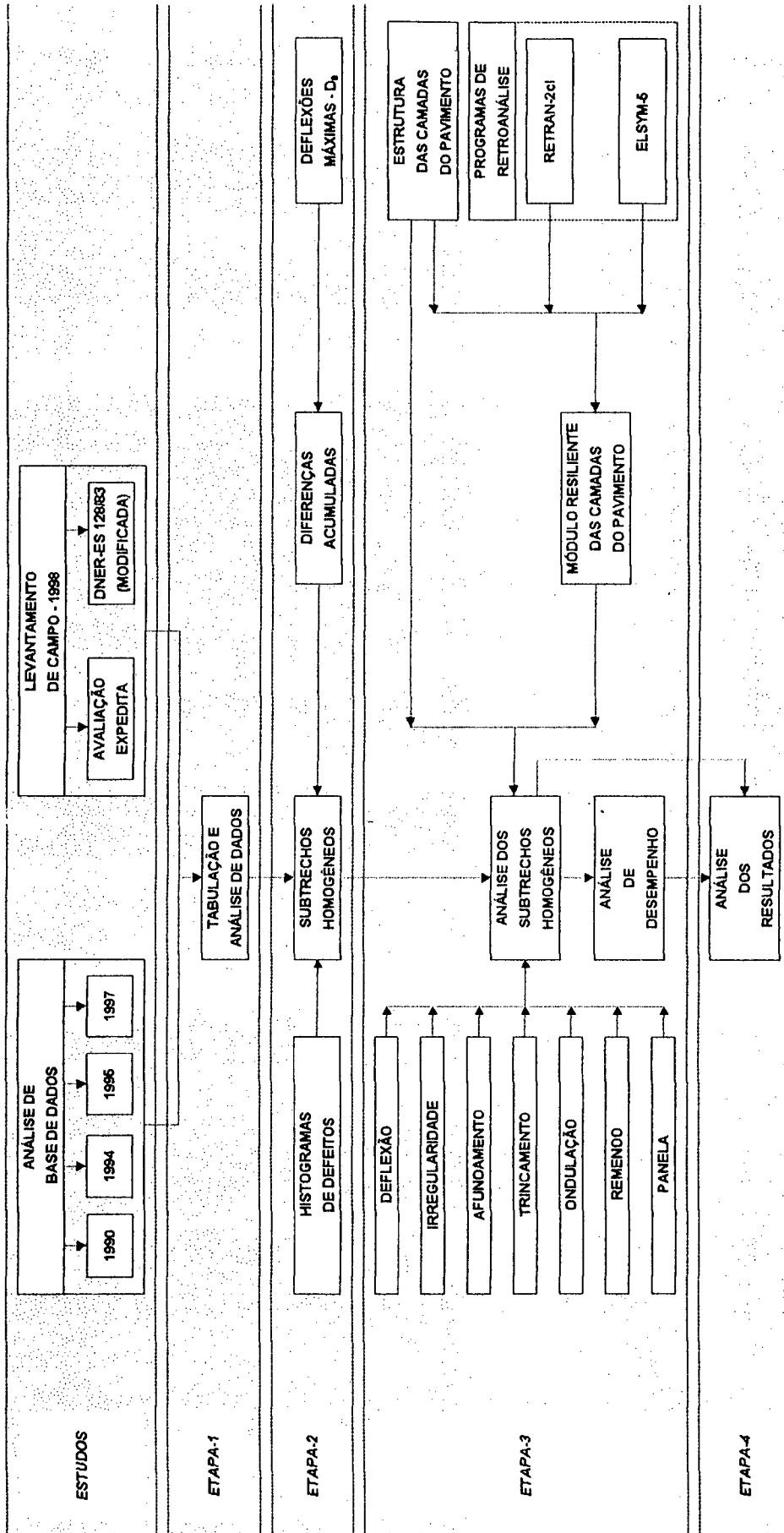


Figura 3.1 - Fluxograma dos estudos e etapas do trabalho

3.2.1 – Levantamento de Campo

3.2.1.1 – DNER-ES 128/83 (Modificada)

Este levantamento foi modificado com intuito de obter um percentual intermediário entre o máximo e mínimo recomendado. No estudo realizado, cada segmento-testemunha teve extensão de 20m e distanciados entre si de 500m, como mostra a figura 3.2. É importante considerar que não foram realizadas avaliações de deformação permanente do pavimento (trilhas de roda).

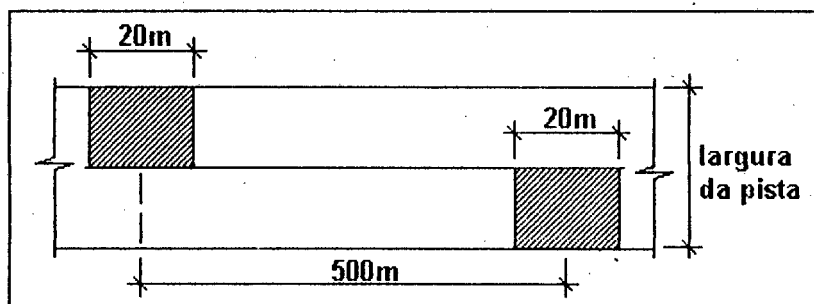


Figura 3.2 - Desenho esquemático de avaliação de densidade de defeitos

O inventário dos defeitos afetando as superfícies dos pavimentos se fez registrando as informações observadas, percorrendo todos os segmentos-testemunhas, e anotando suas localizações, os tipos e suas densidades, como preconizado na especificação DNER-ES 128/83 (DNER,1983).

As densidades foram levantadas marcando, com gesso, na superfície inventariada a área que compreenda o defeito analisado. Exemplos desta avaliação podem ser observados na figura 3.3.

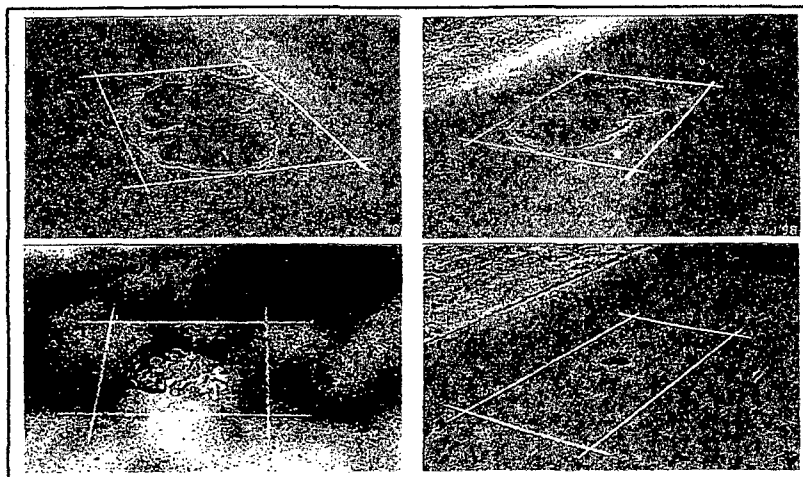


Figura 3.3 - Avaliação das densidades de defeitos

O percentual de avaliação de superfície do pavimento foi fixado em 4%, sendo que na especificação original (DNER ES 128/83) este percentual pode variar de 0,18% (para extensão máxima do subtrecho, de 20.000m) a 12% (para extensão mínima do subtrecho, de 300 m).

A fim de facilitar a transcrição das observações de campo e para que se possa empregar uma mesma linguagem foram utilizadas as terminologias de defeitos preconizadas pela DNER TER 01/78 (DNER, 1978).

A partir do inventário realizado desenvolveu-se um quadro (quadro 3.2) que demonstra a existência, distribuição e frequência de cada tipo de defeito ao longo de toda extensão dos oito trechos analisados.

Este quadro mostra se existe ou não uma distribuição constante dos defeitos ao longo das superfícies avaliadas.

Quadro 3.2 - Resumo de localização e frequência de defeitos

DEFEITO		FD		FE		FD	FE	TRE	TRI	TOTAL	
TIPO	CLASSE	TRE	TRI	TRI	TRE						
TRINCA	TRANSVERSAL	1									
		2									
		3									
	LONGITUDINAL	1									
		2									
		3									
	BLOCO	1									
		2									
		3									
	JACARÉ	1									
		2									
		3									
	IRREGULAR	1									
		2									
		3									
PANELA											
REMENDO											
EXSUDAÇÃO											
DESGASTE											
AFUNDAMENTO											
ONDULAÇÃO											
TOTAL											

FD - FAIXA DIREITA

FE - FAIXA ESQUERDA

TRE - TRILHA DE RODA EXTERNA

TRI - TRILHA DE RODA INTERNA

3.2.1.1.1 - Quadro do Percentual de Responsabilidade para as Causas Prováveis do Surgimento de Defeitos

Segundo CARDOSO *et al.* (1993) os defeitos podem ser relacionados pelos seus fatores causadores. São eles:

- carga/tráfego;
- meio ambiente/material; e
- outros

CARDOSO *et al.* (1993) sugerem um quadro (quadro 2.1), que foi adaptado para esta pesquisa, e encontra-se no capítulo 2.

A partir da relação destes defeitos obteve-se o percentual de responsabilidade dos fatores causadores dos defeitos detectados.

3.2.1.2 – Avaliação Expedita

O levantamento de campo foi executado a partir de uma investigação expedita que permitiu a avaliação geral das condições de superfície do pavimento dos oito trechos com o intuito de fornecer insumos para a definição dos subtrechos homogêneos e verificar a ocorrência de situações que estejam comprometendo ou venham a comprometer a trafegabilidade e a estrutura do corpo estradal.

Essa atividade consistiu em um levantamento contínuo que permitiu registrar, baseado em conceitos definidos, o estado:

- da superfície das pistas de rolamento; e
- dos acostamentos: lado esquerdo (LE) e lado direito (LD), quando existirem.

O trabalho de campo foi realizado percorrendo na faixa direita da pista de rolamento sendo possível a avaliação da pista e do acostamento do lado direito. Ao final do trecho levantado realizava-se o mesmo trajeto, no caminho inverso, para a avaliação do acostamento do lado oposto.

Os conceitos foram atribuídos em intervalos de 500 a 500m.

Para efeito de avaliação foi elaborada uma planilha, apresentada na figura 3.4, onde são contidos cinco campos de preenchimento.

CAMPO 01					
PISTA DE ROLAMENTO		ACOSTAMENTO LD		ACOSTAMENTO LE	
km		km		km	
início	fim	CONCEITO		início	fim
				CAMPO 02	
				SEÇÃO TRANSVERSAL	
CAMPO 03			CAMPO 04		
OBSERVAÇÕES			CROQUI-CHAVE		
			CAMPO 05		
			RODOVIA	DATA	
			TRECHO	FOLHA	

Figura 3.4 – Planilha de campo para avaliação expedita

3.2.1.2.1 – Campo 01: Estado da Superfície da Pista de Rolamento e Acostamentos (LE e LD)

O inventário dos defeitos se fez registrando, ao trafegar pelas bordas da pista, suas condições gerais tanto de pista de rolamento como de acostamentos (LE e LD).

Para esta avaliação, o autor definiu três conceitos, a saber:

- Conceito A: ausência de defeitos, ou seja, a pista de rolamento e acostamentos encontram-se em perfeitas condições de trafegabilidade. A segurança e conforto do usuário não estão comprometidos;
- Conceito B: defeitos em pontos localizados (até 10% do intervalo levantado), ou seja, os defeitos encontrando-se com dispersão uns dos outros. A segurança e conforto do usuário encontram-se com razoável comprometimento; e
- Conceito C: defeitos concentrados (superior a 10% do intervalo levantado), ou seja, a pista de rolamento e acostamentos encontram-se comprometendo totalmente a segurança e o conforto do usuário.

3.2.1.2.2 – Campo 02: Seção Transversal

Neste campo registrou-se a largura da pista de rolamento, dos acostamentos e variações nos degraus (desníveis entre a pista de rolamento e o acostamento).

3.2.1.2.3 – Campo 03: Observações – Anotações Adicionais

Este espaço foi destinado às informações que por sua natureza não se enquadraram em outros campos, de modo geral quanto a defeitos localizados, quanto as condições de deslizamentos, afundamentos acentuados, drenos obstruídos, afloramento d'água, entre outros, também informações sobre a idade da rodovia, facilitar a identificação do registro fotográfico.

3.2.1.2.4 – Campo 04: “Croquis-Chave” – Registro Fotográfico

Os formulários e anotações foram complementados com uma documentação fotográfica. Para tanto, foram tomados alguns cuidados que se julgaram importantes:

- elaboração de “croquis-chave” com indicação da posição de tomada fotográfica;
- visão geral da condição da superfície do pavimento do trecho observado e dos detalhes dos locais mais importantes, por meio de registros fotográficos dos principais defeitos ocorrentes, em cada trecho. Para otimizar e padronizar a identificação e a magnitude dos defeitos foram confeccionados alguns dispositivos apresentados na figura 3.5:
 - Quadro: com o objetivo de identificar pontos localizados ou segmentos que apresentem algum tipo de defeito, quanto a rodovia e a quilometragem em que se encontra;

- Referências em Escala (régua, perfil metálico e disco): com a finalidade de apresentar a indicação dos tamanhos de trincas, panelas e profundidades de trilhas de roda e afundamentos.

Alguns tipos de defeitos encontrados nos trechos inventariados são registrados em fotografias contidas nos Anexos A, D e G para os trechos de rodovia Alto da Serra - Lauro Müller, Forquilha - Meleiro e Ermo - Jacinto Machado, respectivamente.

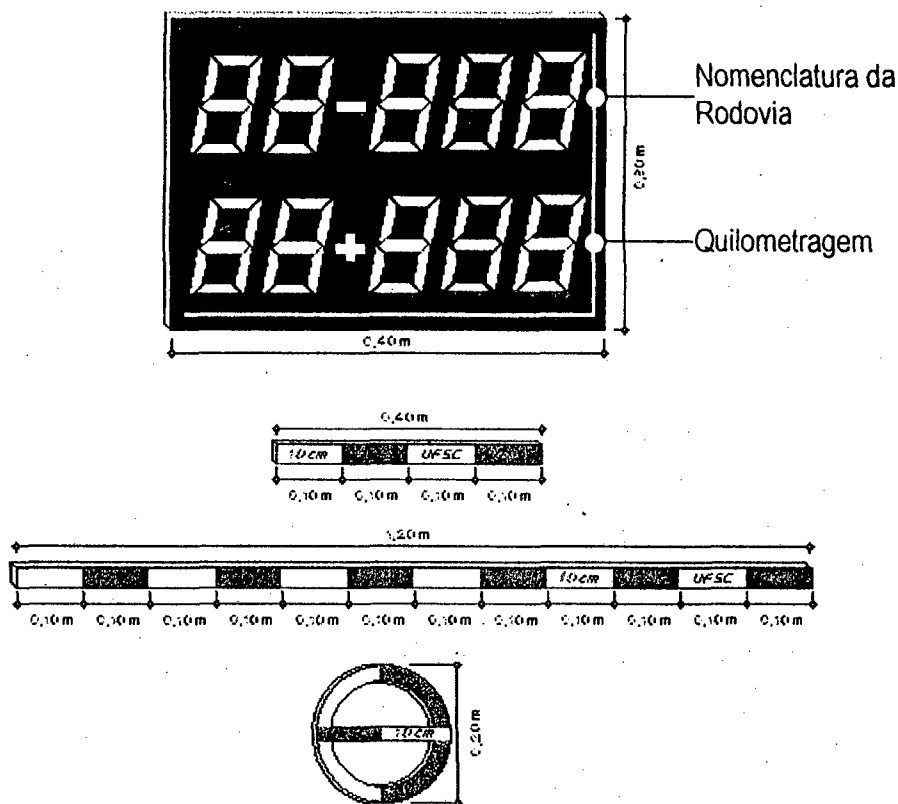


Figura 3.5 - Desenho esquemático dos dispositivos para identificação fotográfica dos defeitos

3.2.1.2.5 - Campo 05: Localização

Ao longo dos levantamentos de campo, a título de orientação e informação, foram indicadas as condições do tempo e o trecho inventariado.

3.2.1.2.6 – Diagramas Unifilares

Com base na planilha de campo para avaliação expedita, foram desenvolvidos diagramas unifilares que permitem expressar graficamente as notas e os conceitos atribuídos para as pistas e acostamentos estudados resultando-se na visualização geral de suas condições. A planilha de campo e os digramas unifilares encontram-se registrados anexos (A à H) deste trabalho.

3.2.2 – ETAPA-1: Tabulação e Análise de Base de Dados

Nesta etapa, o objetivo foi tabular os defeitos funcionais e estruturais ao longo dos trechos em estudo a fim de obter gráficos estatísticos correspondentes a cada trecho e a definição e avaliação dos respectivos subtrechos homogêneos.

3.2.3 – ETAPA-2: Definição dos Subtrechos Homogêneos

3.2.3.1 – Subtrechos Homogêneos

Segundo a AASHTO (1993) e HAAS (1994), para a definição dos subtrechos homogêneos deve-se isolar cada fator que potencialmente influencia o desenvolvimento do pavimento. Estes fatores são:

- tipo de pavimento: nos trechos os pavimentos encontrados são do tipo flexíveis;
- características estruturais do pavimento, tipo de material das camadas, espessuras: os trechos são constituídos de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), base e sub-base de material granular, como seixo britado e seixo bruto respectivamente. As espessuras das camadas, de modo geral, permanecem constantes ao longo das extensões de cada trecho;

- história da construção, incluindo reabilitação e manutenção: os trechos não sofreram nenhum processo de restauração;
- tráfego: todos os trechos apresentam o mesmo tráfego dentro das extensões avaliadas;
- condição do pavimento: ainda segundo a AASHTO (1993) e HAAS (1994), a deflexão e outras variáveis (como irregularidade, deformação permanente, etc) podem ser usadas para a definição dos subtrechos com mesmo comportamento (subtrechos homogêneos). Para obtenção destes subtrechos foram utilizados dados das deflexões máximas D_0 de cada bacia de deflexão disponibilizada.

Estes levantamentos foram realizados com viga Benkelman, em 1994, em determinados trechos. Nos trechos restantes, as deflexões foram levantadas por meio do “*Falling Weight Deflectometer*” (FWD).

A fim de definir os subtrechos foi utilizado o Método das Diferenças Acumuladas preconizado pela AASHTO (1993) e por HAAS (1994).

Para a obtenção de definições de comportamentos homogêneos de cada subtrecho encontrado, foram calculados para cada um seus respectivos coeficientes de variação.

O coeficiente de variação destina-se a retratar a relatividade da dispersão em relação à deflexão máxima. Em função desse valor pode-se indagar se o subtrecho tem funcionamento homogêneo. Foram então admitidos valores de coeficientes de variação (CV) para a análise de cada subtrecho.

- $CV \leq 20\%$: subtrecho com bom comportamento homogêneo;
- $20\% < CV < 30\%$: subtrecho com comportamento homogêneo satisfatório; e
- $CV \geq 30\%$: subtrecho com comportamento homogêneo inadequado.

3.2.3.1.1 – Método das Diferenças Acumuladas

Segundo este método, elabora-se o gráfico do parâmetro Z_C "versus" a quilometragem correspondente, onde Z_C é definido como o somatório da diferença entre a variável individual, analisada a cada ponto (X_i) e a média da variável na extensão total do trecho (X_m). O parâmetro Z_C é definido pela equação 3.1.

$$Z_C = \sum (X_i - X_m) \quad \text{(equação 3.1)}$$

A partir do gráfico observa-se a conformação da curva, ou seja, a cada inflexão (mudança de direção) da curva define-se um subtrecho homogêneo.

3.2.3.2 – Histogramas de Defeitos

Na tentativa de explicar os motivos pelos quais a superfície do pavimento se deteriorou, a intensidade e a distribuição de cada defeito, foram elaborados histogramas de defeitos "versus" quilometragem. Os defeitos analisados foram: quociente de irregularidade (QI), afundamento de trilha de roda, trincamento, ondulação, remendo e panela. Estes defeitos foram levantados nos anos de 1990, 1994, 1995, 1997 e 1998.

No ano de 1990, os dados dos tipos de defeitos foram apresentados pelo valor médio obtido em cada subtrecho definido pelo referenciamento do Sistema de Administração da Manutenção (SAM). Necessitou-se então da distribuição destes valores médios para cada quilômetro, distanciada de 200m em 200m, para caracterizar determinado defeito ao longo do estaqueamento de cada subtrecho.

Em 1994, foram obtidos, por estudos realizados por Consultoras Locais, apenas dados das bacias de deflexão medidas pela viga Benkelman e, calculados seus respectivos Raios de Curvatura (RC).

Para os anos de 1995 e 1997, os dados foram disponibilizados pela base de dados do Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) do Departamento de Estrada e Rodagem de Santa Catarina (DER/SC) e sendo todo inventariado para cada tipo de defeito em intervalos ou segmentos de 200m.

Os dados de 1998 foram obtidos por inspeção de campo como descrito no item 3.2.1.1.

3.2.4 – ETAPA-3: Análise dos Subtrechos Homogêneos

Com os dados de 1990, 1994, 1995, 1997 e 1998 foram elaborados histogramas comparativos. Obteve-se assim a evolução da intensidade dos defeitos.

3.2.5 – Análise de Desempenho

3.2.5.1 – Irregularidade

Como uma análise geral foram apresentadas as médias, por subtrecho homogêneo, do último levantamento de QI realizado em cada trecho estudado.

Estes pontos foram comparados com a equação 3.2 de previsão de desempenho desenvolvida por PATERSON (1987).

A equação é:

$$RI = \left[RI_0 + 725 \cdot (1 + SNC)^{-4,99} \times YE_4 \right] \times e^{0,0153IDADE} \rightarrow R^2 = 0,75 \quad (\text{equação 3.2})$$

Onde:

- RI** - índice de irregularidade do pavimento por uma determinada idade, em m/km;
- RI₀** - índice de irregularidade no início da análise, em m/km. Admitido como sendo igual a 1,923 m/km que corresponde a um QI = 25 contagens/km, adotado por WATANATADA *et al.* (1987);
- SNC** - número estrutural corrigido. Os valores para cada trecho foram obtidos por meio da metodologia preconizada pelo procedimento do DNER-PRO 159/85 (DNER, 1985). A partir destes valores, foi admitido o valor médio de todos os trechos;
- YE₄** - número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2t calculado pelo método de AASHTO com expoente 4, em milhões/faixa. Este valor foi determinado como a média dos valores verificados nos trechos durante o ano de 1997 (ano do último levantamento de QI realizado);
- e** = 2,7183;
- IDADE** - idade do pavimento desde a construção ou reabilitação; em anos. Foram estimados os valores de irregularidade considerando períodos de até 30 anos, calculados a cada 5 anos, sendo que os dois primeiros corresponderam às idades de 0,5 e 1,0 ano. Este critério é baseado em MARCON (1996).

Para efeito deste, estudo os valores obtidos pela equação 3.2 em IRI (m/km), foram transformados em QI (contagens/km) por meio da relação $QI = 13 \times IRI$.

3.2.5.2 – Trincamentos

De forma análoga à análise de QI, foram efetuados os estudos quanto aos percentuais de trincamentos encontrados por subtrecho homogêneo, do último levantamento realizado antes de 1998 em cada trecho estudado.

Os dados de 1998 não foram utilizados por se tratar de uma amostragem inferior às realizadas nos levantamentos anteriores. Os levantamentos de 1998 foram realizados de 500 em 500m e os anteriores de 200 em 200m.

Juntamente com os valores percentuais de trincamentos e trincas tipo “couro de jacaré” foram somados os percentuais de remendos, admitindo-se que estes remendos foram executados para eliminação dos tipos de trincas encontrados com mais severidade.

Os pontos estudados foram comparados com a equação 3.3 de previsão de desempenho desenvolvida por QUEIROZ (1981).

A equação é:

$$CR = -18,53 + 0,0456(D_{VBK} \times LN) + 0,00501(D_{VBK} \times IDADE \times LN)$$

$$R^2 = 0,64 \quad \text{(equação 3.3)}$$

Onde:

- CR** - grau de trincamento, em %;
- D_{VBK}** - deflexão medida com viga Benkelman, em 0,01mm. No caso das deflexões medidas com FWD, estas foram convertidas segundo as equações 3.7, 3.8 e 3.9. O valor admitido foi o maior dos subtrechos homogêneos analisados $D_{VBK} = 0,83\text{mm}$;

LN - logaritmo decimal de N, sendo N o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2t calculado pelo método de AASHTO. Este valor foi determinado como a média dos valores verificados nos trechos durante o ano de 1997 (mesmo ano de análise do modelo de QI);

IDADE - idade do pavimento desde a construção ou reabilitação; em anos. Foram estimados os valores de irregularidade considerando períodos de até 30 anos, calculados a cada 5 anos, sendo que os dois primeiros corresponderam às idades de 0,5 e 1,0 ano. Este critério é baseado em MARCON (1996).

3.2.6 - Bacias Características

Para a definição das bacias características tomou-se como referência os critérios preconizados dos procedimentos DNER-PRO 10/79 (DNER, 1979-a) e DNER-PRO 11/79 (DNER, 1979-b) para a obtenção das deflexões características. Este raciocínio foi utilizado para todas as deflexões de cada bacia, dentro de cada subtrecho homogêneo.

Segundo o DNER (1979-a) e (DNER, 1979-b), primeiramente as deflexões máximas medidas têm que se enquadrar nos intervalos de aceitação (limites de controle) definidos pelas equações 3.4 e 3.5:

- Limite Superior de Controle (LSC):

$$LSC = D_{0m} + z\sigma \quad (\text{equação 3.4})$$

- Limite Inferior de Controle (LIC):

$$LIC = D_{0m} - z\sigma \quad (\text{equação 3.5})$$

Onde:

D_{0m} - deflexão máxima média;

σ - desvio-padrão; e

z - coeficiente de confiança, estimado em função do número de medições de deflexões (n).

O quadro 3.3, adaptado, registra o critério definido pela "Higway Research Board" - Report 17, segundo DNER (1979-b).

Quadro 3.3 - Valores de z em relação ao número de medições (n)

n	z	cobertura (confiabilidade)
3	1,0	68,3%
4	1,5	86,6%
5-6	2,0	95,4%
7-19	2,5	98,7%
≥ 20	3,0	99,7%

Encontrando-se os dados de deflexões sob controle, ou seja, excluindo os valores espúrios que não se enquadram dentro dos limites de controle, determina-se por meio da equação 3.6 os valores da deflexões características que contém as bacias características.

$$D_{xc} = D_x + \sigma_x \quad \text{(equação 3.6)}$$

Onde:

D_{xc} - deflexão característica;

D_x - deflexão média; e

σ - desvio-padrão.

A figura 3.6 mostra o fluxograma que ilustra a definição das bacias características.

As bacias de deflexão obtidas pela viga Benkelman foram retroanalisadas diretamente. Já para as bacias obtidas pelo FWD utilizou-se as correlações entre as deflexões máximas recuperáveis medidas com a viga Benkelman e com o FWD preconizadas por DUARTE *et al.* (1996) e DNER (1998). As correlações são definidas pelas equações 2.1, 2.2 e 2.3.

As demais deflexões distantes do ponto de aplicação da carga foram consideradas com percentual de variação igual ao da deflexão máxima, supondo que as duas bacias (a real analisada do FWD e a convertida da viga Benkelman) são paralelas.

3.2.6.1 – Análise do Comportamento Estrutural do Pavimento e Conformação das Bacias Características

Anterior às retroanálises, observou-se o comportamento estrutural por meio da análise do valor da deflexão máxima D_0 . ALBERNAZ (1997) em sua análise das deflexões afirma que deflexões máximas (D_0) inferiores a 0,60 mm representam um bom comportamento estrutural do pavimento. Tal parâmetro foi utilizado como indicativo da avaliação estrutural dos trechos em estudo.

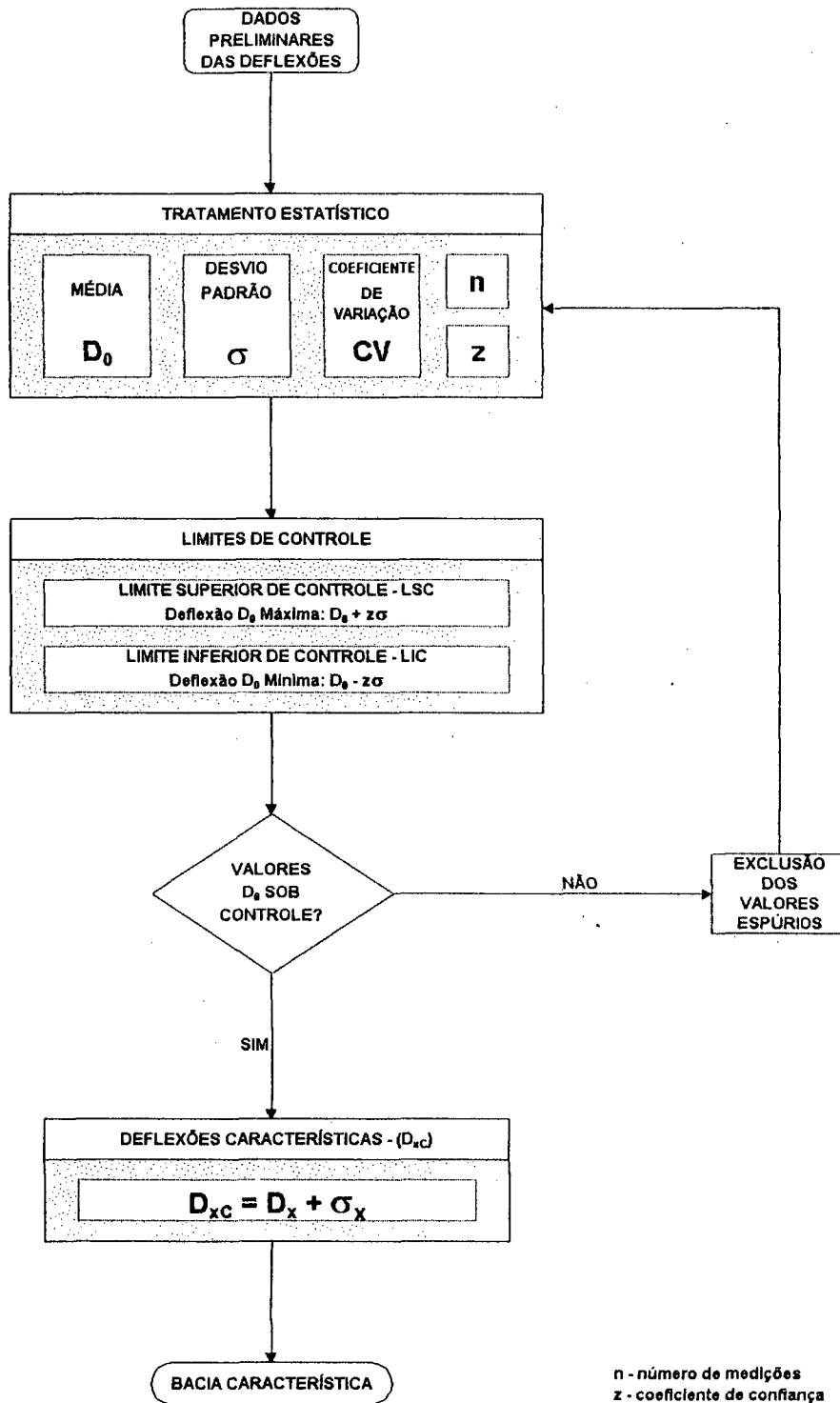


Figura 3.6 - Fluxograma de definição das bacias características

Observou-se também se existiram subtrechos com características comuns quanto a conformação de suas bacias características, na tentativa de se obter

proximidades nas ordens de grandeza dos módulos de resiliência das camadas do pavimento e do subleito por meio do programa ELSYM-5.

3.2.7 – Retroanálise

A retroanálise foi realizada por dois programas o RETRAN-2CL, para todos os estaqueamentos dos trechos analisados, e o ELSYM-5, utilizado nas bacias características definidas em cada subtrecho homogêneo determinado pelo Método das Diferenças Finitas, por meio de suas deflexões máximas D_0 .

Com base nos dados fornecidos pelo programa RETRAN-2CL e no trabalho de CARDOSO (1995), obteve-se os primeiros valores para os módulos de resiliência de entrada para o programa ELSYM-5, denominados “módulos sementes”, das camadas de revestimento em CBUQ, base e sub-base de materiais granulares (seixo britado e seixo bruto) e subleito.

Para os dados retroanalisados com o ELSYM-5, foram admitidos os valores dos coeficientes de Poisson encontrados no quadro 3.4. Todos os valores foram baseados em UDIN *et al.* (1985) apud CARVALHO *et al.* (1996). Considerou-se as médias, nas faixas de valores estabelecidas por estes autores, tanto para revestimento em CBUQ como para base de material granular. Para a camada de sub-base foi admitido o mesmo valor do coeficiente de Poisson da camada de base por se tratar também de uma camada de material granular.

Quadro 3.4 – Valores de coeficientes de Poisson admitidos na retroanálise com o ELSYM-5

<i>camada (materiais)</i>	<i>UDIN et al. (1985)</i>	<i>μ admitido</i>
revestimento (concreto betuminoso usinado a quente)	0,25 – 0,35	0,30
base/sub-base (material granular)	0,20 – 0,50	0,35
subleito	0,45	0,45

Ainda com os dados de módulos de resiliência das camadas que constituem a estrutura dos pavimentos, fornecidos pelo ELSYM-5, explicou-se por que determinados subtrechos, ou até trechos inteiros, de rodovias estão excessivamente defeituosos, enquanto que outros com poucos ou sem defeitos.

CAPÍTULO 4

A MALHA RODOVIÁRIA DE SANTA CATARINA E DADOS DIPONÍVEIS PARA O TRABALHO

4.1 – A MALHA RODOVIÁRIA DE SANTA CATARINA

A malha rodoviária que serve o Estado de Santa Catarina é constituída basicamente por três tipos de rodovias: as federais que atravessam o Estado e que são de responsabilidade do Governo Federal, as estaduais propriamente ditas que são de responsabilidade direta do Estado e as municipais, que são de responsabilidade dos respectivos municípios.

O revestimento da parte pavimentada da rede é constituído essencialmente por concreto asfáltico (92,3%), por pré-misturado a frio (4,5%). Somente, em casos muito raros e pouco significativos, aparecem alguns quilômetros com calçamento poliédrico (1,6%), tratamento superficial (1,4%) ou com pavimento em concreto de cimento (0,2%) (DER/SC, 1997).

4.1.1 – Caracterização Técnica da Malha Rodoviária

4.1.1.1 – Caracterização da Rede

A rede rodoviária estadual de Santa Catarina está disseminada de uma maneira relativamente homogênea por todo o Estado. A rede é

constituída de rodovias pavimentadas (até 1997, num total de 3.136 km) e não pavimentadas (DER/SC, 1997).

4.1.1.2 – Consolidação das Rodovias no Campo

De acordo com MARCON (1996), a consolidação das rodovias no campo caracteriza-se pela demarcação do início e fim dos trechos e subtrechos e, sempre que necessário, também dos pontos intermediários.

Esta consolidação é necessária pois estabelece um referencial comum para localização das atividades de intervenção e testes de campo, e das ocorrências dos fatos importantes como acidentes com veículos, deslizamentos de taludes e passagem de cidades.

Segundo o DER/SC (1997), no sistema de referenciamento é encontrado marcos de concreto de cinco em cinco quilômetros e referências intermediárias em cada quilômetro.

4.2 – DADOS DISPONÍVEIS PARA O TRABALHO

Como mencionado, os dados disponibilizados para esta pesquisa são dos anos de 1990, 1994, 1995, 1997 e 1998. Os de 1990 a 1997 foram encontrados no sistema SAM, em Consultoras Locais e no Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC. Os de 1998 foram levantados segundo a metodologia desenvolvida para esta pesquisa, como é mostrado no item 3.2.3 (levantamento de campo) deste trabalho.

Com a história de defeitos disponível foram elaborados histogramas, gráficos lineares de defeitos e gráficos demonstrativos das bacias de deflexão para cada um dos oito trechos.

Este trabalho de tabulação, ordenação e investigação de dados serviu para: [i] definição dos subtrechos homogêneos; [ii] avaliação da concentração dos defeitos em seus respectivos subtrechos; [iii] avaliação da evolução dos defeitos ao longo dos anos; e [iv] avaliação da conformação das bacias de deflexão.

Parte deste material encontra-se disponível resumidamente nos anexos A, B, C, D, E, F, G e H, correspondentes a cada trecho de rodovia apresentado para este estudo, relacionados conforme o quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Relação dos conteúdos em anexo

<i>anexo</i>	<i>trecho</i>	<i>apêndice</i>	<i>conteúdo</i>	<i>página</i>
A	Alto da Serra – Lauro Müller	A.1	mapa de situação e localização	234
		A.2	avaliação subjetiva	235
		A.3	diagrama unifilar	236
		A.4	registros fotográficos	237
B	Lauro Müller – Orleans	B.1	mapa de situação e localização	239
		B.2	avaliação subjetiva	240
		B.3	diagrama unifilar	241
C	Nova Veneza – Rio Maina	C.1	mapa de situação e localização	243
		C.2	avaliação subjetiva	244
		C.3	diagrama unifilar	245
D	Forquilha – Meleiro	D.1	mapa de situação e localização	247
		D.2	avaliação subjetiva	248
		D.3	diagrama unifilar	249
		D.4	registros fotográficos	250-253
E	Timbé do Sul – Turvo	E.1	mapa de situação e localização	255
		E.2	avaliação subjetiva	256
		E.3	diagrama unifilar	257
F	Turvo – Ermo	F.1	mapa de situação e localização	259
		F.2	avaliação subjetiva	260
		F.3	diagrama unifilar	261
G	Ermo – Jacinto Machado	G.1	mapa de situação e localização	263
		G.2	avaliação subjetiva	264
		G.3	diagrama unifilar	265
		G.4	registros fotográficos	266
H	Ermo – BR-101	H.1	mapa de situação e localização	268
		H.2	avaliação subjetiva	269
		H.3	diagrama unifilar	270

4.2.1 – Dados das Estruturas do Pavimento e do Tráfego

Os dados da estrutura do pavimento (quadro 4.2) e do tráfego (quadro 4.3) foram disponibilizados pelo Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC. O tráfego suportado de 1998 (Ns) foi extrapolado baseado na taxa de progressão observada dentro do período de projeto calculado para cada trecho de rodovia.

Quadro 4.2 – Relação de dados da estrutura do pavimento por trecho

rodovia	trecho	ext. (km)	espessuras (cm)		ISC (%)	SNC
			R	B		
SC-438	Alto da Serra – Lauro Müller	14,20	R	4	7	3,85
			B	22		
			SB	32		
SC-438	Lauro Müller – Orleans	12,80	R	3,5	9	2,98
			B	15		
			SB	20		
SC-447	Nova Veneza – Rio Maina	7,70	R	4	7	3,14
			B	17		
			SB	25		
SC-448	Forquilha – Meleiro	15,50	R	4	5	2,79
			B	15		
			SB	22		
SC-285	Timbé do Sul – Turvo	18,20	R	4	9	3,13
			B	16		
			SB	20		
SC-448	Turvo – Ermo	6,20	R	4	5	2,90
			B	18		
			SB	21		
SC-483	Ermo – Jacinto Machado	11,22	R	4	9	3,19
			B	16		
			SB	16		
SC-448	Ermo – BR-101	5,80	R	5	6	3,08
			B	18		
			SB	21		

ext. = Extensão

R = Revestimento

ISC = Índice de Suporte Califórnia do Subleito

B = Base

SNC = Número Estrutural Corrigido

SB = Sub-base

4.2.2 – Definição de Subtrechos Homogêneos e Evolução dos Defeitos

A seguir encontram-se as figuras e quadros que representam os subtrechos homogêneos e a evolução dos defeitos e as bacias de deflexão dos respectivos subtrechos homogêneos encontrados em cada trecho.

Quadro 4.3 – Relação de dados de tráfego por trecho

rodovia	trecho	ano de abertura	VMD (1997)		taxa de crescimento (%)		Ns (x10 ⁶) (1998)	Np (x10 ⁶)	período de projeto (anos)	
			por veículo	total	projeto	DERSC				
SC-438	Alto da Serra – Lauro Müller	1983	AUTO	813	1.266	7,40	3,30	1,60	2,20	10
			ON	58		3,80	4,90			
			CM	242		6,00				
			CP	131						
			SR	22						
SC-438	Lauro Müller – Orleans	1979	AUTO	2.138	2.751	14,50	3,30	2,70	4,60	15
			ON	71		4,60	4,90			
			CM	303		18,30				
			CP	190						
			SR	542						
SC-447	Nova Veneza – Rio Maina	1983	AUTO	2.516	3.117	4,77	3,30	2,30	0,40	11
			ON	13		0,00	4,90			
			CM	266		3,63				
			CP	284						
			SR	38						
SC-448	Forquilha – Meleiro	1983	AUTO	1.258	1.730	11,00	3,30	2,00	0,06	10
			ON	17		12,50	4,90			
			CM	221		4,00				
			CP	209						
			SR	25						
SC-285	Timbé do Sul – Turvo	1987	AUTO	1.312	1.779	5,50	3,30	1,20	0,53	10
			ON	14		0,10	4,90			
			CM	256		4,50				
			CP	179						
			SR	11						
SC-448	Turvo – Ermo	1979	AUTO	1.258	1.730	11,00	3,30	2,10	0,76	16
			ON	17		12,50	4,90			
			CM	221		4,00				
			CP	209						
			SR	25						
SC-483	Ermo – Jacinto Machado	1979	AUTO	1.253	1.574	11,00	3,30	1,60	1,10	16
			ON	23		12,50	4,90			
			CM	174		4,00				
			CP	114						
			SR	10						
SC-448	Ermo – Entr. BR-101	1979	AUTO	1.826	2.301	11,00	3,30	2,30	2,60	16
			ON	26		12,50	4,90			
			CM	240		4,00				
			CP	180						
			SR	29						

VMD = Volume Médio Diário

CP = Caminhões Pesados

AUTO = Automóveis

SR = Semi-Reboque

ON = Ônibus

Ns = Tráfego Suportado

CM = Caminhões Leves

Np = Tráfego de Projeto

4.2.2.1 – Definição de Subtrechos Homogêneos

A definição dos subtrechos homogêneos foi realizada pelo Método das Diferenças Acumuladas (AASHTO, 1993), utilizando-se as deflexões máximas como parâmetro de definição.

As figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 e no quadro 4.4 que a maior parte dos subtrechos encontrados apresentam coeficientes de variação inferiores ou iguais a 20%, considerado bom para definição de comportamento homogêneo. Os subtrechos SH01, SH03 e SH04 de Lauro Müller – Orleans; SH01, SH03 e SH04 de Nova Veneza – Rio Maina; SH02 de Forquilha – Meleiro e SH01 e SH04 de Timbé do Sul – Turvo têm coeficientes de variação inferiores a 30%, o que é considerado satisfatório.

Apenas o subtrecho SH03 de Ermo – BR-101 apresentou valor de coeficiente de variação muito alto, superior a 30%, considerado de comportamento homogêneo inadequado.

4.2.2.2 – Evolução dos Defeitos

Para os dados de defeitos encontrados nos quadros foram observadas as médias de suas ocorrências para cada subtrecho, excluindo os valores espúrios por meio dos critérios definidos pelos procedimentos DNER-PRO 10/79 e DNER-PRO 11/79, os mesmos mencionados para a definição das bacias características do item 3.2.6.

A relação de defeitos apresentada é constituída de:

- Bacias de Deflexões Características: obtidas pela viga Benkelman e FWD (quadros 4.5 e 4.6);
- Deflexões Máximas Características (quadro 4.7);

- Raios de Curvatura: deduzidos pela equação 4.1 preconizado pelo DNER (1994-a) e calculados a partir das bacias características. Por este fato, não constam os valores de desvio-padrão (σ) e coeficiente de variação (CV) (quadro 4.8);

$$RC = \frac{6.250}{2 \cdot (D_0 - D_{25})} \quad (\text{equação 4.1})$$

Onde:

RC - raio de curvatura (m);

D_0 - deflexão real ou verdadeira (0,01mm);

D_{25} - deflexão a 25cm do ponto de aplicação da carga (0,01mm).

- Trincas (quadro 4.9);
- Trincas tipo “couro de jacaré” (quadro 4.10);
- Quocientes de Irregularidade (quadro 4.11);
- Remendos (quadro 4.12);
- Afundamentos (quadro 4.13); e
- Exsudações (quadro 4.14).

Os valores de defeitos iguais a zero (0) indicam que foi feito levantamento destes, mas que não foram encontrados em campo. Os espaços vazios indicam que não foi realizado o levantamento para identificação do defeito.

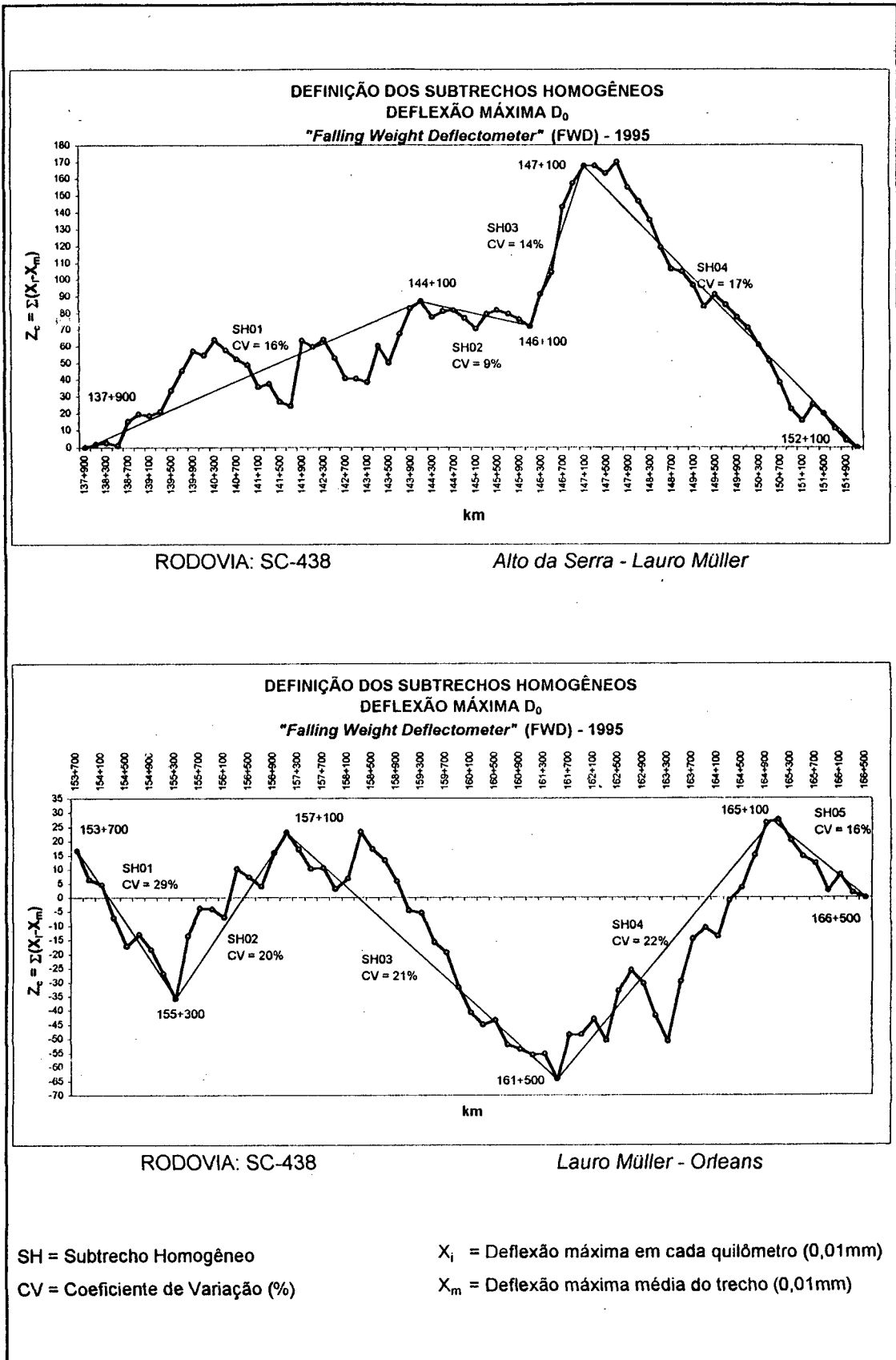


Figura 4.1 - Definição dos subtrechos homogêneos (SH) para os trechos Alto da Serra - Lauro Müller e Lauro Müller - Orleans

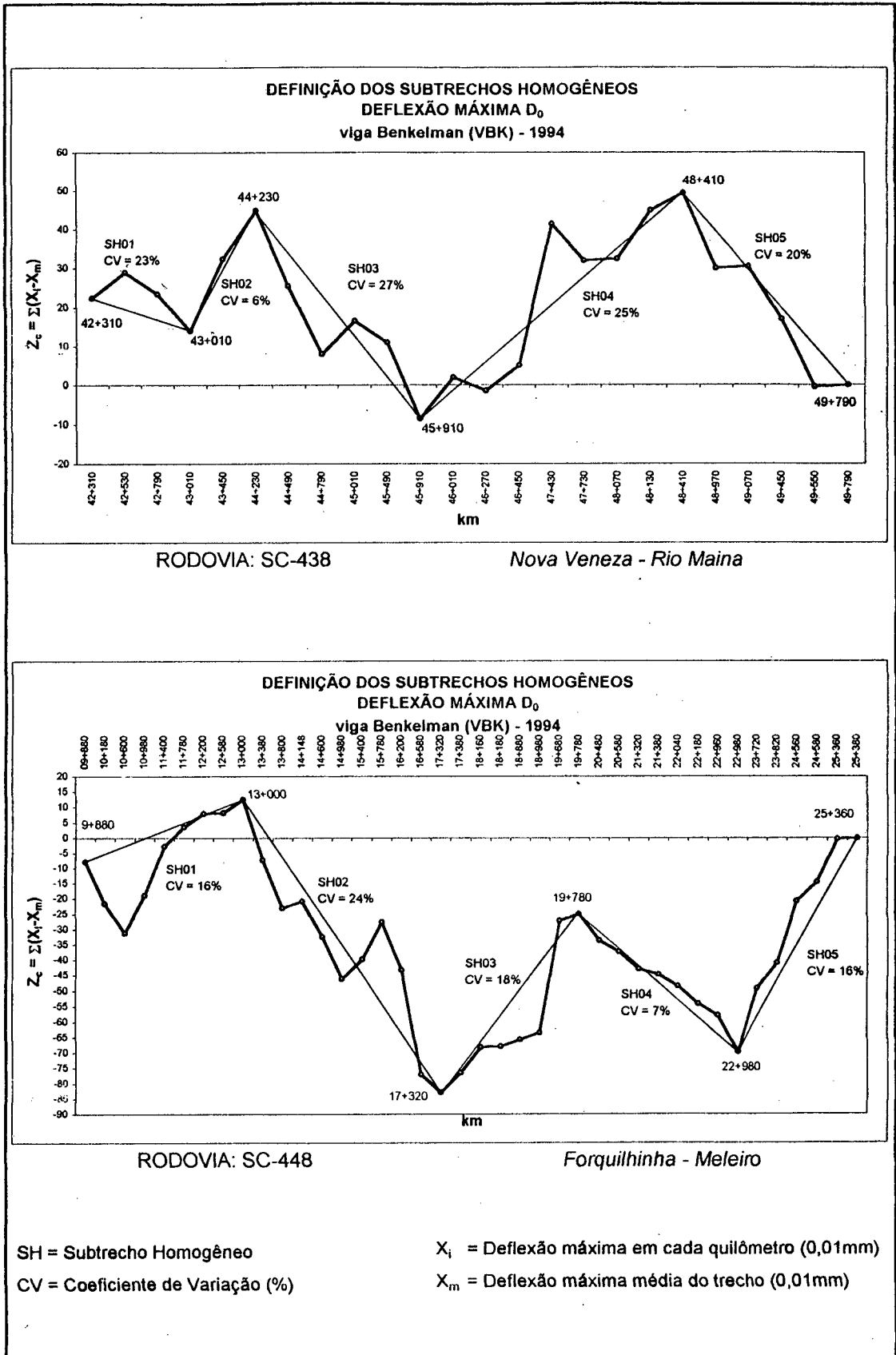


Figura 4.2 - Definição dos subtrechos homogêneos (SH) para os trechos Nova Veneza - Rio Maina e Forquilha - Meleiro

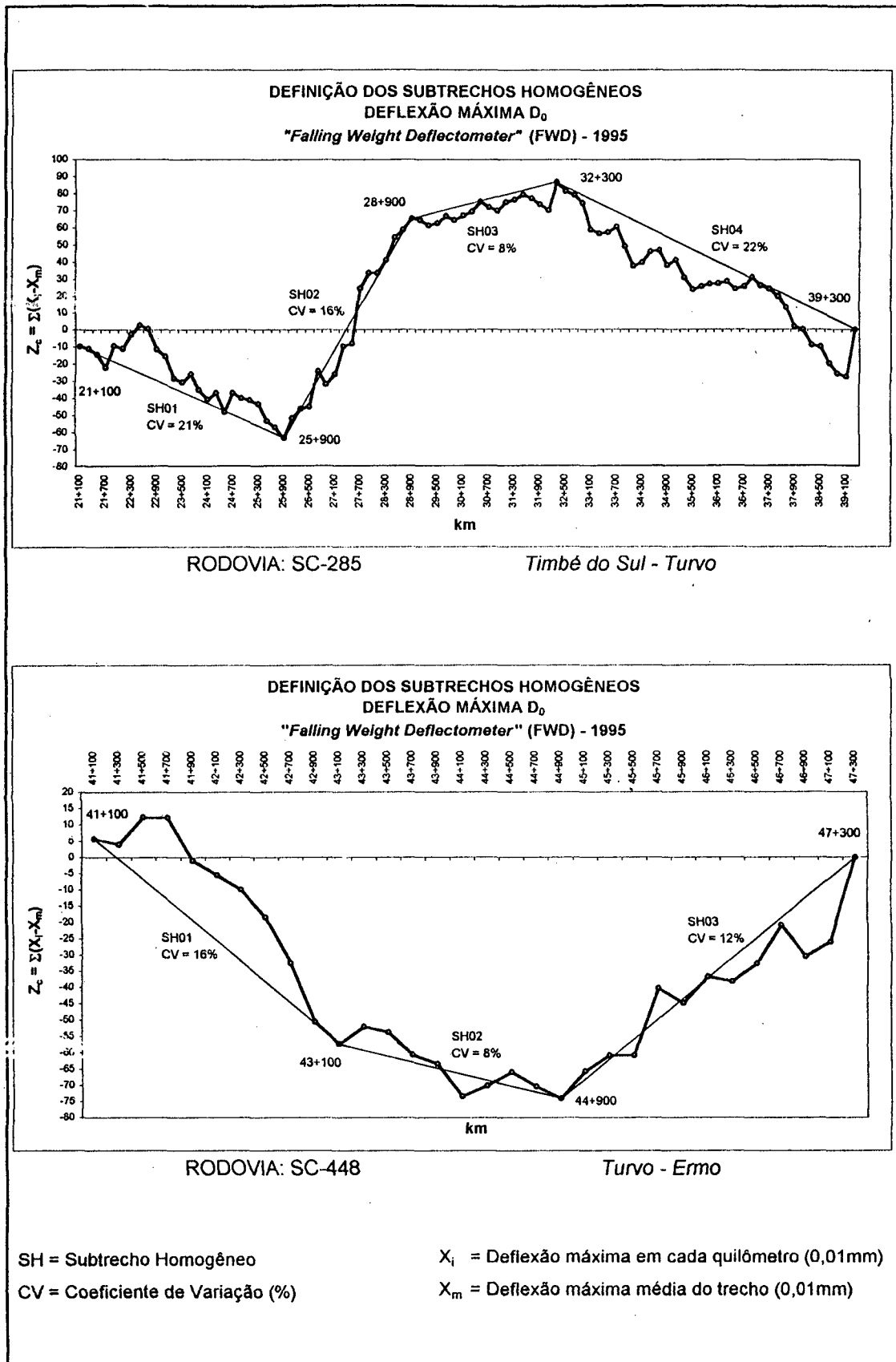


Figura 4.3 - Definição dos subtrechos homogêneos (SH) para os trechos Timbé do Sul - Turvo e Turvo - Ermo

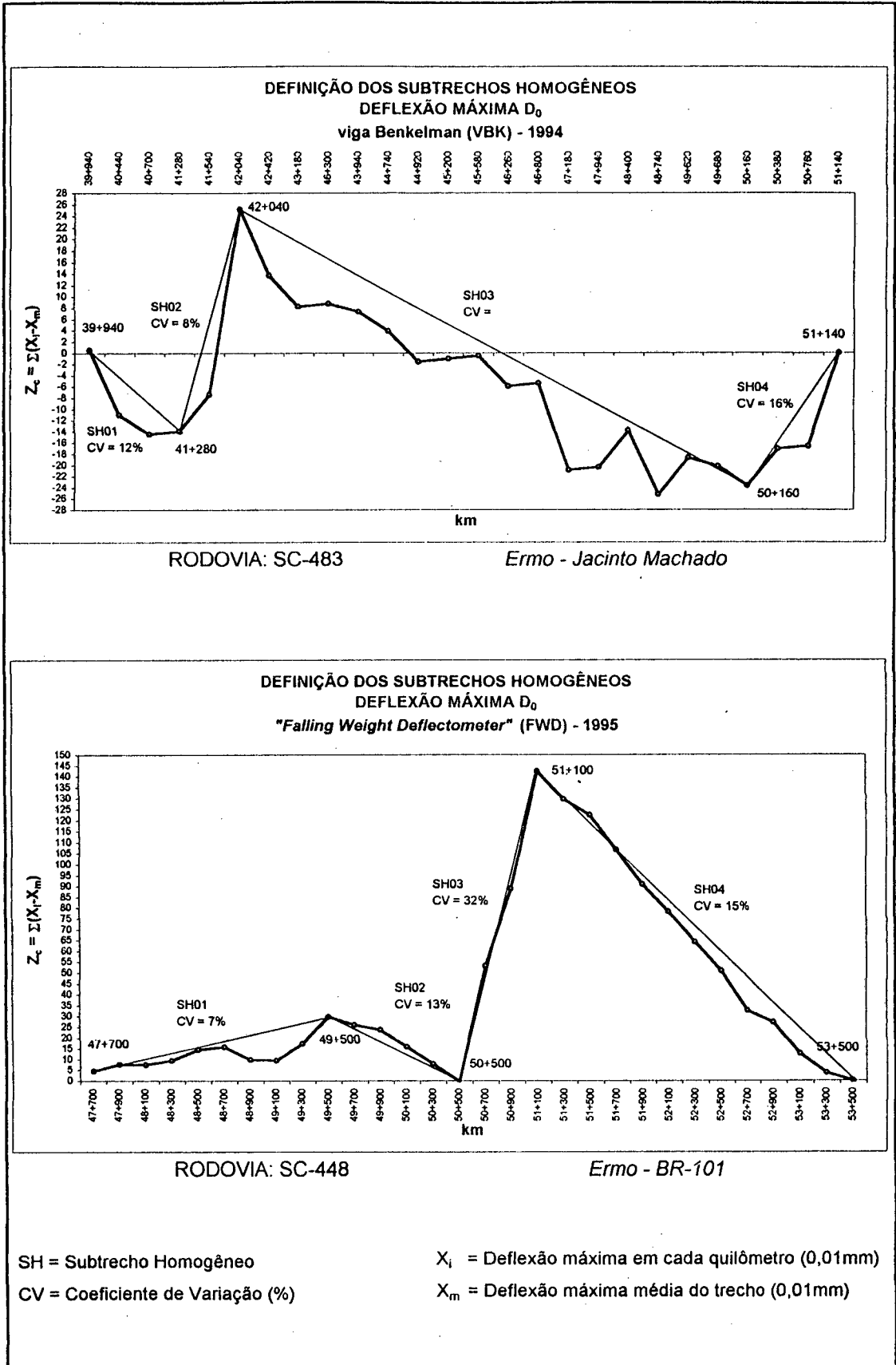


Figura 4.4 - Definição dos subtrechos homogêneos (SH) para os trechos Ermo - Jacinto Machado e Ermo - BR-101

Quadro 4.4 - Relação dos subtrechos homogêneos por trecho

rodovia	trecho	subtrecho homogêneo	km		extensão (m)	CV (%)
			inicial	final		
SC-438	Alto da Serra - Lauro Müller	01	137+900	144+100	6.200	16
		02	144+100	146+100	2.000	9
		03	146+100	147+100	1.000	14
		04	147+100	152+100	5.000	17
SC-438	Lauro Müller - Orleans	01	153+700	155+300	1.600	29
		02	155+300	157+100	1.800	20
		03	157+100	161+500	4.400	21
		04	161+500	165+100	3.600	22
		05	165+100	166+500	1.400	16
SC-447	Nova Veneza - Rio Maina	01	42+090	43+010	920	23
		02	43+010	44+230	1.220	6
		03	44+230	45+910	1.680	27
		04	45+910	48+410	2.500	25
		05	48+410	49+790	1.380	20
SC-448	Forquilha - Meleiro	01	09+880	13+000	3.120	16
		02	13+000	17+320	4.320	24
		03	17+320	19+780	2.460	18
		04	19+780	22+980	3.200	7
		05	22+980	25+380	2.400	16
SC-285	Timbé do Sul - Turvo	01	21+100	25+900	4.800	21
		02	25+900	28+900	3.000	16
		03	28+900	32+300	3.400	8
		04	32+300	39+300	7.000	22
SC-448	Turvo - Ermo	01	41+100	43+100	2.000	1
		02	43+100	44+900	1.800	8
		03	44+900	47+300	2.400	12
SC-483	Ermo - Jacinto Machado	01	39+940	41+280	1.340	12
		02	41+280	42+040	760	8
		03	42+040	50+180	8.140	13
		04	50+180	51+160	980	16
SC-448	Ermo - Entr. BR-101	01	47+700	49+500	1.800	7
		02	49+500	50+500	1.000	13
		03	50+500	51+100	600	32
		04	51+100	53+500	2.400	15

CV = Coeficiente de Variação em relação aos valores de deflexões máximas de cada SH (%)

Quadro 4.5 - Quadro resumo dos parâmetros estatísticos das bacias características dos trechos levantados com "Falling Weight Deflectometer" (FWD)

trecho	subtrecho homogêneo	km		extensão (m)	Deflexões Características Corrigidas										tratamento estatístico - D ₀		Raio de Curvatura (RC) (m)	
		início	fim		D _{0c}	D _{1c}	D _{2c}	D _{3c}	D _{4c}	D _{5c}	D _{6c}	D _{7c}	D _{8c}	D _{9c}	D _{0m}	σ		CV
					(10 ⁻² mm) dist.rad. - 0 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 20 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 25 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 30 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 35 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 40 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 45 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 50 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 60 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 70 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 80 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 90 cm		(10 ⁻² mm) dist.rad. - 100 cm
Alto da Serra - Lauro Müller	SH 01	137+900	144+100	6.200	72	50	43	36	23	16	9	4	62	9,84	0,16	108		
	SH 02	144+100	148+100	2.000	65	46	50	34	23	17	10	4	59	5,54	0,09	126		
	SH 03	148+100	147+100	1.000	82	60	53	46	31	21	11	4	72	9,95	0,14	108		
	SH 04	147+100	152+100	5.000	62	44	38	33	24	17	11	5	53	8,92	0,17	134		
	SH 05	153+700	155+300	1.600	57	34	28	22	15	11	8	5	44	12,91	0,29	110		
Lauro Müller - Orleans	SH 02	155+300	157+100	1.800	68	47	41	35	25	19	13	6	57	11,29	0,20	116		
	SH 03	157+100	161+500	4.400	56	39	35	30	23	19	14	8	46	9,71	0,21	147		
	SH 04	161+500	165+100	3.600	68	49	44	39	29	23	16	8	56	12,38	0,22	130		
	SH 05	165+100	166+500	1.400	55	36	32	28	22	17	12	6	47	7,47	0,16	140		
	SH 01	21+100	25+900	4.800	59	41	36	30	22	17	11	4	49	10,05	0,21	135		
Timbé do Sul - Turvo	SH 02	25+900	28+900	3.000	70	51	45	39	30	24	17	7	61	9,50	0,16	124		
	SH 03	28+900	32+300	3.400	58	42	37	32	25	20	15	6	54	4,16	0,08	148		
	SH 04	32+300	39+300	7.000	60	42	36	31	23	18	13	5	49	10,98	0,22	131		
	SH 01	41+100	43+100	2.000	68	46	33	22	15	10	5	0	57	9,22	0,16	94		
Turvo - Ermo	SH 02	43+100	44+900	1.800	66	45	31	20	14	9	5	0	61	5,00	0,08	91		
	SH 03	44+900	47+300	2.400	75	52	39	27	19	11	5	0	67	7,83	0,12	86		
	SH 01	47+700	49+500	1.800	69	50	43	37	24	17	11	6	64	4,52	0,07	124		
Ermo - Entr. BR-101	SH 02	49+500	50+500	1.000	65	47	41	34	23	16	10	5	58	7,49	0,13	126		
	SH 03	50+500	51+100	600	121	88	76	65	42	27	13	6	92	29,30	0,32	70		
	SH 04	51+100	53+500	2.400	53	38	33	28	20	15	11	7	46	6,96	0,15	155		

dist.rad. = Distância radial (cm)
 σ = Desvio-padrão
 CV = Coeficiente de Variação (%)
 D_{0c}, D_{1c}, D_{2c}, D_{3c}, D_{4c}, D_{5c}, D_{6c}, D_{7c}, D_{8c}, D_{9c} = Deflexões características corrigidas de Bacias de FWD para viga Benkelman
 D_{0m} = Deflexão máxima média
 D_{2c} = Deflexão característica, correspondente a distância radial de 25cm, deduzida por interpolação linear
 RC = Raio de Curvatura. Calculado pela fórmula:
 RC = 6.250 / [2 · (D₀ - D₂₅)] DNER (1994-a)

Quadro 4.6 - Quadro resumo dos parâmetros estatísticos das bacias características dos trechos levantados com viga Benkelman

trecho	subtrecho homogêneo	km		extensão (m)	Deflexões Características										tratamento estatístico - D ₀		Raio de Curvatura (RC) (m)	
		início	fim		D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D _{0m}	σ	CV			
					(10 ⁻² mm) dist.rad. - 0 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 25 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 65 cm	(10 ⁻² mm) dist.rad. - 120 cm	(10 ⁻² mm)	(10 ⁻² mm)	(10 ⁻² mm)	(10 ⁻² mm)	(10 ⁻² mm)	(10 ⁻² mm)	(10 ⁻² mm)	(10 ⁻² mm)		
Nova Veneza - Rio Maina	SH 01	42+080	43+010	920	77	39	14	6	-	-	-	-	-	-	63	14,38	0,23	82
	SH 02	43+010	44+230	1.220	79	46	15	6	-	-	-	-	-	-	75	4,24	0,06	95
	SH 03	44+230	45+910	1.680	67	27	9	4	-	-	-	-	-	-	53	14,46	0,27	77
	SH 04	45+910	48+410	2.500	80	47	15	4	-	-	-	-	-	-	64	15,73	0,25	97
	SH 05	48+410	49+790	1.380	63	36	14	4	-	-	-	-	-	-	52	10,51	0,20	116
Forquilha - Meleiro	SH 01	09+880	13+000	3.120	75	41	27	11	-	-	-	-	-	-	65	10,11	0,16	90
	SH 02	13+000	17+320	4.320	69	40	18	7	-	-	-	-	-	-	55	13,57	0,24	109
	SH 03	17+320	19+780	2.460	83	42	20	8	-	-	-	-	-	-	70	12,71	0,18	77
	SH 04	19+780	22+980	3.200	63	35	16	7	-	-	-	-	-	-	59	4,00	0,07	111
	SH 05	22+980	25+380	2.400	83	56	28	15	-	-	-	-	-	-	72	11,49	0,16	115
Ermo - Jacinto Machado	SH 01	39+840	41+280	1.340	52	31	12	7	-	-	-	-	-	-	46	5,66	0,12	151
	SH 02	41+280	42+040	760	57	33	12	6	-	-	-	-	-	-	53	4,24	0,08	128
	SH 03	42+040	50+180	8.140	59	39	17	7	-	-	-	-	-	-	47	5,95	0,13	157
	SH 04	50+180	51+160	980	63	39	16	6	-	-	-	-	-	-	55	8,70	0,16	129

dist.rad. = Distância radial (cm)
 σ = Desvio-padrão
 CV = Coeficiente de Variação (%)
 D₀, D₁, D₂ e D₃ = Deflexões características
 D_{0m} = Deflexão máxima média
 RC = Raio de Curvatura. Calculado pela fórmula:
 $RC = 6.250 / [2 \cdot (D_0 - D_{25})]$, DNER (1994-a)

Quadro 4.7 - Análise estatística das deflexões máximas características por subtrecho homogêneo (SH)

rodovia	trecho	SH	km		extensão (m)	Deflexão Característica (0,01mm)																	
						1990			1994			1995			1997			1998					
			inicial	final		D ₉₅ *	n	σ	CV	D ₉₅ *	n	σ	CV	D ₉₅ *	n	σ	CV	D ₉₅ *	n	σ	CV		
SC-438	Alto da Serra - Lauro Müller	01	137+900	144+100	6.200																		
		02	144+100	186+100	2.000																		
		03	146+190	147+100	1.000																		
		04	147+100	152+100	5.000																		
SC-438	Lauro Müller - Orleans	01	153+790	155+300	1.600																		
		02	155+900	157+100	1.800																		
		03	157+100	161+500	4.400																		
		04	161+900	165+100	3.600																		
		05	165+190	166+500	1.400																		
SC-447	Nova Venéza - Rio Maina	01	42+090	43+010	920																		
		02	43+010	44+230	1.220																		
		03	44+230	45+910	1.680																		
		04	43+910	48+410	2.500																		
		05	48+410	48+790	1.380																		
SC-448	Forquilha - Meleiro	01	09+880	13+000	3.120																		
		02	13+000	17+320	4.920																		
		03	17+320	19+780	2.460																		
		04	19+780	22+980	3.200																		
		05	22+980	25+300	2.400																		
SC-285	Timbé do Sul - Turvo	01	21+100	25+900	4.800																		
		02	25+900	28+900	3.000																		
		03	28+900	32+300	3.400																		
		04	32+300	39+300	7.000																		
SC-448	Turvo - Ermo	01	41+100	43+100	2.000																		
		02	43+100	44+900	1.800																		
		03	44+900	47+300	2.400																		
SC-483	Ermo - Jacirito Machado	01	39+940	41+280	1.340																		
		02	41+280	42+040	760																		
		03	42+040	50+180	8.140																		
		04	50+180	51+160	980																		
SC-448	Ermo - Entr. BR-101	01	47+700	49+500	1.800																		
		02	49+500	50+500	1.000																		
		03	50+500	51+100	600																		
		04	51+100	53+500	2.400																		

SH = Subtrecho Homogêneo
 n = Número de elementos por subtrecho homogêneo
 σ = Desvio-Padrão
 CV = Coeficiente de Variação

1990 - Levantamento SGP (SAM)
 1994 - Projeto de Consultoras
 1995 - SGP - DER/SC
 1997 - SGP - DER/SC

1998 - Levantamento de campo

*Calculadas como média + desvio-padrão

Quadro 4.8 - Análise estatística dos raios de curvatura (RC) por subtrecho homogêneo (SH)

rodovia	trecho	SH	km		extensão (m)	1990			1994			1995			1997			1998					
			inicial	final		média	σ	CV	média	σ	CV	média	σ	CV	média	σ	CV	média	σ	CV			
SC-438	Alto da Serra - Lauro Müller	01	137+900	144+100	6.200							108	32										
		02	144+100	146+100	2.900							126	11										
		05	146+100	147+100	1.000							108	6										
		04	147+100	152+100	5.000							134	26										
SC-438	Lauro Müller - Orleans	01	153+700	155+300	1.600							110	9										
		02	155+500	157+100	1.800							116	10										
		03	157+100	161+500	4.400							147	23										
		04	161+500	165+100	3.600							130	19										
		05	165+100	168+500	1.400							140	8										
SC-447	Nova Veneza - Rio Maina	01	42+090	43+010	920					82	4												
		03	43+010	44+230	1.220					85	6												
		03	44+230	45+910	1.680					77	7												
		04	45+910	48+410	2.500					97	11												
		05	48+410	49+790	1.380					116	7												
SC-448	Forquilha - Meleiro	01	09+880	13+000	3.120					90	9												
		02	13+000	17+320	4.320					109	11												
		03	17+320	19+780	2.460					77	8												
		04	19+780	22+980	3.200					111	9												
		05	22+980	25+380	2.400					115	7												
SC-285	Timbé do Sul - Turvo	01	21+100	25+900	4.800							135	25										
		02	25+900	28+900	3.000							124	16										
		03	28+900	32+300	3.400							145	18										
		04	32+300	39+300	7.000							131	38										
SC-448	Turvo - Ermo	01	41+100	43+100	2.000							94	11										
		02	43+100	44+800	1.800							91	10										
		03	44+800	47+300	2.400							86	13										
SC-463	Ermo - Jacinto Machado	01	39+840	41+280	1.340					151	4												
		02	41+280	42+040	760					128	3												
		03	42+040	50+180	8.140					157	18												
		04	50+180	51+180	980					129	4												
SC-448	Ermo - Entr. BR-101	01	47+700	49+500	1.800							124	10										
		02	49+500	50+500	1.000							126	6										
		03	50+500	51+100	600							70	4										
		04	51+100	50+500	2.400							155	13										

SH = Subtrecho Homogêneo
 n = Número de elementos por subtrecho homogêneo
 σ = Desvio-Padrão
 CV = Coeficiente de Variação

1990 - Levantamento SGP (SAM)
 1994 - Projeto de Consultoras
 1996 - SGP - DER/SC
 1997 - SGP - DER/SC

1990 - Levantamento de campo

Quadro 4.9 - Análise estatística das trinças por subtrecho homogêneo (SH)

rodovia	trecho	SH	km		extensão (m)	1990			1994			1995			1997			1998							
			inicial	final		média	n	σ	CV	média	n	σ	CV	média	n	σ	CV	média	n	σ	CV				
SC-438	Alto da Serra - Lauro Müller	01	137+900	144+100	6.200																				
		02	144+100	146+100	2.000																				
		03	146+100	147+100	1.000																				
		04	147+100	152+100	5.000																				
SO-438	Lauro Müller - Orleans	01	153+700	155+300	1.800																				
		02	155+300	157+100	1.800																				
		03	157+100	161+500	4.400																				
		04	161+500	165+100	3.600																				
		05	165+100	166+500	1.400																				
SC-447	Nova Veneza - Rio Maina	01	42+680	43+010	920																				
		02	43+010	44+230	1.220																				
		03	44+230	45+910	1.680																				
		04	45+910	48+410	2.500																				
		05	48+410	49+790	1.380																				
SC-448	Forquilha - Meleiro	01	09+880	13+000	3.120																				
		02	13+000	17+320	4.320																				
		03	17+320	19+780	2.460																				
		04	19+780	22+980	3.200																				
		05	22+980	25+300	2.400																				
SC-285	Timbé de Sul - Turvo	01	21+100	25+900	4.800																				
		02	25+900	28+900	3.000																				
		03	28+900	32+900	3.400																				
		04	32+900	39+300	7.000																				
SC-448	Turvo - Ermo	01	41+100	43+100	2.000																				
		02	43+100	44+900	1.800																				
		03	44+900	47+300	2.400																				
SC-483	Ermo - Jacinto Machado	01	39+940	41+280	1.340																				
		02	41+280	43+040	760																				
		03	42+040	50+180	8.140																				
		04	50+180	51+180	980																				
SC-448	Ermo - Entr. BR-101	01	47+700	49+500	1.800																				
		02	49+500	50+900	1.690																				
		03	50+900	51+100	600																				
		04	51+100	53+500	2.400																				

SH = Subtrecho Homogêneo
n = Número de elementos por subtrecho homogêneo
σ = Desvio-Padrão
CV = Coeficiente de Variação

1990 - Levantamento SGP (SAM)
1994 - Projeto de Consultoras
1995 - SGP - DER/SC
1997 - SGP - DER/SC

1998 - Levantamento de campo

Obs: O decréscimo na progressão dos defeitos do ano 1997 para o ano 1998 se deve, possivelmente, por serem definidos segmentos-testemunhas distintos.

Quadro 4.10 - Análise estatística das trinças tipo "couro de jacaré" (classes C2 e C3) por subtrecho homogêneo (SH)

rodovia	trecho	SH	km		extensão (m)	1990			1994			1995			1997			1998								
			inicial	final		média	n	σ	CV	média	n	σ	CV	média	n	σ	CV	média	n	σ	CV					
SC-438	Alto da Serra - Lauro Müller	01	137+900	144+100	6.200	0	32	0,00				0	32	0,00		0	32	0,00		0	13	0,00				
		02	144+100	146+100	2.000	0	11	0,00				0	11	0,00		0	11	0,00		3	5	3,71	1,49			
		03	146+100	147+100	1.000	0	6	0,00				0	6	0,00		0	6	0,00		0	3	0,00				
		04	147+100	152+100	5.000	0	26	0,00				0	26	0,00		0	26	0,00		0	11	0,00				
SC-438	Lauro Müller - Orleans	01	159+700	159+300	1.600	0	8	0,00				0	8	0,00		0	8	0,00		3	8	7,38	2,27	0	4	0,00
		02	159+300	157+100	1.800	0	10	0,00				4	10	5,23	1,45	4	10	4,51	1,16	3	4	7,11	2,24			
		03	157+100	161+500	4.400	0	23	0,00				3	23	4,66	1,85	2	23	4,11	2,05	3	9	7,08	2,11			
		04	161+500	166+100	3.800	0	17	0,00				1	20	2,68	4,47	1	19	1,33	1,99	0	8	0,00				
SC-447	Nova Veneza - Rio Maina	08	165+100	166+500	1.400	0	0	0,00				0	3	0,00		0	3	0,00		0	3	10,61	1,41			
		01	42+090	43+010	920	0	5	0,00				0	6	0,00		0	6	0,00		0	2	0,00				
		02	43+010	44+230	1.220	0	6	0,00				0	7	0,00		0	7	0,00		0	3	0,00				
		03	44+230	45+910	1.680	0	7	0,00				0	7	0,00		0	7	0,00		0	4	0,00				
SC-448	Forquilha - Meleiro	04	45+910	48+410	2.500	0	12	0,00																		
		85	48+410	48+790	1.380	0	7	0,00																		
		01	09+880	13+000	3.120	0	16	0,00				84	17	31,11	0,49	75	17	35,88	0,48	46	7	29,19	0,63			
		02	13+000	17+320	4.320	0	21	0,00				41	23	27,51	0,87	83	23	17,98	0,22	39	9	84,29	0,87			
SC-285	Timbé do Sul - Turvo	03	17+320	19+780	2.460	0	13	0,00				15	13	18,33	1,19	61	13	58,04	0,59	15	6	12,41	0,86			
		04	19+780	22+980	3.200	0	15	0,00				27	17	29,94	1,11	66	17	33,49	0,51	18	7	14,06	0,79			
		05	22+980	25+980	2.400	0	12	0,00				0	13	0,00		0	13	0,00		10	5	5,89	0,61			
		01	21+100	25+900	4.800											0	24	0,00		0	10	0,00				
SC-448	Turvo - Ermo	02	25+900	28+900	3.000											0	15	0,00		0	7	0,00				
		03	28+900	32+300	3.480											0	17	0,00		0	7	0,00				
		04	32+300	39+300	7.000											0	38	0,00		0	15	0,00				
		01	41+100	43+100	2.000	0	11	0,00				0	11	0,00						0	5	0,00				
SC-463	Ermo - Jacinto Machado	02	48+100	44+900	1.800	0	9	0,00				0	9	0,00		0	9	0,00		0	4	0,00				
		03	44+900	47+300	2.400	0	11	0,00				0	14	0,00		0	14	0,00		0	5	0,00				
		01	39+940	41+280	1.340	0	10	0,00				0	10	0,00		0	10	0,00		0	8	0,00				
		02	41+280	42+040	760	0	4	0,00				0	4	0,00		0	4	0,00		0	4	0,00				
SC-448	Ermo - Entr. BR-101	03	42+040	50+180	8.140	0	41	0,00				0	41	0,00		0	41	0,00		0	17	0,00				
		04	50+180	51+180	980	0	5	0,00				0	5	0,00		0	5	0,00		0	2	0,00				
		01	47+700	49+800	1.800	0	10	0,00				0	10	0,00		0	10	0,00		0	4	0,00				
		02	49+500	50+900	1.000	0	6	0,00				0	6	0,00		0	6	0,00		0	3	0,00				
SC-448		03	50+500	51+100	800	0	4	0,00				0	4	0,00		0	4	0,00		1	2	0,81	1,41			
		04	51+100	53+500	2.400	0	12	0,00				0	12	0,00		0	12	0,00		0	5	0,00				

SH = Subtrecho Homogêneo
 n = Número de elementos por subtrecho homogêneo
 σ = Desvio-Padrão
 CV = Coeficiente de Variação

1990 - Levantamento SGP (SAM)
 1994 - Projeto de Consultoras
 1995 - SGP - DER/SC
 1997 - SGP - DER/SC

1996 - Levantamento de campo

Obs: O decréscimo na progressão dos defeitos do ano 1997 para o ano 1998 se deve, possivelmente, por serem definidos segmentos-testemunhas distintos.

Quadro 4.11 - Análise estatística dos quocientes de irregularidade (QI) por subtrecho homogêneo (SH)

rodovia	trecho	SH	km		extensão (m)	Quociente de Irregularidade (contingens/km)															
			1990			1994		1995		1997		1998									
			média	σ		média	σ	média	σ	média	σ	média	σ	média	σ						
SC-438 Alto da Serra - Lauro Müller		01	137+900	144+100	6.200	0	32	0,00													
			02	144+100	146+100	2.000	0	11	0,00												
			03	146+100	147+100	1.000	0	6	0,00												
			04	147+100	152+100	5.000	0	26	0,00												
SC-438 Lauro Müller - Orleans		01	153+700	155+300	1.800	0	8	0,00													
			02	155+300	157+100	1.800	0	10	0,00												
			06	157+100	161+500	4.400	0	23	0,00												
			04	161+500	165+100	3.600	0	17	0,00												
			05	165+100	166+500	1.400	0		0,00												
SC-447 Nova Veneza - Rio Maina		01	42+050	43+010	920	29	5	1,10	0,04												
			02	43+010	44+290	1.220	28	6	1,83	0,07											
			03	44+230	45+910	1.880	38	7	3,03	0,1											
			04	45+910	48+410	2.500	35	12													
			05	48+410	48+790	1.380	33	7	2,44	0,07											
SC-448 Foquinhinha - Meleiro		01	09+880	13+000	3.120	29	16	7,23	0,25												
			02	13+000	17+320	4.320	22	21	1,44	0,07											
			03	17+320	19+780	2.460	22	13													
			04	19+700	22+980	3.200	19	15	1,91	0,10											
			05	22+980	25+380	2.400	21	12													
SC-285 Timbé do Sul - Turvo		01	21+100	25+900	4.800	0	24	0,00													
			02	25+900	28+900	3.000	0	15	0,00												
			06	28+900	32+300	3.400	0	17	0,00												
			04	32+300	39+300	7.000	0	35	0,00												
SC-448 Turvo - Ermo		01	41+100	43+100	2.000	0	11	0,00													
			02	43+100	44+900	1.800	0	9	0,00												
			03	44+900	47+300	2.400	0	11	0,00												
SC-483 Ermo - Jacinto Machado		01	39+940	41+280	1.340	0	10	0,00													
			02	41+280	42+040	760	0	4	0,00												
			03	42+040	50+180	8.140	0	41	0,00												
			04	50+180	51+160	980	0	5	0,00												
SC-448 Ermo - Entr. BR-101		01	47+700	49+500	1.300	0	10	0,00													
			02	49+500	50+500	1.000	0	6	0,00												
			03	50+500	51+100	600	0	4	0,00												
			04	51+100	53+500	2.400	0	12	0,00												

SH = Subtrecho Homogêneo
 n = Número de elementos por subtrecho homogêneo
 σ = Desvio-Padrão
 CV = Coeficiente de Variação

1990 - Levantamento SGP (SAM)
 1994 - Projeto de Consultoras
 1995 - SGP - DER/SC
 1997 - SGP - DER/SC

1998 - Levantamento de campo

Obs: O decréscimo na progressão dos defeitos do ano 1997 para o ano 1998 se deve, possivelmente, por erro de avaliação ou de transcrição de dados para o SGP.

Quadro 4.12 - Análise estatística dos remendos por subtrecho homogêneo (SH)

rodovia	trecho	SH	km		extensão (m)	1990			1994			1995			1997			1998					
			inicial	final		médica	n	σ	CV	médica	n	σ	CV	médica	n	σ	CV	médica	n	σ	CV		
SC-438	Alto da Serra - Lauro Müller	01	137+900	144+100	6.200	0	32	0,00				5	32	7,76	1,7	16	32	18,19	1,14	0	13	0,70	3,46
		02	144+100	146+100	2.000	0	11	0,00				0	11	0,00		7	11	7,87	1,16	0	5	0,00	
		03	146+100	147+100	1.000	0	6	0,00				0	6	0,00		30	6	21,40	0,72	0	3	0,00	
		04	147+100	152+100	5.000	0	26	0,00				0	26	0,00		3	26	11,40	1,45	0	11	0,00	
SC-438	Lauro Müller - Orleans	01	153+700	155+300	1.600	0	8	0,00				0	8	0,00		0	8	0,00		0	4	0,00	
		02	155+300	157+100	1.800	0	10	0,00				0	10	0,00		0	10	0,00		0	4	0,00	
		03	157+100	161+500	4.400	0	23	0,00				0	23	0,00		0	23	0,00		0	9	0,00	
		04	161+500	165+100	3.600	0	17	0,00				0	20	0,00		0	19	0,00		0	8	0,00	
SC-447	Nova Veneza - Rio Maina	03	165+100	166+500	1.400	0	3	0,00				0	3	0,00		0	3	0,00		0	3	0,00	
		01	42+080	43+010	920	0	6	0,00							0	5	0,00		0	2	0,00		
		02	43+010	44+230	1.220	0	2	0,00							0	2	0,00		0	3	0,00		
		03	44+230	49+910	1.680	0	15	0,00							0	15	0,00		0	4	0,00		
SC-448	Forquilha - Meleiro	04	45+910	48+410	2.500	0	9	0,00							0	9	0,00		0	6	0,00		
		05	48+410	49+790	1.380	0	6	0,00							0	6	0,00		0	3	0,00		
		01	09+880	13+000	3.120	0	16	0,00				8	17	8,27	1,10	19	17	21,73	1,14	5	7	9,18	2
		02	13+000	17+320	4.320	0	21	0,00				6	23	7,76	1,34	20	23	18,68	0,92	7	9	7,69	1,09
SC-265	Timbé do Sul - Turvo	03	17+320	19+780	2.460	0	13	0,00				2	13	3,36	1,69	11	13	13,81	1,26	1	6	1,32	1,16
		04	19+780	22+980	3.200	0	15	0,00				0	17	0,00		8	17	13,69	1,69	15	7	17,64	1,2
		05	22+980	28+380	2.400	0	12	0,00				0	13	0,00		0	13	0,00		2	5	2,51	1,56
		01	21+100	25+900	4.800	0	24	0,00							0	24	0,00		0	10	0,00		
SC-448	Turvo - Ermo	02	25+900	28+300	3.000	0	15	0,00							0	15	0,00		0	7	0,00		
		03	28+300	32+300	3.400	0	17	0,00							0	17	0,00		0	7	0,00		
		04	32+300	39+300	7.000	0	38	0,00							0	35	0,00		0	15	0,00		
		01	41+100	43+100	2.000	0	11	0,00							0	11	0,00		0	5	0,00		
SC-483	Ermo - Jacinto Machado	02	49+100	44+900	1.800	0	9	0,00												0	4	0,00	
		03	44+900	47+300	2.400	0	11	0,00												0	5	0,00	
		01	39+940	41+280	1.940	0	10	0,00				0	10	0,00		0	8	0,00		0	3	0,00	
		02	41+280	42+040	760	0	4	0,00				0	4	0,00		0	4	0,00		0	2	0,00	
SC-448	Ermo - Entr. BR-101	03	42+040	50+180	8.140	0	41	0,00				0	41	0,00		0	41	0,00		0	17	0,00	
		04	50+180	51+160	980	0	5	0,00				0	5	0,00		0	3	0,00		0	2	0,00	
		01	47+700	49+500	1.800	0	10	0,00				0	10	0,00		0	10	0,00		0	4	0,00	
		02	49+500	50+500	1.000	0	6	0,00				0	6	0,00		0	6	0,00		0	3	0,00	
SC-448		03	50+500	51+100	600	0	4	0,00				0	4	0,00		0	4	0,00		0	2	0,00	
		04	51+100	53+500	2.400	0	12	0,00				0	12	0,00		0	12	0,00		0	5	0,00	

SH = Subtrecho Homogêneo
 n = Número de elementos por subtrecho homogêneo
 σ = Desvio-Padrão
 CV = Coeficiente de Variação

1990 - Levantamento SGP (SAM)
 1994 - Projeto de Consultbras
 1995 - SGP - DER/SC
 1997 - SGP - DER/SC

1998 - Levantamento de campo

Obs: O decréscimo na progressão dos defeitos do ano 1997 para o ano 1998 se deve, possivelmente, por serem definidos segmentos-testemunhas distintos.

Quadro 4.13 - Análise estatística dos afundamentos por subtrecho homogêneo (SH)

rodovia	trecho	SH	km		extensão (m)	Afundamento (%)																			
			inicial	final		1990			1994			1995			1997			1998							
						média	σ	CV	média	σ	CV	média	σ	CV	média	σ	CV	média	σ	CV					
SC-438	Alto da Serra - Lauro Müller	01	137+900	144+100	6.200	0	32	0,00																	
		02	144+100	146+100	2.000	0	11	0,00					0	11	0,00										
		03	146+100	147+100	1.000	0	6	0,00					0	6	0,00										
		04	147+100	152+100	5.000	0	26	0,00					0	26	0,00										
SC-438	Lauro Müller - Orleans	01	153+700	155+300	1.600	0	8	0,00					0	8	0,00										
		02	155+300	157+100	1.800	0	10	0,00					0	10	0,00										
		03	157+100	161+500	4.400	0	23	0,00					0	23	0,00										
		04	161+500	165+100	3.600	0	17	0,00					0	19	0,00										
SC-447	Nova Veneza - Rio Maina	05	165+100	166+500	1.400	0	0	0,00					0	3	0,00										
		01	42+090	43+010	920	0	6	0,00																	
		02	43+010	44+230	1.220	0	2	0,00																	
		03	44+230	45+910	1.680	0	15	0,00																	
SC-448	Forquilha - Meleiro	04	45+910	48+410	2.500	0	9	0,00																	
		05	48+410	49+790	1.380	0	6	0,00																	
		01	09+880	13+000	3.120	0	16	0,00					0	16	0,00										
		02	13+000	17+320	4.320	0	21	0,00					1	22	2,54	1,95									
SC-285	Timbé do Sul - Turvo	03	17+320	19+780	2.460	0	13	0,00					0	14	0,00										
		04	19+780	22+880	3.200	0	15	0,00					0	16	0,00										
		05	22+880	25+380	2.400	0	12	0,00					0	13	0,00										
		01	21+100	25+900	4.800	0	24	0,00																	
SC-448	Turvo - Ermo	02	25+900	28+900	3.000	0	15	0,00					0	15	0,00										
		03	28+900	32+300	3.400	0	17	0,00					0	17	0,00										
		04	32+300	39+300	7.000	0	36	0,00					0	35	0,00										
		01	41+100	43+100	2.000	0	19	0,00																	
SC-483	Ermo - Jacinto Machado	02	43+100	44+900	1.800	0	9	0,00																	
		03	44+900	47+300	2.400	0	11	0,00																	
		01	39+940	41+280	1.340	0	10	0,00					0	8	0,00										
		02	41+280	42+040	760	0	4	0,00					0	4	0,00										
SC-448	Ermo - Entr. BR-101	03	42+040	50+180	8.140	0	41	0,00					0	41	0,00										
		04	50+180	51+160	980	0	5	0,00					0	3	0,00										
		01	47+700	49+500	1.800	0	10	0,00																	
		02	49+500	50+500	1.000	0	6	0,00																	
		03	50+500	51+100	600	0	4	0,00																	
		04	51+100	53+500	2.400	0	12	0,00																	

SH = Subtrecho Homogêneo
 n = Número de elementos por subtrecho homogêneo
 σ = Desvio-Padrão
 CV = Coeficiente de Variação

1990 - Levantamento SGP (SAM)
 1994 - Projeto de Consultoras
 1995 - SGP - DER/SC
 1997 - SGP - DER/SC

1998 - Levantamento de campo

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 – INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por finalidade avaliar estrutural e funcionalmente os oito trechos de rodovias da região Sul do Estado de Santa Catarina selecionados para a pesquisa.

A localização dos trechos encontra-se no primeiro capítulo.

A seguir serão apresentados os detalhes e as considerações gerais obtidos nestas análises.

5.2 – RODOVIA SC-438, TRECHO ALTO DA SERRA – LAURO MÜLLER

O trecho de rodovia é limitado entre os quilômetros 137,9km e 152,1km, tendo extensão total de 14,2km e concluído em 1986. O seu pavimento é constituído de, em média, 4cm de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), 22cm de base em seixo britado, 32cm de sub-base em seixo bruto e subleito constituído de material com Índice de Suporte Califórnia (ISC) aproximado de 7,0%.

Para este trecho o volume médio diário (VMD) é de 1.266 veículos, sendo 36% deste composto de veículos comerciais (ônibus, caminhões e semi-reboques).

Este trecho foi dividido em quatro subtrechos homogêneos. O terceiro subtrecho homogêneo (SH03) encontra-se em zona urbana e, portanto, não foi considerado como análise.

5.2.1 – Avaliação Estrutural

5.2.1.1 – Bacias de Deflexão

As bacias de deflexão foram levantadas com o “*Falling Weight Deflectometer*” (FWD) nas duas faixas de tráfego em intervalos de 200m.

Conforme citado no capítulo 2 (item 2.9.6), DUARTE *et al.* (1996) e DNER (1998) recomendam que as bacias obtidas pelo FWD sejam convertidas, por meio de modelos, para bacias de viga Benkelman. Os valores das deflexões corrigidas, D_{0c} nos respectivos quilômetros, são mostrados na figura 5.1.

Na figura 5.1 observa-se que o subtrecho homogêneo SH04 encontra-se com a maioria das deflexões máximas (D_0) inferiores a 0,60mm, indicando um bom comportamento estrutural do subtrecho. Os subtrechos homogêneos SH01 e SH02 encontram-se com um percentual reduzido de D_0 inferiores a 0,60mm não caracterizando o mesmo comportamento do SH04.

5.2.1.2 – Retroanálises

5.2.1.2.1 – RETRAN-2CL

Como primeira parte das retroanálises, foi avaliada a condição estrutural do pavimento com base no programa RETRAN-2CL e na metodologia desenvolvidos por ALBERNAZ (1997).

A retroanálise foi feita ponto a ponto obtendo-se os valores de E_p , E_{sg} , S_{Neff} e T_x mostrados nas figuras 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5.

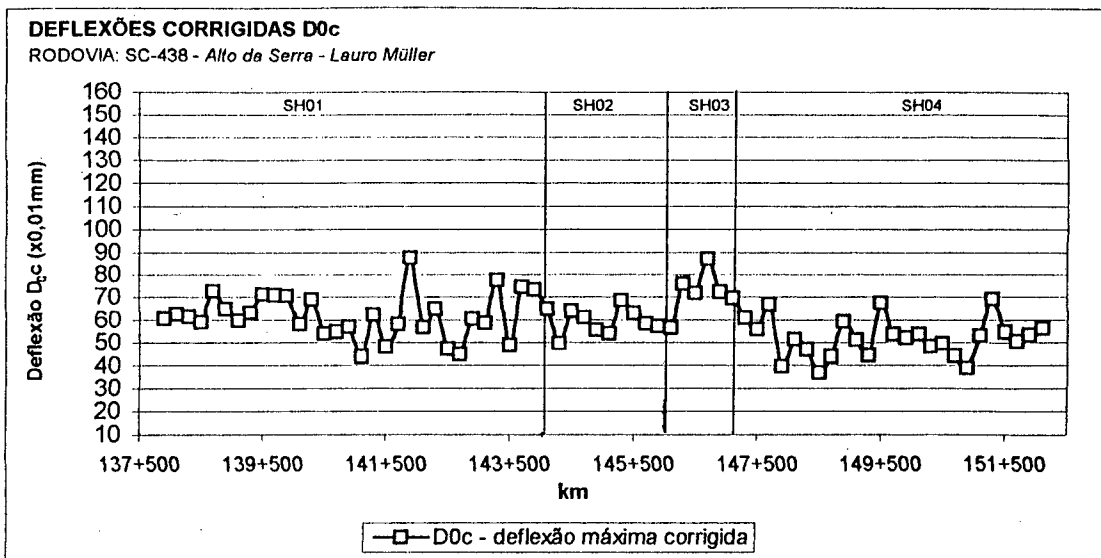


Figura 5.1 - Valores de deflexão D_{0c}

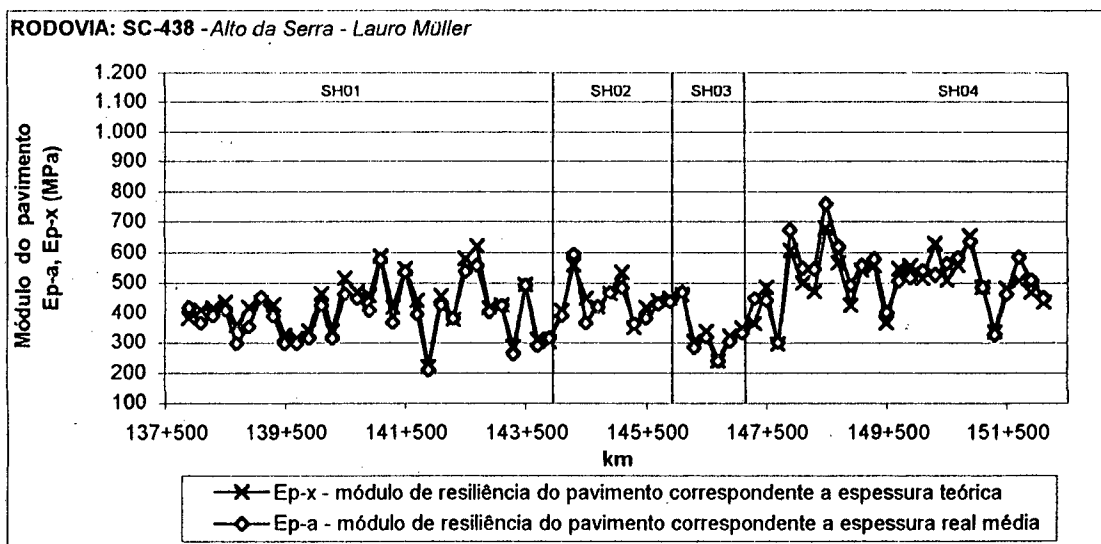


Figura 5.2 - Comparação entre os valores de Ep-x e Ep-a

▪ Ep - Módulo de Resiliência do Pavimento

O gráfico da figura 5.2 e o quadro 5.1 mostram que o módulo de resiliência do pavimento (Ep) situa-se no valor médio de 449MPa para Ep-a e 455MPa para Ep-x, mostrando-se uma excelente concordância entre os valores individuais por quilômetro.

- Esg - Módulo de Resiliência do Subleito

No caso do módulo de resiliência do subleito (Esg) a figura 5.3 e o quadro 5.1 demonstram que há também excelente concordância entre os valores de Esg-a e Esg-x com exceção do km 150.300 que apresentou um valor espúrio para Esg-x igual 1.213MPa que, portanto, foi excluído dos demais. Esse fato é mencionado por ALBERNAZ (1997) como sendo indicativo da presença de camadas mais rígidas, no subleito, ou seja, materiais mais resistentes (rocha sã ou alterada), ou ainda indicar a presença de bueiros, afetando na conformação da bacia e, conseqüentemente, nos valores modulares.

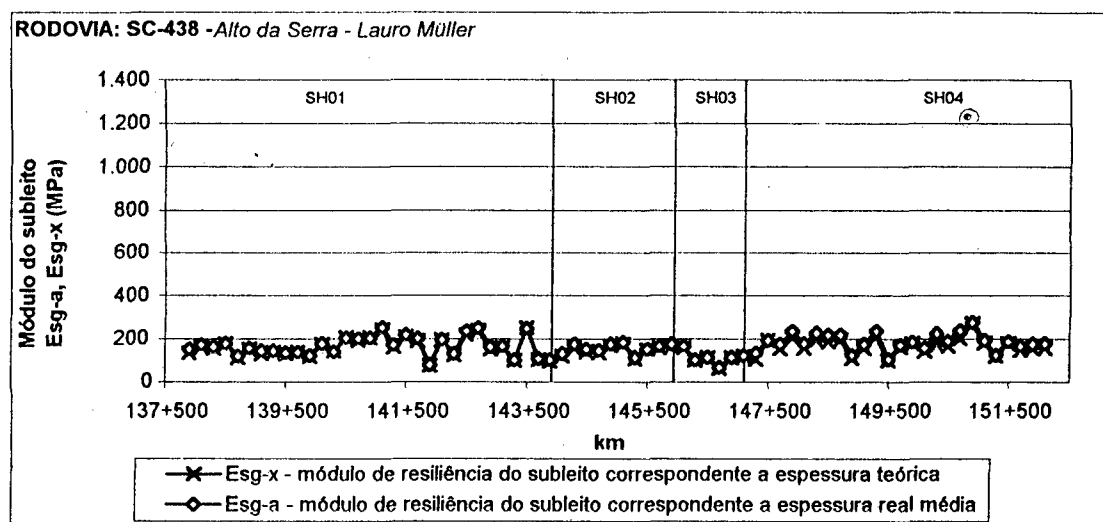


Figura 5.3 - Comparação entre os valores de Esg-x e Esg-a

- S_{Neff} - Número Estrutural Efetivo

Os números estruturais efetivos encontrados no gráfico 5.4 e no quadro 5.1 apresentam valores médios de S_{Neff-a} igual a 9,85 e S_{Neff-x} igual a 9,53. A diferença entre as médias de S_{Neff-a} e S_{Neff-x} (0,14) é baixa, porém seus respectivos valores altos.

O valor do número estrutural corrigido (S_{NC}) calculado pela PRO 159/85 é de 3,85, bem inferior aos de S_{Neff-a} e S_{Neff-x}.

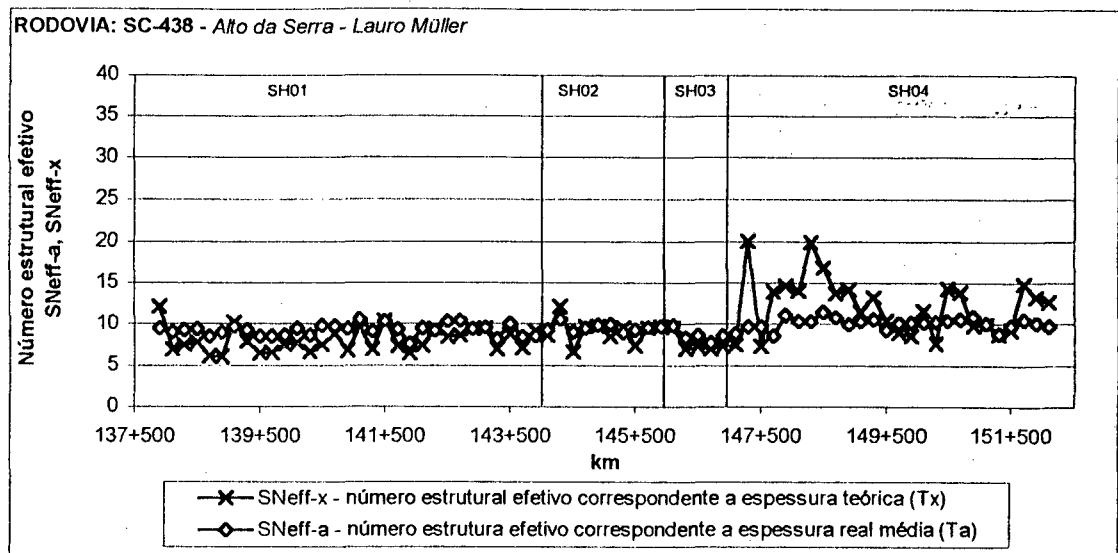


Figura 5.4 - Comparação entre os valores de SNeff-x e SNeff-a

▪ Tx - Espessura Efetiva

A figura 5.5 mostra que os valores da espessura teórica (ou efetiva), Tx, para os subtrechos homogêneos SH01 e SH02 são de modo geral inferiores à espessura real (Ta). ALBERNAZ (1997) analisa este fato como sendo a provável parte fraca do sistema pavimento-subleito o pavimento, não significando, necessariamente, a presença de deficiência estrutural nesses locais, mas que devem ser analisados com mais atenção.

No subtrecho homogêneo SH04, observa-se que as espessuras teóricas (Tx) são em sua maioria superiores à espessura real (Ta). Isto demonstra um bom comportamento estrutural para este subtrecho.

Esta análise reforça a anterior analisada, com relação às bacias de deflexão.

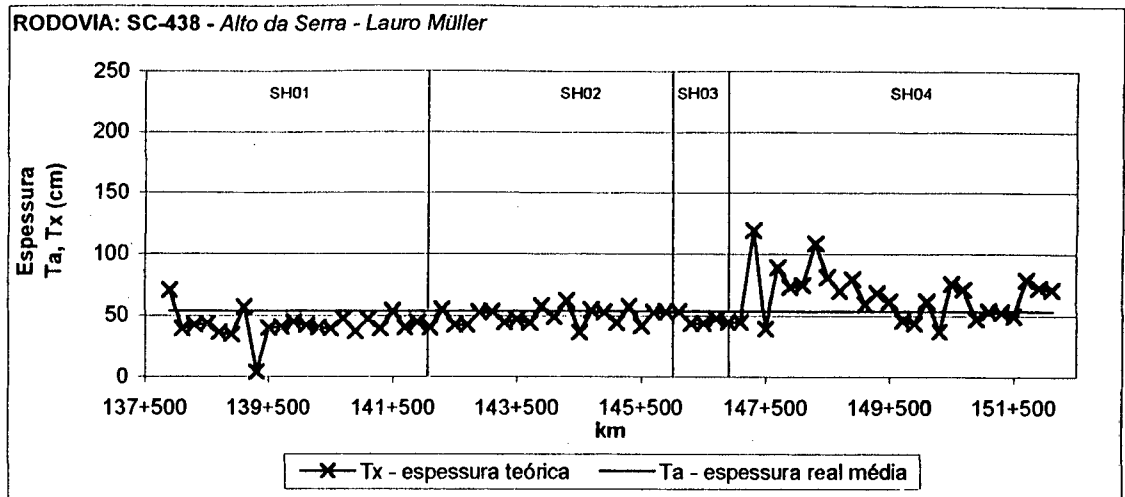


Figura 5.5 - Comparação entre os valores de Tx e Ta

Quadro 5.1 - Análise estatística dos parâmetros de retroanálise - Ep, Esg, SNeff e T Rodovia SC-438, trecho Alto da Serra - Lauro Müller

parâmetro / dado estatístico	Ep-a (MPa)	Ep-x (MPa)	Esg-a (MPa)	Esg-x (MPa)	SNeff-a	SNeff-x	T-a (cm)	T-x (cm)
média	449	454	173	160	9,85	9,53	56,00	52,82
desvio padrão	107	96	42	135	0,77	2,64	-	13,44
coeficiente de variação (%)	2	2	2	2	8,04	27,72	-	25,44
máximo	759	679	276	269	11,44	20,10	-	119,20
mínimo	209	220	78	66	7,50	6,03	-	4,00

5.2.1.2.2 - ELSYM-5

A partir das deflexões corrigidas obteve-se as bacias características mostradas no gráfico da figura 5.6.

Após retroanalisadas as bacias características corrigidas de cada subtrecho homogêneo, pelo ELSYM-5 (FHA, 1986), pode-se obter os valores de:

- MRr = módulo de resiliência do revestimento;
- MRb = módulo de resiliência da base;
- MRsb = módulo de resiliência da sub-base; e
- MRsbl = módulo de resiliência do subleito.

Estes dados são apresentados no quadro 5.2.

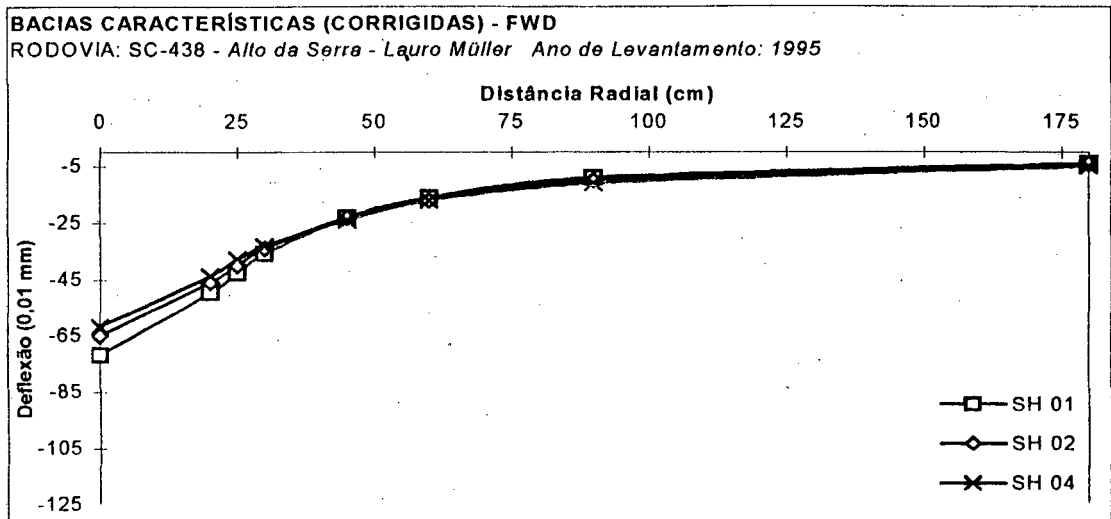


Figura 5.6 – Conformação das bacias características (corrigidas) por subtrecho homogêneo

Quadro 5.2 – Parâmetros de retroanálise - ELSYM-5 por subtrechos homogêneos (SH) Rodovia SC-438, trecho Alto da Serra - Lauro Müller

parâmetro	SH		
	SH01	SH02	SH04
D_0 (0,01mm)	72	65	62
MR_r (MPa)	1.500	2.200	2.200
MR_b (MPa)	120	150	160
MR_{sb} (MPa)	80	100	100
MR_{sbl} (MPa)	130	100	100

Com base no quadro 5.2 e na figura 5.7, observa-se que o revestimento sofreu diminuição dos seus respectivos módulos de resiliência inversamente proporcional à deflexão máxima. Os valores modulares da base, sub-base e do subleito permaneceram na mesma ordem de grandeza e praticamente constantes.

5.2.1.3 – Levantamento de Campo

O levantamento de campo realizado em 1998 foi efetuado com base na especificação do DNER-ES 128/83.

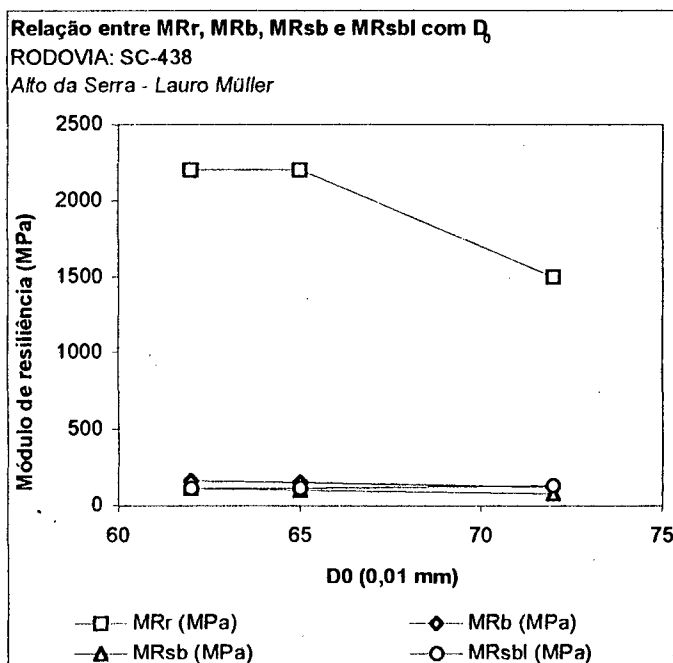


Figura 5.7 – Relação dos parâmetros MRr, MRb, MRsb e MRsbl com D_0

O quadro 5.3 mostra a frequência e os tipos de defeitos encontrados em cada uma das faixas de tráfego (faixa externa FE e faixa interna FI), trilhas de roda (interna TRI e externa TRE) e eixo da pista.

O quadro 5.3 mostra que o trecho encontra-se com desgaste apresentando alguns problemas localizados de trincas tipo “couro de jacaré”, trincas irregulares, panelas e remendos. Os defeitos encontrados apresentam uma relativa concentração na trilha de roda interna da faixa direita (TRI/FD) com uma frequência de 41 defeitos e no eixo com uma frequência de 43 defeitos. Nas demais superfícies os defeitos encontram-se aproximadamente constantes, em média com 35 defeitos.

5.2.1.4 – Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos

O quadro 5.4 demonstra que a maior causa dos defeitos levantados, ao longo do trecho, é com relação ao carregamento solicitado na estrutura do pavimento (98%) e apenas representando 2% os fatores quanto a meio ambiente e materiais constituintes influenciaram na sua degradação, sendo que este último fator concentra-se no SH04 (9%).

**Quadro 5.3 – Resumo de localização e frequência de defeitos
Rodovia SC-438, trecho Alto da Serra – Lauro Müller**

DEFEITO			FD		FE		FD	FE	TRE	TRI	TOTAL
TIPO	CLASSE	TRE	TRI	TRI	TRE						
		TRINCA	TRANSVERSAL	1							
2				1			1			1	1
3											
LONGITUDINAL	1										
	2										
	3										
BLOCO	1										
	2										
	3										
JACARÉ	1		1	1			2		1	1	2
	2		1	6	2		7	2	1	8	9
	3			2	2		2	2		4	4
IRREGULAR	1										
	2			3	2		3	2		5	5
	3			1	2	1	1	3	1	3	4
PANELA					1			1	1	1	
REMENDO						3		3	3	3	
EXSUDAÇÃO											
DESGASTE			32	32	32	32	64	64	64	64	128
AFUNDAMENTO											
ONDULAÇÃO											
TOTAL			34	46	41	36	80	77	70	87	157

FD - FAIXA DIREITA

FE - FAIXA ESQUERDA

TRE - TRILHA DE RODA EXTERNA

TRI - TRILHA DE RODA INTERNA

Quadro 5.4- Percentual de responsabilidades para as causas prováveis do surgimento dos defeitos

Rodovia SC-438, trecho Alto da Serra – Lauro Müller

<i>SH</i>	<i>causa provável</i>	<i>carga / tráfego</i>	<i>meio ambiente / materiais</i>	<i>outros</i>
SH01		100%	-	-
SH02		100%	-	-
SH04		91%	9%	-
TRECHO		98%	2%	-

5.2.2 – Irregularidade

Os valores do QI para 1995 e 1997 enquadram-se em média de 38contagens/km e 37contagens/km, respectivamente, como é mostrado no quadro 5.5 e na figura 5.8.

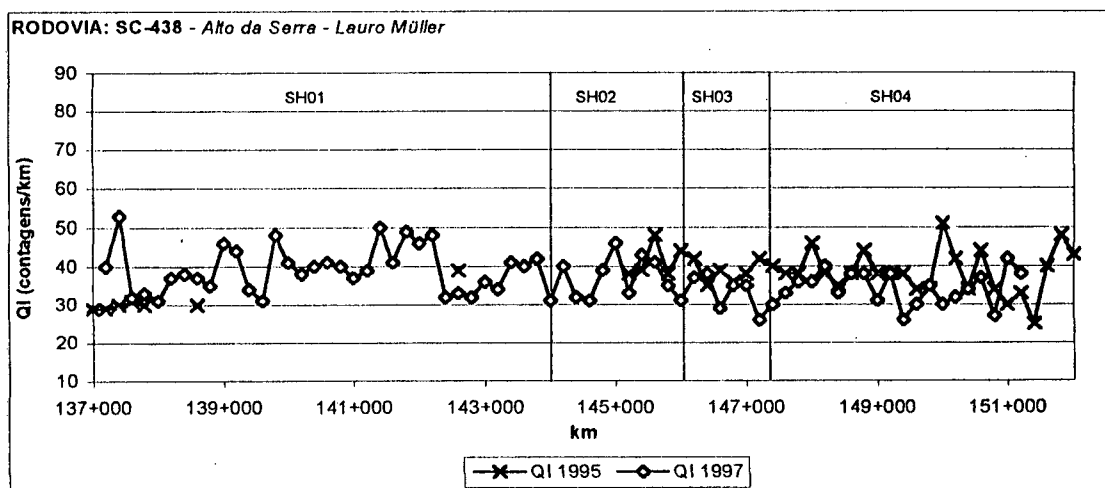


Figura 5.8 – Valores de QI ao longo do trecho

Na figura 5.8 o subtrecho homogêneo SH01 apresenta, de modo geral, uma evolução crescente no desenvolvimento do QI. No entanto, o SH02 apresenta decréscimo e o SH04 varia na evolução crescente e decrescente ao longo de seus estaqueamentos.

**Quadro 5.5 – Análise estatística dos parâmetros de QI
Rodovia SC-438, trecho Alto da Serra – Lauro Müller**

parâmetro	Quociente de Irregularidade (contagens/km)		
	1990	1995	1997
dado estatístico			
média	-	38	37
desvio padrão	-	4,86	5,89
coeficiente de variação (%)	-	13,00	16,00
máximo	-	51	53
mínimo	-	25	26

5.3 – RODOVIA SC-438, TRECHO LAURO MÜLLER – ORLEANS

O trecho de rodovia é limitado entre as quilometragens 153,7km e 166,5km, tendo extensão total de 12,8km e concluído em 1986. O seu pavimento é constituído de, em média, 3,5cm de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), 15cm de base em seixo britado, 20cm de sub-base em seixo bruto e com subleito regularizado com ISC \cong 7,0%.

O tráfego deste trecho é da ordem de VMD = 2.751 veículos, sendo 22% deste composto de veículos comerciais (ônibus, caminhões e semi-reboques).

5.3.1 – Avaliação Estrutural

5.3.1.1 – Bacias de Deflexão

As bacias de deflexão foram levantadas com o “*Falling Weight Deflectometer*” (FWD) nas duas faixas de tráfego em intervalos de 200m.

Na figura 5.9 observa-se que a maioria das deflexões corrigidas D_{0c} (77%) é inferior a 0,60mm, indicando bom comportamento estrutural do trecho.

5.3.1.2 – Retroanálises

5.3.1.2.1 – RETRAN-2CL

A retroanálise foi feita ponto a ponto obtendo-se os valores de E_p , E_{sg} , S_{Neff} e T_x mostrados nas figuras 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13.

▪ E_p – Módulo de Resiliência do Pavimento

O gráfico da figura 5.10 e o quadro 5.6 mostram que o módulo de resiliência do pavimento (E_p) situa-se no valor médio de 671MPa para E_{p-a} e 481MPa para E_{p-x} , apresentando-se para esta situação nenhuma concordância.

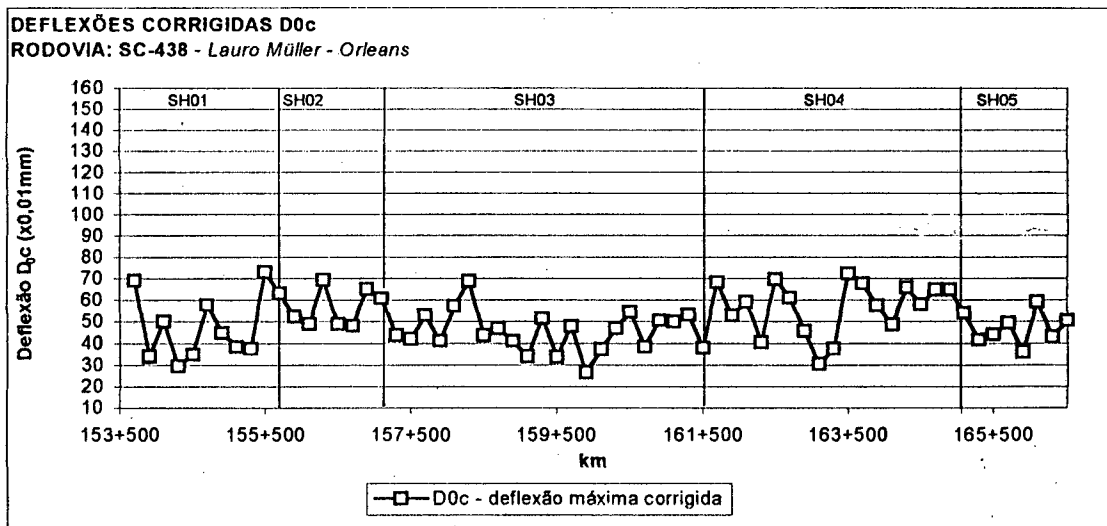


Figura 5.9 – Valores de deflexão D_{0c}

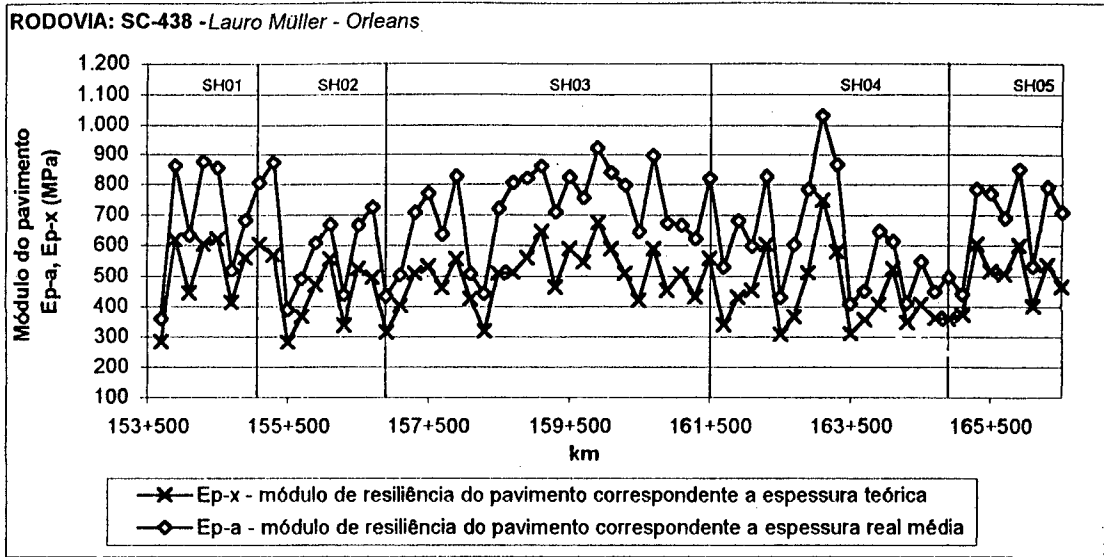


Figura 5.10 - Comparação entre os valores de Ep-x e Ep-a

▪ Esg - Módulo de Resiliência do Subleito

No caso do módulo de resiliência do subleito (Esg) a figura 5.11 e o quadro 5.6 demonstram que há pouca concordância entre os valores de Esg-a e Esg-x em alguns segmentos localizados.

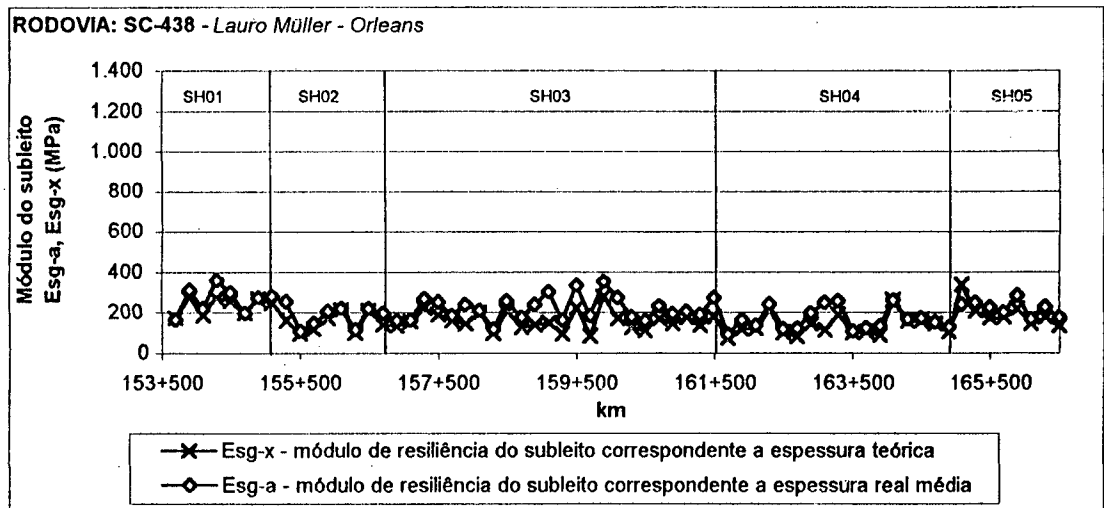


Figura 5.11 - Comparação entre os valores de Esg-x e Esg-a

- S_{Neff} – Número Estrutural Efetivo

Os números estruturais efetivos encontrados no gráfico 5.12 e no quadro 5.6 apresentam valores correspondentes a espessura teórica 18,49 por quilômetro extremamente superiores aos encontrados para espessura real 7,74, que ainda apresenta-se alto.

O valor do número estrutural corrigido (SNC) calculado pela PRO 159/85 foi de 2,98, bem inferior aos de S_{Neff-a} e S_{Neff-x}.

- T_x – Espessura Efetiva

A figura 5.16 mostra que os valores da espessura efetiva (T_x), para toda extensão do trecho, encontram-se superiores em relação à espessura real (T_a). Isto demonstra um bom comportamento estrutural.

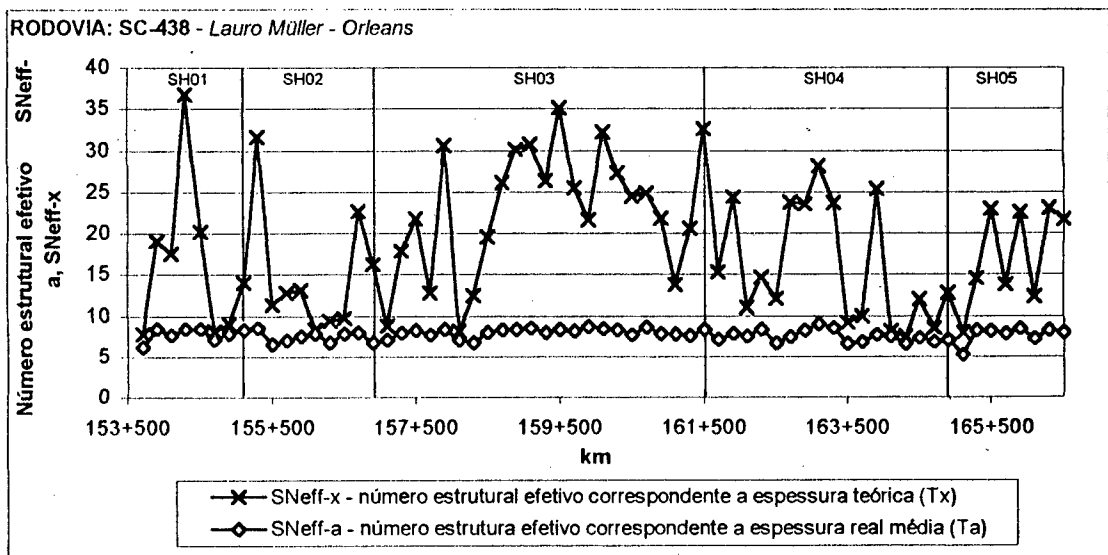


Figura 5.12 – Comparação entre os valores de S_{Neff-x} e S_{Neff-a}

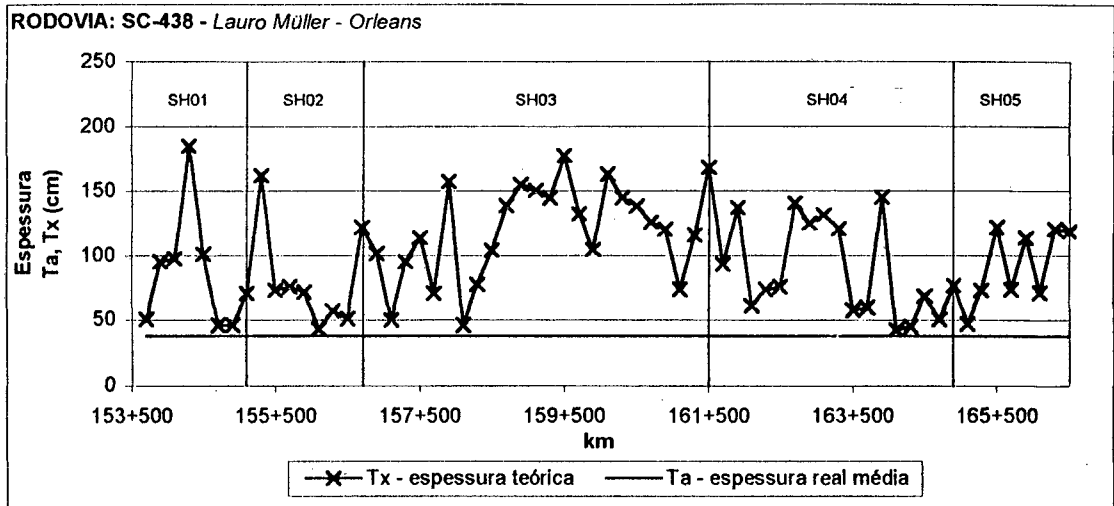


Figura 5.13 - Comparação entre os valores de Tx e Ta

Quadro 5.6 - Análise estatística dos parâmetros de retroanálise - Ep, Esg, SNeff e T
Rodovia SC-438, trecho Lauro Müller - Orleans

parâmetro / dado estatístico	Ep-a (MPa)	Ep-x (MPa)	Esg-a (MPa)	Esg-x (MPa)	SNeff-a	SNeff-x	T-a (cm)	T-x (cm)
média	671	481	207	163	7,74	18,49	38,50	99,38
desvio padrão	162	107	63	53	0,65	8,08	-	39,72
coeficiente de variação (%)	2	2	3	33	8,45	43,68	-	39,96
máximo	1.030	751	351	337	9,00	36,75	-	184,70
mínimo	360	283	92	73	5,20	7,81	-	42,60

5.3.1.2.2 - ELSYM-5

Com base nas deflexões corrigidas obteve-se as bacias características como mostra o gráfico da figura 5.14.

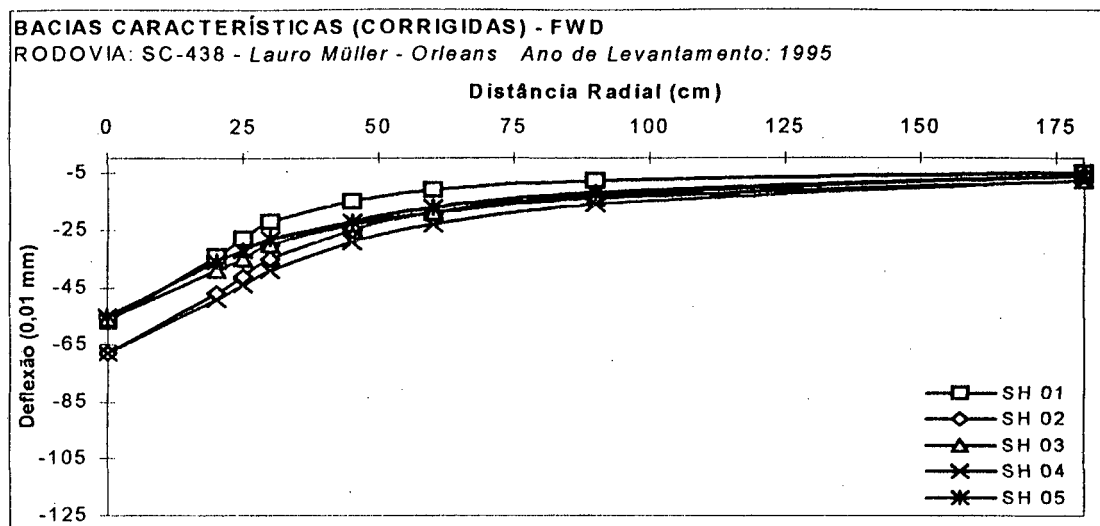


Figura 5.14 – Conformação das bacias características (corrigidas) por subtrecho homogêneo

Pelo ELSYM-5 (FHA, 1986) pode-se obter os valores de:

- MR_r = módulo de resiliência do revestimento;
- MR_b = módulo de resiliência da base;
- MR_{sb} = módulo de resiliência da sub-base; e
- MR_{sbl} = módulo de resiliência do subleito.

Estes dados são apresentados no quadro 5.7.

Quadro 5.7 – Parâmetros de retroanálise - ELSYM-5 por subtrechos homogêneos (SH) Rodovia SC-438, trecho Lauro Müller - Orleans

parâmetro \ SH	SH01	SH02	SH03	SH04	SH05
D_0 (0,01mm)	57	68	56	68	55
MR_r (MPa)	2.500	2.000	2.500	2.000	2.500
MR_b (MPa)	250	190	250	190	250
MR_{sb} (MPa)	110	90	110	90	110
MR_{sbl} (MPa)	110	100	110	100	110

Na figura 5.15 e no quadro 5.7 são mostrados que os valores modulares do revestimento são inversamente proporcionais às deflexões máximas. Observa-se para base a mesma situação ocorrida no revestimento, porém, com menor acentuação no decréscimo dos módulos. Os valores modulares da sub-base e do subleito são da mesma ordem de grandeza e praticamente constantes.

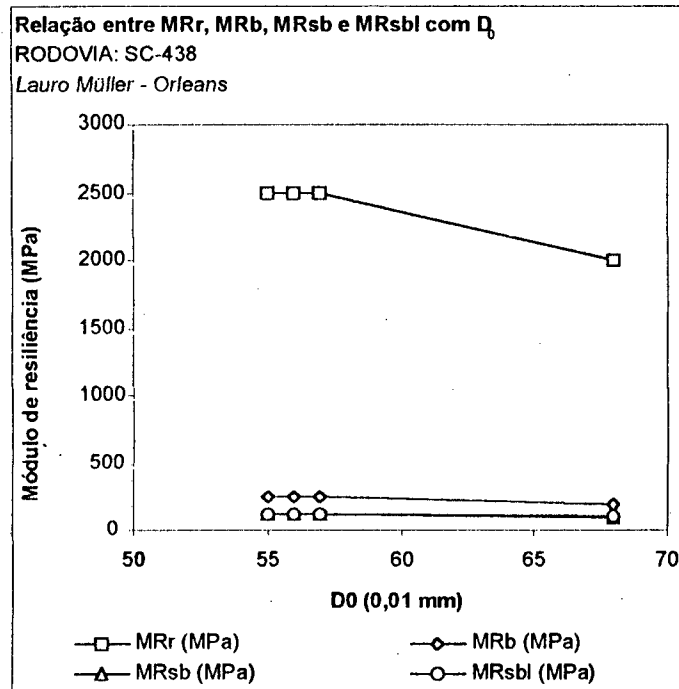


Figura 5.15 – Relação dos parâmetros MRr, MRb, MRsb e MRsbl com D_0

5.3.1.3 – Levantamento de Campo

O quadro 5.8 mostra a frequência e os tipos de defeitos encontrados.

Esse quadro mostra que o trecho encontra-se com desgaste apresentando alguns problemas localizados de trincas longitudinais, trincas tipo “couro de jacaré” e trincas irregulares. É mostrado ainda que os defeitos encontrados apresentam com maior concentração nas trilhas de roda interna e externa da faixa direita (TRI/FD e TRE/FD) e eixo com uma frequência média de 30 defeitos e nas trilhas de roda interna e externa da faixa esquerda (TRI/FE e TRI/FE) com uma frequência de 28 defeitos.

**Quadro 5.8 – Resumo de localização e frequência de defeitos
Rodovia SC-438, trecho Lauro Müller - Orleans**

DEFEITO			FD		FE		FD	FE	TRE	TRI	TOTAL
TIPO	CLASSE	TRE	TRI	TRI	TRE						
		TRINCA	TRANSVERSAL	1							
2											
3											
LONGITUDINAL	1										
	2		1		1		1	1	1	1	2
	3										
BLOCO	1										
	2										
	3										
JACARÉ	1										
	2		3	3	2	1	6	3	4	5	9
	3				2	1		3	1	2	3
IRREGULAR	1										
	2			1	1		1	1		2	2
	3										
PANELA											
REMENDO											
EXSUDAÇÃO											
DESGASTE			26	26	26	26	52	52	52	52	104
AFUNDAMENTO											
ONDULAÇÃO											
TOTAL			30	30	32	28	60	60	58	62	120

FD - FAIXA DIREITA
 FE - FAIXA ESQUERDA
 TRE - TRILHA DE RODA EXTERNA
 TRI - TRILHA DE RODA INTERNA

5.3.1.4 – Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos

O quadro 5.9 demonstra que a maior causa dos defeitos levantados, ao longo do trecho, é com relação ao carregamento solicitado na estrutura do pavimento (94%) e apenas representando 6% os fatores quanto a meio ambiente e materiais constituintes influenciaram na sua degradação, sendo que este último fator encontra-se no SH01 (20,00%). Cabe ressaltar que o SH01 apresenta uma porcentagem alta quanto a influência dos defeitos por meio ambiente e por tipo de material devido ao fato da existência de trincas longitudinais neste trecho.

Quadro 5.9 - Percentual de responsabilidades para as causas prováveis do surgimento dos defeitos Rodovia SC-438, trecho Lauro Müller - Orleans

SH \ causa provável	carga / tráfego	meio ambiente / materiais	outros
SH01	80%	20%	-
SH02	100%	-	-
SH03	100%	-	-
SH04	100%	-	-
SH05	100%	-	-
TRECHO	94%	6%	-

5.3.2 – Irregularidade

Os valores do QI para 1995 e 1997 enquadram-se em média de 32contagens/km e 27contagens/km respectivamente, como é mostrado no quadro 5.10 e na figura 5.16.

Os subtrechos homogêneos SH01, SH02 e SH03 apresentam, de modo geral, valores de QI em 1995 superiores ao de 1997. Nos subtrechos SH04 e SH05 observa-se razoável concordância.

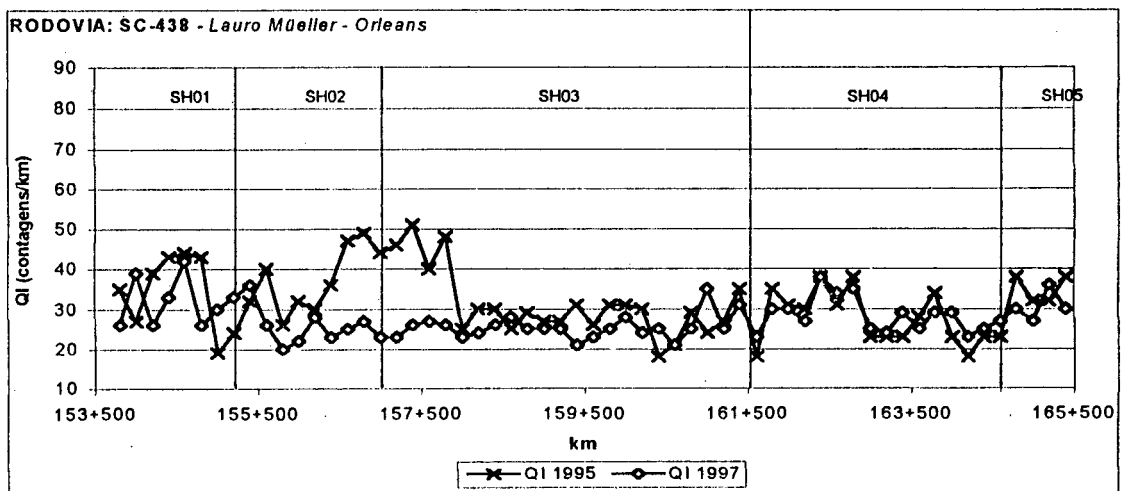


Figura 5.16 - Valores de QI ao longo do trecho

**Quadro 5.10 – Análise estatística dos parâmetros de QI
Rodovia SC-438, trecho Lauro Müller – Orleans**

<i>dado estatístico</i> \ <i>parâmetro</i>	<i>Quociente de Irregularidade (contagens/km)</i>		
	1990	1995	1997
média	-	32	27
desvio padrão	-	8,39	4,51
coeficiente de variação (%)	-	26,00	16,00
máximo	-	51	42
mínimo	-	18	20

5.4 – RODOVIA SC-447, TRECHO NOVA VENEZA – RIO MAINA

O trecho de rodovia é limitado entre as quilometragens 42,0km e 49,7km, tendo extensão total de 7,7km e concluído em 1985. O seu pavimento é constituído de, em média, 4cm de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), 17cm de base em seixo britado, 25cm de sub-base em seixo bruto e com subleito regularizado com ISC \cong 7,0%.

O tráfego deste trecho é da ordem de VMD = 3.117 veículos, sendo 19% deste composto de veículos comerciais (ônibus, caminhões e semi-reboques).

5.4.1 – Avaliação Estrutural

5.4.1.1 – Bacias de Deflexão

As bacias de deflexão foram levantadas com a viga Benkelman nas duas faixas de tráfego por consultoras locais.

Na figura 5.17 observa-se que os subtrechos homogêneos SH02 e SH04 encontram-se apenas 33% e 25%, respectivamente, das deflexões máximas inferiores a 0,60mm, indicando-se um comportamento estrutural inadequado.

Os demais subtrechos (SH01, SH03 e SH05) possuem mais da metade de suas deflexões máximas inferiores a 0,60mm. Isto indica um bom comportamento da estrutura para estes subtrechos.

5.4.1.2 – Retroanálises

5.4.1.2.1 – RETRAN-2CL

A retroanálise foi feita ponto a ponto obtendo-se os valores de Esg, Ep, SNeff e Tx mostrados nas figuras 5.18, 5.19, 5.20 e 5.21.

▪ Ep – Módulo de Resiliência do Pavimento

O gráfico da figura 5.18 e o quadro 5.11 mostram que o módulo de resiliência do pavimento (Ep) situa-se no valor médio de 372MPa (Ep-a) e 312MPa (Ep-x), mostrando-se uma boa concordância entre os valores individuais por quilômetro.

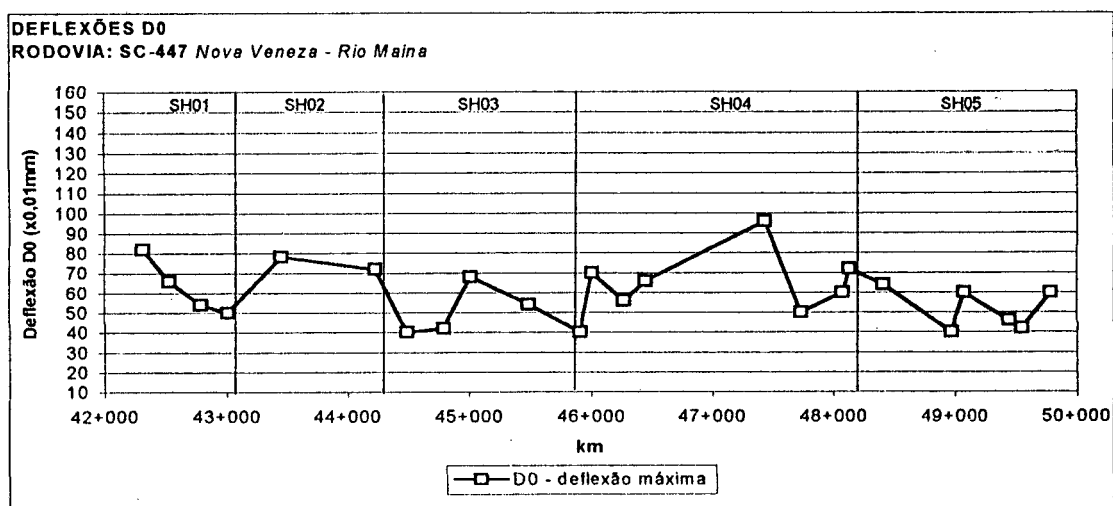


Figura 5.17 – Valores de deflexão D₀

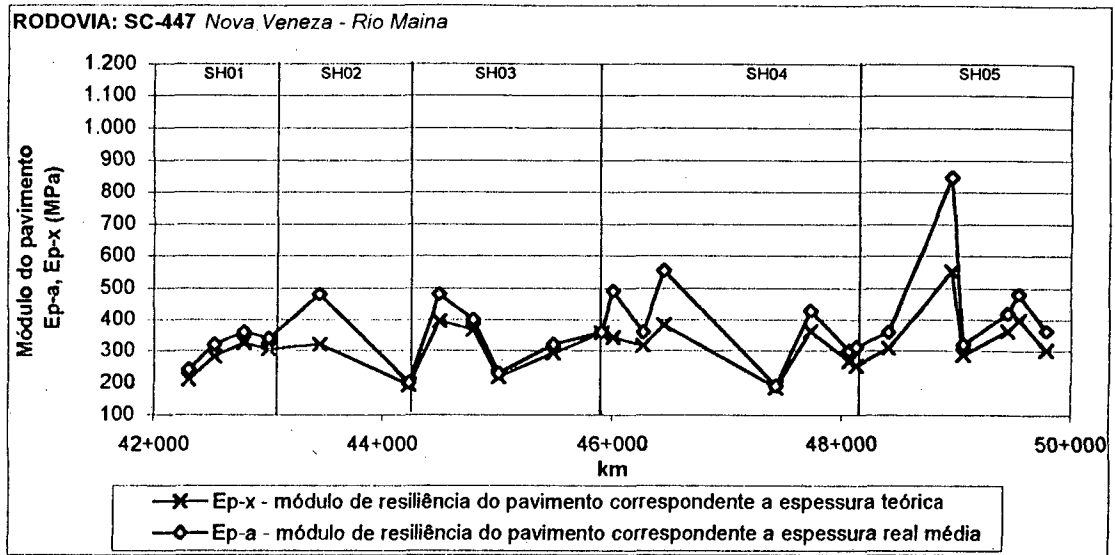


Figura 5.18 - Comparação entre os valores de Ep-x e Ep-a

- Esg - Módulo de Resiliência do Subleito

No caso do módulo de resiliência do subleito (Esg) a figura 5.19 e o quadro 5.11 demonstram que houve também boa concordância entre os valores de Esg-a e Esg-x com exceção das quilômetros 43,310 e 45,210 apresentando-se picos esporádicos para os seus valores de Esg-a, 480MPa e 540MPa, respectivamente. Esse fato pode indicar a presença de camadas mais rígidas no subleito, ou seja, materiais mais resistentes (rocha sã ou alterada), ou ainda indicar a presença de bueiros, afetando na conformação da bacia e, conseqüentemente, nos valores modulares.

- S_{Neff} - Número Estrutural Efetivo

Os números estruturais efetivos encontrados no gráfico 5.20 e o quadro 5.11 apresentam valores médios de S_{Neff-a} igual a 6,91 e S_{Neff-x} igual a 11,81. A

diferença entre as médias de S_{Neff-a} e S_{Neff-x} (4,90) é alta e o valor de S_{Neff-x} é superior ao de S_{Neff-a} .

O valor do número estrutural corrigido (SNC) calculado pela PRO 159/85 foi de 3,14, bem inferior aos de S_{Neff-a} e S_{Neff-x} .

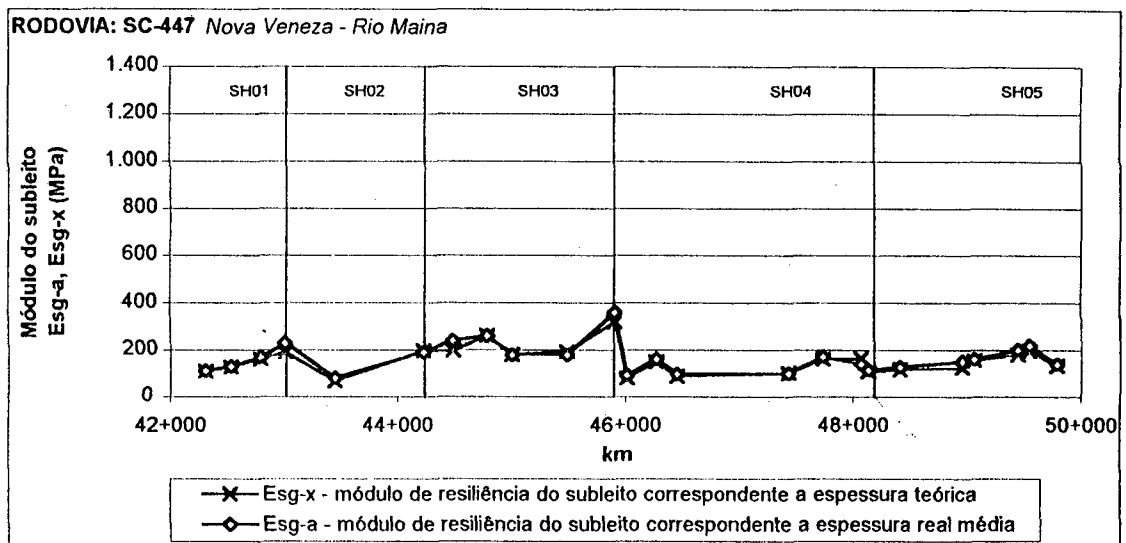


Figura 5.19 - Comparação entre os valores de Esg-x e Esg-a

▪ Tx - Espessura Efetiva

A figura 5.21 mostra que os valores da espessura efetiva (T_x) para maior parte do trecho encontram-se superiores em relação à espessura real (T_a), com exceção de alguns segmentos que apresentam valores iguais para as duas espessuras. Isto demonstra, de modo geral, um bom comportamento estrutural.

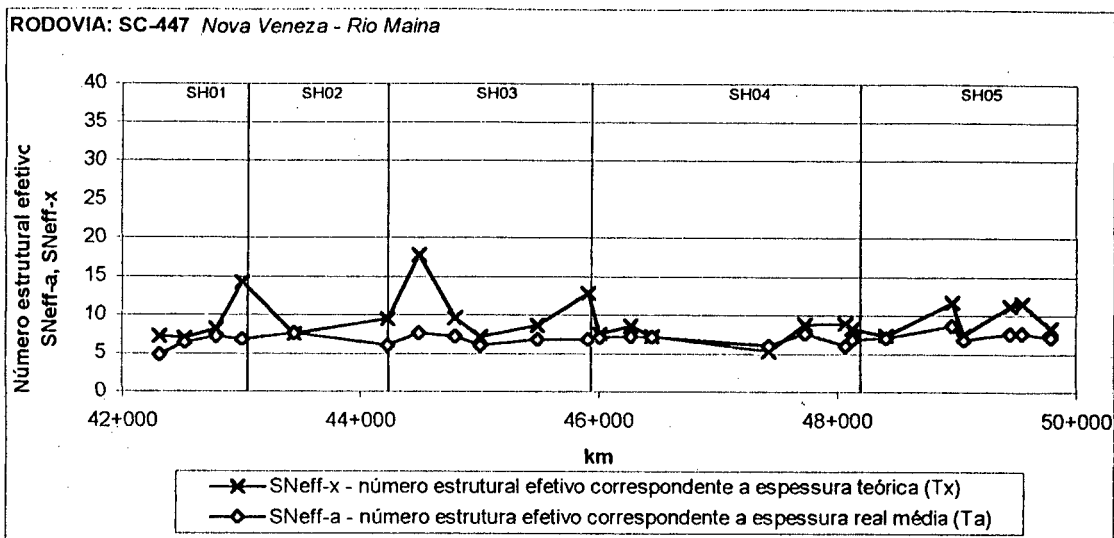


Figura 5.20 – Comparação entre os valores de SNeff-x e SNeff-a

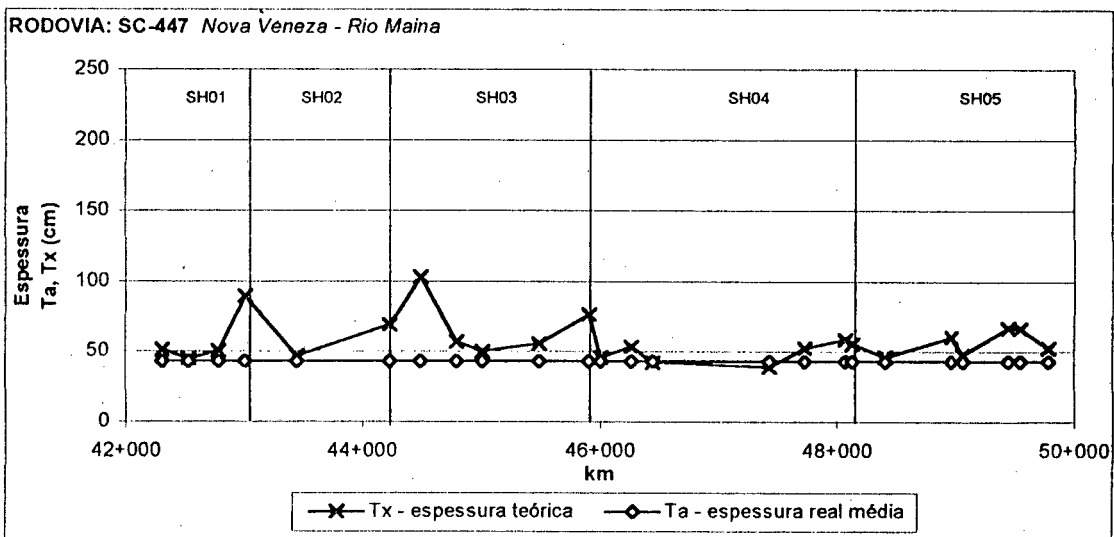


Figura 5.21 – Comparação entre os valores de Tx e Ta

Quadro 5.11 – Análise estatística dos parâmetros de retroanálise – Ep, Esg, SNeff e T Rodovia SC-447, trecho Nova Veneza – Rio Maina

parâmetro / dado estatístico	Ep-a (MPa)	Ep-x (MPa)	Esg-a (MPa)	Esg-x (MPa)	SNeff-a	SNeff-x	T-a (cm)	T-x (cm)
média	361	316	158	156	6,91	9,23	46,00	55,62
desvio padrão	96	79	50	58	0,78	2,77	-	11,76
coeficiente de variação (%)	3	3	3	4	11,28	29,97	-	26,13
máximo	847	550	360	320	8,67	17,80	-	103,20
mínimo	190	190	80	66	4,80	5,28	-	39,20

5.4.1.2.2 – ELSYM-5

A partir das deflexões obteve-se as bacias características como mostra o gráfico da figura 5.22. Nesse gráfico pode-se observar que não houve concordância alguma com as bacias dos subtrechos homogêneos apresentados.

Pelo ELSYM-5 (FHA, 1986) pode-se obter os valores de:

- MRr = módulo de resiliência do revestimento;
- MRb = módulo de resiliência da base;
- MRsb = módulo de resiliência da sub-base; e
- MRsbl = módulo de resiliência do subleito.

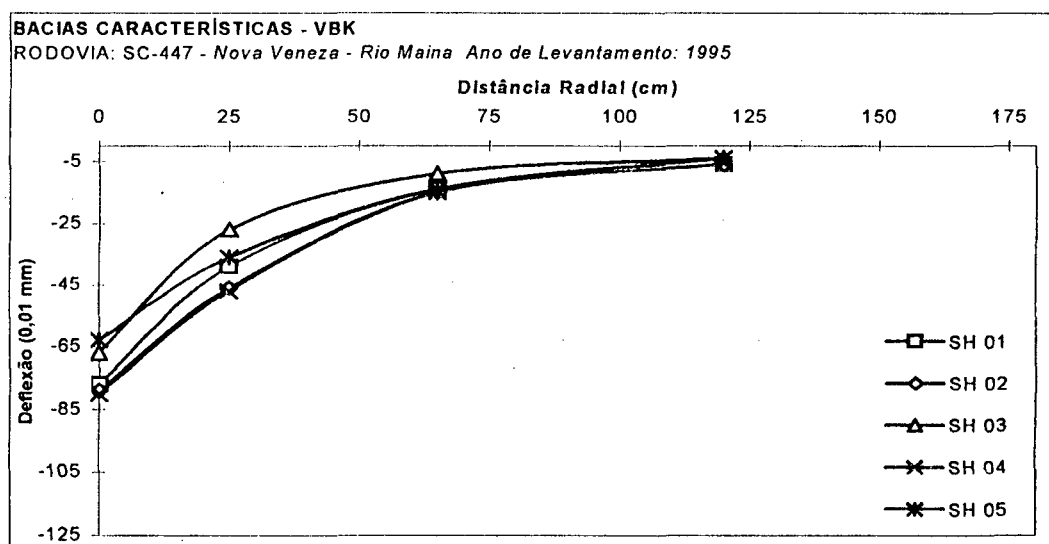


Figura 5.22 - Conformação das bacias características por subtrecho homogêneo

Estes dados são apresentados no quadro 5.12.

**Quadro 5.12 – Parâmetros de retroanálise - ELSYM-5
por subtrechos homogêneos (SH)
Rodovia SC-447, trecho Nova Veneza - Rio Maina**

parâmetro \ SH	SH01	SH02	SH03	SH04	SH05
D_0 (0,01mm)	77	79	67	80	63
MR_r (MPa)	1.500	1.000	2.000	1.000	2.000
MR_b (MPa)	140	140	130	130	140
MR_{sb} (MPa)	80	70	100	70	110
MR_{sbl} (MPa)	80	80	110	80	120

Observa-se na figura 5.23 e no quadro 5.12 que os valores modulares do revestimento sofreram um decréscimo inversamente proporcional à deflexão máxima. Os valores dos módulos do subleito sofreram também um ligeiro decréscimo da mesma forma que no revestimento. Os valores modulares da base e da sub-base são da mesma ordem de grandeza, praticamente constantes.

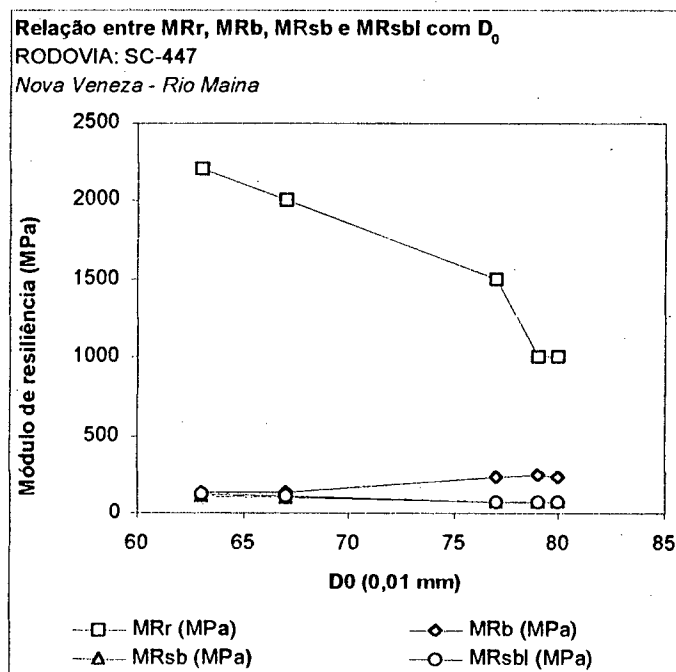


Figura 5.23 - Relação dos parâmetros MR_r , MR_b , MR_{sb} e MR_{sbl} com D_0

5.4.1.3 – Levantamento de Campo

O levantamento de campo realizado em 1998 foi realizado com base na especificação do DNER-ES 128/83.

Neste trecho não foi encontrado nenhum defeito.

5.4.2 – Irregularidade

Os valores do QI para 1990, 1995 e 1997 enquadram-se em média de 33contagens/km, 45contagens/km e 44contagens/km respectivamente, como é mostrado no quadro 5.13 e na figura 5.24.

Apresenta-se no gráfico da figura 5.24 e no quadro 5.13 que os valores de QI em 1990 e 1995 encontram-se em torno da média, 31contagens/km e 45contagens/km, respectivamente. Já na avaliação de 1997 ocorreram alguns picos localizados tendo em média o valor de 44contagens/km.

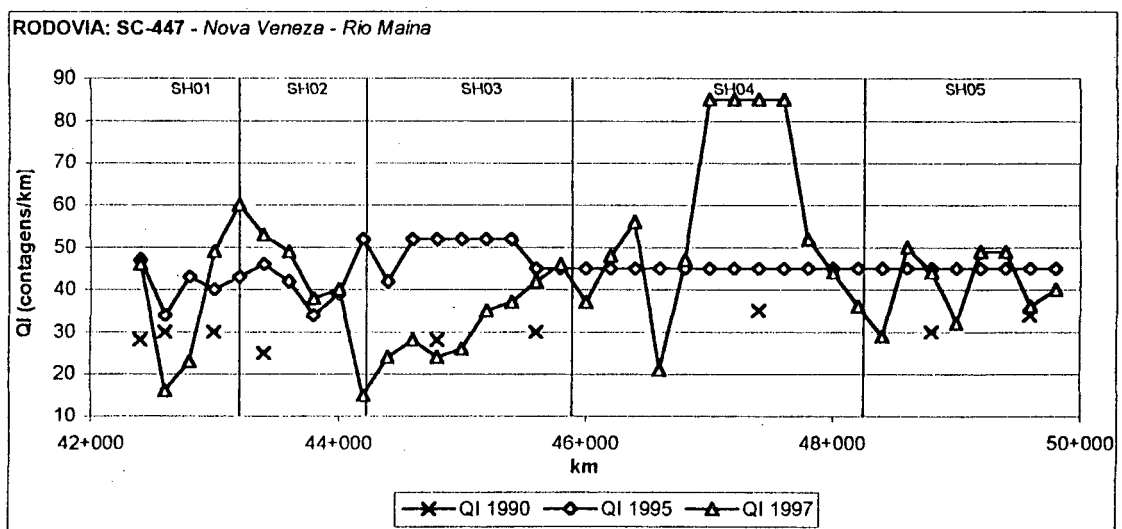


Figura 5.24 – Valores de QI ao longo do trecho

**Quadro 5.13 – Análise estatística dos parâmetros de QI
Rodovia SC-447, trecho Nova Veneza – Rio Maina**

<i>dado estatístico \</i> <i>parâmetro</i>	<i>Quociente de Irregularidade contagens/km</i>		
	<i>1990</i>	<i>1995</i>	<i>1997</i>
média	31	45	44
desvio padrão	3,16	6,28	18,37
coeficiente de variação (%)	10,00	14,00	42,00
máximo	35	52	85
mínimo	25	34	15

5.5 – RODOVIA SC-448, TRECHO FORQUILHINHA – MELEIRO

O trecho de rodovia é limitado entre as quilometragens 9,8km e 25,3km, tendo extensão total de 15,5km e concluído em 1984. O seu pavimento é constituído de, em média, 4cm de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), 15cm de base em seixo britado, 22cm de sub-base em seixo bruto e com subleito regularizado com ISC \cong 5,0%.

O tráfego deste trecho é da ordem de VMD = 1.730 veículos, sendo 27% deste composto de veículos comerciais (ônibus, caminhões e semi-reboques).

5.5.1 – Avaliação Estrutural

5.5.1.1 – Bacias de Deflexão

As bacias de deflexão foram levantadas com a viga Benkelman nas duas faixas de tráfego por consultoras locais.

Na figura 5.25 observa-se que as deflexões máximas (D_0) apresentam-se apenas em 35% inferiores a 0,60mm em todo o trecho, demonstrando um inadequado comportamento estrutural. No entanto, o SH 02 apresenta 64% das deflexões máximas inferiores a 0,60mm, indicando um bom comportamento estrutural.

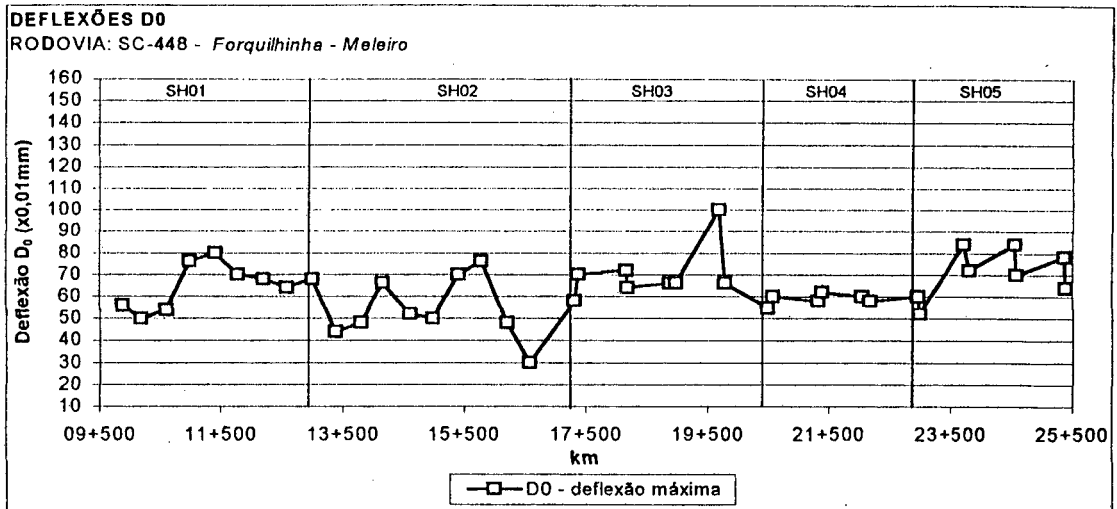


Figura 5.25 – Valores de deflexão D₀

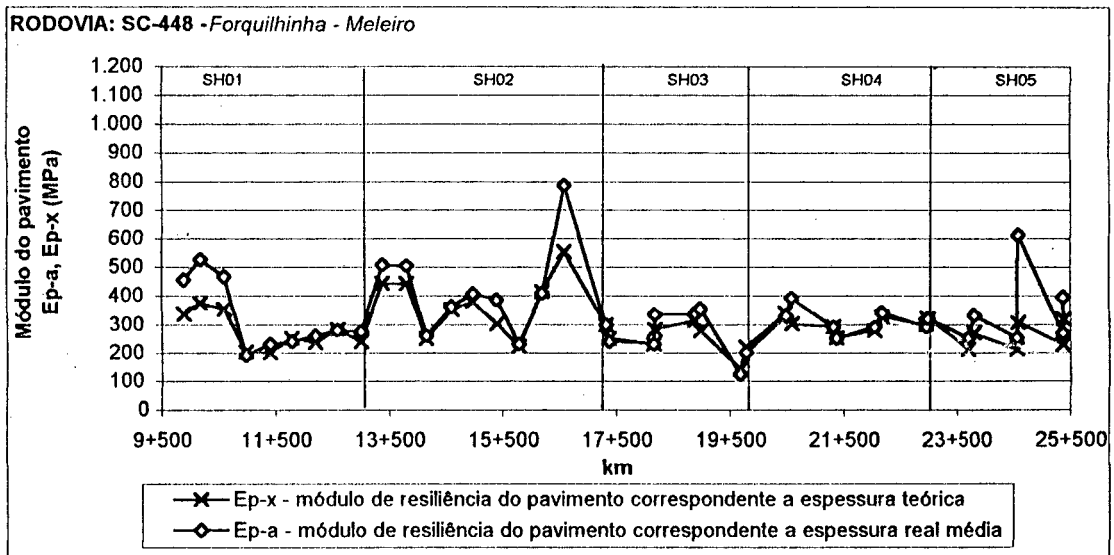


Figura 5.26 – Comparação entre os valores de Ep-x e Ep-a

5.5.1.2 – Retroanálises

5.5.1.2.1 – RETRAN-2CL

A retroanálise foi feita ponto a ponto obtendo-se os valores de Esg, Ep, S_{Neff} e Tx mostrados nas figuras 5.26, 5.27, 5.28 e 5.29.

- **Ep – Módulo de Resiliência do Pavimento**

O gráfico da figura 5.26 e o quadro 5.14 mostram que o módulo de resiliência do pavimento (E_p) situa-se no valor médio de 326MPa para E_p -a e 326MPa para E_p -x, mostrando-se uma boa concordância entre os valores individuais por quilômetro, com exceção de duas quilômetros, 16,580 e 24,580, que apresentam picos esporádicos nos valores do módulo de resiliência correspondente a espessura real (E_p -a) de 785MPa e 614MPa, respectivamente.

- **Esg – Módulo de Resiliência do Subleito**

No caso do módulo de resiliência do subleito (E_{sg}) a figura 5.27 e o quadro 5.14 demonstram, para E_{sg} -a, valores superiores aos de E_{sg} -x.

- **S_{Neff} – Número Estrutural Efetivo**

Os números estruturais efetivos encontrados no gráfico 5.28 e o quadro 5.14 apresentam valores médios de S_{Neff} -a igual a 6,53 e S_{Neff} -x igual a 10,35. A diferença entre as médias de S_{Neff} -a e S_{Neff} -x é de 3,82.

O valor do número estrutural corrigido (S_{NC}) calculado pela PRO 159/85 foi de 2,79, bem inferior aos de S_{Neff} -a e S_{Neff} -x.

- **T_x – Espessura Efetiva**

A figura 5.29 mostra que os valores da espessura efetiva (T_x), para toda extensão do trecho, encontram-se superiores em relação à espessura real (T_x). Isto demonstra um bom comportamento estrutural.

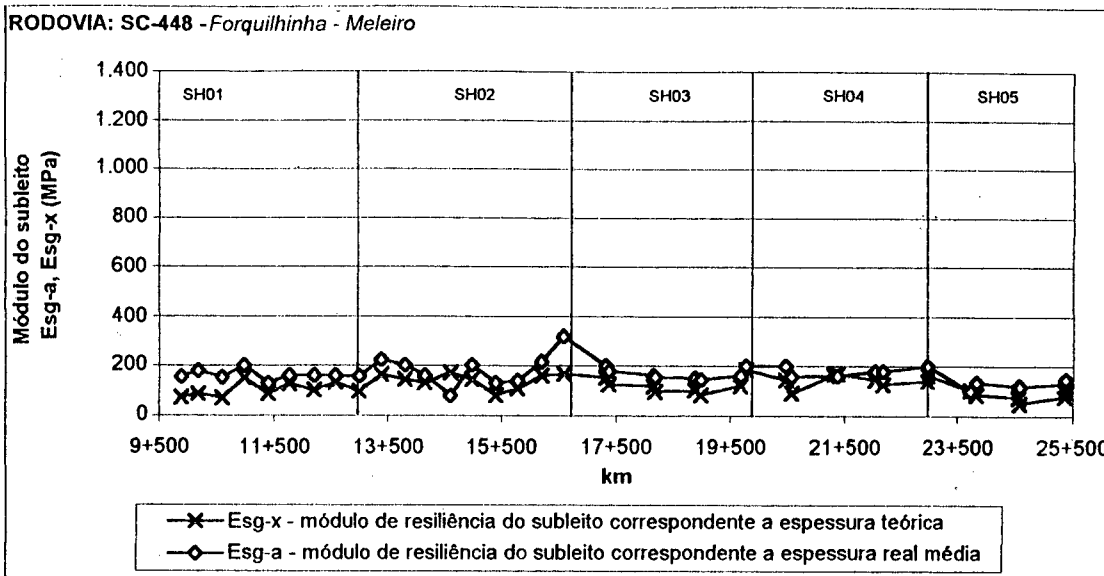


Figura 5.27 - Comparação entre os valores de Esg-x e Esg-a

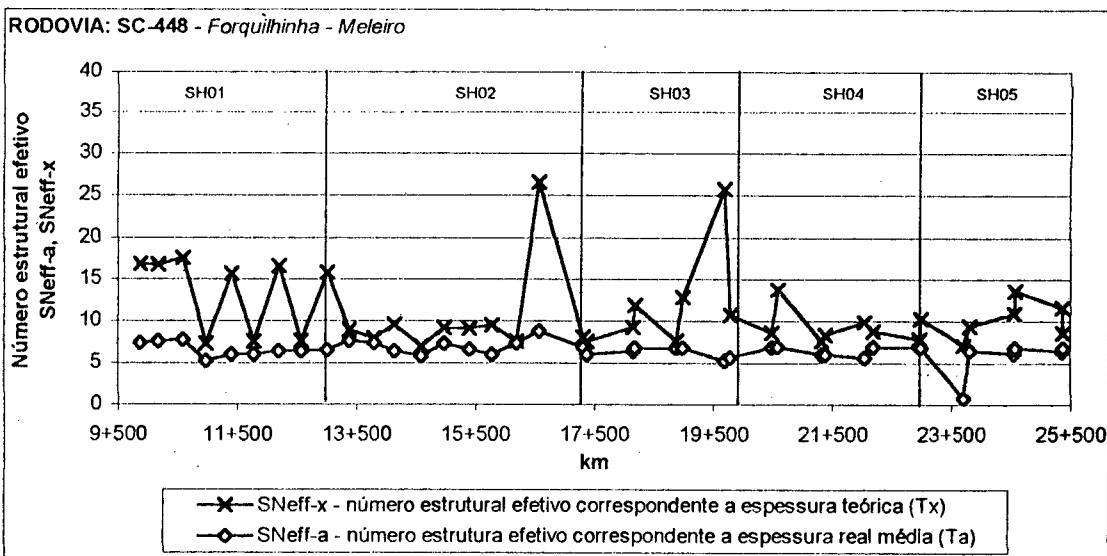


Figura 5.28 - Comparação entre os valores de SNeff-x e SNeff-a

5.5.1.2.2 – ELSYM-5

A partir das deflexões obteve-se as bacias características como mostra o gráfico da figura 5.30. Nesse gráfico pode-se observar que há uma aproximação na conformação entre as bacias dos subtrechos homogêneos SH01 e SH02.

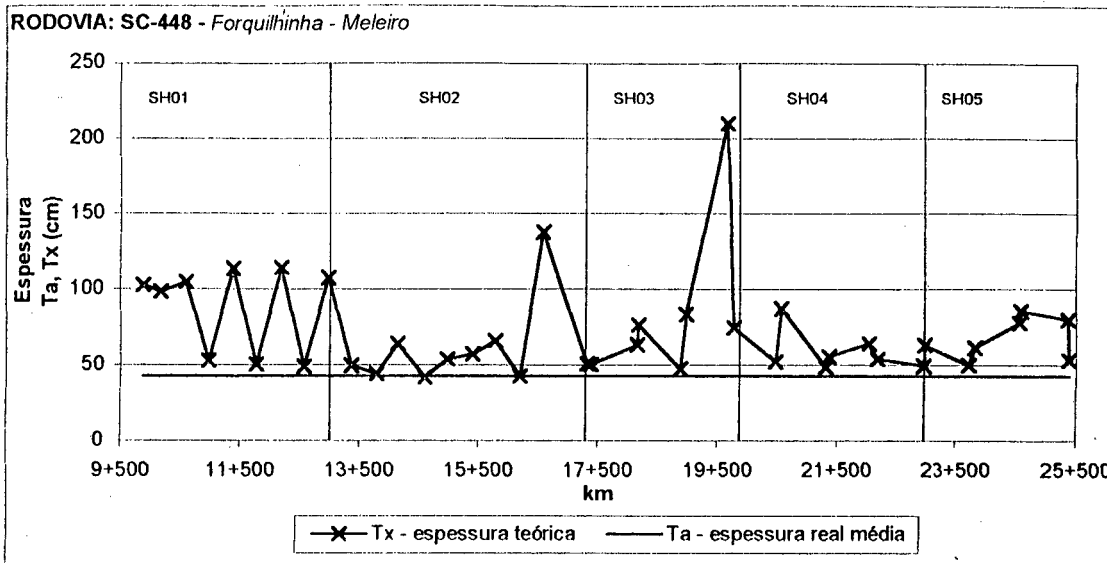


Figura 5.29 - Comparação entre os valores de Tx e Ta

Quadro 5.14 - Análise estatística dos parâmetros de retroanálise - Ep, Esg, S_{Neff} e T Rodovia SC-448, trecho Forquilha - Meleiro

parâmetro / dado estatístico	Ep-a (MPa)	Ep-x (MPa)	Esg-a (MPa)	Esg-x (MPa)	S _{Neff} -a	S _{Neff} -x	T-a (cm)	T-x (cm)
média	326	288	163	120	6,53	10,35	41,00	68,77
desvio padrão	104	68	33	35	0,63	3,20	-	23,87
coeficiente de variação (%)	3	2	2	3	9,67	30,91	-	34,71
máximo	785	553	318	122	8,75	26,55	-	209,80
mínimo	125	201	80	70	0,80	6,99	-	42,00

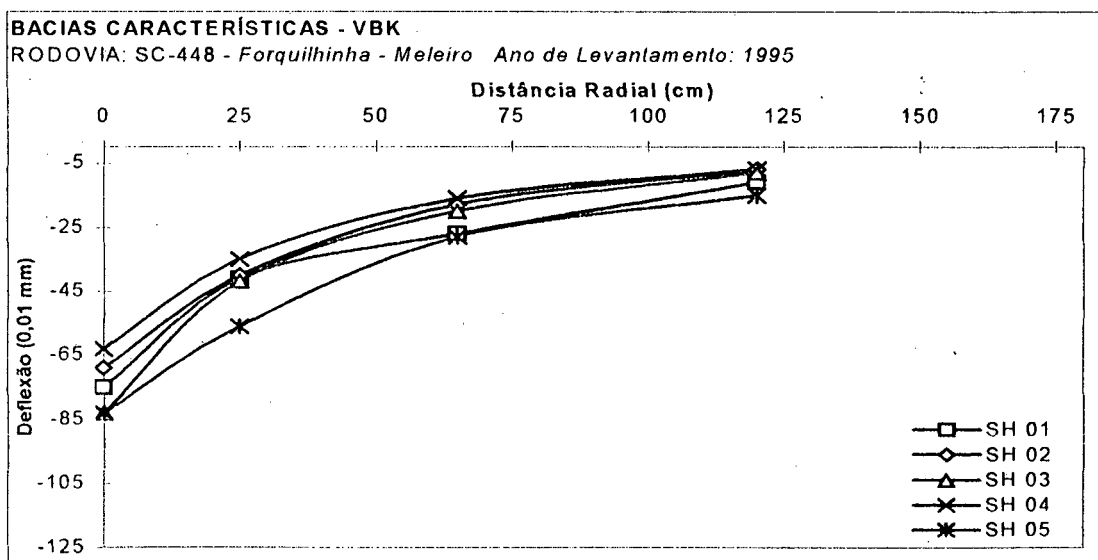


Figura 5.30 - Conformação das bacias características por subtrecho homogêneo

Pelo ELSYM-5 (FHA, 1986) pode-se obter os valores de:

- MR_r = módulo de resiliência do revestimento;
- MR_b = módulo de resiliência da base;
- MR_{sb} = módulo de resiliência da sub-base; e
- MR_{sbl} = módulo de resiliência do subleito.

Estes dados são apresentados no quadro 5.15.

Com base no quadro 5.15 e na figura 5.31 observa-se que o revestimento sofreu diminuição dos seus respectivos módulos de resiliência inversamente proporcional à deflexão máxima. Os valores modulares da sub-base e do subleito permaneceram na mesma ordem de grandeza e praticamente constantes. Os módulos de resiliência da base encontram com variação ao longo das deflexões.

**Quadro 5.15 – Parâmetros de retroanálise - ELSYM-5
por subtrechos homogêneos (SH)
Rodovia SC-448, trecho Forquilha - Meleiro**

SH parâmetro	SH01	SH02	SH03	SH04	SH05
D_o (0,01mm)	75	69	83	63	83
MR_r (MPa)	1.500	2.000	1.000	2.000	1.000
MR_b (MPa)	240	130	120	130	250
MR_{sb} (MPa)	70	110	80	110	70
MR_{sbl} (MPa)	80	110	90	110	70

5.5.1.3 – Levantamento de Campo

O quadro 5.16 mostra a frequência e os tipos de defeitos .

Esse quadro mostra que o trecho encontra-se com desgaste apresentando problemas também de trincas tipo “couro de jacaré”, exsudação, panela e remendos. É mostrado ainda que os defeitos encontrados apresentam maior concentração nas trilhas de roda externa (TRE/FD e TRE/FI) com frequência de 58 defeitos e no eixo e nas trilhas de roda interna (FD e FE) em média uma concentração de 44 defeitos.

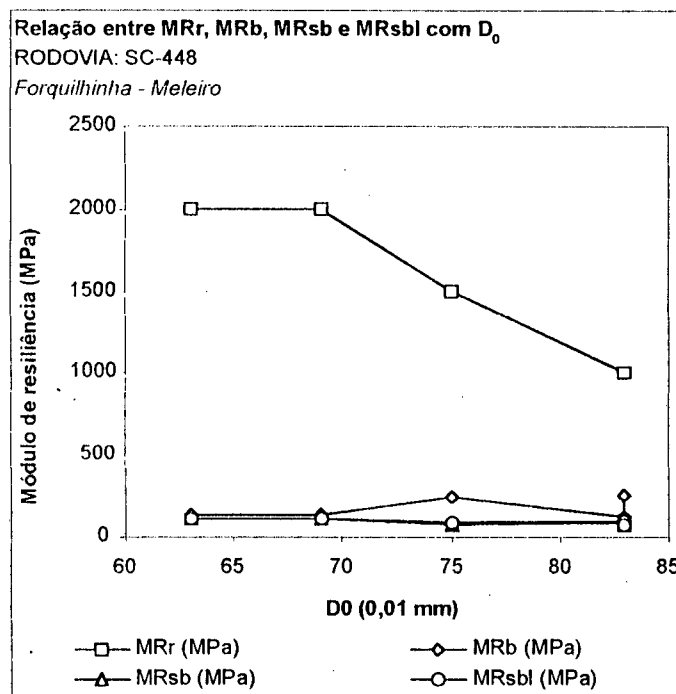


Figura 5.31 - Relação dos parâmetros MRr, MRb, MRsb e MRsbl com D_0

5.5.1.4 – Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos

O quadro 5.17. demonstra que a maior causa dos defeitos levantados, ao longo do trecho, é com relação ao carregamento solicitado na estrutura do pavimento (97%) e apenas representando 3% os fatores quanto a meio ambiente e materiais constituintes influenciaram na sua degradação, sendo que este último fator encontra-se nos subtrechos homogêneos SH03 e SH04 com percentual de 3% e 12%, respectivamente. Cabe ressaltar que o SH04 apresenta uma porcentagem considerável quanto à influência dos defeitos por meio ambiente e por tipo de material devido ao fato da existência da exsudação neste trecho.

**Quadro 5.16 – Resumo de localização e frequência de defeitos
Rodovia SC-448, trecho Forquilha - Meleiro**

DEFEITO			FD		FE		FD	FE	TRE	TRI	TOTAL
TIPO	CLASSE	TRE	TRI	TRI	TRE						
		TRINCA	TRANSVERSAL	1							
2											
3											
LONGITUDINAL	1										
	2										
	3										
BLOCO	1										
	2										
	3										
JACARÉ	1										
	2		7	2	5	8	9	13	15	7	22
	3		16	11	7	13	27	20	29	18	47
IRREGULAR	1										
	2										
	3										
PANELA			3	3	3	4	6	7	7	6	13
REMENDO			11	7	7	10	18	17	21	14	35
EXSUDAÇÃO			2	3	4	3	5	7	5	7	12
DESGASTE			19	25	25	20	44	45	39	50	89
AFUNDAMENTO											
ONDULAÇÃO											
TOTAL			58	51	51	58	109	109	116	102	218

FD - FAIXA DIREITA

FE - FAIXA ESQUERDA

TRE - TRILHA DE RODA EXTERNA

TRI - TRILHA DE RODA INTERNA

5.5.2 – Irregularidade

O valor do QI para 1990 é em média 21contagens/km, como é mostrado no quadro 5.18.

Quadro 5.17 – Percentual de responsabilidades para as causas prováveis do surgimento dos defeitos Rodovia SC-448, trecho Forquilha - Meleiro

<i>SH</i>	<i>causa provável (%)</i>	<i>carga / tráfego</i>	<i>meio ambiente / materiais</i>	<i>outros</i>
SH01	100%	-	-	-
SH02	97%	3%	-	-
SH03	88%	12%	-	-
SH04	100%	-	-	-
SH05	100%	-	-	-
TRECHO	97%	3%	-	-

Quadro 5.18 – Análise estatística dos parâmetros de QI Rodovia SC-448, trecho Forquilha - Meleiro

<i>dado estatístico</i>	<i>parâmetro</i>	<i>Quociente de Irregularidade (contagens/km)</i>		
		1990	1995	1997
média		21	-	-
desvio padrão		2,17	-	-
coeficiente de variação (%)		1,00	-	-
máximo		37	-	-
mínimo		17	-	-

5.6 – RODOVIA SC-285, TRECHO TIMBÉ DO SUL – TURVO

O trecho de rodovia é limitado entre as quilometragens 21,1km e 39,3km, tendo extensão total de 18,2km e concluído em 1988. O seu pavimento é constituído de, em média, 4cm de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), 16cm de base em seixo britado, 20cm de sub-base em seixo bruto e com subleito regularizado com $ISC \cong 7,0\%$.

O tráfego deste trecho é da ordem de $VMD = 1.779$ veículos, sendo 26% deste composto de veículos comerciais (ônibus, caminhões e semi-reboques).

5.6.1 – Avaliação Estrutural

5.6.1.1 – Bacias de Deflexão

As bacias de deflexão foram levantadas com o “*Falling Weight Deflectometer*” (FWD) nas duas faixas de tráfego em intervalos de 200m.

As bacias obtidas pelo FWD foram convertidas para bacias de viga Benkelman. Os valores destas deflexões corrigidas D_{0c} nos respectivos quilômetros são mostrados na figura 5.32.

Na figura 5.32 observa-se que as deflexões máximas corrigidas (D_{0c}) apresentam-se em 82% inferiores a 0,60mm, indicando bom comportamento estrutural do trecho.

5.6.1.2 – Retroanálises

5.6.1.2.1 – RETRAN-2CL

A retroanálise foi feita ponto a ponto obtendo-se os valores de Esg, E_p , S_{Neff} e T_x mostrados nas figuras 5.33, 5.34, 5.35 e 5.35.

- E_p – Módulo de Resiliência do Pavimento

O gráfico da figura 5.33 e o quadro 5.19 mostram que o módulo de resiliência do pavimento (E_p) situa-se no valor médio de 512MPa (E_p -a) e 472MPa (E_p -x), mostrando-se uma excelente concordância entre os valores individuais por quilômetro.

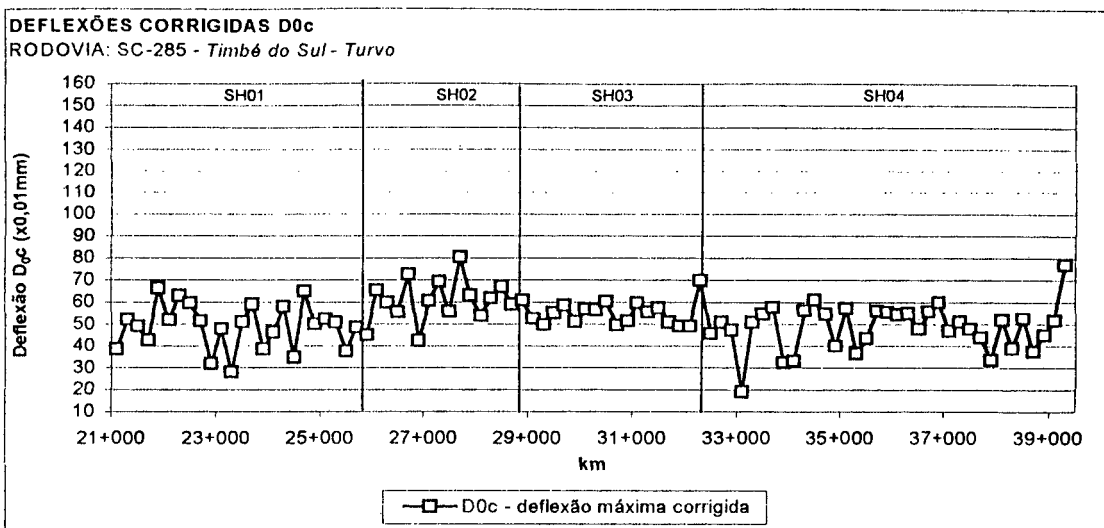


Figura 5.32 - Valores de deflexão D_{0c}

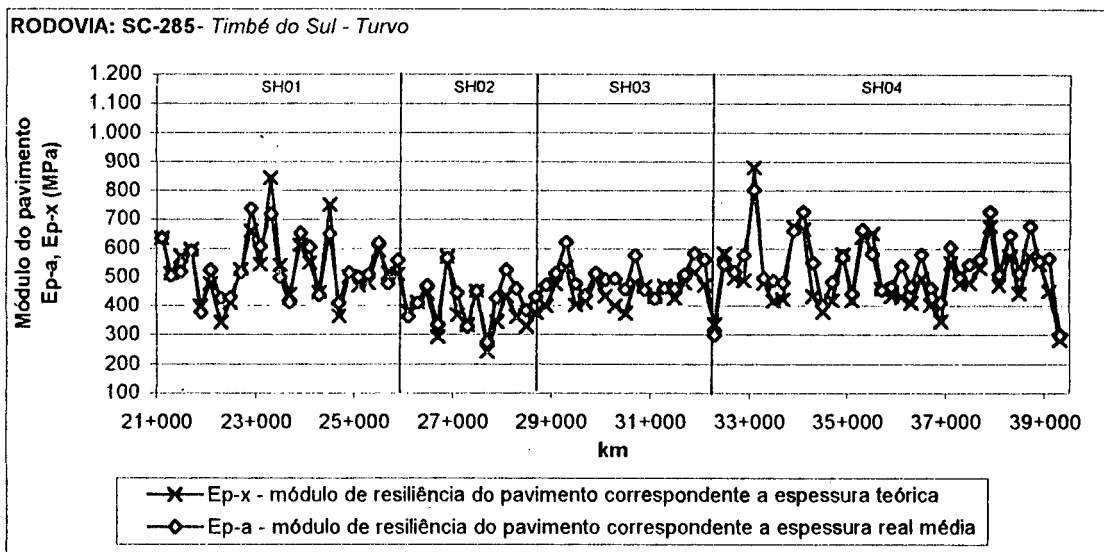


Figura 5.33 - Comparação entre os valores de Ep-x e Ep-a

- Esg - Módulo de Resiliência do Subleito

No caso do módulo de resiliência do subleito (Esg) a figura 5.34 e o quadro 5.19 demonstram que houve também excelente concordância entre os valores de Esg-a e Esg-x.

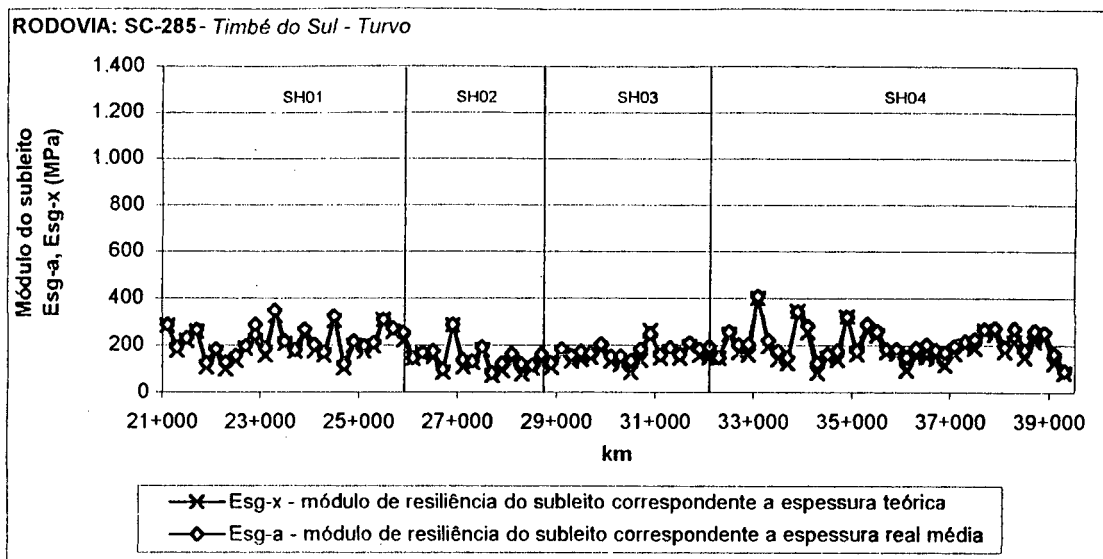


Figura 5.34 – Comparação entre os valores de Esg-x e Esg-a

▪ S_{Neff} – Número Estrutural Efetivo

Os números estruturais efetivos encontrados no gráfico 5.35 e o quadro 5.19 apresentam os valores correspondentes a espessura teórica (S_{Neff-x}) em média 14,39, extremamente superiores aos encontrados para a espessura real (S_{Neff-a}), em média 9,68 que ainda apresenta-se alto.

O valor do número estrutural corrigido (SNC) calculado pela PRO 159/85 foi de 3,13, bem inferior aos de S_{Neff-a} e S_{Neff-x}.

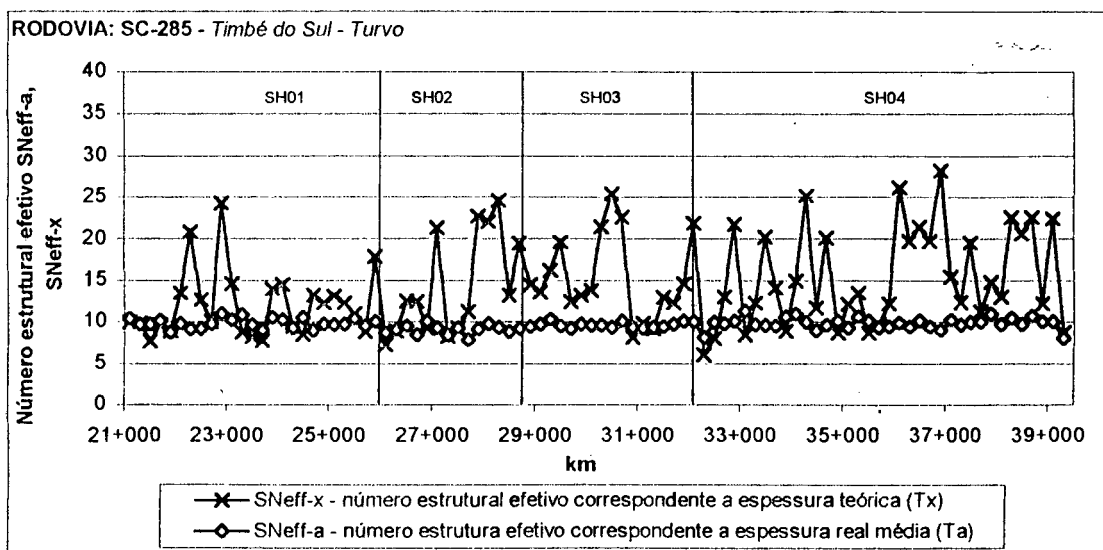


Figura 5.35 – Comparação entre os valores de S_{Neff-x} e S_{Neff-a}

- Tx - Espessura Efetiva.

A figura 5.36 mostra que os valores da espessura teórica (Tx) para toda extensão do trecho, encontram-se superiores em relação à espessura real (Ta). Isto demonstra um bom comportamento estrutural do trecho.

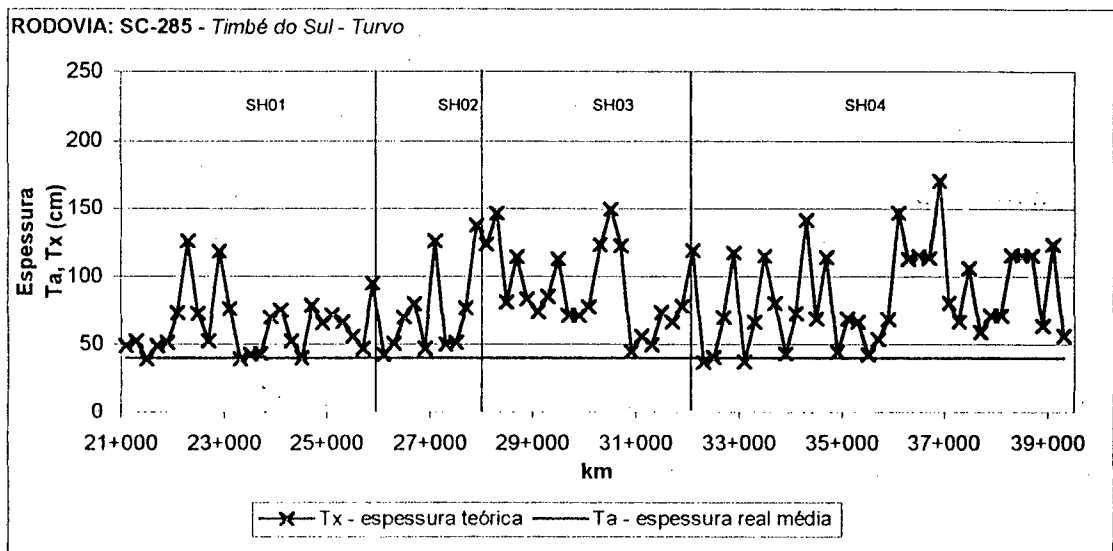


Figura 5.36 - Comparação entre os valores de Tx e Ta

Quadro 5.19 - Análise estatística dos parâmetros de retroanálise - Ep, Esg, S_{Neff} e T Rodovia SC-285, trecho Timbé do Sul - Turvo

parâmetro / dado estatístico	Ep-a (MPa)	Ep-x (MPa)	Esg-a (MPa)	Esg-x (MPa)	S _{Neff} -a	S _{Neff} -x	T-a (cm)	T-x (cm)
média	512	472	197	173	9,68	14,39	40,00	79,33
desvio padrão	101	97	58	62	0,65	5,47	-	32,06
coeficiente de variação (%)	2	2	3	4	6,76	38,04	-	40,42
máximo	802	881	406	398	11,01	28,20	-	170,50
mínimo	298	242	82	82	7,85	6,03	-	37,40

5.6.1.2.2 – ELSYM-5

A partir das deflexões corrigidas obteve-se as bacias características como mostra o gráfico da figura 5.37. Nesse gráfico pode se observar excelente concordância entre as bacias dos subtrechos homogêneos SH01, SH03 e SH04.

Pelo ELSYM-5 (FHA, 1986) pode-se obter os valores de:

- MR_r = módulo de resiliência do revestimento;
- MR_b = módulo de resiliência da base;
- MR_{sb} = módulo de resiliência da sub-base; e
- MR_{sbl} = módulo de resiliência do subleito.

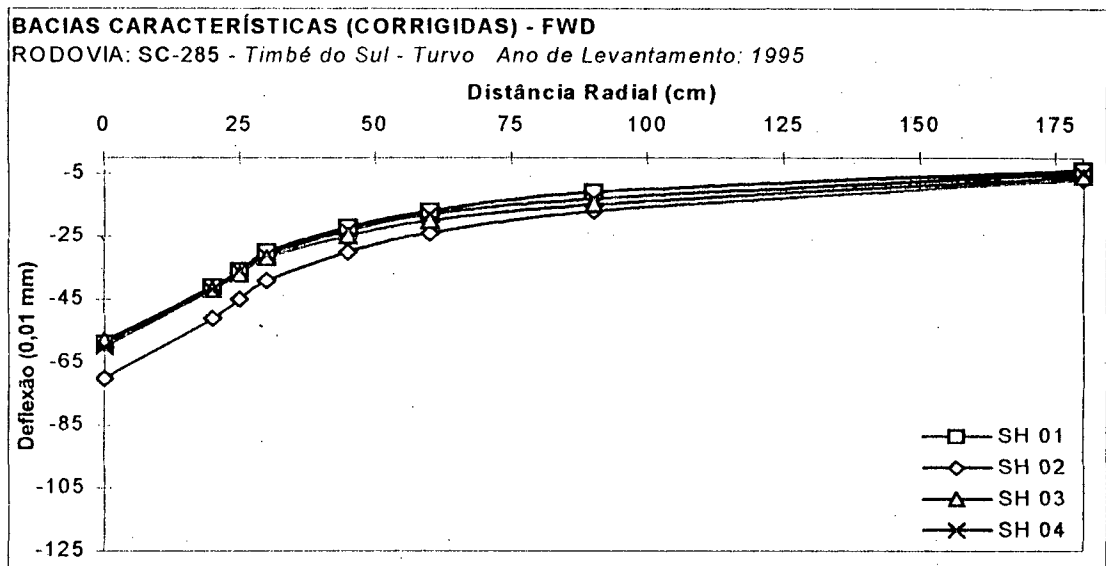


Figura 5.37 – Conformação das bacias características (corrigidas) por subtrecho homogêneo

Estes dados são apresentados no quadro 5.20.

Quadro 5.20 – Parâmetros de retroanálise - ELSYM-5 por subtrechos homogêneos (SH) Rodovia SC-285, trecho Timbé do Sul - Turvo

parâmetro \ SH	SH01	SH02	SH03	SH04
D_0 (0,01mm)	59	70	58	60
MR_r (MPa)	2.500	1.500	2.500	2.500
MR_b (MPa)	250	140	250	180
MR_{sb} (MPa)	110	100	110	110
MR_{sbl} (MPa)	100	90	100	90

Na figura 5.38 e no quadro 5.20 são mostrados que os valores modulares do revestimento são inversamente proporcionais às deflexões máximas. Observa-se para base a mesma situação ocorrida no revestimento, porém, com menor acentuação no decréscimo dos módulos. Os valores modulares da sub-base e do subleito são da mesma ordem de grandeza e praticamente constantes.

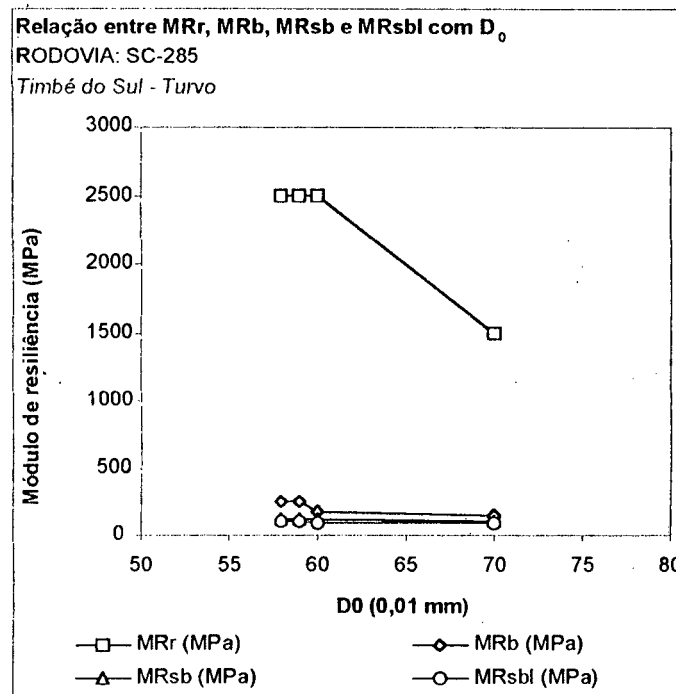


Figura 5.38 - Relação dos parâmetros MRr, MRb, MRsb e MRsbl com D_0

5.6.1.3 – Levantamento de Campo

O quadro 5.21 mostra a frequência e os tipos de defeitos encontrados.

Esse quadro mostra que o trecho encontra-se somente com desgaste apresentando-se este defeito constante, em média todas as superfícies avaliadas com frequência de 37 defeitos.

5.6.1.4 – Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos

A causa do defeito é o carregamento solicitado na estrutura, pois se trata de desgaste generalizado na superfície da rodovia.

Quadro 5.21 – Resumo de localização e freqüência de defeitos
Rodovia SC-285, trecho Timbé do Sul - Turvo

DEFEITO			FD		FE		FD	FE	TRE	TRI	TOTAL
TIPO	CLASSE	TRE	TRI	TRI	TRE						
		TRINCA	TRANSVERSAL	1							
2											
3											
LONGITUDINAL	1										
	2										
	3										
BLOCO	1										
	2										
	3										
JACARÉ	1										
	2										
	3										
IRREGULAR	1										
	2										
	3										
PANELA											
REMENDO											
EXSUDAÇÃO											
DESGASTE			37	37	37	37	74	74	74	74	148
AFUNDAMENTO											
ONDULAÇÃO											
TOTAL			37	37	37	37	74	74	74	74	148

FD - FAIXA DIREITA

FE - FAIXA ESQUERDA

TRE - TRILHA DE RODA EXTERNA

TRI - TRILHA DE RODA INTERNA

5.6.2 – Irregularidade

Os valores do QI para 1997 enquadram-se em média de 27contagens/km como é mostrado no quadro 5.22.

**Quadro 5.22 – Análise estatística dos parâmetros de QI
Rodovia SC-285, trecho Timbé do Sul - Turvo**

parâmetro	Quociente de Irregularidade		
	1990	1995	1997
<i>dados estatísticos</i>			
média	-	-	27
desvio padrão	-	-	12,60
coeficiente de variação (%)	-	-	47,00
máximo	-	-	40
mínimo	-	-	23

5.7 – RODOVIA SC-448, TRECHO TURVO - ERMO

O trecho de rodovia é limitado entre as quilometragens 41,0km e 47,5km, tendo extensão total de 6,2km e concluído em 1980. O seu pavimento é constituído de, em média, 4cm de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), 18cm de base em seixo britado, 21cm de sub-base em seixo bruto e com subleito regularizado com ISC \cong 5,0%.

O tráfego deste trecho é da ordem de VMD = 1.730 veículos, sendo 27% deste composto de veículos comerciais (ônibus, caminhões e semi-reboques).

5.7.1 – Avaliação Estrutural

5.7.1.1 – Bacias de Deflexão

As bacias de deflexão foram levantadas com o “*Falling Weight Deflectometer*” (FWD) nas duas faixas de tráfego em intervalos de 200m.

Na figura 5.39 observa-se que uma porção pequena das deflexões máximas corrigidas (38%) apresenta-se inferior a 0,60mm, indicando uma condição estrutural inadequada.

5.7.1.2 – Retroanálises

5.7.1.2.1 – RETRAN-2CL

A retroanálise foi feita ponto a ponto obtendo-se os valores de Esg, Ep, SNeff e Tx mostrados nas figuras 5.40, 5.41, 5.42 e 5.43.

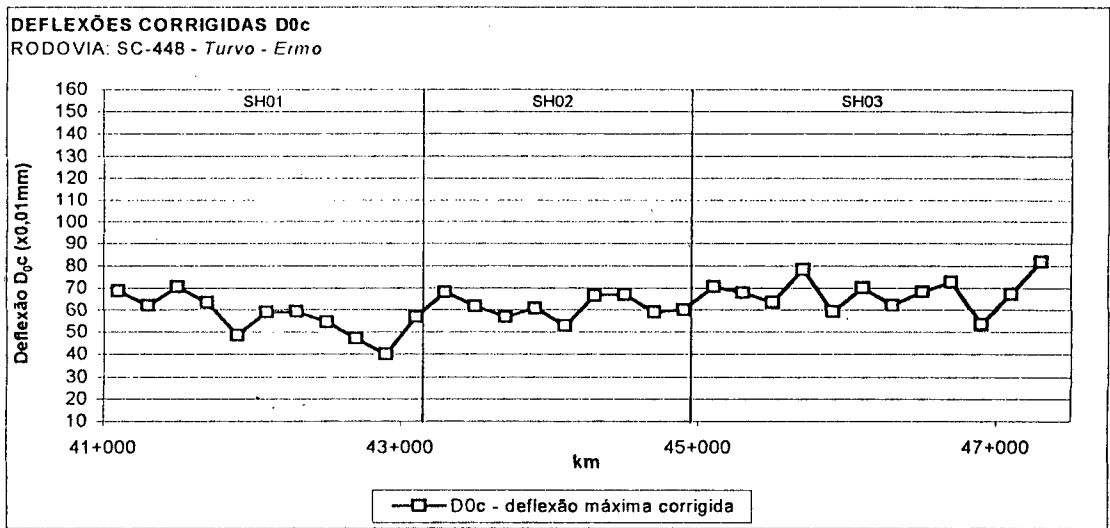


Figura 5.39 - Valores de deflexão D_{0c}

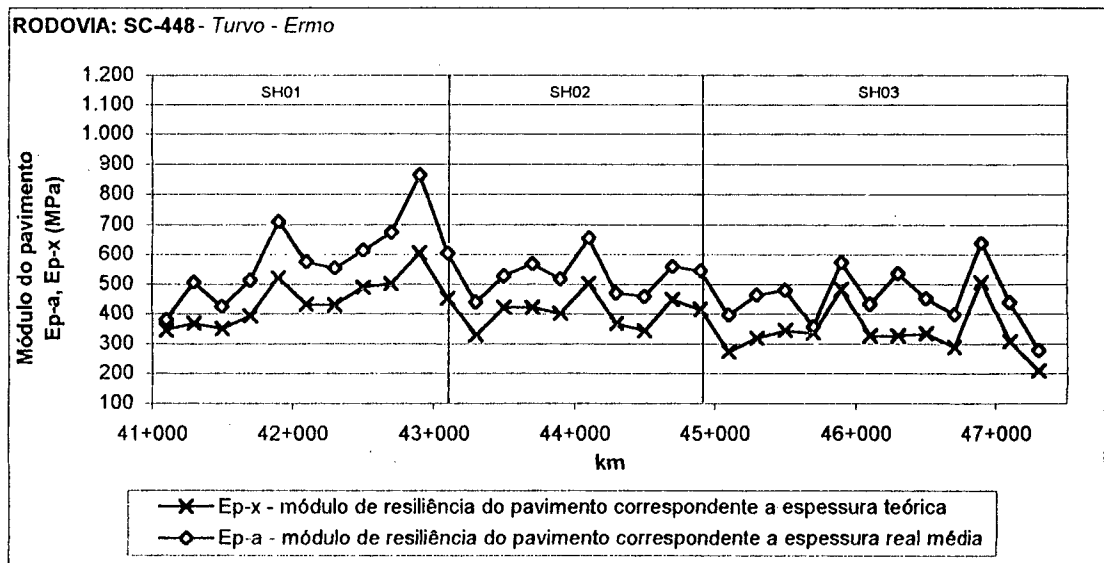


Figura 5.40 - Comparação entre os valores de Ep-x e Ep-a

- Ep – Módulo de Resiliência do Pavimento

O gráfico da figura 5.40 e o quadro 5.23 mostram que o módulo de resiliência do pavimento (Ep) situa-se no valor médio de 519MPa (Ep-a) e 394MPa (Ep-x), mostrando-se, para Ep-a, valores individuais superiores a Ep-x.

- Esg – Módulo de Resiliência do Subleito

No caso do módulo de resiliência do subleito (Esg) a figura 5.41 e o quadro 5.23 demonstram excelente concordância entre os valores de Esg-a e Esg-x com exceção da quilômetro 46,300 apresentando-se um pico esporádico para o seu valor de Esg-x de 223MPa. Este fato indica a possível presença de camada rígida no subleito ou até mesmo a presença de bueiros.

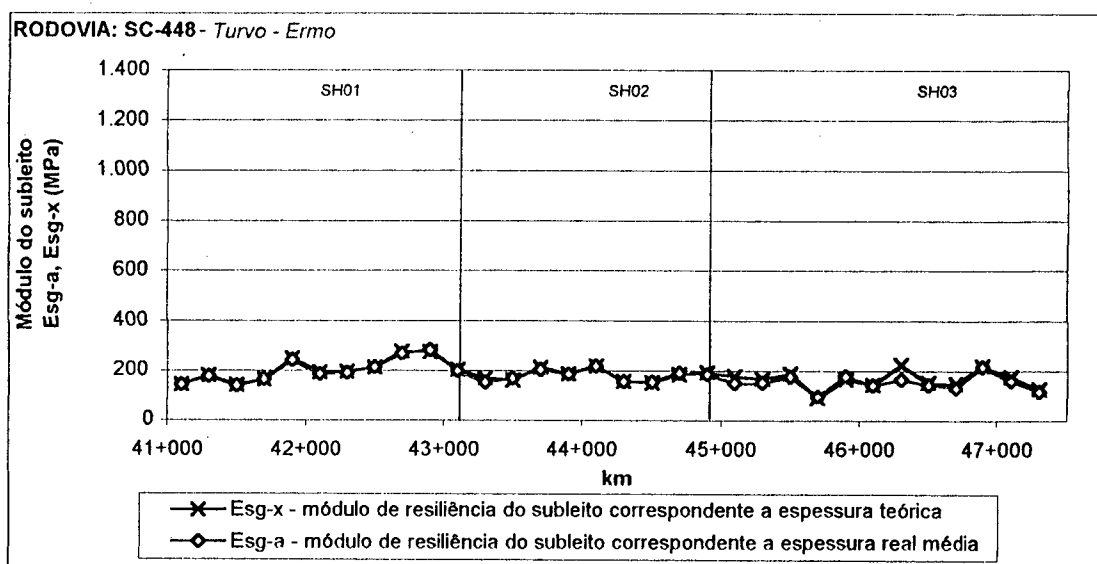


Figura 5.41 – Comparação entre os valores de Esg-x e Esg-a

- S_{Neff} - Número Estrutural Efetivo

Os números estruturais efetivos encontrados no gráfico 5.42 e o quadro 5.23 apresentam valores médios de S_{Neff-a} igual a 6,19 e S_{Neff-x} igual a 6,79 a diferença entre as médias de S_{Neff-a} e S_{Neff-x} (0,60) é baixa.

O valor do número estrutural corrigido (SNC) calculado pela PRO 159/85 foi de 2,90, bem inferior aos de S_{Neff-a} e S_{Neff-x}.

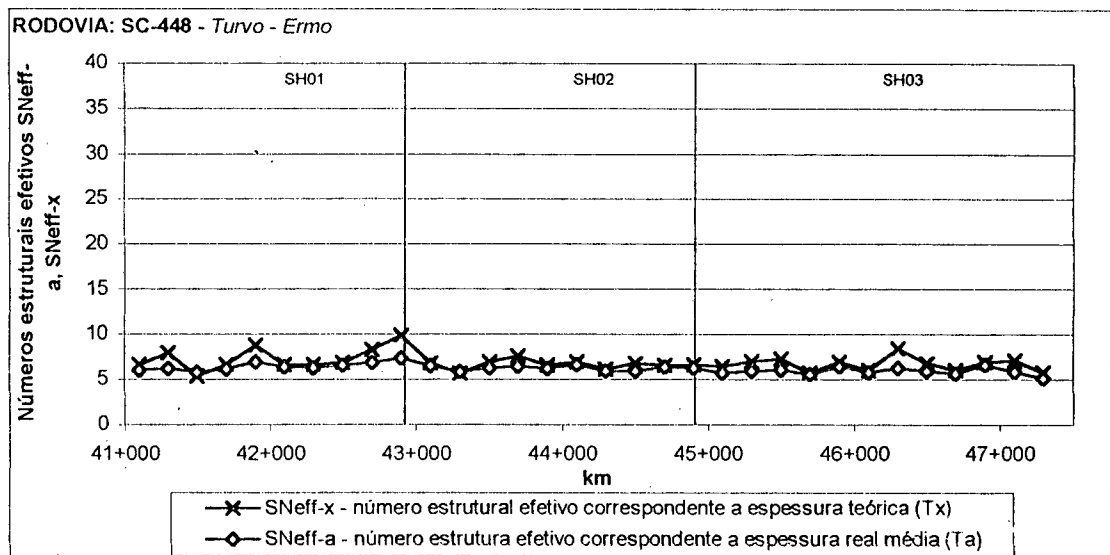


Figura 5.42 - Comparação entre os valores de S_{Neff-x} e S_{Neff-a}

- T_x - Espessura Efetiva

A figura 5.43 mostra que os valores da espessura teórica (T_x), para toda extensão do trecho, encontram-se superiores em relação à espessura real T_a. Isto demonstra um bom comportamento estrutural.

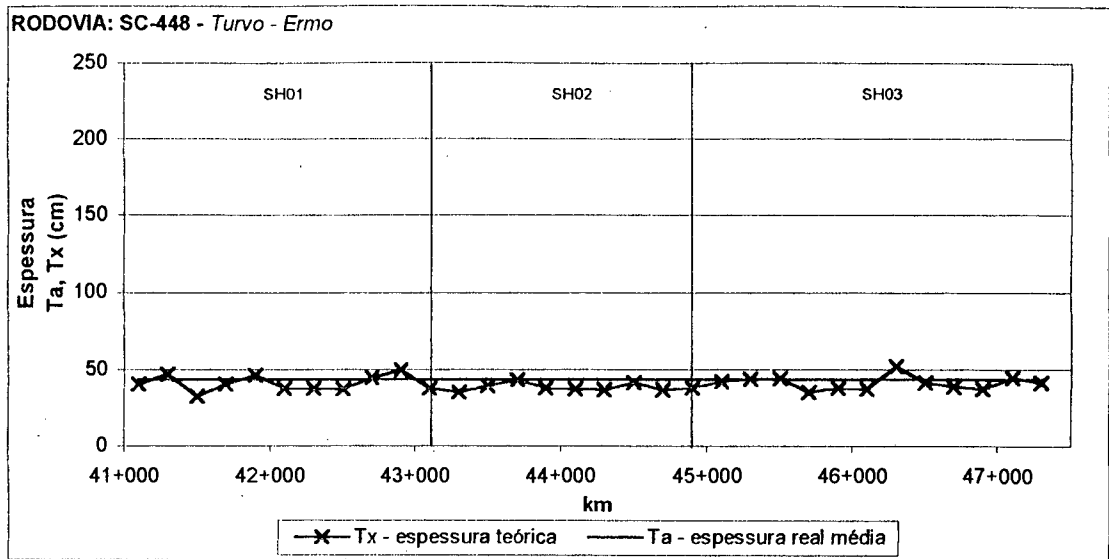


Figura 5.43 - Comparação entre os valores de Tx e Ta

Quadro 5.23 - Análise estatística dos parâmetros de retroanálise - Ep, Esg, SNeff e T
Rodovia SC-448, trecho Turvo - Ermo

parâmetro dado estatístico	Ep-a (MPa)	Ep-x (MPa)	Esg-a (MPa)	Esg-x (MPa)	SNeff-a	SNeff-x	T-a (cm)	T-x (cm)
média	519	394	176	183	6,19	6,79	43,00	40,15
desvio padrão	116	85	41	41	0,44	0,79	-	4,48
coeficiente de variação (%)	2	2	2	2	7,04	11,59	-	11,17
máximo	863	604	283	280	7,34	9,85	-	52,00
mínimo	279	210	95	95	5,87	5,80	-	32,10

5.7.1.2.2 - ELSYM-5

A partir das deflexões corrigidas obteve-se as bacias características como mostra o gráfico da figura 5.44. Nesse gráfico pode se observar excelente concordância entre as bacias dos subtrechos homogêneos SH01 e SH02.

Pelo ELSYM-5 (FHA, 1986) pode-se obter os valores de:

- MRr = módulo de resiliência do revestimento;
- MRb = módulo de resiliência da base;
- MRsb = módulo de resiliência da sub-base; e
- MRsbl = módulo de resiliência do subleito.

Estes dados são apresentados no quadro 5.24.

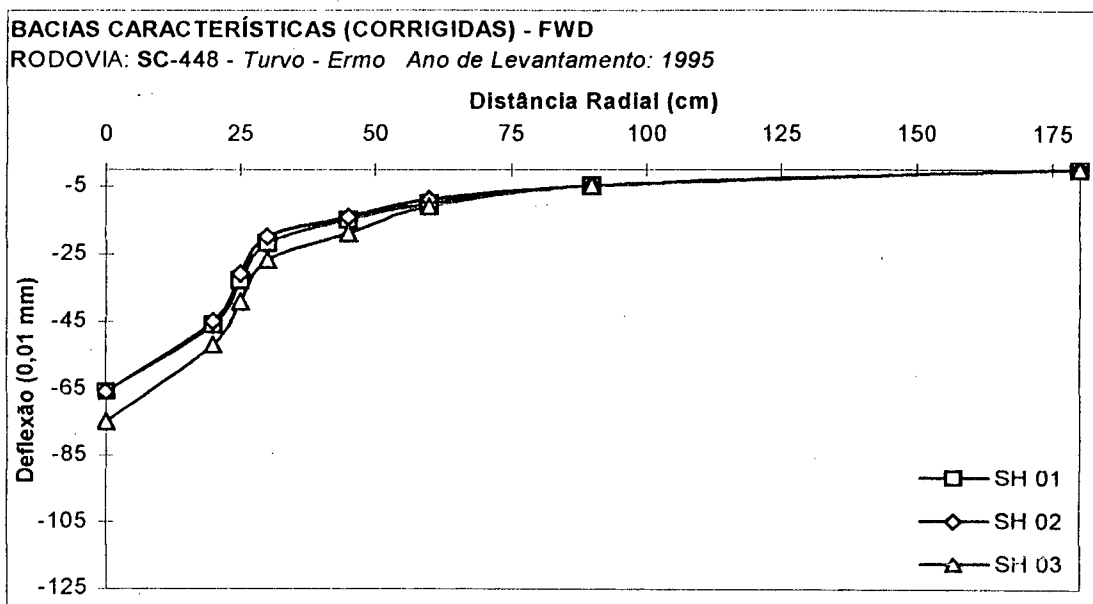


Figura 5.44 - Conformação das bacias características (corrigidas) por subtrecho homogêneo

Quadro 5.24 - Parâmetros de retroanálise - ELSYM-5 por subtrechos homogêneos (SH) Rodovia SC-448, trecho Turvo - Ermo

parâmetro \ SH	SH01	SH02	SH03
D_0 (0,01mm)	66	66	75
MR_r (MPa)	2.000	2.000	1.500
MR_b (MPa)	190	190	140
MR_{sb} (MPa)	90	90	100
MR_{sbl} (MPa)	100	100	90

Com base no quadro 5.24 e na figura 5.45, observa-se que o revestimento sofreu diminuição dos seus respectivos módulos de resiliência inversamente proporcional à deflexão máxima. Os valores modulares da base, sub-base e do subleito permaneceram na mesma ordem de grandeza e praticamente constantes.

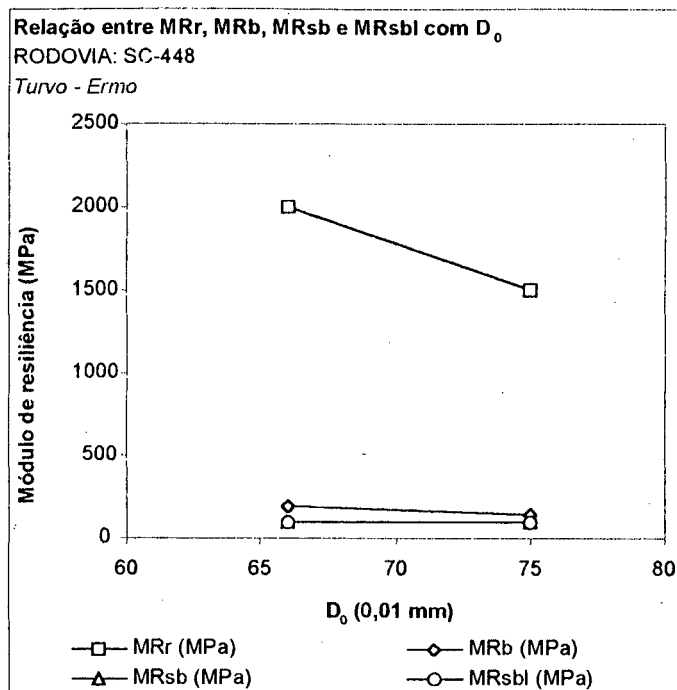


Figura 5.45 – Relação dos parâmetros MRr, MRb, MRsb e MRsbl com D_0

5.7.1.3 – Levantamento de Campo

O quadro 5.25 mostra a frequência e os tipos de defeitos encontrados.

Esse quadro mostra que o trecho encontra-se somente com desgaste, apresentando-se este defeito constante em todas as superfícies analisadas com frequência de 12 defeitos.

5.7.1.4 – Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos

A causa do defeito é o carregamento solicitado na estrutura, pois se trata de desgaste generalizado na superfície da rodovia.

5.7.2 – Irregularidade

O valor do QI para 1995 é em torno da média de 28contagens/km como é mostrado no quadro 5.26.

**Quadro 5.25 – Resumo de localização e frequência de defeitos
Rodovia SC-448, trecho Turvo - Ermo**

DEFEITO			FD		FE		FD	FE	TRE	TRI	TOTAL
TIPO	CLASSE	TRE	TRI	TRI	TRE						
		TRINCA	TRANSVERSAL	1							
2											
3											
LONGITUDINAL	1										
	2										
	3										
BLOCO	1										
	2										
	3										
JACARÉ	1										
	2										
	3										
IRREGULAR	1										
	2										
	3										
PANELA											
REMENDO											
EXSUDAÇÃO											
DESGASTE			12	12	12	12	24	24	24	24	48
AFUNDAMENTO											
ONDULAÇÃO											
TOTAL			12	12	12	12	24	24	24	24	48

FD - FAIXA DIREITA
FE - FAIXA ESQUERDA
TRE - TRILHA DE RODA EXTERNA
TRI - TRILHA DE RODA INTERNA

**Quadro 5.26 – Análise estatística dos parâmetros de QI
Rodovia SC-448, trecho Turvo - Ermo**

parâmetro	Quociente de Irregularidade (contagens/km)		
	1990	1995	1997
<i>dados estatísticos</i>			
média	-	28	-
desvio padrão	-	4,22	-
coeficiente de variação (%)	-	15,00	-
máximo	-	35	-
mínimo	-	26	-

5.8 – RODOVIA SC-483, TRECHO ERMO – JACINTO MACHADO

O trecho de rodovia é limitado entre as quilometragens 39,7km e 51,3km, tendo extensão total de 11,2km e concluído em 1980. O seu pavimento é constituído

de, em média, 4cm de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), 16cm de base em seixo britado, 16cm de sub-base em seixo bruto e com subleito regularizado com ISC \cong 9,0%.

O tráfego deste trecho é da ordem de VMD = 1.574 veículos, sendo 20% deste composto de veículos comerciais (ônibus, caminhões e semi-reboques).

5.8.1 – Avaliação Estrutural

5.8.1.1 – Bacias de Deflexão

As bacias de deflexão foram levantadas com a viga Benkelman por consultoras locais.

Na figura 5.46 observa-se que as deflexões máximas (D_0) apresentam-se em 92% inferiores a 0,60mm, indicando uma boa condição estrutural do trecho.

5.8.1.2 – Retroanálises

5.8.1.2.1 – RETRAN-2CL

A retroanálise foi feita ponto a ponto obtendo-se os valores de Esg, E_p , S_{Neff} e T_x mostrados nas figuras 5.47, 5.48, 5.49 e 5.50.

- **E_p – Módulo de Resiliência do Pavimento**

O gráfico da figura 5.47 e o quadro 5.27 mostram que o módulo de resiliência do pavimento (E_p) situa-se no valor médio de 543MPa (E_p -a) e 409MPa (E_p -x), mostrando-se, para E_p -a, valores individuais superiores a E_p -x.

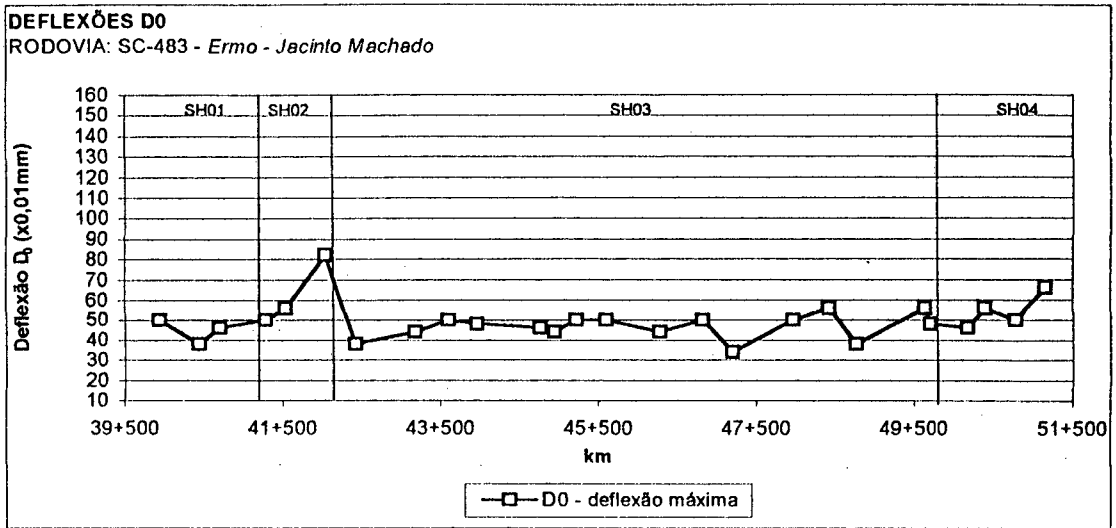


Figura 5.46 - Valores de deflexão D₀

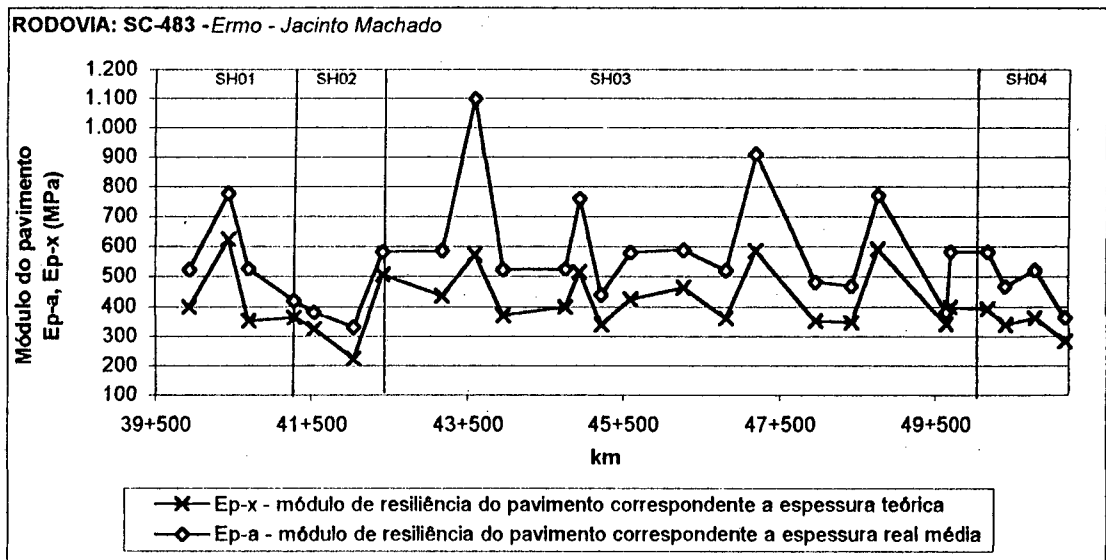


Figura 5.47 - Comparação entre os valores de Ep-x e Ep-a

▪ Esg – Módulo de Resiliência do Subleito

No caso do módulo de resiliência do subleito (Esg) a figura 5.48 e o quadro 5.27 demonstram também, para Esg-a, valores superiores a Esg-x.

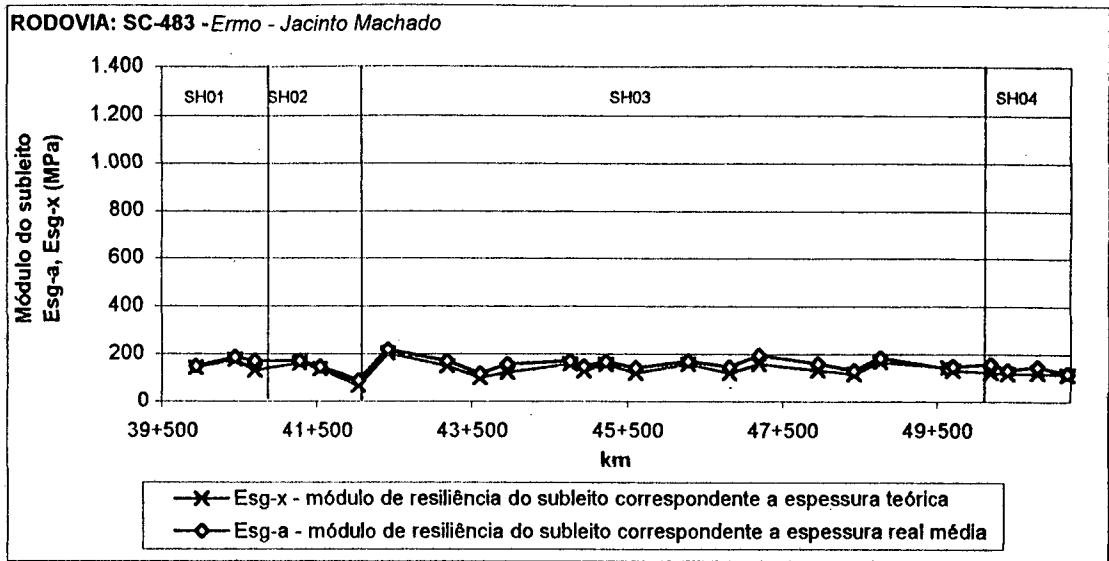


Figura 5.48 – Comparação entre os valores de Esg-x e Esg-a

▪ S_{Neff} – Número Estrutural Efetivo

Os números estruturais efetivos encontrados no gráfico 5.49 e o quadro 5.27 apresentam valores médios de S_{Neff-a} igual a 6,54 e S_{Neff-x} igual a 10,34. A diferença entre as médias de S_{Neff-a} e S_{Neff-x} é de 3,80.

O valor do número estrutural corrigido (SNC) calculado pela PRO 159/85 foi de 3,19, bem inferior aos de S_{Neff-a} e S_{Neff-x}.

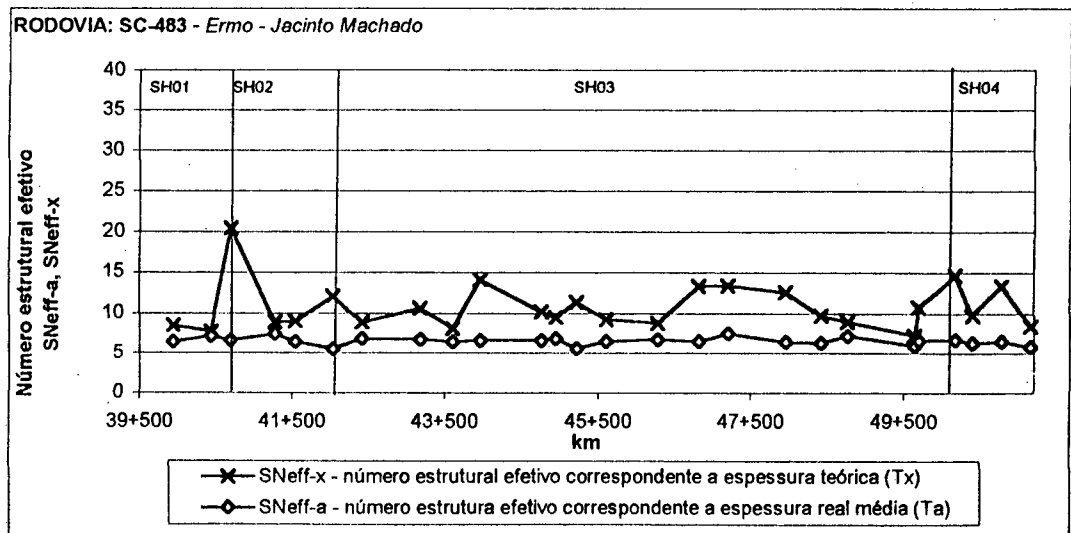


Figura 5.49 – Comparação entre os valores de S_{Neff-x} e S_{Neff-a}

▪ Tx – Espessura Efetiva

A figura 5.50 mostra que os valores da espessura efetiva (Tx), para toda extensão do trecho, encontram-se superiores em relação à espessura real (Ta). Isto demonstra um bom comportamento estrutural.

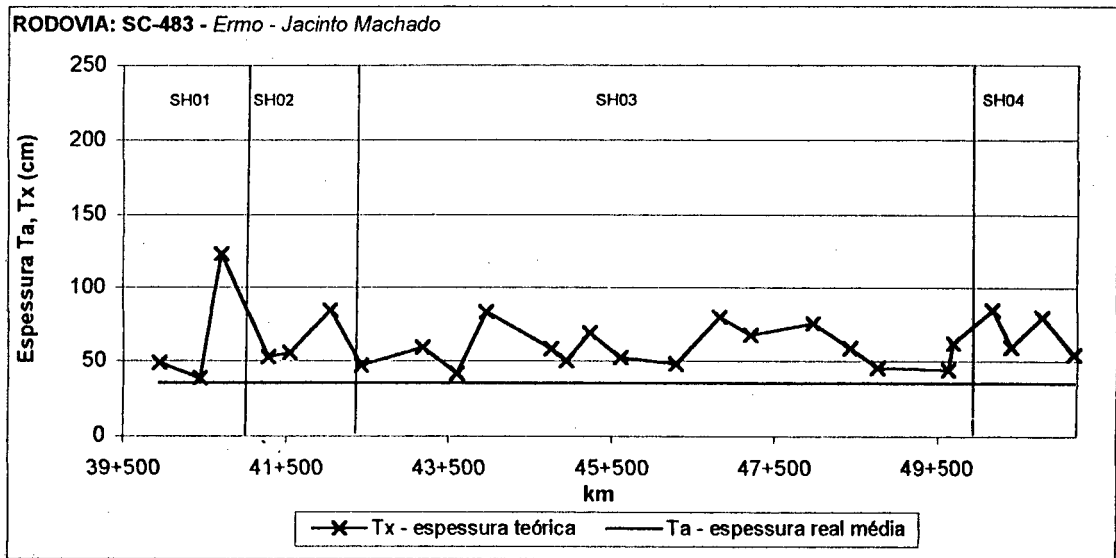


Figura 5.50 – Comparação entre os valores de Tx e Ta

Quadro 5.27 – Análise estatística dos parâmetros de retroanálise – Ep, Esg, S_{Neff} e T Rodovia SC-483, trecho Ermo – Jacinto Machado

parâmetro / dado estatístico	Ep-a (MPa)	Ep-x (MPa)	Esg-a (MPa)	Esg-x (MPa)	S _{Neff} -a	S _{Neff} -x	T-a (cm)	T-x (cm)
média	543	409	155	136	6,54	10,34	36,00	59,97
desvio padrão	140	100	27	27	0,47	2,14	-	14,25
coeficiente de variação (%)	3	2	2	2	7,19	20,73	-	23,76
máximo	1.099	621	220	204	7,40	20,43	-	122,70
mínimo	331	221	87	68	5,60	7,26	-	35,00

5.8.1.2.2 – ELSYM-5

A partir das deflexões obteve-se as bacias características como mostra o gráfico da figura 5.51. Nesse gráfico pode-se observar excelente concordância entre as bacias dos subtrechos homogêneos SH01 e SH02 e uma boa concordância entre as bacias dos subtrechos homogêneos SH03 e SH04.

Pelo ELSYM-5 (FHA, 1986) pode-se obter os valores de:

- MR_r = módulo de resiliência do revestimento;
- MR_b = módulo de resiliência da base;
- MR_{sb} = módulo de resiliência da sub-base; e
- MR_{sbl} = módulo de resiliência do subleito.

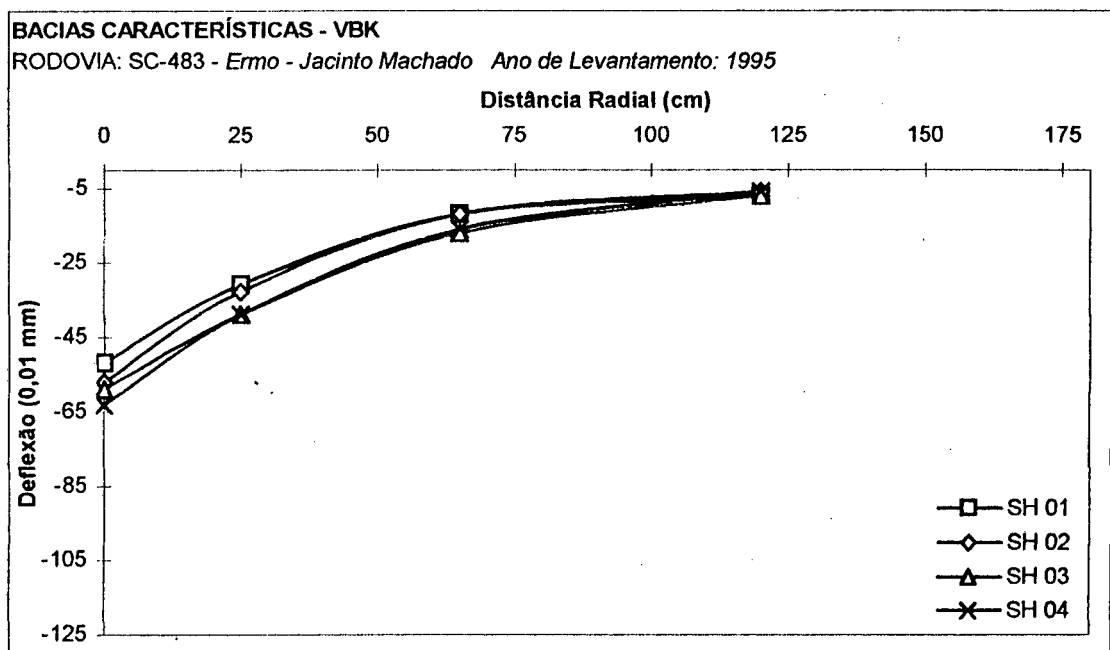


Figura 5.51 - Conformação das bacias características por subtrecho homogêneo

Estes dados são apresentados no quadro 5.28.

Quadro 5.28 - Parâmetros de retroanálise - ELSYM-5 por subtrechos homogêneos (SH) Rodovia SC-483, trecho Ermo - Jacinto Machado

parâmetro	SH			
	SH01	SH02	SH03	SH04
D_0 (0,01mm)	52	57	59	63
MR_r (MPa)	2.500	2.500	2.500	2.200
MR_b (MPa)	250	250	250	140
MR_{sb} (MPa)	110	110	110	110
MR_{sbl} (MPa)	120	120	100	120

Observa-se na figura 5.52 e no quadro 5.28 que os valores modulares do revestimento sofreram um decréscimo inversamente proporcional à deflexão máxima. Os valores dos módulos da base sofreram também um ligeiro decréscimo da mesma forma que no revestimento. Os valores modulares do subleito e da sub-base são da mesma ordem de grandeza, praticamente constantes.

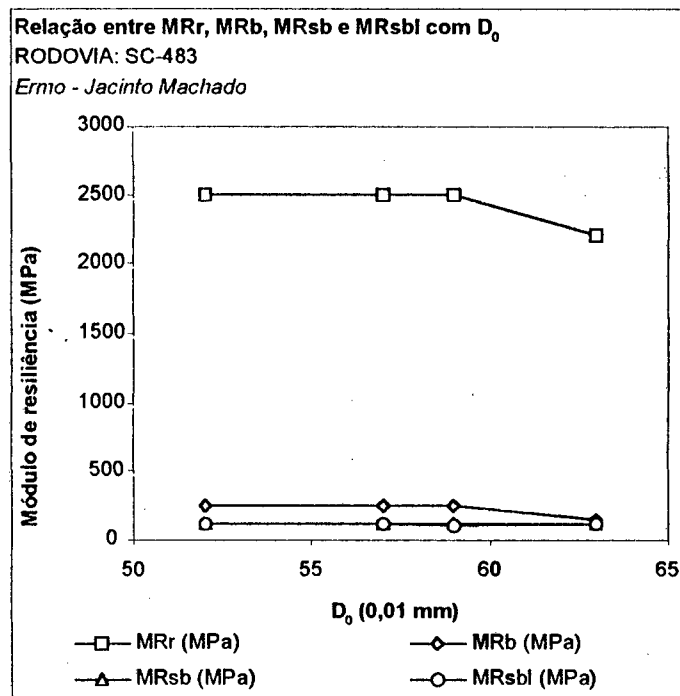


Figura 5.52 - Relação dos parâmetros MRr, MRb e MRr + MRb com D_0

5.8.1.3 – Levantamento de Campo

O quadro 5.29 mostra a frequência e os tipos de defeitos encontrados.

Esse quadro mostra que o trecho encontra-se com desgaste apresentando defeitos localizados de trincas tipo "couro de jacaré". Estes defeitos encontram-se constantes, ao longo das superfícies avaliadas com frequência de 24 defeitos em média.

Quadro 5.29 – Resumo de localização e frequência de defeitos
Rodovia SC-483, trecho Ermo – Jacinto Machado

DEFEITO			FD		FE		FD	FE	TRE	TRI	TOTAL
TIPO	CLASSE	TRE	TRI	TRI	TRE						
		TRINCA	TRANSVERSAL	1							
2											
3											
LONGITUDINAL	1										
	2										
	3										
BLOCO	1										
	2										
	3										
JACARÉ	1										
	2										
	3			1	1		1	1		2	2
IRREGULAR	1										
	2										
	3										
PANELA											
REMENDO				1	1		1	1		2	2
EXSUDAÇÃO											
DESGASTE			23	23	23	23	46	46	46	46	92
AFUNDAMENTO											
ONDULAÇÃO											
TOTAL			23	25	25	23	48	48	46	50	96

FD - FAIXA DIREITA

FE - FAIXA ESQUERDA

TRE - TRILHA DE RODA EXTERNA

TRI - TRILHA DE RODA INTERNA

5.8.1.4 – Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos

A causa dos defeitos é o carregamento, já que os defeitos encontrados foram desgaste, trinca tipo “couro de jacaré” e remendo.

5.8.2 – Irregularidade

Os valores do QI para 1995 e 1997 se enquadram em média de 37contagens/km e 28contagens/km respectivamente, como é mostrado no quadro 5.30 e na figura 5.53.

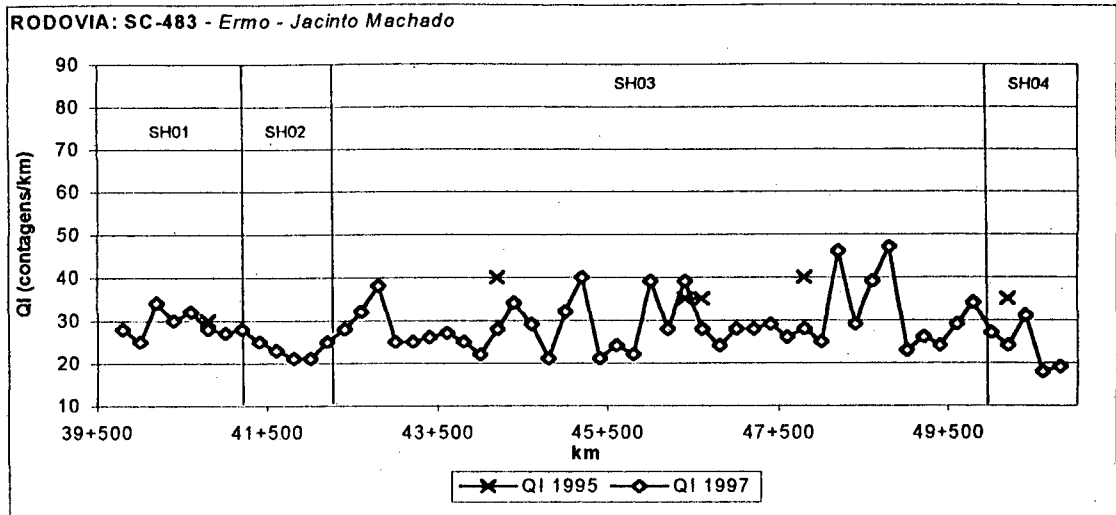


Figura 5.53 - Valores de QI ao longo do trecho

Quadro 5.30 - Análise estatística dos parâmetros de QI
Rodovia SC-483, trecho Ermo - Jacinto Machado

parâmetro	Quociente de Irregularidade		
	1990	1995	1997
dado estatístico			
média	-	37	28
desvio padrão	-	4,03	6,24
coeficiente de variação (%)	-	11,00	22,00
máximo	-	40	47
mínimo	-	28	21

5.9 – RODOVIA SC-448, TRECHO ERMO – BR-101

O trecho de rodovia é limitado entre as quilometragens 47,5km e 53,7km, tendo extensão total de 5,8km e concluído em 1980. O seu pavimento é constituído de, em média, 5cm de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), 18cm de base em seixo britado, 21cm de sub-base em seixo bruto e com subleito regularizado com $ISC \cong 5,0\%$.

O tráfego deste trecho é da ordem de $VMD = 2.301$ veículos, sendo 21% deste composto de veículos comerciais (ônibus, caminhões e semi-reboques).

5.9.1 – Avaliação Estrutural

5.9.1.1 – Bacias de Deflexão

As bacias de deflexão foram levantadas com o “*Falling Weight Deflectometer*” (FWD) nas duas faixas de tráfego em intervalos de 200m.

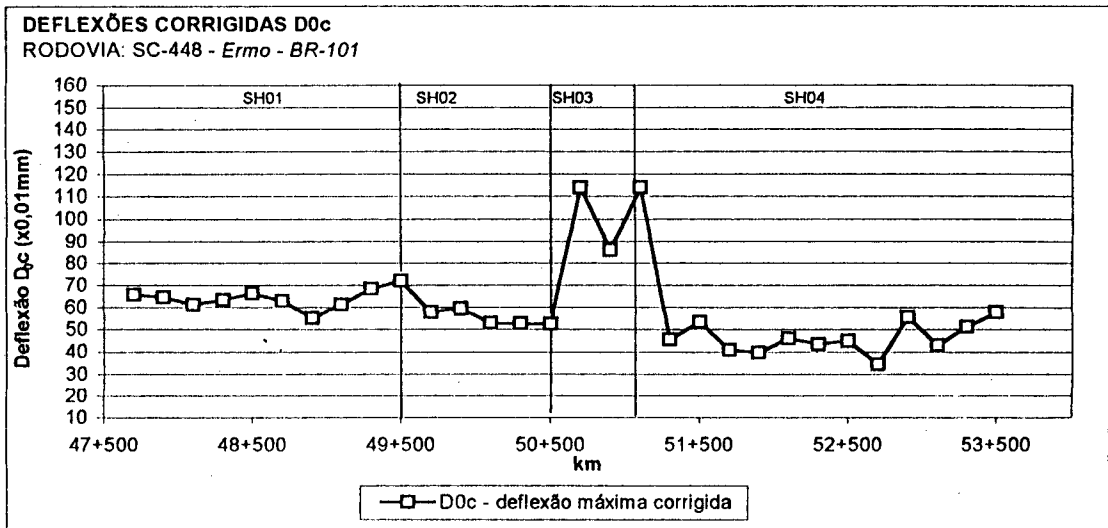


Figura 5.54 – Valores de deflexão D_{0c}

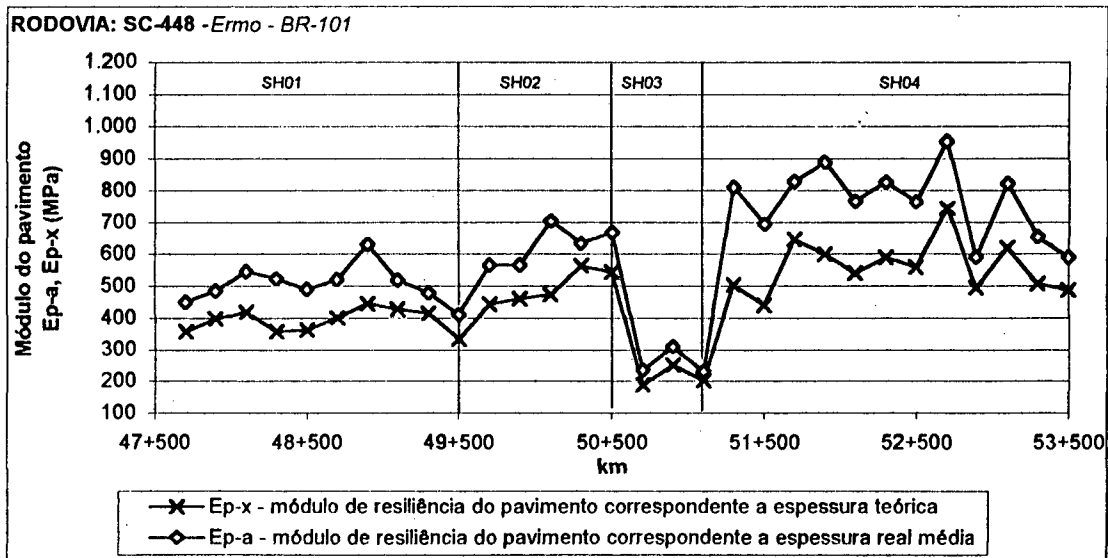


Figura 5.55 – Comparação entre os valores de Ep-x e Ep-a

Na figura 5.54 observa-se que a maioria das deflexões (D_{0c}) é inferior a 0,60mm, indicando um bom comportamento estrutural do trecho. Apenas para o subtrecho homogêneo SH03 apresenta-se somente 25% das deflexões D_{0c} inferiores a 0,60mm, indicando uma condição estrutural inadequada.

Para efeito de análise de comportamento nesse trabalho o SH03 será excluído, tendo em vista que as deflexões e os defeitos indicam a ocorrência de algum fator (drenagem, defeito de construção ou outro) que gerou um comportamento diferenciado dos demais subtrechos homogêneos.

5.9.1.2 – Retroanálises

5.9.1.2.1 – RETRAN-2CL

A retroanálise foi feita ponto a ponto obtendo-se os valores de Esg, Ep, SNeff e Tx mostrados nas figuras 5.55, 5.56, 5.57 e 5.58.

▪ Ep – Módulo de Resiliência do Pavimento

O gráfico da figura 5.55 e o quadro 5.31 mostram que o módulo de resiliência do pavimento (Ep) situa-se no valor médio de 642MPa (Ep-a) e 483MPa (Ep-x), mostrando-se, para Ep-a, valores individuais superiores a Ep-x.

▪ Esg – Módulo de Resiliência do Subleito

No caso do módulo de resiliência do subleito (Esg) a figura 5.56 e o quadro 5.31 demonstram excelente concordância entre os valores de Esg-a e Esg-x.

▪ S_{Neff} - Número Estrutural Efetivo

Os números estruturais efetivos encontrados no gráfico 5.57 e o quadro 5.31 apresentam valores médios de S_{Neff-a} igual a 7,02 e S_{Neff-x} igual a 11,49 a diferença entre as médias de S_{Neff-a} e S_{Neff-x} (3,57) é relativamente baixa.

O valor do número estrutural corrigido (SNC) calculado pela PRO 159/85 foi de 3,08, bem inferior aos de S_{Neff-a} e S_{Neff-x}.

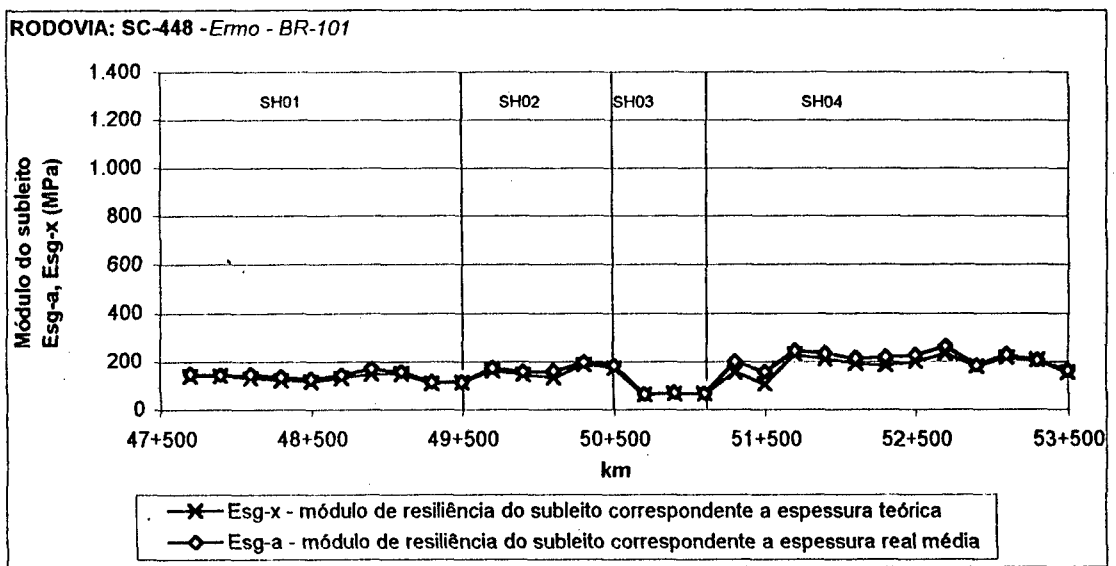


Figura 5.56 - Comparação entre os valores de Esg-x e Esg-a

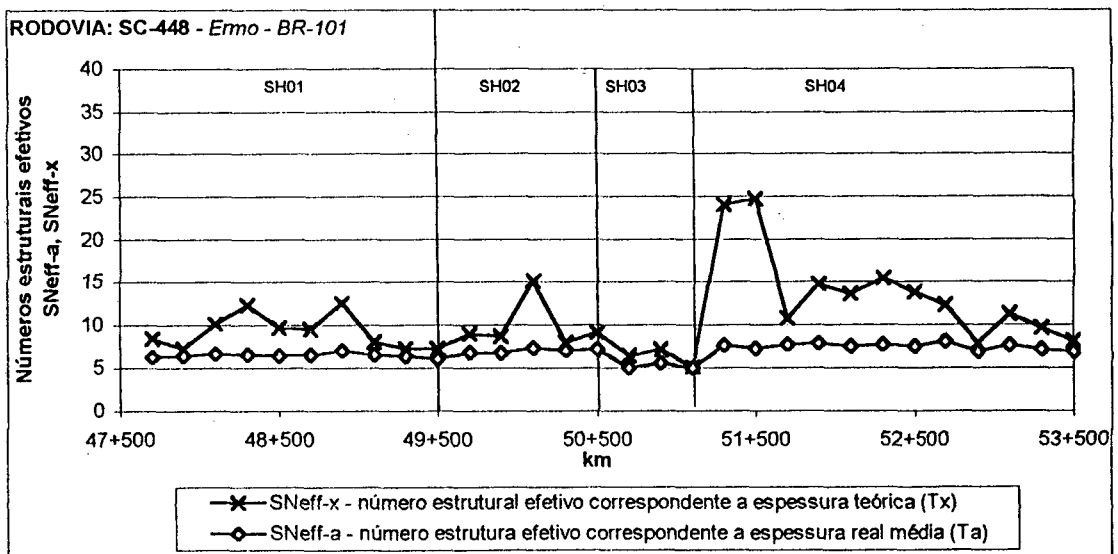


Figura 5.57 - Comparação entre os valores de S_{Neff-x} e S_{Neff-a}

▪ Tx - Espessura Efetiva

A figura 5.58 mostra que os valores da espessura efetiva (Tx), para toda extensão do trecho, encontram-se superiores em relação à espessura real Ta. Isto demonstra um bom comportamento estrutural.

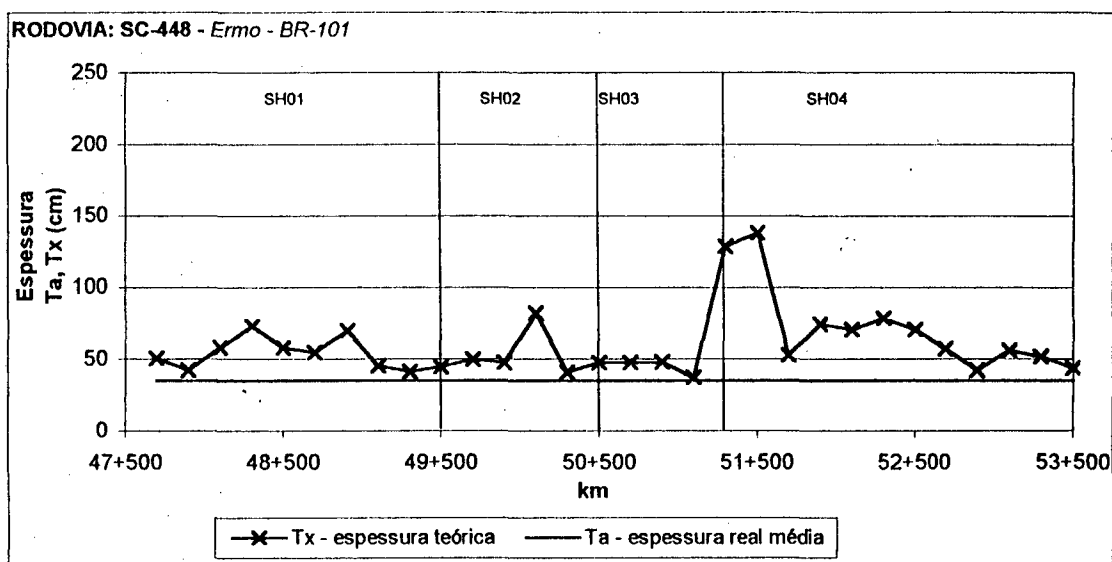


Figura 5.58 - Comparação entre os valores de Tx e Ta

Quadro 5.31 - Análise estatística dos parâmetros de retroanálise - Ep, Esg, S_{Neff} e T
Rodovia SC-448, trecho Ermo - BR-101

parâmetro / dado estatístico	Ep-a (MPa)	Ep-x (MPa)	Esg-a (MPa)	Esg-x (MPa)	S _{Neff} -a	S _{Neff} -x	T-a (cm)	T-x (cm)
média	642	483	177	161	7,02	11,49	44,00	59,26
desvio padrão	150	101	41	38	0,54	4,57	-	19,16
coeficiente de variação (%)	2	2	2	2	7,75	39,73	-	32,33
máximo	956	744	262	210	8,05	24,67	-	137,70
mínimo	230	188	63	61	5,05	5,13	-	37,00

5.9.1.2.2 - ELSYM-5

A partir das deflexões corrigidas obteve-se as bacias características como mostra o gráfico da figura 5.59. Nesse gráfico pode se observar relativa concordância entre as bacias dos subtrechos homogêneos SH02 e SH04.

Pelo ELSYM-5 (FHA, 1986) pode-se obter os valores de:

- MRr = módulo de resiliência do revestimento;
- MRb = módulo de resiliência da base;
- MRsb = módulo de resiliência da sub-base; e
- MRsbl = módulo de resiliência do subleito.

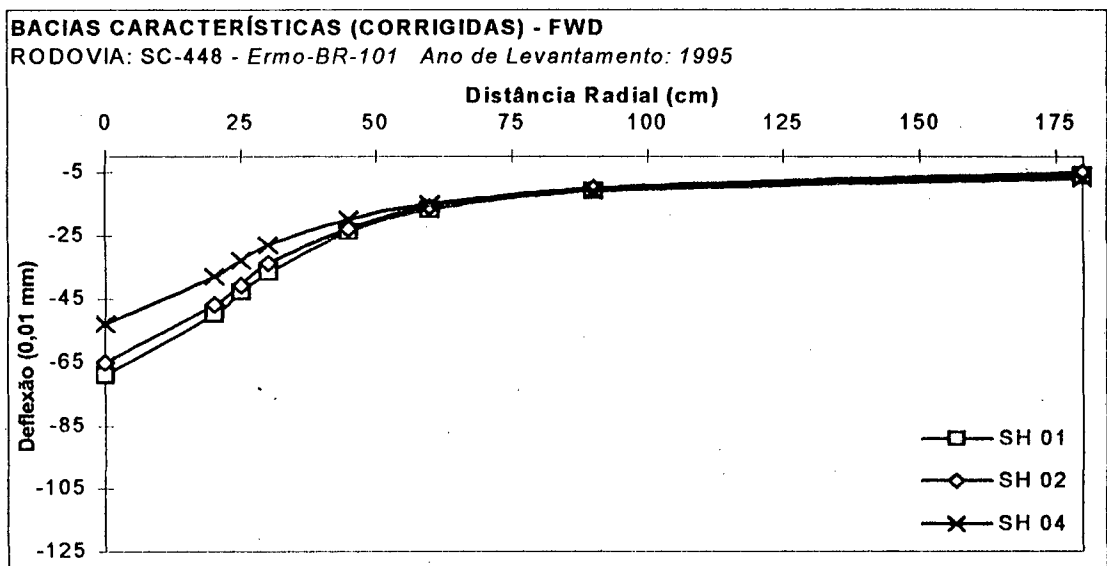


Figura 5.59 – Conformação das bacias características (corrigidas) por subtrecho homogêneo

Observa-se na figura 5.59 e no quadro 5.32 que o subtrecho homogêneo SH03 sofreu comportamento extremamente diferente dos demais. Verifica-se nos quadros 4.8 a 4.16 que este trecho não sofreu nenhuma deterioração até 1998. Esta situação pode ser devido a problemas de drenagem, na região dos subtrechos afetados, nas camadas de base e sub-base. Portanto, para efeito de análise, este subtrecho foi eliminado.

Estes dados são apresentados no quadro 5.32.

**Quadro 5.32 – Parâmetros de retroanálise - ELSYM-5
por subtrechos homogêneos (SH)
Rodovia SC-448, trecho Ermo - BR-101**

<i>SH</i>	<i>SH01</i>	<i>SH02</i>	<i>SH04</i>
<i>parâmetro</i>			
D_0 (0,01mm)	69	65	53
MR_r (MPa)	2.200	2.200	2.500
MR_b (MPa)	200	200	400
MR_{sb} (MPa)	90	90	100
MR_{sbl} (MPa)	90	90	100

Na figura 5.60 e no quadro 5.32 são mostrados que os valores modulares do revestimento são inversamente proporcionais às deflexões máximas. Observa-se para base a mesma situação ocorrida no revestimento, porém, com menor acentuação no decréscimo dos módulos. Os valores modulares da sub-base e do subleito são da mesma ordem de grandeza e praticamente constantes.

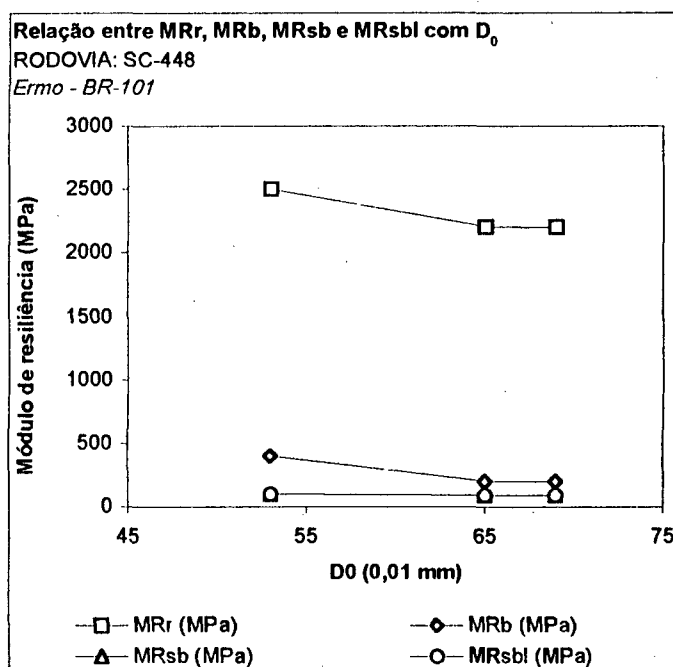


Figura 5.60 - Relação dos parâmetros MR_r , MR_b , MR_{sb} e MR_{sbl} com D_0

5.9.1.3 – Levantamento de Campo

O quadro 5.33 mostra a frequência e os tipos de defeitos encontrados.

Esse quadro mostra que o trecho encontra-se com desgaste apresentando alguns problemas localizados de trincas tipo “couro de jacaré”, trinca transversal e panela. É mostrado ainda que os defeitos encontrados apresentam-se constantes em todas as superfícies avaliadas com frequência de, em média, 14 defeitos.

**Quadro 5.33 – Resumo de localização e frequência de defeitos
Rodovia SC-448, trecho Ermo - BR-101**

DEFEITO			FD		FE		FD	FE	TRE	TRI	TOTAL	
TIPO	CLASSE	TRE	TRI	TRI	TRE							
		TRINCA	TRANSVERSAL	1								
2												
3						1		1	1		1	
LONGITUDINAL	1											
	2											
	3											
BLOCO	1											
	2											
	3											
JACARÉ	1											
	2											
	3		1	1	2		2	2	1	3	4	
IRREGULAR	1											
	2											
	3											
PANELA			1	1	1	1	2	2	2	2	4	
REMENDO												
EXSUDAÇÃO												
DESGASTE			12	12	12	12	24	24	24	24	48	
AFUNDAMENTO												
ONDULAÇÃO												
TOTAL			14	14	15	14	28	29	28	29	57	

FD - FAIXA DIREITA

FE - FAIXA ESQUERDA

TRE - TRILHA DE RODA EXTERNA

TRI - TRILHA DE RODA INTERNA

5.9.1.4 – Causas Prováveis do Surgimento dos Defeitos

O quadro 5.34 demonstra que a maior causa dos defeitos levantados, ao longo do trecho, é com relação ao carregamento solicitado na estrutura do pavimento (94%) e apenas representando 6% os fatores quanto a meio ambiente e materiais constituintes influenciaram na sua degradação, sendo que este último fator encontra-se no SH01 (17%). Cabe salientar que SH 01 apresenta uma porcentagem considerável quanto à influência dos defeitos por meio ambiente e por tipo de material devido ao fato da existência de trincamento transversal.

Quadro 5.34- Percentual de responsabilidades para as causas prováveis do surgimento dos defeitos Rodovia SC-448, trecho Ermo – BR-101

<i>SH</i>	<i>causa provável</i>	<i>carga / tráfego</i>	<i>meio ambiente / materiais</i>	<i>outros</i>
SH01		83%	17%	-
SH02		100%	-	-
SH03		100%	-	-
SH04		100%	-	-
TRECHO		94%	6%	-

5.9.2 – Irregularidade

Os valores do QI para 1995 encontram-se em torno da média de 30contagens/km como é mostrado no quadro 5.35.

Quadro 5.35 - Análise estatística dos parâmetros de QI Rodovia SC-448, trecho Ermo – BR-101

<i>dado estatístico</i>	<i>Quociente de Irregularidade</i>		
	<i>1990</i>	<i>1995</i>	<i>1997</i>
média	-	30	-
desvio padrão	-	7,79	-
coeficiente de variação (%)	-	26,00	-
máximo	-	45	-
mínimo	-	20	-

5.10 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise proposta neste trabalho foi aplicada no estudo de oito trechos de rodovias encontrados na região Sul do Estado de Santa Catarina, numa extensão total de 95,2 km.

Neste item são apresentados os aspectos avaliados nos trechos estudados. Para melhor clareza, esta análise é descrita a partir dos tópicos a seguir.

5.10.1 – Estrutura dos Pavimentos e Materiais Constituintes das Camadas

Os pavimentos desses trechos são compostos de mesmos materiais em suas camadas. Têm revestimentos constituídos de camadas delgadas variando entre 3,5 a 5cm em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), bases entre 15 e 22cm e sub-bases entre 16 e 32cm, de materiais granulares (seixo britado e seixo bruto, respectivamente)

5.10.2 – Tráfego Suportado

O tráfego suportado pelos trechos de rodovias estudados varia entre 1.266 a 3.117 veículos médios diários, sendo em média 25% destes compostos de veículos comerciais.

5.10.3 – Deflexões Máximas

A análise das condições estruturais dos pavimentos sob o aspecto de deflexões máximas (D_0) menores que 0,60mm mostrou o comportamento dos subtrechos homogêneos (SH) com relação as suas estruturas do pavimento, apresentado a seguir:

- rodovia SC-438, trecho Alto da Serra – Lauro Müller, extensão 13,2 km: dos 3 subtrechos homogêneos analisados, apenas o SH04 encontrou-se em bom estado, cuja extensão é de 5,0 km, resultando em uma extensão comprometida estruturalmente de 8,2 km, o SH03 (1,0km de extensão) foi excluído da análise por se tratar de zona urbana;
- rodovia SC-438, trecho Lauro Müller – Orleans, extensão 12,8 km: todos os subtrechos homogêneos (5) encontraram-se em boas condições estruturais;
- rodovia SC-447, trecho Nova Veneza – Rio Maina, extensão 7,7 km: dos 5 subtrechos homogêneos 2 encontraram-se em bom estado de estrutura, os SH01 (1,2 km), SH03 (2,9 km) e SH05 (1,2 km), resultando em uma extensão comprometida estruturalmente de 4,5 km;
- rodovia SC-448, trecho Forquilha – Meleiro, extensão 15,5 km: dos 5 subtrechos homogêneos apenas o SH02 encontrou-se em bom estado, cuja extensão é de 4,3 km, resultando em uma extensão comprometida estruturalmente de 11,1 km;
- rodovia SC-285, trecho Timbé do Sul – Turvo, extensão 18,2 km: todos os subtrechos homogêneos (4) encontraram-se em boas condições estruturais;
- rodovia SC-448, trecho Turvo – Ermo, extensão 6,2 km: todos os subtrechos homogêneos (3) encontraram-se em condições inadequadas de estrutura em uma extensão de 6,2 km;
- rodovia SC-483, trecho Ermo – Jacinto Machado, extensão 11,2 km: todos os subtrechos homogêneos (4) encontraram-se em boas condições estruturais;
- rodovia SC-448, trecho Ermo – BR-101, extensão 5,2 km: todos os subtrechos analisados (3) encontraram-se em boas condições estruturais.

Apenas o trecho Turvo – Ermo (SC-448) foi apresentado, de modo geral, com comportamento estrutural inadequado. Ou seja, com seus valores de D_0 superiores a 0,60mm na maior parte da extensão.

Com a extensão total do trecho de Turvo – Ermo (SC-448) acrescida das extensões dos subtrechos homogêneos, obteve-se uma extensão de 22,4 km

(23,62%) com comportamento estrutural comprometido frente ao estudo das bacias de deflexão, em relação a toda extensão de trechos em análise.

5.10.3.1 – Bacias Características Extremas

As figuras 5.61 e 5.62 mostram os subgrupos que os trechos se distribuíram de acordo com as faixas das bacias características extremas (bacia característica máxima e mínima).

Observa-se na figura 5.61 há semelhança no comportamento das bacias entre os trechos: Forquilha - Meleiro, Alto da Serra - Lauro Müller, Turvo - Ermo e Nova Veneza - Rio Maina. Para este subgrupo, as deflexões máximas variam de 0,62mm a 0,83mm.

No entanto, apesar de Forquilha - Meleiro encontrar-se na mesma faixa de bacia e seu tráfego na mesma ordem de grandeza ($N_s = 2,0 \times 10^6$) segundo o quadro 4.3, seu revestimento está totalmente deteriorado, como pode ser observado na figura 5.71. Com base em informações da fiscalização das obras de pavimentação este caso é explicado pela troca de material ao se executar a imprimação da base e a aplicação da camada de revestimento asfáltico.

O material utilizado para a imprimação foi o asfalto diluído do tipo CM-70 e não o CM-30. O CM-70 possui maior viscosidade que o CM-30 não possibilitando coesão adequada na superfície da base pela pouca penetração do ligante aplicado, ocasionando pouca aderência entre a base e a camada asfáltica sobreposta.

Outro fato é quanto ao tipo de revestimento. Nesta camada foi utilizada a mistura asfáltica do tipo cimento asfáltico de petróleo CAP-50/60 ao invés do CAP-85/100. O CAP-50/60 é mais enrijecido que o CAP-85/100, apresentando uma mistura com menor resistência às maiores deflexões repetidas

(deformações recuperáveis) provocadas pela sucessiva passagem dos veículos, ou seja com pouca resistência a fadiga.

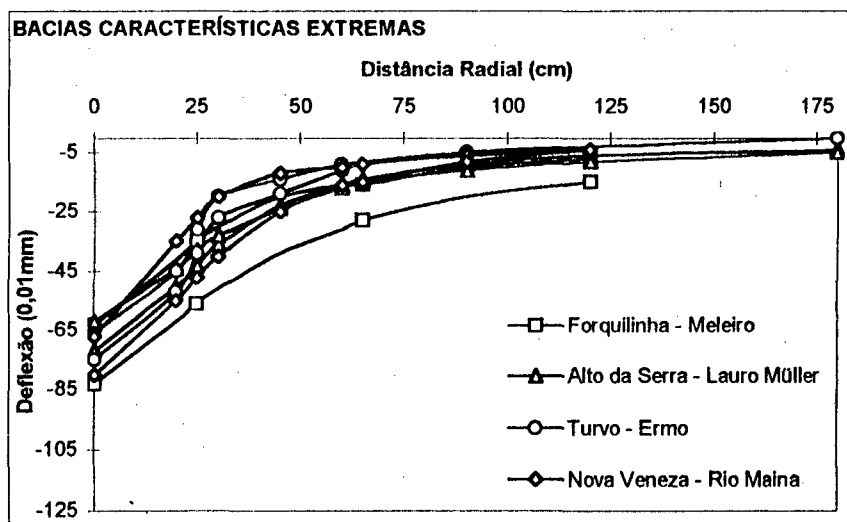


Figura 5.61 – Bacias características extremas

Na figura 5.62, outro subgrupo é formado com os trechos: Lauro Müller - Orleans, Timbé do Sul - Turvo, Ermo - Jacinto Machado e Ermo - BR-101. Observa-se a partir do quadro 4.2 que os valores de SNC, para todos os trechos encontram-se na ordem de 3,00.

Ao analisar o tráfego, quadro 4.3, deduz-se que o trecho Lauro Müller - Orleans tem suportado melhor por ser solicitado com $N_s = 2,7 \times 10^6$, o trecho Timbé do Sul - Turvo tem suportado menos, pois seu tráfego é da ordem de $N_s = 1,7 \times 10^6$.

Para este subgrupo, as deflexões máximas variam de 0,52mm a 0,70mm, representando deflexões menores que as encontradas no primeiro subgrupo o que indica, comparativamente, um melhor comportamento estrutural.

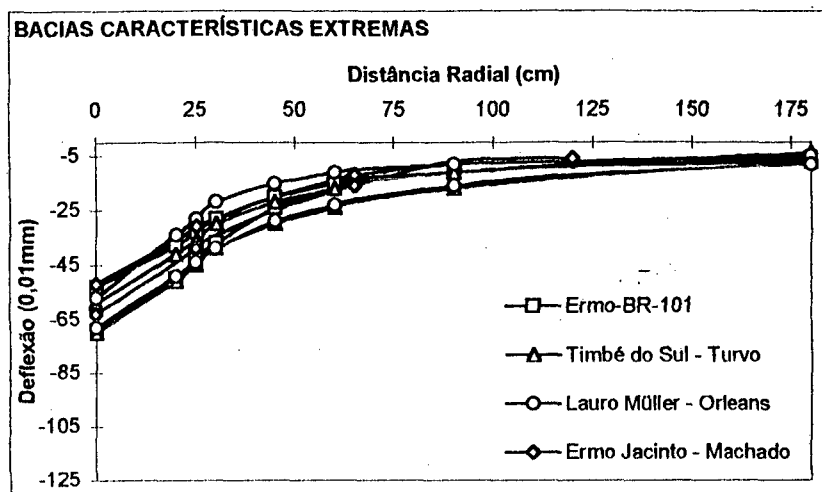


Figura 5.62 – Bacias características extremas

5.10.4 – Retroanálises

5.10.4.1 – RETRAN-2CL

Os valores do quadro 5.36 foram apresentados para se fazer uma comparação entre os valores das amplitudes dos parâmetros de retroanálise do RETRAN-2CL encontrados nesta pesquisa com as faixas encontradas por ALBERNAZ (1997). A comparação é apresentada no quadro 5.37.

No quadro 5.38 pode-se observar que, de um modo geral, todos os valores dos parâmetros encontrados são superiores aos obtidos por ALBERNAZ (1997). Os valores médios e máximos dos parâmetros de retroanálise obtidos, com exceção dos valores de S_{Neff-a} e S_{Neff-x} , são próximos aos apresentados por ALBERNAZ (1997). Os valores mínimos dos módulos são altos em relação aos propostos por ALBERNAZ (1997), exceto para T_a e S_{Neff-a} .

Quadro 5.36 – Amplitudes dos parâmetros obtidos pelo RETRAN-2CL

parâmetro		dado estatístico	média	mínimo	Máximo
Ep (MPa)	a		503	125	1.099
	x		412	188	881
Esg (MPa)	a		176	63	406
	x		157	61	398
SNeff	a		8,67	0,80	11,44
	x		11,33	5,05	36,75
T (cm)	a		43,06	36,00	56,00
	x		64,41	4,00	209,80

x – corresponde a espessura teórica
a – corresponde a espessura real média

Quadro 5.37 – Comparação entre os parâmetros obtidos pelo RETRAN-2CL

parâmetro		média		diferença	mínimo		diferença	máximo		diferença
				(%)			(%)			(%)
		ALBERNAZ, 1997	encon - trado		ALBERNAZ*, 1997	encon - trado		ALBERNAZ*, 1997	encon - trado	
Ep (MPa)	a	356	503	29	60	125	52	1.450	1.099	- 24
	x	289	412	30	50	188	73	1.100	881	- 20
Esg (MPa)	a	123	176	30	15	63	76	600	406	- 32
	x	114	157	27	15	61	75	450	398	- 12
SNeff	a	2,23	8,67	74	1,20	0,80	- 33	4,00	11,44	65
	x	3,48	11,33	69	1,50	5,05	70	10,00	36,75	73
T (cm)	a	39,00	43,06	9	27,00	36,00	25	47,00	56,00	16
	x	61,00	64,41	5	25,00	4,00	- 84	250,00	209,80	- 16

* valores aproximados extraídos dos gráficos de ALBERNAZ (1997)

x – corresponde a espessura teórica

a – corresponde a espessura real média

ALBERNAZ (1997) avalia o comportamento estrutural de trechos de rodovias analisados em seu trabalho utilizando como indicativo a comparação entre os parâmetros Tx e Ta, a fim de responder qual camada (pavimento ou subleito) apresenta melhor comportamento.

ALBERNAZ (1997) afirma que para os valores da espessura efetiva (ou teórica) do pavimento (Tx) maiores que os da espessura real (Ta) indicam que o pavimento apresenta boas condições estruturais, sendo o subleito o componente mais fraco da estrutura. Para valores de Tx menores que Ta é afirmado que o pavimento é estruturalmente mais fraco que o pavimento.

Com o mesmo raciocínio, foi possível encontrar, nesta pesquisa, os seguintes resultados:

- rodovia SC-438, trecho Alto da Serra – Lauro Müller, extensão 13,2 km: dos 3 subtrechos homogêneos apenas a camada pavimento do SH04 encontrou-se em bom estado, cuja extensão é de 5,0 km, resultando em uma extensão comprometida estruturalmente de 8,2 km;
- rodovia SC-438, trecho Lauro Müller – Orleans, extensão 12,8 km: todas as camadas pavimento dos subtrechos homogêneos (5) encontraram-se em boas condições estruturais;
- rodovia SC-447, trecho Nova Veneza – Rio Maina, extensão 7,7 km: todas as camadas do pavimento dos subtrechos homogêneos (5) encontraram-se em boas condições estruturais;
- rodovia SC-448, trecho Forquilha – Meleiro, extensão 15,5 km: todas as camadas pavimento dos subtrechos homogêneos (5) encontraram-se em boas condições estruturais;
- rodovia SC-285, trecho Timbé do Sul – Turvo, extensão 18,2 km: todas as camadas pavimento dos subtrechos homogêneos (4) encontraram-se em boas condições estruturais;
- rodovia SC-448, trecho Turvo – Ermo, extensão 6,2 km: todas as camadas pavimento dos subtrechos homogêneos (3) encontraram-se em boas condições estruturais;
- rodovia SC-483, trecho Ermo – Jacinto Machado, extensão 11,2 km: todas as camadas pavimento dos subtrechos homogêneos (4) encontraram-se em boas condições estruturais;
- rodovia SC-448, trecho Ermo – BR-101, extensão 5,2 km: todas as camadas pavimento dos subtrechos homogêneos (3) encontraram-se em boas condições estruturais.

Todos os trechos apresentaram, por este aspecto, comportamento estrutural adequado, indicando que a camada pavimento existente, de um modo geral, apresenta bom comportamento estrutural e tendo como componente mais fraco da estrutura o subleito. No entanto, não se pode desassociar o histórico de defeito encontrado nos trechos que demonstram para alguns subtrechos, como no caso do trecho Forquilha - Meleiro, processo de deterioração generalizado, como indicado nos quadros resumo do capítulo 4 e fotografias em anexo.

5.10.4.2 – ELSYM-5

5.10.4.2.1 – Correlação

Para os módulos de resiliência dos revestimentos (MRr) encontrados para cada pavimento estudado pôde-se estabelecer a relação com as deflexões máximas. Esta relação é definida por meio da equação 5.1 ilustrada na figura 5.63.

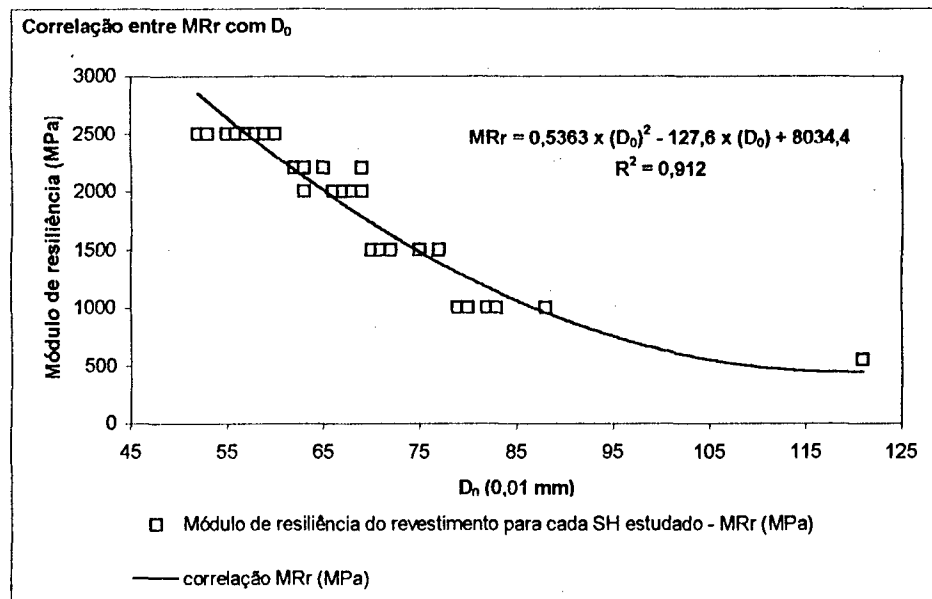


Figura 5.63 - Correlação MRr com D_0

$$MRr = 0,5363 \times (D_0)^2 - 127,6 \times (D_0) + 8034,4 \quad \rightarrow R^2 = 0,912 \quad (\text{equação 5.1})$$

5.10.4.2.2 – Módulo de Resiliência x Faixa de Deflexão Máxima – D_0 (0,01mm)

Por meio das correlações obtidas foi elaborado o quadro 5.38 que corresponde aos módulos de resiliência (MR) das camadas, das estruturas analisadas, em função das faixas de deflexão máxima encontradas nos levantamentos deflectométricos.

Quadro 5.38 - Módulos de resiliência em função das faixas de deflexão máxima

MR (MPa)	materiais	Faixa de Deflexão Máxima – D_0 (0,01mm)						
		50–60	61–65	65–70	71–75	76–80	81–85	85–90
MRr	CBUQ	2.500	2.200	2.000	1.500	1.200	1.000	1.000
MRb	Seixo Britado	250	160	160	150	140	140	80
MRsb	Seixo Bruto	110	100	90	85	75	70	70
	MRsbl	110	110	100	100	80	80	90

MR – módulo de resiliência
 MRr – módulo de resiliência do revestimento
 MRb – módulo de resiliência da base
 MRsb – módulo de resiliência da sub-base
 MRsbl – módulo de resiliência do subleito
 CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

As amplitudes dos módulos de resiliência encontrados para as camadas do pavimento compreendem àquelas descritas no quadro 5.39.

Com base nos valores do quadro 5.39 foi obtida comparação entre os valores das amplitudes de módulos de resiliência encontrados nesta pesquisa com as faixas encontradas por CARDOSO (1995). O quadro 5.40 apresenta esta comparação.

Observa-se no quadro 5.40 que todos os valores modulares encontrados apresentam mais baixos que os propostos por CARDOSO (1995), com exceção do valor mínimo do módulo de resiliência da sub-base que é igual ao encontrado por este autor.

Contudo pode-se considerar que os valores modulares mínimos e médios, para todas as camadas, encontram-se razoável aproximação dos valores encontrados por CARDOSO (1995).

No caso dos valores de módulo de resiliência máximos recomendados por CARDOSO (1995), pode-se observar que são altos em relação aos calculados.

Esta variação era esperada, pois trata-se de situações distintas, com diferença de tráfego, espessuras e comportamento das camadas dos pavimentos analisados, como também é o caso da análise comparativa realizada com os parâmetros de retroanálise do RETRAN-2CL e os obtidos por ALBERNAZ (1997) em sua pesquisa.

Quadro 5.39 – Amplitudes de módulos de resiliência encontrados

MR (MPa)	material	média	mínimo	máximo
MRr	CBUQ	1.890	1.000	2.500
MRb	Seixo Britado	180	80	400
MRsb	Seixo Bruto	95	70	110
	MRsbl	100	70	130

MR – módulo de resiliência
 MRr – módulo de resiliência do revestimento
 MRb – módulo de resiliência da base
 MRsb – módulo de resiliência da sub-base
 MRsbl – módulo de resiliência do subleito
 CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

Quadro 5.40 – Comparação entre as faixas de módulos de resiliência obtidos pelo ELSYM-5

MR (MPa)	média (MPa)		diferença (%)	mínimo (MPa)		diferença (%)	máximo (MPa)		diferença (%)
	CARDOSO, 1995	encon- trada		CARDOSO, 1995	encon- trado		CARDOSO, 1995	encon- trado	
revestimento	2.900	1.890	-35	1.130	1.000	-12	5.820	2.500	-57
base	270	180	-33	100	80	-20	730	400	-45
sub-base	150	95	-37	70	70	0	300	110	-63
subleito	150	100	-33	80	70	-13	270	130	-52

5.10.4.2.3 – Comparação de Valores de Módulos de Resiliência Analisados com os Obtidos por Consultoras Locais

Em pesquisa junto à Diretoria de Estudos e Projetos do DER/SC foram analisados os dados de retroanálise, obtidos por Consultoras Locais, de três trechos: Nova Veneza – Rio Maina, Forquilha – Meleiro e Ermo – Jacinto

Machado (DER/SC, 1994-a), (DER/SC, 1994-b) e (DER/SC, 1994-c). Os dados coletados foram comparados aos obtidos neste trabalho.

A análise dos dois conjuntos de dados mencionados permite tecer as seguintes considerações:

- a) observa-se que os subtrechos homogêneos foram obtidos com extensões distintas entre a metodologia apresentada neste trabalho e a disponibilizada por Consultoras Locais;
- b) as Consultoras Locais não utilizaram a dispersão dos valores individuais das deflexões. No presente trabalho as deflexões foram corrigidas por meio dos coeficientes de variação definidos em cada subtrecho homogêneo, como foi feito nesta pesquisa. Embora os dados apresentados neste trabalho sejam produtos do mesmo levantamento realizado pelas Consultoras Locais, os quadros 5.41, 5.42 e 5.43 mostram as diferenças dos valores de deflexões utilizados para as retroanálises, constando as bacias características utilizadas na pesquisa; e
- c) as Consultoras Locais adotaram o sistema base+sub-base como uma camada, denominada base. Nesta pesquisa, as camadas de base e sub-base foram retroanalizadas separadamente.

O quadro 5.44 mostra os subtrechos homogêneos obtidos por Consultoras Locais, seus respectivos valores de módulos de resiliência e o valor modular médio do trecho. O quadro 5.45 apresenta os mesmos aspectos abordados no quadro anterior obtidos nesta pesquisa.

Ao serem observadas as diferenças entre dos valores médios dos módulos de resiliência retroanalizados neste trabalho e os obtidos por Consultoras Locais, verifica-se que tanto para os módulos de resiliência do revestimento quanto para os módulos de resiliência do subleito são superiores com exceção do valor

médio do módulo de resiliência do subleito do trecho de Ermo - Jacinto Machado que encontra-se pouco inferior, como é mostrado no quadro 5.46.

Quadro 5.41 – Relação de bacias de deflexão e suas bacias características por SH

Rodovia SC-447, trecho Nova Veneza - Rio Maina

SH	km	distância radial			
		$D_0 - 0cm$	$D_1 - 25cm$	$D_2 - 65cm$	$D_3 - 120cm$
SH01	42+090	148	70	16	4
	42+310	82	42	14	6
	42+530	66	36	10	4
	42+790	54	28	10	4
	43+010	50	22	10	4
<i>bacia característica – SH01</i>		77	39	14	6
SH02	43+010	50	22	10	4
	43+310	36	12	8	6
	43+450	78	64	20	8
	43+790	156	86	26	12
	44+050	34	14	6	4
	44+230	72	24	8	4
<i>bacia característica – SH02</i>		79	46	15	6
SH03	44+230	72	24	8	4
	44+490	40	20	8	6
	44+790	42	18	6	2
	45+010	68	26	8	2
	45+270	28	10	8	2
	45+490	54	24	8	4
	45+910	40	14	6	2
<i>bacia característica – SH03</i>		67	27	9	4
SH04	45+910	40	14	6	2
	46+010	70	52	20	4
	46+270	56	30	12	4
	46+450	66	50	16	6
	46+750	34	22	12	6
	47+290	120	70	30	12
	47+430	96	46	8	2
	47+730	50	28	10	4
	48+070	60	28	10	4
	48+130	72	42	14	8
48+410	64	38	14	4	
<i>bacia característica – SH04</i>		80	47	15	4
SH05	48+410	64	38	14	4
	48+550	112	56	14	2
	48+970	40	30	16	4
	49+070	60	30	10	2
	49+450	46	24	10	4
	49+550	42	22	10	2
	49+790	60	34	12	4
<i>bacia característica – SH05</i>		63	36	14	4

SH = Subtrecho Homogêneo

leituras D_0 , D_1 , D_2 e D_3 realizadas com viga Benkelman em 10^{-2} mm

Quadro 5.42 - Relação de bacias de deflexão e suas bacias características por SH
Rodovia SC-448, trecho Forquilha - Meleiro

SH	km	distância radial			
		$D_0 - 0cm$	$D_1 - 25cm$	$D_2 - 65cm$	$D_3 - 120cm$
01	9+880	56	40	28	10
	10+180	50	36	22	10
	10+600	54	38	32	8
	10+980	76	32	10	2
	11+400	80	44	20	12
	11+780	70	36	14	4
	12+200	68	36	20	8
	12+580	64	34	12	6
	13+000	68	38	20	8
<i>bacia característica - SH01</i>		75	41	27	11
02	13+000	68	38	20	8
	13+380	44	28	8	4
	13+800	48	32	8	4
	14+180	66	34	12	6
	14+600	52	28	4	3
	14+980	50	30	12	4
	15+400	70	50	22	8
	15+780	76	40	18	6
	16+200	48	28	8	4
	16+580	30	20	10	6
	17+320	58	30	10	4
<i>bacia característica - SH02</i>		69	40	18	7
03	17+320	58	30	10	4
	17+380	70	36	14	4
	18+160	72	36	16	6
	18+180	64	40	20	8
	18+880	66	42	16	6
	19+680	66	44	24	8
	19+780	100	32	16	8
<i>bacia característica - SH03</i>		83	42	20	8
04	19+780	100	32	16	8
	20+480	66	24	10	4
	20+580	54	30	12	4
	21+320	60	40	20	10
	21+380	58	28	8	4
	22+040	62	28	8	4
	22+180	60	30	12	6
	22+960	58	34	16	2
	22+980	60	32	12	4
<i>bacia característica - SH04</i>		63	35	16	7
05	22+980	60	32	12	4
	23+720	52	26	12	4
	23+820	84	44	16	6
	24+560	72	48	18	10
	24+580	84	52	24	12
	25+360	70	60	32	20
	25+380	78	48	28	6
<i>bacia característica - SH05</i>		83	56	28	15

SH = Subtrecho Homogêneo

leituras D_0 , D_1 , D_2 e D_3 realizadas com viga Benkelman em $10^{-2}mm$

Quadro 5.43 - Relação de bacias de deflexão e suas bacias características por SH
Rodovia SC-483, trecho Ermo - Jacinto Machado

SH	km	distância radial			
		$D_0 - 0cm$	$D_1 - 25cm$	$D_2 - 65cm$	$D_3 - 120cm$
SH01	39+940	50	32	10	4
	40+440	38	26	6	2
	40+700	46	28	12	8
	41+280	50	28	10	4
<i>bacia característica - SH01</i>		52	31	12	7
SH02	41+280	50	28	10	4
	41+540	56	32	12	6
	42+040	82	54	28	12
<i>bacia característica - SH02</i>		57	33	12	6
SH03	42+040	82	54	28	12
	42+420	38	22	8	2
	43+180	44	28	12	4
	43+600	50	42	12	4
	43+940	48	30	16	6
	44+740	46	28	10	4
	44+920	44	32	12	4
	45+200	50	28	10	6
	45+580	50	34	12	6
	46+260	44	28	10	4
	46+800	50	32	16	6
	47+180	34	24	12	4
	47+940	50	30	12	8
	48+400	56	36	16	4
	48+740	38	26	10	2
	49+620	56	32	10	2
	49+680	48	32	12	6
	50+180	46	30	16	6
<i>bacia característica - SH03</i>		59	39	17	7
SH04	50+180	46	30	16	6
	50+380	56	36	14	6
	50+760	50	32	16	6
	51+160	66	40	14	6
<i>bacia característica - SH04</i>		63	39	16	6

SH = Subtrecho Homogêneo

leituras D_0 , D_1 , D_2 e D_3 realizadas com viga Benkelman em $10^{-2}mm$

Quadro 5.44 – Valores de módulos de resiliência obtidos por Consultoras Locais

trecho	SH	km		MR _r (MPa)	MR _b (Mpa)	MR _{sb} (MPa)
		inicial	final			
Nova Veneza Rio Maina	01	42+310	43+450	10.500	71	135
	02	43+450	48+070	7.800	105	156
	03	48+070	48+970	7.500	80	165
	04	48+970	49+070	7.500	110	110
	05	49+070	49+790	4.428	88	150
	valor modular médio do trecho				7.546	91
Forquilha Meleiro	01	9+880	10+580	12.500	225	69
	02	10+580	13+540	690	127	105
	03	13+540	25+380	1.120	122	119
	valor modular médio do trecho				4.770	158
Ermo Jacinto Machado	01	39+940	41+440	8.200	125	163
	02	41+440	43+040	7.500	145	150
	03	43+040	44+340	10.000	150	145
	04	44+340	46+340	12.500	158	142
	05	46+340	46+900	12.500	165	115
	06	46+900	49+480	11.500	190	136
	07	49+480	51+160	12.000	159	110
	valor modular médio do trecho				10.600	156

SH = Subtrecho Homogêneo

MR = Módulo de Resiliência

Quadro 5.45 – Valores de módulos de resiliência obtidos neste trabalho

trecho	SH	km		MR _r (MPa)	MR _b (MPa)	MR _{sb} (MPa)	MR _{sb} (MPa)
		inicial	final				
Nova Veneza Rio Maina	01	42+090	43+010	1.500	140	80	80
	02	43+010	44+230	1.000	140	70	80
	03	44+230	45+910	2.000	130	100	110
	04	45+910	48+410	1.000	130	70	80
	05	48+410	49+790	2.000	140	110	120
	valor modular médio do trecho				1.500	136	86
Forquilha Meleiro	01	9+880	13+000	1.500	240	70	80
	02	13+000	17+320	2.000	130	110	110
	03	17+320	19+780	1.000	120	80	90
	04	19+780	22+980	2.000	130	110	110
	05	22+980	25+380	1.000	250	70	70
	valor modular médio do trecho				1.500	174	88
Ermo Jacinto Machado	01	39+940	41+280	2.500	250	110	120
	02	41+280	42+040	2.500	250	110	120
	03	42+040	50+180	2.500	250	110	100
	04	50+180	51+160	2.200	140	110	120
	valor modular médio do trecho				2.425	223	110

SH = Subtrecho Homogêneo

MR = Módulo de Resiliência

Este fato é justificado por terem sido utilizadas metodologias distintas de tratamento para a obtenção dos módulos de resiliência. A metodologia de

retroanálise para esta pesquisa, como mencionado no capítulo 3, baseou-se nos “módulos sementes” referenciados por CARDOSO (1995) que estabelece faixas máximas, médias e mínimas de valores de módulos de resiliência para camadas de pavimento compostas por diversos materiais.

Quadro 5.46 – Comparação entre os valores médios dos módulos de resiliência encontrados e os obtidos por Consultoras Locais

trecho	MR _r		diferença (%)	MR _{abl}		diferença (%)
	CL	encontrado		CL	encontrado	
Nova Veneza – Rio Maina	7.546	1.500	-80	143	94	-34
Forquilha – Meleiro	4.770	1.500	-69	98	92	-6
Ermo – Jacinto Machado	10.600	2.425	-77	110	115	4

CL = Consultoras Locais

Para tanto foram testadas todas as faixas modulares, tecnicamente estabelecidas por CARDOSO (1995), e seus valores aproximados. Nos projetos de restauração desenvolvidos pelas Consultoras Locais não foram identificados valores ou ordens de grandeza modulares como partida para as retroanálises possibilitando-se uma infinidade de bacias de deformação retroanalizadas próximas às de campo que resultam em várias combinações modulares para as camadas das estruturas do pavimento.

5.10.5 – Levantamento de Campo

No quadro 5.47, observa-se que todos os defeitos analisados nos trechos estão bem distribuídos entre faixa esquerda (FE) e faixa direita (FD) das pistas de rolamento, havendo apenas uma maior concentração nas trilhas de roda externas o que é esperado, pois é a região mais solicitada pelo tráfego.

5.10.6 – Causas de Defeitos

Observa-se, no quadro 5.48, que a maior causa para existência dos defeitos observados é o carregamento. No entanto, cabe salientar que em subtrechos localizados, como nos casos do SH04 (de Alto da Serra – Lauro Müller: 9%);

SH01 (de Lauro Müller – Orleans: 20%); SH03 (de Forquilha – Meleiro: 12%) e SH01 (Ermo – BR-101: 17%), foram detectados percentuais significativos de responsabilidade para os materiais e meio-ambiente como sendo as causas prováveis da deterioração do pavimento (entre 9 a 20%). Estes casos devem ser estudados particularmente.

Quadro 5.47 – Frequência de defeitos nas superfícies

<i>trecho</i>	<i>FD</i>	<i>FE</i>	<i>TRE</i>	<i>TRI</i>
Alto da Serra - Lauro Müller	75	71	70	76
Lauro Müller – Orleans	59	56	58	57
Nova Veneza - Rio Maina	0	0	0	0
Forquilha – Meleiro	103	101	116	88
Timbé do Sul – Turvo	74	74	74	74
Turvo – Ermo	24	24	24	24
Ermo - Jacinto Machado	47	48	46	49
Ermo - BR-101	27	28	28	27
Total	409	402	416	395

FD = Faixa Direita
FE = Faixa Esquerda
TRE = Trilha de Roda Externa
TRI = Trilha de Roda Interna

Quadro 5.48 – Percentual de responsabilidade para as causas de deterioração

<i>trecho</i>	<i>carga/tráfego</i>	<i>material/meio-ambiente</i>
Alto da Serra – Lauro Müller	98%	2%
Lauro Müller – Orleans	94%	6%
Nova Veneza – Rio Maina	-	-
Forquilha – Meleiro	97%	3%
Timbé do Sul – Turvo	100%	0%
Turvo – Ermo	100%	0%
Ermo – Jacinto Machado	100%	0%
Ermo – BR-101	94%	6%
Média(%) ¹	97,5%	2,5%

¹desconsiderando o trecho Nova Veneza – Rio Maina

5.10.7 – Análise de Desempenho

5.10.7.1 – Irregularidade

Para esta análise foi utilizado o modelo de desempenho desenvolvido por PATERSON (1987) definido na equação 3.2.

As figuras 5.64 e 5.65 e o quadro 5.49 indicam que as irregularidades medidas nos trechos Forquilha - Meleiro, Ermo - BR-101, Ermo - Jacinto Machado, Timbé do Sul - Turvo, Turvo - Ermo e Lauro Müller - Orleans encontram-se abaixo das previstas pela equação 3.2, indicando que estes trechos apresentam comportamento adequado, com relação à irregularidade.

Nos trechos Alto da Serra - Lauro Müller Lauro Müller - Orleans e Nova Veneza - Rio Maina são encontrados alguns subtrechos que a irregularidade está acima da prevista pela equação 3.2 determinada por PATERSON (1987). O quadro 5.50 apresenta estes subtrechos.

Destes três trechos, o subtrecho homogêneo SH03 de Alto da Serra - Lauro Müller; o SH03 e o SH04 de Lauro Müller - Orleans e o SH03 de Nova Veneza - Rio Maina encontra-se com valor inferior ao admitido pela equação 3.2. O fato do trecho Nova Veneza - Rio Maina ter apresentado valores de QI altos justificou a restauração concluída em 1997.

Quadro 5.49 - Valores de irregularidade previstos pela equação 3.2 (PATERSON, 1987)

Idade (anos)	N	SNC = 3,13 IRI ₀ = 1,923	QI (contagens/km)
0,5	6,7E+04	1,979	26
1	1,3E+05	2,020	26
5	6,7E+05	2,351	31
10	1,3E+06	2,764	36
15	2,0E+06	3,177	41
20	2,7E+06	3,591	47
25	3,4E+06	4,004	52
30	4,0E+06	4,417	57

Quadro 5.50 – Relação dos subtrechos homogêneos com condições indesejáveis de irregularidade

trecho	SH	QI (contagens/km)	
		encontrado	admitido
Alto da Serra – Lauro Müller	SH01	39	36
	SH02	38	
	SH04	34	
Lauro Müller - Orleans	SH01	34	34
	SH02	36	
	SH03	30	
	SH04	29	
	SH05	38	
Nova Veneza – Rio Maina	SH01	41	37
	SH02	48	
	SH03	30	
	SH04	73	
	SH05	43	

SH = Subtrecho Homogêneo QI = Quociente de Irregularidade

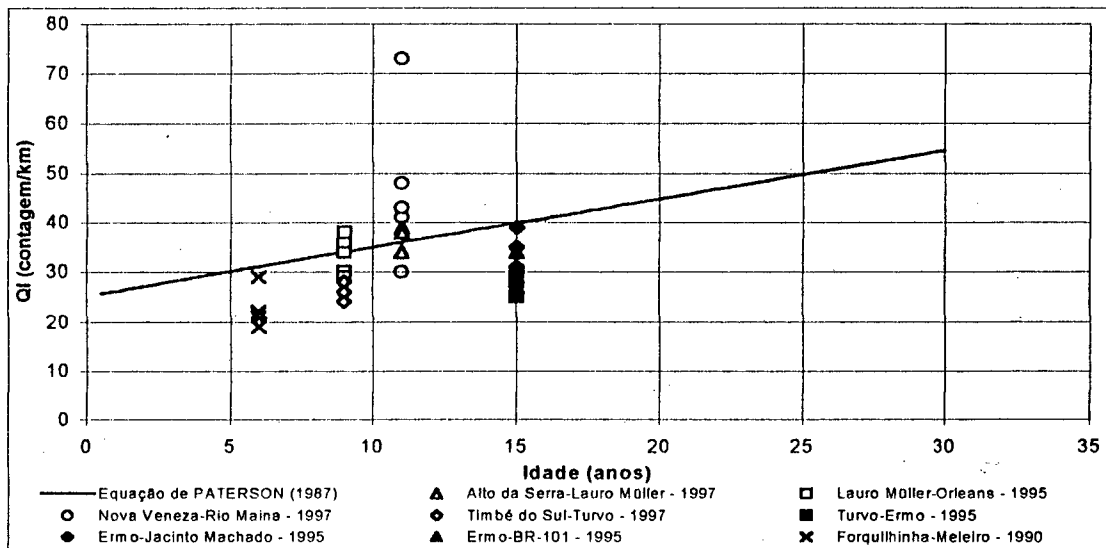


Figura 5.64 – Relação entre QI e idade e valores previstos pela equação 3.2 (PATERSON, 1987)

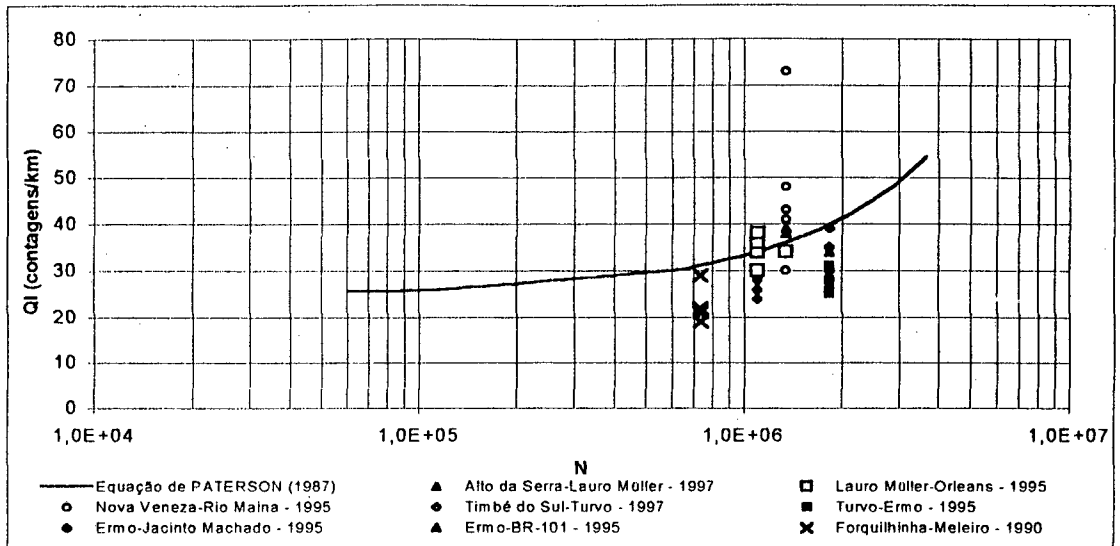


Figura 5.65 – Relação entre QI e N e valores previstos pela equação 3.2 (PATERSON, 1987)

5.10.7.2 – Trincamento

Para esta análise foi utilizado o modelo de desempenho desenvolvido por QUEIROZ (1981) definido na equação 3.2.

As figuras 5.66 e 5.67 e o quadro 5.51 indicam que os graus de trincamentos medidos no trecho de Forquilha – Meleiro encontram-se acima do previsto pela equação 3.3.

Quadro 5.51 – Valores de grau de trincamento previstos pela equação 3.3 (QUEIROZ, 1981)

Idade (anos)	N	CR (%)
0,5	6,7E+04	0,739
1	1,3E+05	3,007
5	6,7E+05	15,634
10	1,3E+06	30,138
15	2,0E+06	44,642
20	2,7E+06	59,259
25	3,4E+06	73,999
30	4,0E+06	88,853

CR = todos os tipos de trincas + remendos

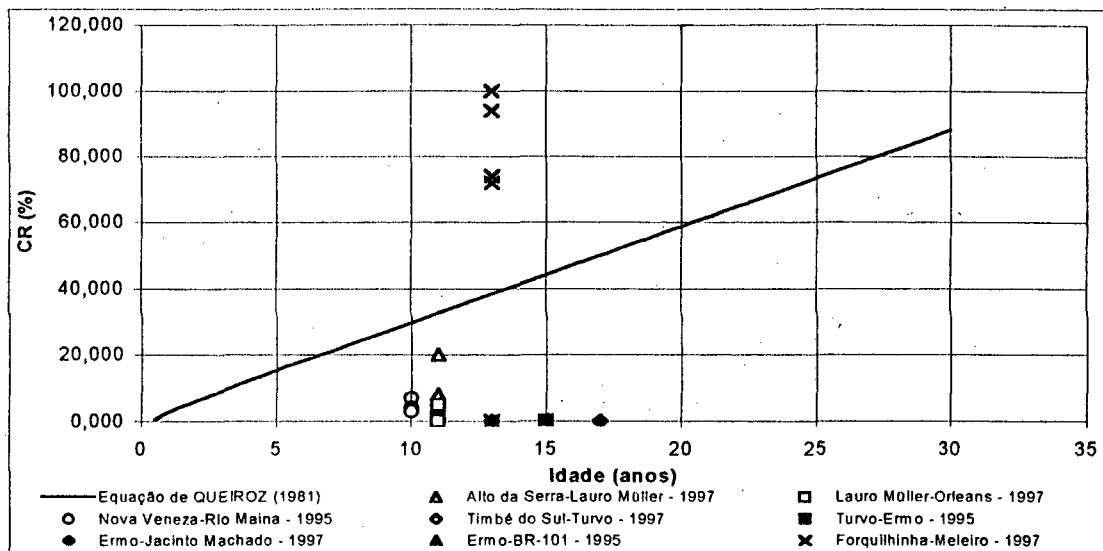


Figura 5.66 – Relação entre CR e idade e valores previstos pela equação 3.3 (QUEIROZ, 1981)

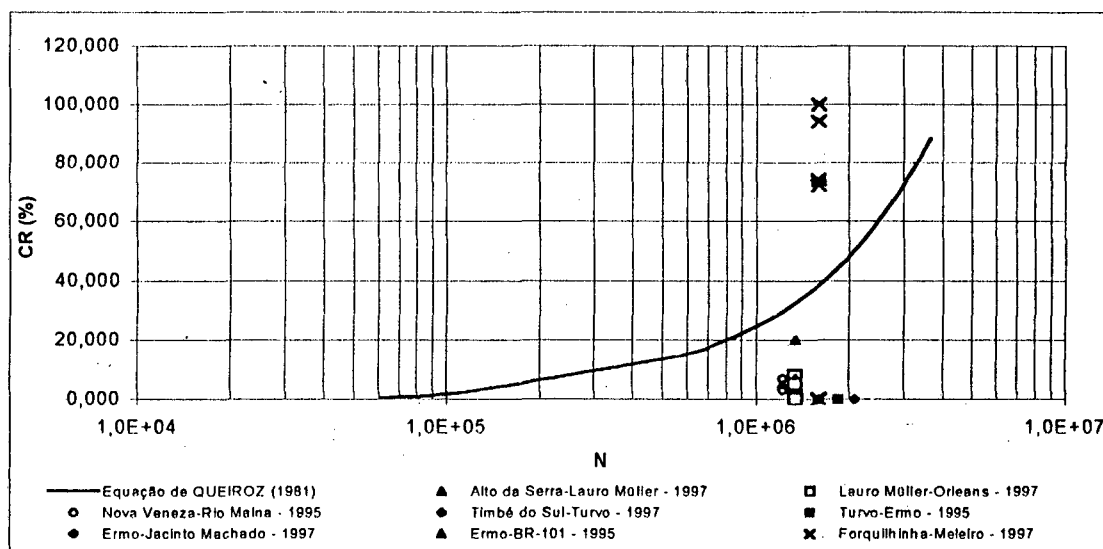


Figura 5.67 – Relação entre CR e N e valores previstos pela equação 3.3 (QUEIROZ, 1981)

5.10.8 – Análise Geral dos Trechos

5.10.8.1 – Alto da Serra – Lauro Müller

Segundo a figura 5.68 o trecho encontra-se com bom comportamento estrutural.

O tráfego suportado; N_{S1998} igual a $1,6 \times 10^6$; apresenta-se inferior ao tráfego projetado, N_{P1992} igual a $2,2 \times 10^6$, representando uma estimativa superior ao tráfego suportado.

A espessura total equivalente a material granular da estrutura em projeto é de 61cm e a executada (valores encontrados em sondagens realizadas pelo SGP do DER/SC) é de, em média, 58cm como mostra a figura 5.68. Embora a espessura de projeto seja superior, constata-se que a executada atende ao tráfego suportado.

Os subtrechos homogêneos SH02 e SH04 apresentam altos valores de módulos de resiliência, justificando o baixo percentual de defeitos como no total de trincas (incluindo as do tipo "couro de jacaré") e remendos de 7% e 8%, respectivamente.

Para o subtrecho homogêneo SH01 o percentual de defeitos encontra-se alto, 20%, observando uma diminuição nos seus módulos de resiliência. Os baixos valores modulares levaram a fadiga do revestimento devido às deflexões reversíveis apresentadas.

5.10.8.2 – Lauro Müller – Orleans

Segundo a figura 5.69 o trecho encontra-se com bom comportamento estrutural.

Observa-se que as deflexões máximas dos subtrechos homogêneos encontram-se inferiores à deflexão admissível, calculada para o tráfego suportado (N_{S1998}).

O tráfego suportado $N_{S1998} = 2,7 \times 10^6$ é inferior ao tráfego de projeto, N_{P1993} igual a $4,6 \times 10^6$, representando uma estimativa superior ao tráfego suportado.

A espessura total equivalente a material granular da estrutura em projeto é de 52 cm e a executada (valores encontrados em sondagens realizadas pelo SGP do DER/SC) é de, em média, 41 cm como mostra a figura 5.69 . Embora a espessura de projeto seja superior, constata-se que a executada atende ao tráfego suportado.

Os módulos de resiliência encontrados nos subtrechos homogêneos são altos justificando o baixo percentual de defeitos neste trecho, com um total de trincas e remendos entre 0% e 5% e na avaliação expedita onde todo o trecho tem conceito A, ou seja encontrando-se em bom estado. Os altos valores modulares do trecho representam a ausência de fadiga do revestimento devido às baixas deflexões recuperáveis apresentadas.

5.10.8.3 – Nova Veneza – Rio Maina

Segundo a figura 5.70 o trecho encontra-se com bom comportamento estrutural apesar das deflexões máximas dos subtrechos homogêneos serem superiores à deflexão admissível, calculada para o tráfego suportado (N_{s1998}), com exceção da deflexão do subtrecho homogêneo SH03.

O tráfego suportado; N_{s1998} igual a $2,3 \times 10^6$; apresenta-se superior ao tráfego de projeto, N_{p1993} igual a $4,03 \times 10^5$.

A espessura total equivalente a material granular da estrutura em projeto é de 29 cm e a executada (valores encontrados em sondagens realizadas pelo SGP do DER/SC) é de, em média, 55 cm como mostra a figura 5.70. Embora a espessura de projeto seja superior, constata-se que a executada atende ao tráfego suportado.

Devido às altas deflexões recuperáveis encontradas no trecho, os valores modulares são baixos contrariando a ausência de defeitos que é observada.

Contudo, o que pode explicar este fato é a estrutura executada neste trecho, com revestimento em CBUQ de 8cm em média.

5.10.8.4 – Forquilha – Meleiro

Segundo a figura 5.71 o trecho encontra-se com comportamento estrutural inadequado.

Embora nos subtrechos homogêneos SH01, SH02 e SH04 tenham apresentados valores de deflexão máxima inferiores à admissível, observa-se que pela análise realizada por ALBERNAZ (1997) todo o trecho encontra-se com comportamento estrutural inadequado, com valores de deflexões reversíveis superiores a 0,60mm.

A espessura total equivalente a material granular da estrutura em projeto é de igual valor a executada (47cm) como é mostrado na figura 5.71.

Os módulos de resiliência encontrados nos subtrechos homogêneos são altos, não justificando o processo de fadiga encontrado neste trecho (ver registro fotográfico no anexo D), como no total de trincas e remendos e na avaliação expedita onde a maior parte do trecho tem conceito C, ou seja encontrando-se grande concentração de defeitos na pista de rolamento.

No entanto, o tráfego suportado; N_{s1998} igual a $2,0 \times 10^6$; apresenta-se superior ao tráfego de projeto, N_{p1992} igual a $6,0 \times 10^4$, isto se deve ao tráfego desviado de caminhões, em virtude da operação da balança de controle de carga instalada em Araranguá pelo DNER.

5.10.8.5 – Timbé do Sul – Turvo

Segundo a figura 5.72 o trecho encontra-se com bom comportamento estrutural.

Observa-se que as deflexões máximas dos subtrechos são inferiores à deflexão admissível, calculada para o tráfego suportado (N_{S1998}). Apenas o subtrecho homogêneo SH02 apresenta valor igual a 0,70mm (superior a 0,60mm), sendo observado por ALBERNAZ (1997) como de inadequado comportamento estrutural.

Na figura 5.72 é mostrado que embora as espessuras de projeto sejam superiores às executadas, constata-se que em relação ao comparativo com material granular elas se equivalem estruturalmente e também que as executadas atendem ao tráfego suportado ($N_{S1998} = 1,2 \times 10^6$).

Os módulos de resiliência encontrados nos subtrechos homogêneos são altos, justificando a ausência de defeitos neste trecho. Apesar de observada também a inexistência de qualquer defeito, o subtrecho homogêneo SH02 apresenta valores modulares baixos em relação aos demais, sendo necessário estudos mais aprofundados neste subtrecho.

5.10.8.6 – Turvo – Ermo

Segundo a figura 5.73 o trecho encontra-se com bom comportamento estrutural.

Observa-se que as deflexões máximas dos subtrechos encontram-se inferiores à deflexão admissível, calculada para o tráfego suportado (N_{S1998}).

O tráfego suportado $N_{S1998} = 2,1 \times 10^6$ é superior ao tráfego de projeto, N_{p1994} igual a $7,6 \times 10^5$.

A espessura total equivalente a material granular da estrutura em projeto é de 52cm e a executada (valores encontrados em sondagens realizadas pelo SGP do DER/SC) é de, em média, 41cm como mostra a figura 5.73. Embora a espessura

de projeto seja superior, constata-se que a executada tem suportado o tráfego por não apresentar processo de fadiga.

Os módulos de resiliência encontrados nos subtrechos homogêneos são altos, justificando a ausência de defeitos e o conceito A na avaliação expedita, ou seja encontrando-se em bom estado.

Apesar de observada também a inexistência de qualquer defeito, o subtrecho homogêneo SH03 apresenta valores modulares baixos em relação aos demais, sendo necessário estudos mais aprofundados neste subtrecho.

5.10.8.7 – Ermo – Jacinto Machado

Segundo a figura 5.74 o trecho encontra-se com bom comportamento estrutural.

Observa-se que as deflexões máximas dos subtrechos encontram-se inferiores à deflexão admissível, calculada para o tráfego suportado ($N_{S_{1998}}$).

O tráfego suportado; $N_{S_{1998}}$ igual a $1,6 \times 10^6$; apresenta-se superior ao tráfego de projeto, $N_{p_{1996}}$ igual a $1,1 \times 10^6$.

A espessura total equivalente a material granular da estrutura em projeto é de 53cm e a executada (valores encontrados em sondagens realizadas pelo SGP do DER/SC) é de, em média, 40cm como mostra a figura 5.74. Embora a espessura de projeto seja superior, constata-se que a executada tem suportado o tráfego por não apresentar processo de fadiga.

Os módulos de resiliência encontrados nos subtrechos homogêneos são altos, justificando a ausência de defeitos e o conceito A na avaliação expedita, ou seja encontrando-se em bom estado.

5.10.8.8 – Ermo – BR-101

Segundo a figura 5.75 o trecho encontra-se com bom comportamento estrutural.

Observa-se que as deflexões máximas dos subtrechos encontram-se inferiores à deflexão admissível, calculada para o tráfego suportado (N_{S1998}).

O tráfego suportado; N_{S1998} igual a $2,3 \times 10^6$; apresenta-se inferior ao tráfego de projeto, N_{p1994} igual a $2,6 \times 10^6$, representando uma estimativa superior ao tráfego suportado.

A espessura total equivalente a material granular da estrutura em projeto é de 56cm e a executada (valores encontrados em sondagens realizadas pelo SGP do DER/SC) é de, em média, 58cm como mostra a figura 5.75. Embora a espessura de projeto seja superior, constata-se que a executada atende o tráfego suportado.

Os módulos de resiliência encontrados nos subtrechos homogêneos são altos, justificando a ausência de defeitos e o conceito A na avaliação expedita, ou seja encontrando-se em bom estado.

Apesar de observada também a inexistência de qualquer defeito, o subtrecho homogêneo SH03 apresenta valores modulares menores em relação aos demais, sendo necessário estudos mais aprofundados neste subtrecho.

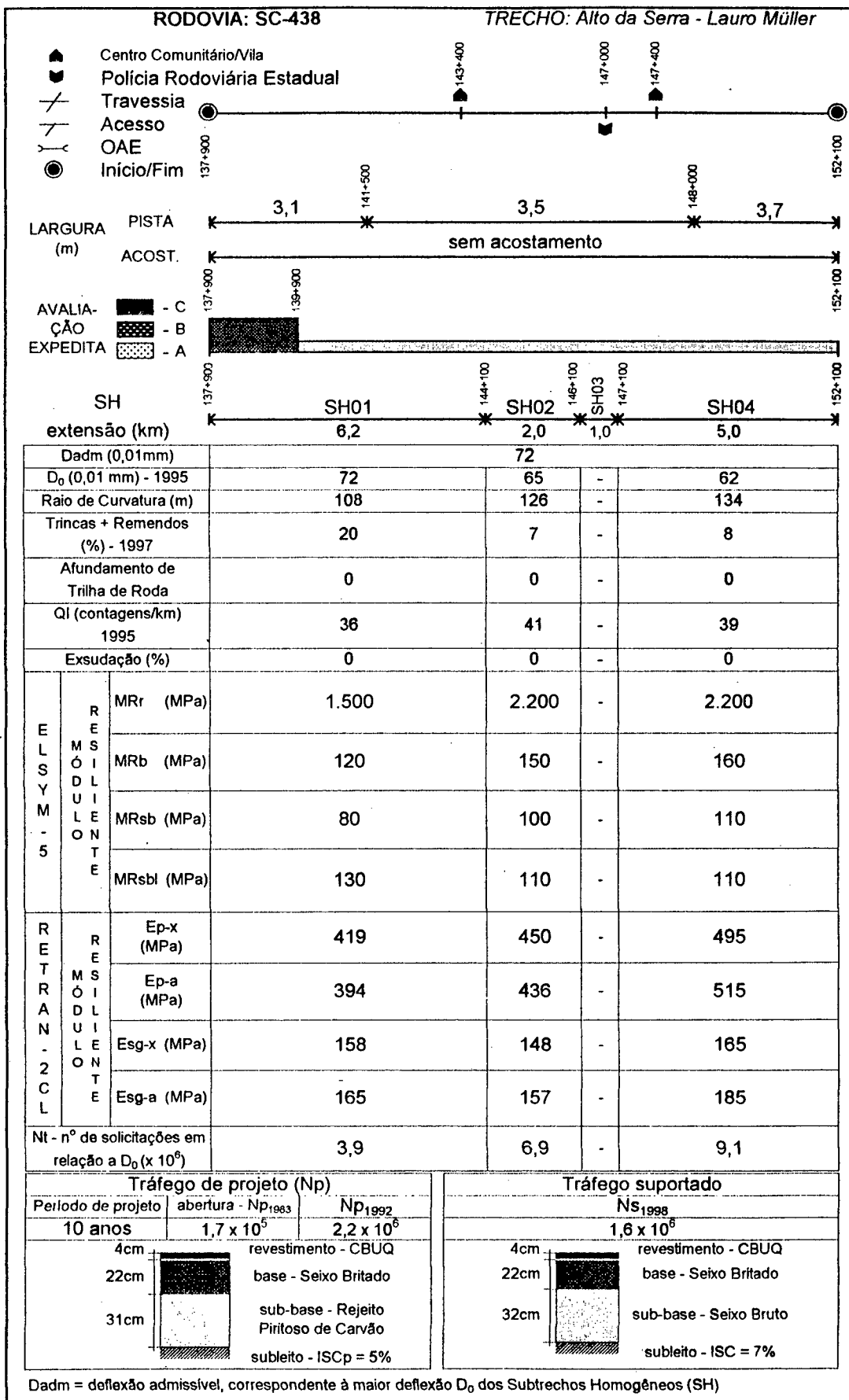


Figura 5.68 - Resumo dos resultados, trecho Alto da Serra - Lauro Müller

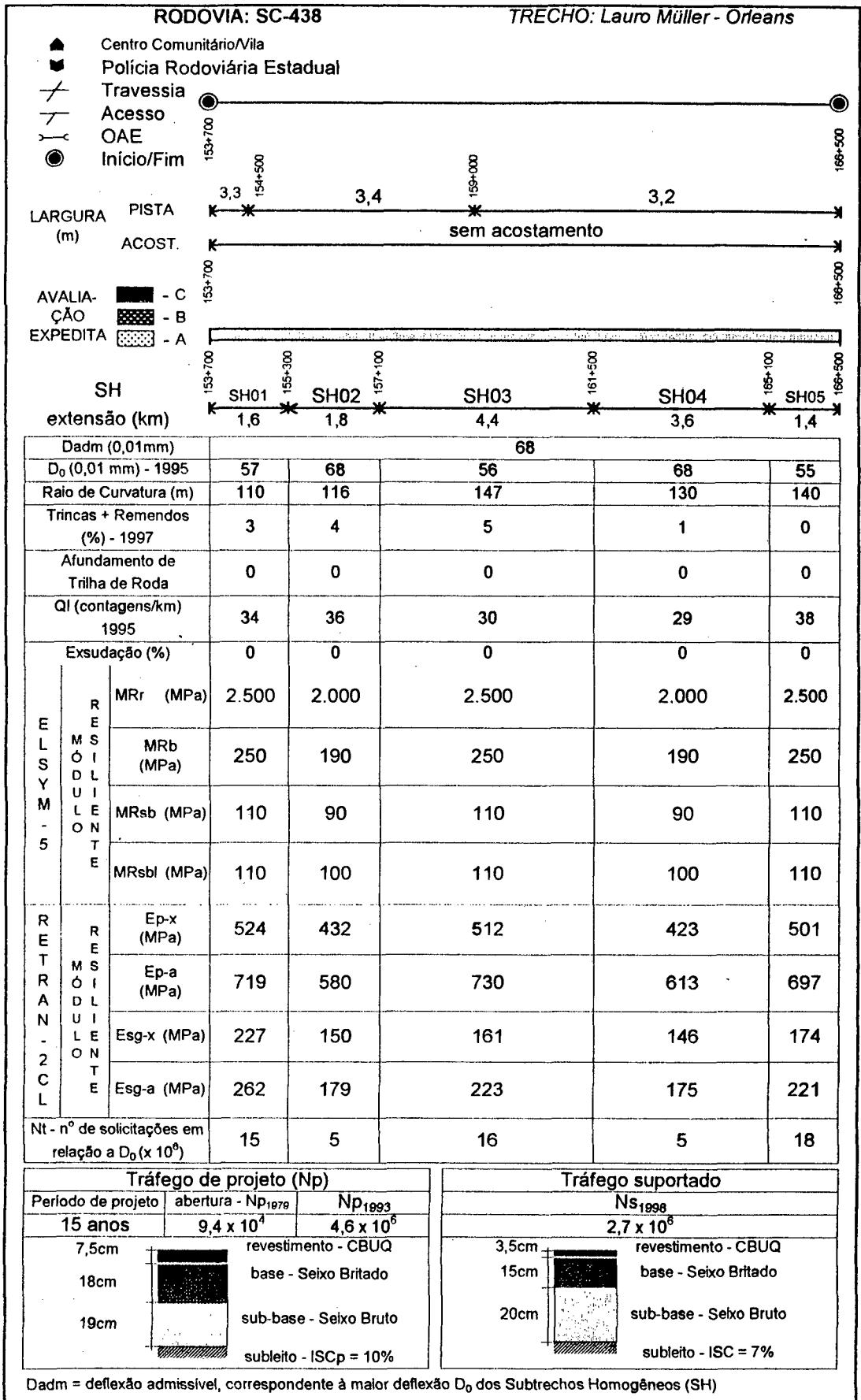


Figura 5.69 - Resumo dos resultados, trecho Lauro Müller - Orleans

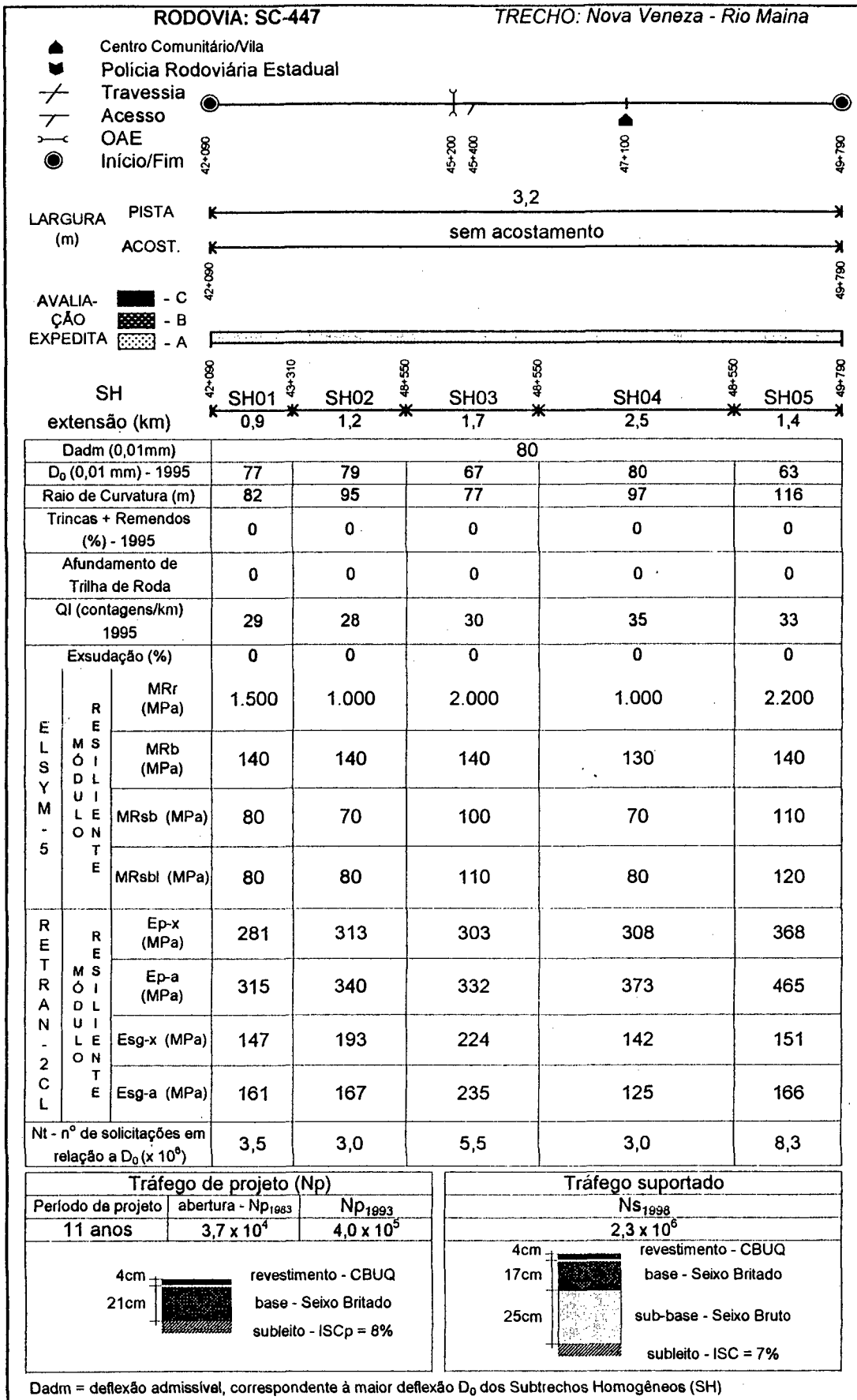


Figura 5.70 - Resumo dos resultados, trecho Nova Veneza - Rio Maina

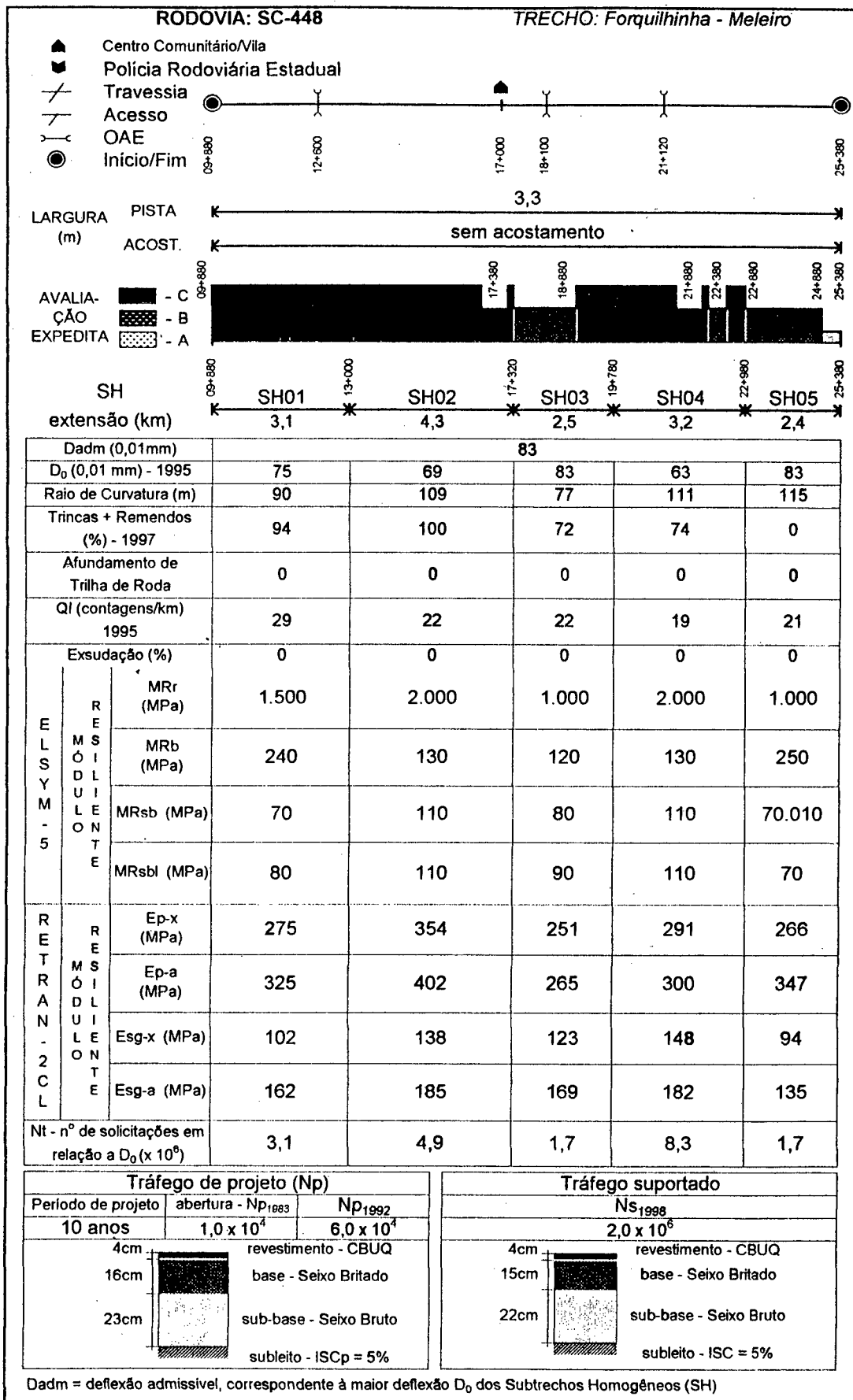


Figura 5.71 - Resumo dos resultados, trecho Forquilha - Meleiro

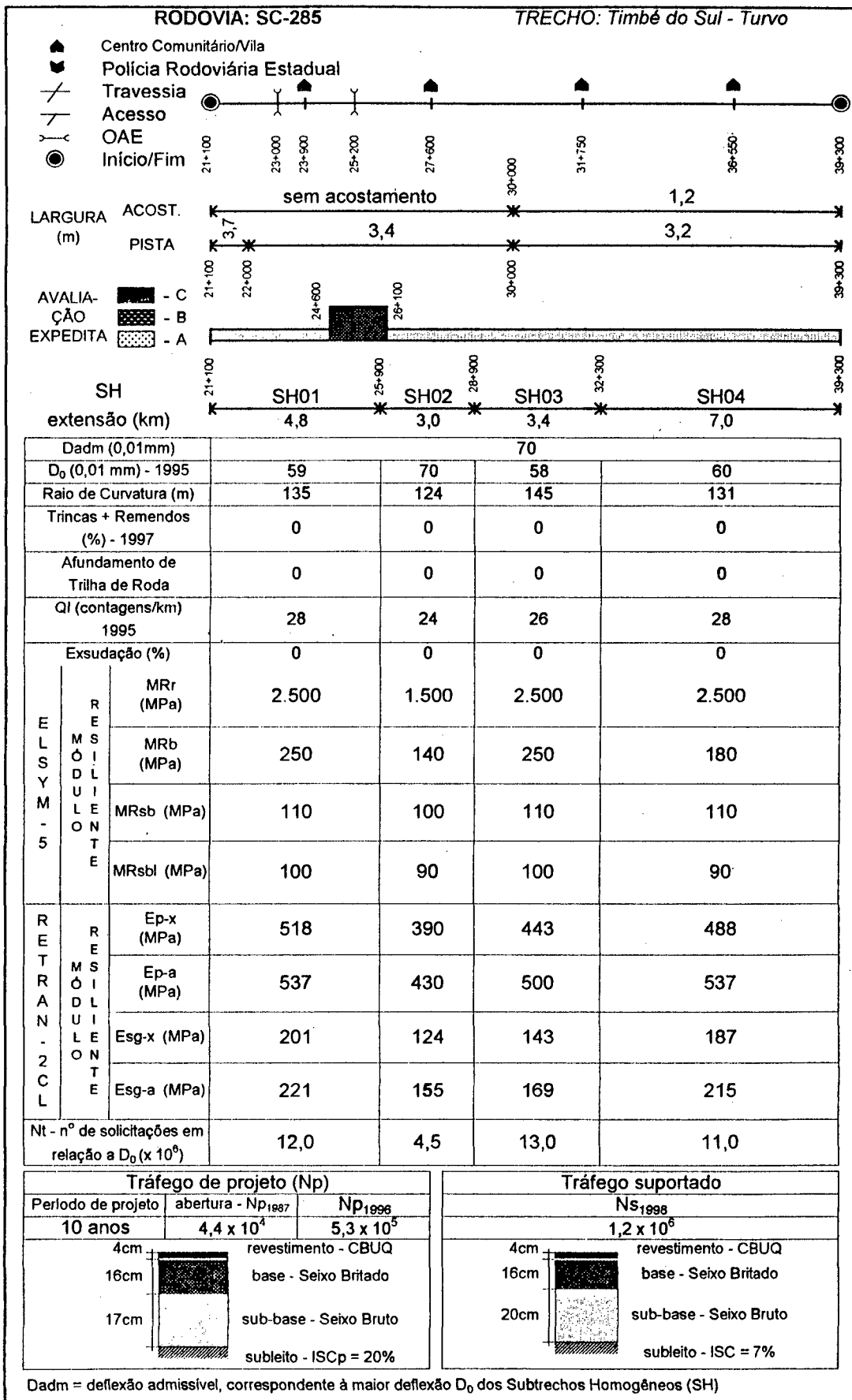


Figura 5.72 - Resumo dos resultados, trecho Timbé do Sul - Turvo

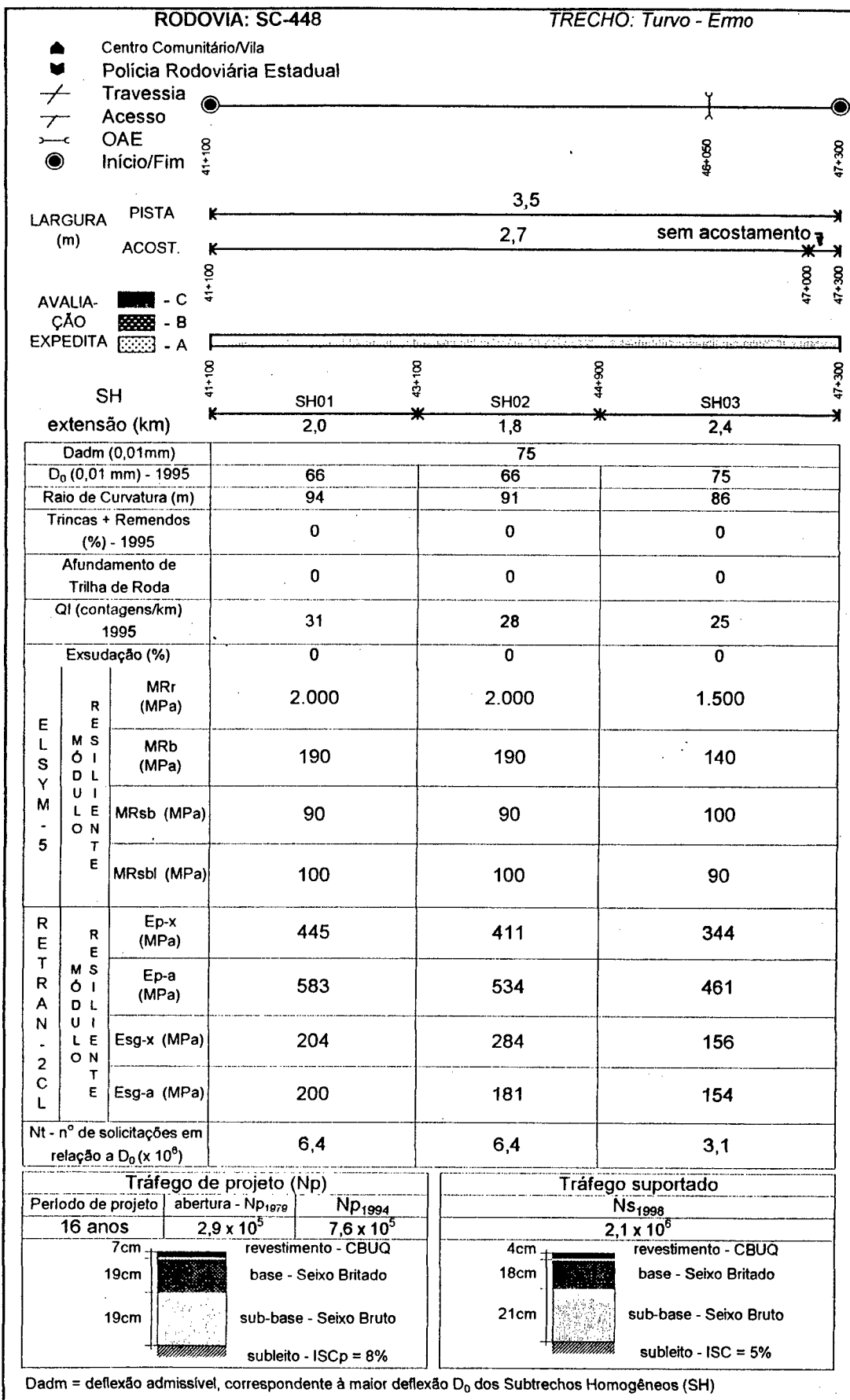


Figura 5.73 - Resumo dos resultados, trecho Turvo - Ermo

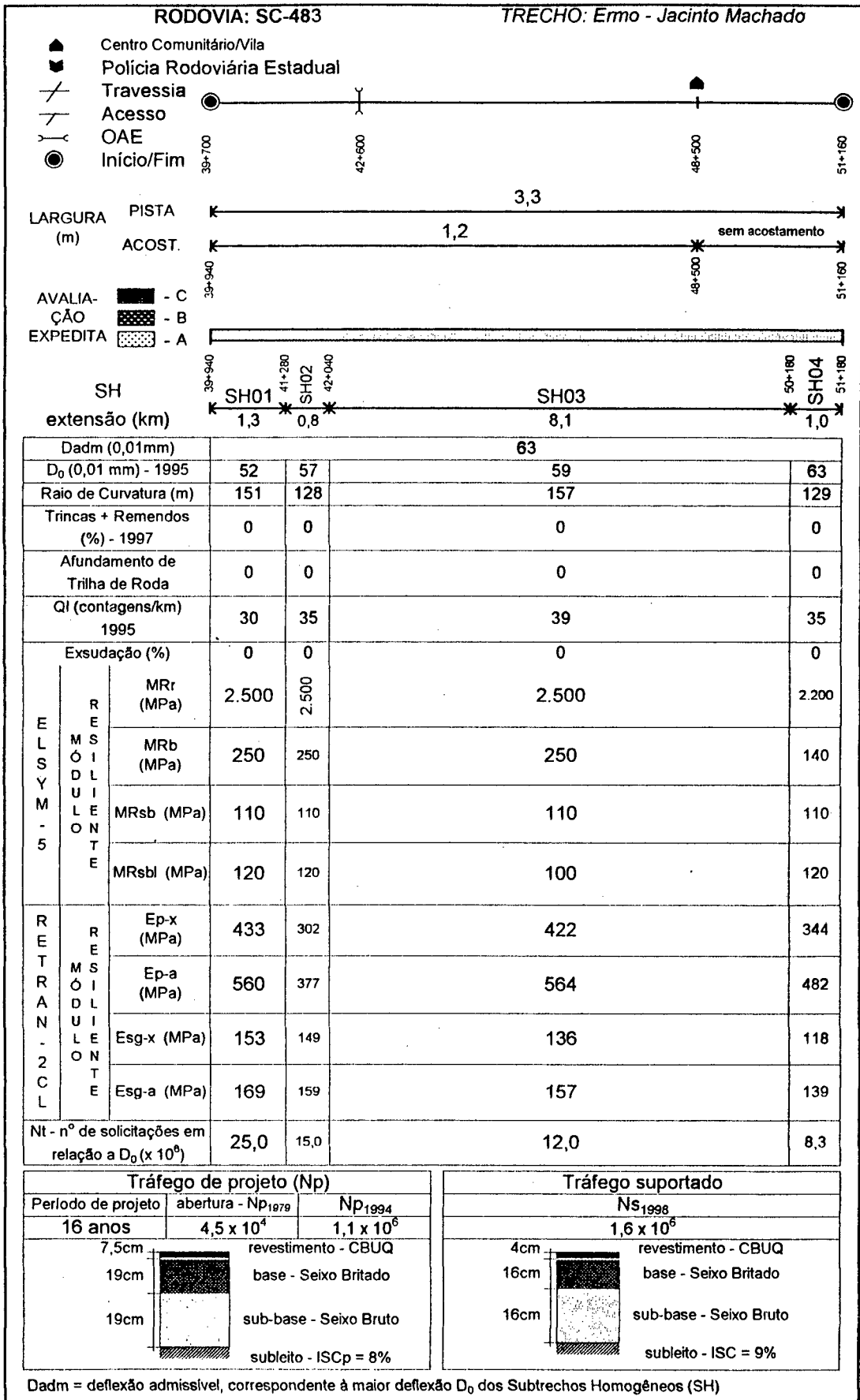


Figura 5.74 - Resumo dos resultados, trecho Ermo - Jacinto Machado

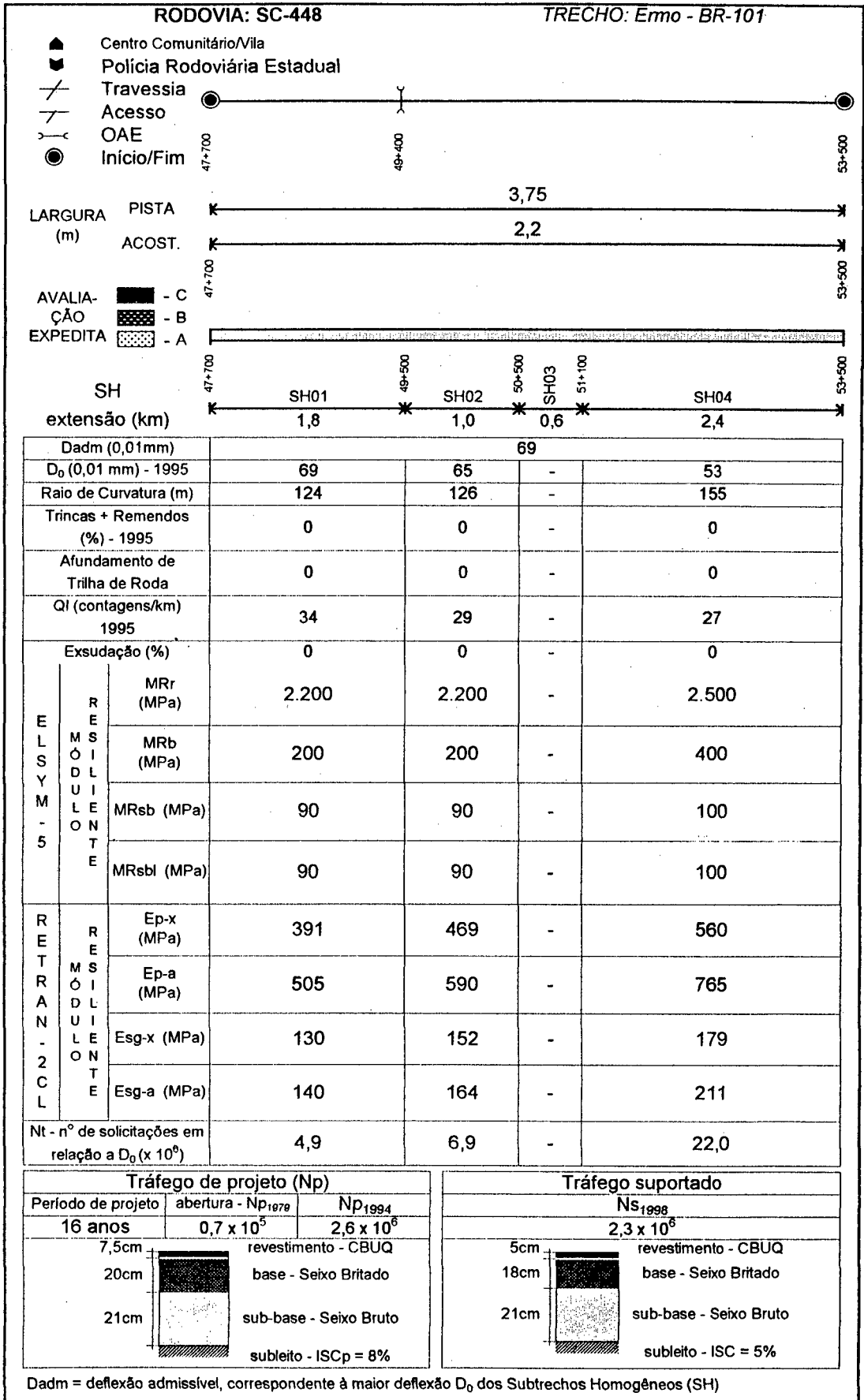


Figura 5.75 - Resumo dos resultados, trecho Ermo - BR-101

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

6.1 – CONCLUSÃO

6.1.1 – Alcance dos Objetivos

O levantamento bibliográfico realizado para o embasamento do trabalho engloba os principais assuntos correlatos e necessários à estruturação da linha de pensamento. São eles: [i] Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP); [ii] métodos de avaliação estrutural e funcional de pavimentos; [iii] modelos de previsão de desempenho; [iv] retroanálise; e [v] procedimentos para reforço de pavimentos.

O estudo de caso foi realizado de acordo com os objetivos anteriormente estabelecidos. A seleção e definição da base de dados para os trechos estudados foram essenciais para o desenvolvimento de toda a pesquisa. A partir dos levantamentos deflectométricos pode-se obter, além da avaliação estrutural das estruturas dos pavimentos (com relação aos valores de módulos de resiliência obtidos), correlações entre estes valores e as deflexões máximas encontradas nas bacias de deflexão.

Pode-se deduzir que os objetivos planejados foram atendidos.

6.1.2 – Comprovação das Hipóteses

A comprovação das hipóteses pode ser constada pela observação dos resultados apresentados e, também, de suas respectivas análises.

As hipóteses de trabalho foram assim comprovadas:

- *se conhecidos os fatores que mais afetam a degradação da superfície do pavimento pode-se obter melhor solução no projeto de restauração* – O conhecimento dos principais fatores que afetam a degradação do pavimento, permitirá definir com melhor exatidão os subtrechos de comportamentos homogêneos para o trecho em estudo e, assim, informações mais precisas para os projetos de restauração, resultando em melhores soluções.
- *se identificadas as causas da deterioração do pavimento pode-se obter diferença significativa em relação às avaliações comumente utilizadas* – Identificando-se as causas da degradação do pavimento, como por exemplo tráfego excessivo, qualidade indesejável da camada executada, pode-se tomar decisões particulares e localizadas para a solução dos problemas e não soluções genéricas.
- *se analisados os fatores de degradação do pavimento pode-se obter uma boa descrição dos trechos inventariados, por intermédio da avaliação dos defeitos ao longo do tempo, e conseqüentemente em uma melhor escolha para as tomadas de decisão, quanto ao tipo de intervenção a adotar*– Analisados os fatores que afetam a degradação do pavimento são definidos os subtrechos de comportamentos homogêneos, sendo que cada um deles apresenta graus de deterioração e prioridades de intervenção distintos, podendo-se definir a melhor solução e hora de intervenção.

- *se estudados os módulos de resiliência das camadas dos pavimentos e o desempenho do pavimento pode-se obter elementos que contribuirão significativamente na avaliação estrutural e funcional dos trechos analisados* – Os valores modulares analisados responderam ao comportamento estrutura (avaliação estrutural - desempenho da estrutura do pavimento quanto a suportar a carga de projeto) e as curvas de desempenho demonstraram a variação do QI em relação ao período de exposição da estrutura ao tráfego (avaliação funcional - qualidades de conforto e segurança no rolamento).

6.1.3 – Conclusões

- com relação às retroanálises realizadas pelo RETRAN-2CL

Observou-se, de modo geral, que houve boa concordância tanto para os valores do módulo de resiliência do subleito (Esg) como para os valores do módulo de resiliência do pavimento (Ep) calculados com e sem o conhecimento da espessura real média.

Verificou-se a presença, em subtrechos localizados, de material resistente a pequena profundidade.

Os números estruturais efetivos (S_{Neff}), com e sem o conhecimento da espessura real média, são superiores aos números estruturais corrigidos (S_{NC}).

- com relação às retroanálises realizadas pelo ELSYM-5

Os valores modulares médios finais encontrados para revestimentos, bases, sub-bases e subleitos foram, respectivamente, em MPa, 1.890, 180, 95 e 100.

Foi testada a correlação entre os valores modulares das camadas de revestimento e a deflexão máxima D_0 . Foi encontrado, para esta correlação, um coeficiente (R^2) igual a 0,912, que pode ser considerada boa.

- com relação aos levantamentos de campo de 1998

Os defeitos levantados em 1998 encontraram-se bem distribuídos em relação às faixas esquerda (FE) e direita (FD) e eixos. Nas faixas (FE e FD) foi encontrada uma maior concentração nas trilhas de roda externas (TRE) que nas internas (TRI).

- com relação às causas prováveis dos defeitos

Constatou-se que a causa principal dos defeitos na estrutura dos pavimentos foi o tráfego solicitado. Em alguns subtrechos localizados, foram constatadas a presença de defeitos causados por problemas de materiais e/ou a ação do meio-ambiente.

- com relação às análises de desempenho

- quanto à irregularidade

Para a maior parte dos trechos constatou-se que, segundo a irregularidade, encontra-se comportamento adequado. Apenas para os trechos Alto da Serra – Lauro Müller e Nova Veneza – Rio Maina encontram seus subtrechos comportamento inadequado, com exceção do SH03 de Nova Veneza – Rio Maina.

– quanto ao trincamento

Segundo o trincamento, apenas o trecho de Forquilha - Meleiro encontrou-se em condições insatisfatórias motivadas por problemas construtivos.

▪ com relação ao tráfego (tráfego suportado x tráfego projetado)

O tráfego projetado, para os trechos: Alto da Serra - Lauro Müller, Lauro Müller - Orleans e Ermo - BR-101, é superior ao tráfego suportado. Isto indica que a estrutura do pavimento foi superdimensionada, justificada pela baixa frequência de defeitos. Para os demais trechos, Nova Veneza - Rio Maina, Forquilha - Meleiro, Timbé do Sul - Turvo, Turvo - Ermo e Ermo - Jacinto Machado, o tráfego projetado é inferior ao tráfego suportado.

▪ com relação à estrutura do pavimento apresentada

A solução do pavimento flexível composto de revestimento em CBUQ, base e sub-base de camadas granulares (seixo britado e seixo bruto, respectivamente) é considerada satisfatória. Isto se deve ao fato de apresentar valores de deflexões razoáveis e pouca frequência de defeitos.

▪ com relação às deflexões recuperáveis

Do ponto de vista das deflexões recuperáveis (variando de 0,52 a 0,83mm) pode-se observar que os trechos apresentaram estruturalmente boas condições.

6.2 – RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista os objetivos enfocados, o presente trabalho apresentou certas limitações, encontradas no quadro 1.1. para dar continuidade a pesquisa nesta mesma área é conveniente que outros pesquisadores abordem aspectos não estudados neste trabalho.

Os principais aspectos a serem abordados dizem respeito:

- a comparação dos resultados desta pesquisa, realizada com estruturas constituídas de revestimento em CBUQ e base e sub-base de seixo britado e seixo bruto, respectivamente, com os obtidos com outras estruturas existentes;
- a aplicação da metodologia utilizada para estruturas de pavimentação urbana, a fim de avaliar sua aplicabilidade em condições distintas de estruturas e tráfego;
- o estudo das correlações entre raio de curvatura e tensões de tração da fibra inferior do revestimento, deflexões máximas e a deformação vertical no topo do subleito;
- a utilização de outros programas de retroanálises, como por exemplo KENLAYER, FEPAVE, ECOROUTE, entre outros, para a avaliação do comportamento estrutural de estruturas de pavimento, inclusive nas sugeridas nesta pesquisa com o intuito de aperfeiçoar e atualizar as avaliações obtidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials.

ALBERNAZ, C. A. V., CALDAS, J. E. F. e OLIVEIRA, S. E. (1996). **Avaliação simplificada de pavimentos através de retroanálise**. In: 30ª Reunião Anual de Pavimentação. Salvador/BA, p. 747-774.

ALBERNAZ, C. A. V. (1997). **Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia de deflexão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 99 p.

AUTRET, P.; BROUSSE, J. L. (1992). *VISIR - Computed-aided method of estimating road network maintenance needs*. Paris, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

BALBO, J. T. (1997). **Pavimentos Asfálticos - Patologias e manutenção**. Editora Plêiade, São Paulo/SP, 103 p.

CARDOSO, S. H. (1992). **Avaliação estrutural não-destrutiva de aeroportos - A experiência brasileira**. Seminário de Manutenção de Aeroportos. OACI, DIRENG, INFRAERO.

_____. (1995). **Faixas de módulos dinâmicos (elásticos) obtidos por retroanálise durante sete anos**. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação. Cuiabá/MT, p. 377-401.

_____. (1998). **Sistemas de gerência de pavimentos para o Século XXI**.

- CARDOSO, S. H.; CUNHA, A. P. (1993). **Curvas de desempenho obtidas para pavimento asfáltico sobre lajes de concreto da ponte Rio-Niterói.** In: 27ª Reunião Anual de Pavimentação. Anais - Suplemento. Teresina/PI, p. 69-95.
- CARDOSO, S. H.; ROCHA, G. M. P.; MARCELLO, J. R.; GARCIA, W. D.; LARANJEIRA, J. R. L. (1993). **A importância da quantificação dos defeitos de fatores ambientais e de cargas em sistemas de gerência de pavimento.** In: 27ª Reunião Anual de Pavimentação. Anais - Suplemento. Teresina/PI, p. 113-142.
- CARNEIRO, F. B. L. (1966). **Viga Benkelman, instrumento auxiliar do engenheiro de conservação.** 1º Simpósio de Pesquisas Rodoviárias, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro/RJ, p. 28-59.
- CARVALHO, C.A.B.; SORIA, M.H.A; PARREIRA, A.B.; FERNANDES JR, J.L. (1996). **Estimativa das tensões e deformações nas camadas de um pavimento para estudo das deformações em laboratório.** In: 30ª Reunião Anual de Pavimentação. Salvador/BA, p. 608-636.
- CHEN, et al. (1993). **URMS: A graphical urban roadway management system at network level.** *Transportation Research Record* 1397, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 103-111.
- DER/SC (1994-a). **Projeto básico de engenharia para restauração. Programa de manutenção de rodovias estaduais PMRE/SC. Rodovia: SC-447, trecho: Nova Veneza - Rio Maina. Volume 1 - Relatório de Projeto.** Florianópolis/SC.

- _____. (1994-b). **Projeto básico de engenharia para restauração. Programa de manutenção de rodovias estaduais PMRE/SC. Rodovia: SC-448, trecho: Forquilha - Meleiro. Volume 1 - Relatório de Projeto. Florianópolis/SC.**
- _____. (1994-c). **Projeto básico de engenharia para restauração. Programa de manutenção de rodovias estaduais PMRE/SC. Rodovia: SC-483, trecho: Ermo - Jacinto Machado. Volume 1 - Relatório de Projeto. Florianópolis/SC.**
- _____. (1996). **Plano plurianual de treinamento do pessoal do DER-SC. Florianópolis/SC.**
- _____. (1997). **Sistema de gerência de pavimentos. Manual de procedimentos. Versão 1. Florianópolis/SC, 60 p.**
- DNER/IPR (1997). **Reabilitação de pavimentos. Materiais e métodos. Rio de Janeiro/RJ.**
- _____. (1998). **Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro/RJ.**
- DNER (1978). **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. DNER-TER 01/78 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.**
- _____. (1979-a). **Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis - Procedimento A. DNER-PRO 10/79 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.**

- _____. (1979-b). **Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis - Procedimento B.** DNER-PRO 11/79 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- _____. (1983). **Levantamento da condição de segmentos-testemunhas de rodovias de pavimento flexível ou semi-rígido para gerência de pavimentos a nível de rede.** DNER-ES 128/83 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- _____. (1985). **Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.** DNER-PRO 159/85 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- _____. (1986). **Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície do pavimento (sistemas integradores IPR/USP e *Maysmeter*).** DNER-PRO 173/86 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- _____. (1993). **Guia de gerência de pavimentos.** Rio de Janeiro/RJ.
- _____. (1994-a). **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis ou semi-rígidos.** DNER-PRO 08/78 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- _____. (1994-b). **Pavimento - Determinação das deflexões pela viga Benkelman.** DNER-ME 024/94 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- _____. (1994-c). **Pavimento - Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman.** DNER-ME 061/94 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

_____. (1994-d). **Pavimento - Aferição de viga Benkelman**. DNER-PRO 175/94 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

_____. (1994-e). **Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimentos**. DNER-PRO 164/94 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

_____. (1994-f). **Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter**. DNER-PRO 182/94 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

_____. (1994-g). **Manutenção de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento - Integrador IPR/USP e Maysmeter**. DNER-PRO 229/94 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

_____. (1996). **Determinação de deflexões utilizando defletoômetro de impacto tipo *Falling Weight Deflectometer* (FWD)**. DNER-PRO 273/96 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DOMINGUES, F. A. A. (1993). **MID - Manual de identificação de defeitos de revestimentos asfálticos de pavimentos**. São Paulo/SP, 96 p.

DUARTE, J. C.; SILVA, P. D. E. A; FABRÍCIO, J. M. (1996). **Correlação entre reflexões características em pavimentos flexíveis medidos com viga Benkelman e com o FWD - *Falling Weight Deflectometer***. In: 30ª Reunião Anual de Pavimentação. Salvador/BA, p. 637-720.

FHWA (1986). ***User's manual for IBM-PC and compatible microcomputer***. Federal Highway Administration - FHWA. Report nº FHWA-TS-87-206. Final Report. December, Washington, D. C, 33 p.

- GEOFFROY, D. N.; SHUFON, J. (1992). *Network-level pavement management in - New York State: a goal-oriented approach*. *Transportation Research Record*, 1344, TRB, National Research Council, Washington, D. C., p. 57-65.
- GILLESPIE, T. D. (1992). *Everything you always wanted to know about the IRI, but were afraid to ask!* In: *Road Profile Users Group Meeting*, p. 1-13.
- GONTIJO, P. R.; GUIMARÃES, F. H. R.; NOGUEIRA, C. L. (1994). *Metodologias brasileiras para avaliações das características funcionais e estruturais de pavimentos rodoviários - O estado da arte*. In: 28ª Reunião Anual de Pavimentação. Belo Horizonte/MG, p. 501-529.
- GONTIJO, P. R.; GUIMARÃES, F. H. R. (1996). *Método Paragon para caracterização estrutural de pavimentos rodoviários*. In: 30ª Reunião Anual de Pavimentação. Salvador/BA, p. 1041-1118.
- GRIVAS, D.A.; SCHULTZ, B. C. (1993). *Condition-based treatment recommendation for project-level pavement management*. *Transportation Research Record* 1397, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 112-119.
- HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. (1994). *Modern pavement management*. Florida, Malabar: Krieger Publishing Company.
- HEYN, A. T.; ARANOVICH, A. (1995). *Análise econômica de investimentos aplicados na conservação rodoviária: uma investigação a respeito de padrões de conservação*. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação. Cuiabá/MT, p. 448-457.

HICKS, R. G.; MCHATTIE, P. E. (1982). *Use of layered theory in the design and evaluation of pavement systems - State of Alaska Department of Transportation and Public Facilities - Report. FHWA - AK - RD-83.*

MACÊDO, J. A. G. (1996). *Interpretação de ensaios deflectométricos para a avaliação estrutural de pavimentos.* Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, p. 455.

MAHLER, C. F.; TRICHÊS, G. (1983). *Estudo da influência do coeficiente de Poisson e do estado de tensões iniciais na análise de pavimentos flexíveis pelo método dos elementos finitos.* In: 18ª Reunião Anual de Pavimentação. Porto Alegre/RS, p. 57-94.

MAJIDZADEH, K; VEDAIE,B; KENNEDT JR, J. C. (1990). *Pavement management system to maximize pavement investment and minimize cost.* *Transportation Research Record, 1272, TRB, National Research Council, Washington, D. C., p. 65 - 73.*

MARCON, A. F.; CARDOSO, S. H.; APS, M. (1995). *Considerações sobre métodos de avaliação de superfície de pavimentos.* In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação. Anais. Cuiabá/MT, p. 43-62.

MARCON, A. F. (1996). *Contribuição ao desenvolvimento de um SGP para a malha rodoviária estadual de SC.* Tese (Doutorado em Ciências na área de infra-estrutura de Transporte) Curso de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica. ITA, São José dos Campos/SP.

MEDINA; J. (1997). *Mecânica dos pavimentos.* Editora UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 380 p.

- MELO, A. L. (1995). **Revitalização da rede rodoviária federal - Idéias básicas para um programa de minimização de investimentos.** In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação. Cuiabá/MT, p. 21-40.
- MOTTA, L. M. G. (1993). **Noções básicas de pavimentação.** 1ª ed. Rio de Janeiro, Edição do IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo.
- NOURELDIN, A. S. (1993). *A new scenario for backcalculation of layer moduli of flexible pavement.* TRR 1384 - TRB.
- NOVAK JR., E. C.; KUO, W. (1992). *Role of pavement management system analysis in preservation program development.* Transportation Research Record 1344, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 1-8.
- PATERSON, W. D. O. (1987). *Road deterioration and maintenance effects: models for planning and management.* The Highway design and maintenance standards series. World Bank, The Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland, 454 p.
- PREUSSLER, E. S.; PINTO, S. (1982). **Proposição de método para reforço de pavimentos flexíveis considerando a resistência.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER, 58 p.
- PREUSSLER, E. S. (1998) **Desenvolvimento e implementação de sistemas de gerência rodoviária.** In: 10º Simpósio de Obras Rodoviárias. Anais. São Paulo/SP, p. 3-14.
- PEREIRA, A. M. (1976). **Um método expedito de avaliação de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.** 2ª Reun. Organiz. Rodov., Brasília/DF, 30 p.

- QUEIROZ, C. A. V. (1981). *Performance prediction models for pavement management in Brazil*. Ph. D. dissertation, University of Texas, Austin.
- QUEIROZ, C. A. V.; HUDSON, W. R.; HAAS, R. (1992). *A standardization of pavement management systems in Brazil an other developing countries*. *Transportation Research Record 1344*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 31- 37.
- RODRIGUES, J. K. G.; FELEX, J. B.; LUCENA; F. B.; PONTES FILHO; G. (1996). *Análise dos módulos de elasticidade estimados a partir de dados coletados com o piezômetro pencil*. In: 30ª Reunião Anual de Pavimentação. Salvador/BA, p. 721-743.
- SARAF, C. L.; MAJIDZADEH, K. (1992). *Distress prediction models for a network-level pavement management system*. *Transportation Research Record 1344*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 38-48.
- SAYERS, M. W.; GILLESPIE, T. D.; PATERSON, W. D. O. (1986). *Guidelines for conduting and calibrating road roughness measurements*. World bank technical paper nº 46, Washington, D.C.
- SAYERS, M. W.; KARAMIHAS, S. M. (1996). *The little book of profiling. Information about measuring and interpreting road profiles*. October, 101 p.
- SCHLISSLER, A.; BULL, A. (1993). *ROADS - A new approach for management and conservation*. United Economic Commission for Latin American and the Caribbean, Santiago do Chile, 180 p.

- SMITH, R. E.; FALLAHA, K. M. (1992). *Developing an interface between network- and project-level pavement management systems for local agencies*. *Transportation Research Record 1344*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 14-21.
- SOUZA, A. C. V.; FORATO, J. A. (1992). *Conservação rodoviária e gerência*. In: 26ª Reunião Anual de Pavimentação. Aracaju/SE, p. 892 - 917.
- TIZZOT, R. W. (1996). *Rodovias sem conservação, prejuízos para a nação - reforma institucional e financeira viária no Brasil - CEPAL/IRF/GTZ*.
- ULLIDTZ, P. (1977). *Overlay and stage by stage design*. 4th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavement, PROC.
- _____. (1987). *Pavement analysis*. *Developments in Civil Engineering*, Elsevier.
- WATANATADA, T.; HARRAL, C. G.; PATERSON, W. D. O.; DHARESHWAR, A. M.; BHANDARI, A.; TSUNOKAWA, K. (1987). *The highway desing and maintenance standards model*. *Highway desing and maintenance standards series*. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland. 2 vol.
- WITCZAK, M. W. (1989). *Uses and misuses of pavement deflection data*. 2nd International Symposium on Pavement Evaluation and Overlay Desing. Rio de Janeiro/RJ.
- ZANIEWSKI, J. P.; PERERA, R. W.; MAMLOUK, M. S. (1990). *Feedback of pavement management performance data for pavement design*. *Transportation Research Record 1272*, TRB, National Research Council, Washington, D. C., p. 74-79.

ZIETLOW. G. (1996). *Financial and institutional reform of road conservation in Latin American and Caribbean countries*. Entrevista concedida à ABDER - Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem.

Anexos

Anexo - A

Rodovia SC-438, trecho Alto da Serra - Lauro Müller



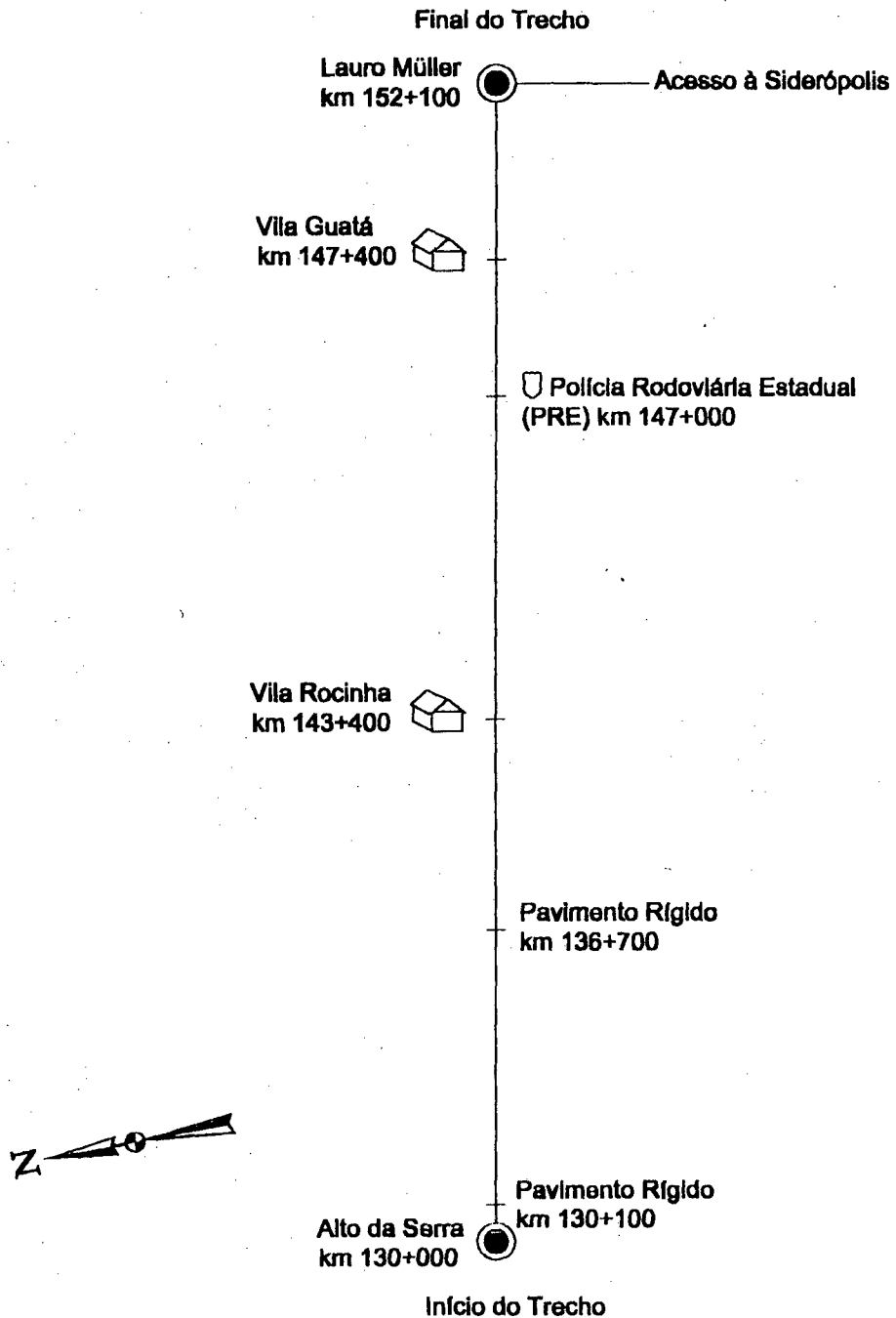
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

MAPA DE SITUAÇÃO

SC - 438

ALTO DA SERRA - LAURO MÜLLER: EXTENSÃO = 15.400 m



Sem Escala

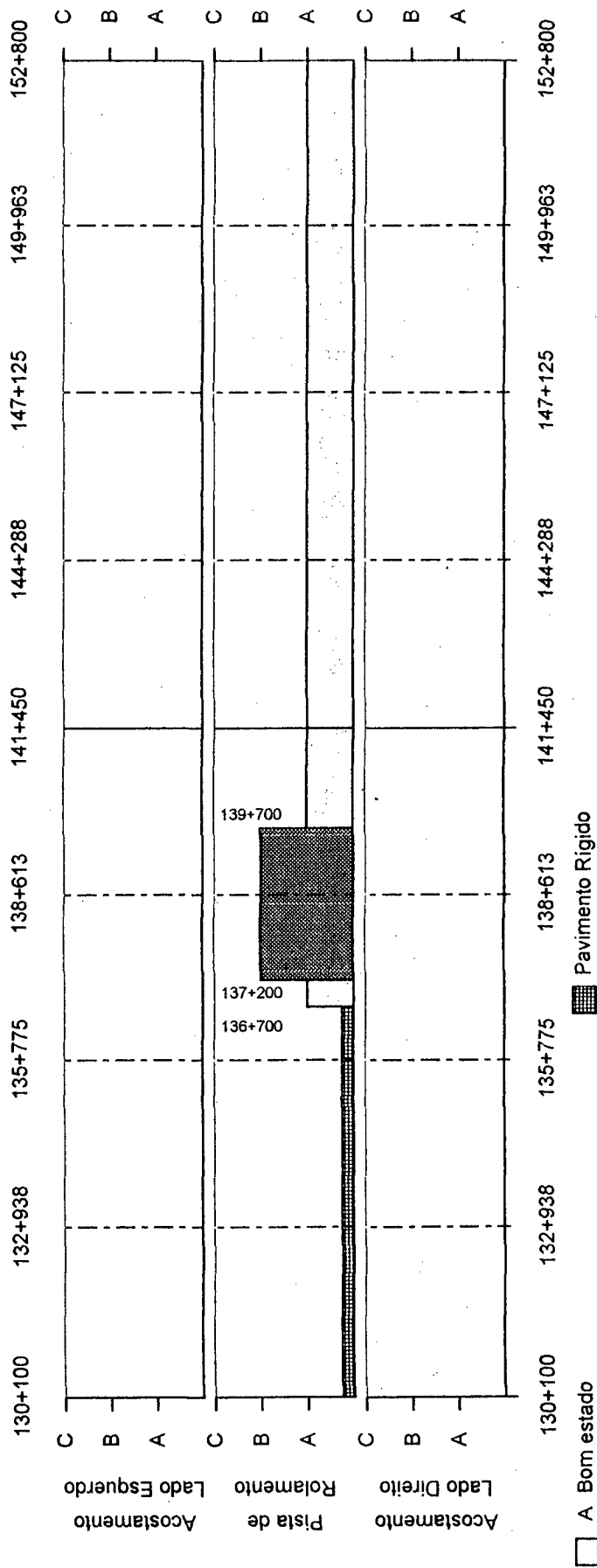


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento

- DIAGRAMA UNIFILAR -



RODOVIA: SC-438
TRECHO: ALTO DA SERRA - LAURO MULLER

sem escala



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise da Base de Dados de um Grupo de Rodovias para Aplicação em Projetos de Reabilitação"

- REGISTRO FOTOGRÁFICO -

Trecho: Alto da Serra - Lauro Müller

Sentido do Levantamento: Alto da Serra - Lauro Müller

Rodovia: SC-438



Foto 1 - km 137+000*
Trinca Interligada Classe 3 e Painela
Lado Esquerdo



Foto 2 - km 139+000*
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 1
Lado Direito



Foto 3 - 139+500*
Remendo
Lado Esquerdo



Foto 4 - 144+000*
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 1
Lado Direito



Foto 5 - 144+000*
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 1
DETALHE - Lado Direito



Foto 6 - 144+500*
Afundamento de Trilha de Roda
Trilha de Roda Interna - Lado Direito



Foto 7 - 151+500*
Trinca Interligada Classe 3
Lado Direito

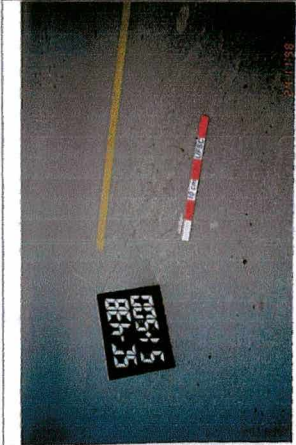


Foto 8 - 151+500*
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3
Lado Direito

*Estaqueamento do Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC.

Anexo - B

Rodovia SC-438, trecho Lauro Müller - Orleans



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

MAPA DE SITUAÇÃO

SC - 438

LAURO MÜLLER - ORLEANS: EXTENSÃO = 12.850 m

Final do Trecho



Orleans km 165+650



Lauro Müller

Início do Trecho km 152+800

Acesso à Vila Barro Branco/
Siderópolis



Sem Escala



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento

PISTA DE ROLAMENTO			ACOSTAMENTO LE			ACOSTAMENTO LD			PISTA DE ROLAMENTO			ACOSTAMENTO LE E LD											
km	início	fim	km	início	fim	km	início	fim	CONCEITO	ATRIBUTOS	CONCEITO	ATRIBUTOS	NOTA	ATRIBUTOS									
	1572 + 800	165 + 650		1572 + 800	165 + 650		1572 + 800	165 + 650	A	BOM ESTADO	B	DEFEITOS EM PONTOS LOCALIZADOS	4	BOM ESTADO									
											C	DEFEITOS CONCENTRADOS	3	SI REVEST. (BORDO ERODIDO), MAS BASE BOM ESTADO									
													2	SI REVEST. (BORDO ERODIDO) E BASE DEGRADADA									
													1	TOTALMENTE ERODIDO									
<p>SEÇÃO TRANSVERSAL</p> <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%; border-bottom: 1px solid black;">1572+800 - 1574+500</td> <td style="width:30%; border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">3,30</td> <td style="width:30%; border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">3,30</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">1574+500 - 1574+000</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">3,40</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">3,40</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">1574+000 - 165+650</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">3,20</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">3,20</td> </tr> </table>															1572+800 - 1574+500	3,30	3,30	1574+500 - 1574+000	3,40	3,40	1574+000 - 165+650	3,20	3,20
1572+800 - 1574+500	3,30	3,30																					
1574+500 - 1574+000	3,40	3,40																					
1574+000 - 165+650	3,20	3,20																					
CROQUIS-CHAVE - TOMADA FOTOGRAFICA																							
OBS																							
<ul style="list-style-type: none"> - PAVIMENTO EXECUTADO HÁ MAIS DE 10 ANOS - SEM RECAPIAMENTO - PISTA EM BOM ESTADO - TRAFEGO DE CAMINHÕES DE CARVÃO 																							
<p>RODOVIA: SC-438 DATA: 24/11/1998</p> <p>TRECHO: LAURO MÜLLER - ORLEANS FOLHA: 01 / 01</p> <p>ENGº ASSIS R. A. VILLELA</p>																							

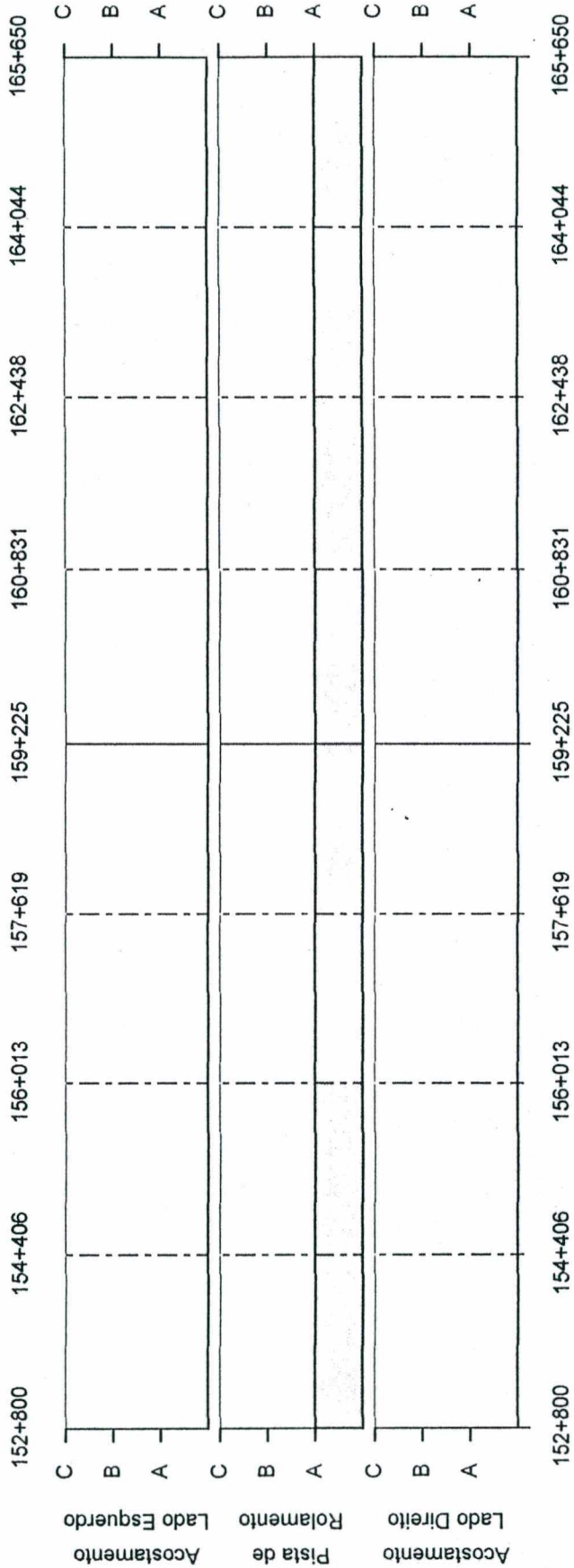


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento

- DIAGRAMA UNIFILAR -



- A Bom estado
- ▨ B Defeitos em pontos localizados
- C Defeitos concentrados

RODOVIA: SC-438
TRECHO: LAURO MÜLLER - ORLEANS

sem escala

Anexo - C

Rodovia SC-447, trecho Nova Veneza - Rio Maina



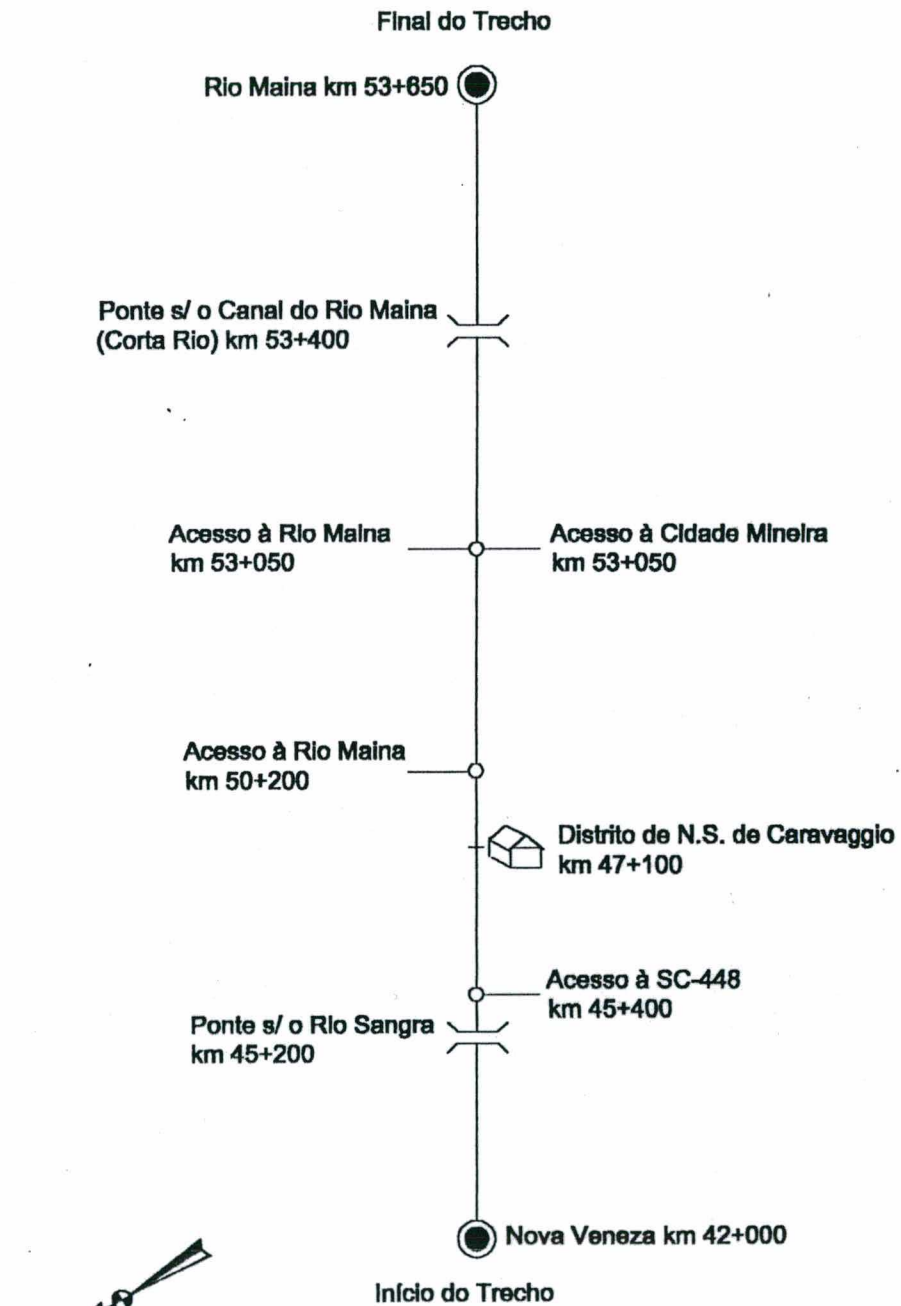
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

MAPA DE SITUAÇÃO

SC - 447

NOVA VENEZA - RIO MAINA: EXTENSÃO = 11.650 m



Sem Escala



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento

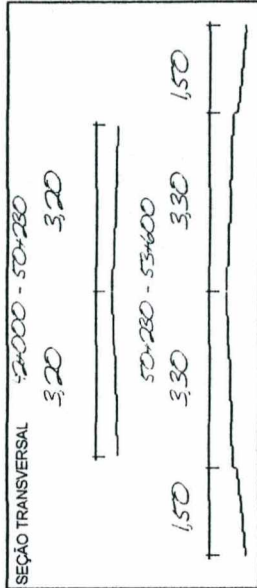
PISTA DE ROLAMENTO		CONCEITO	
km	fim		
42+000	53+600	A	

ACOSTAMENTO LD		NOTA	
km	fim		
42+000	50+280	S/ ACOST.	
50+280	53+600	A	

ACOSTAMENTO LE		NOTA	
km	fim		
42+000	50+280	S/ ACOST.	
50+280	53+600	A	

PISTA DE ROLAMENTO		ATRIBUTOS	
CONCEITO			
A	BOM ESTADO		
B	DEFEITOS EM PONTOS LOCALIZADOS		
C	DEFEITOS CONCENTRADOS		

ACOSTAMENTO LE E LD		ATRIBUTOS	
NOTA			
4	BOM ESTADO		
3	S/ REVEST. (BORDO ERODIDO), MAS BASE BOM ESTADO		
2	S/ REVEST. (BORDO ERODIDO) E BASE DEGRADADA		
1	TOTALMENTE ERODIDO		



CROQUIS-CHAVE - TOMADA FOTOGRÁFICA

OBS - PAVIMENTO RECAPADO PELA EMPRESA CETEPÉ - TOROGRANA E CONSTRUÇÃO LTDA - APROXIMADAMENTE 2 ANOS

RODOVIA: SC-447
 TRECHO: NOVA VENEZA - RIO MAINA
 ENGº ASSIS R. A. VILLELA

DATA: 24/11/1998
 FOLHA: 01 / 01

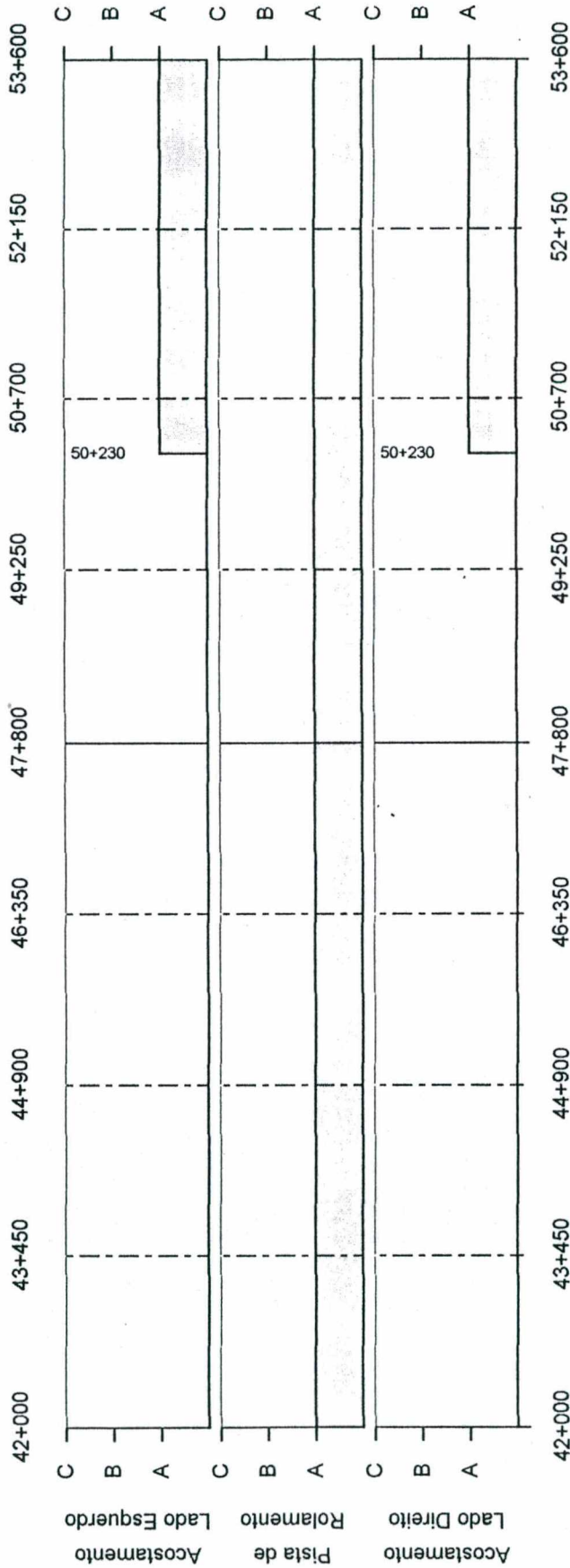


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento

- DIAGRAMA UNIFILAR -



- A Bom estado
- B Defeitos em pontos localizados
- C Defeitos concentrados

RODOVIA: SC-447
TRECHO: NOVA VENEZA - RIO MAINA

sem escala

Anexo - D

Rodovia SC-448, trecho Forquilha - Meleiro



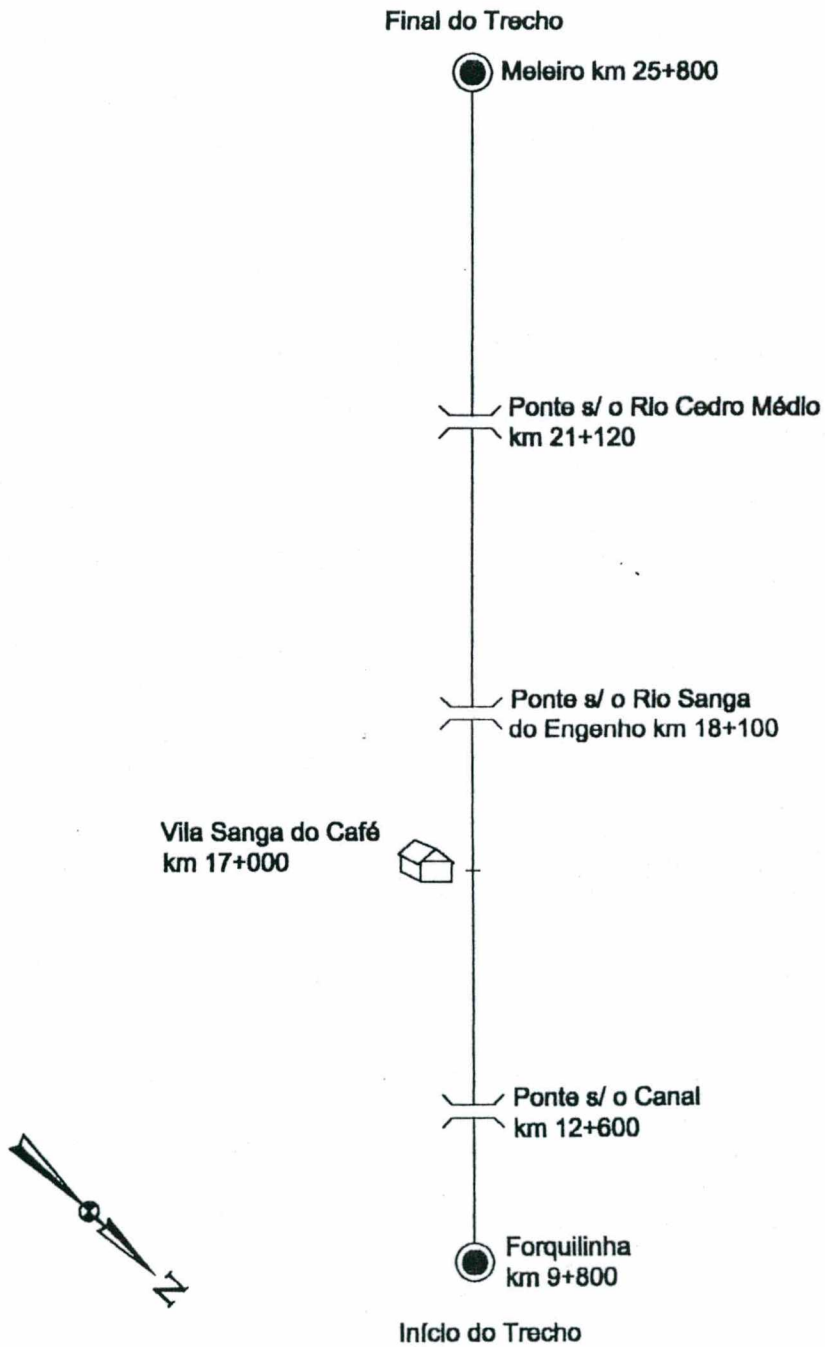
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

MAPA DE SITUAÇÃO

SC - 448

FORQUILINHA - MELEIRO: EXTENSÃO = 18.000 m



Sem Escala

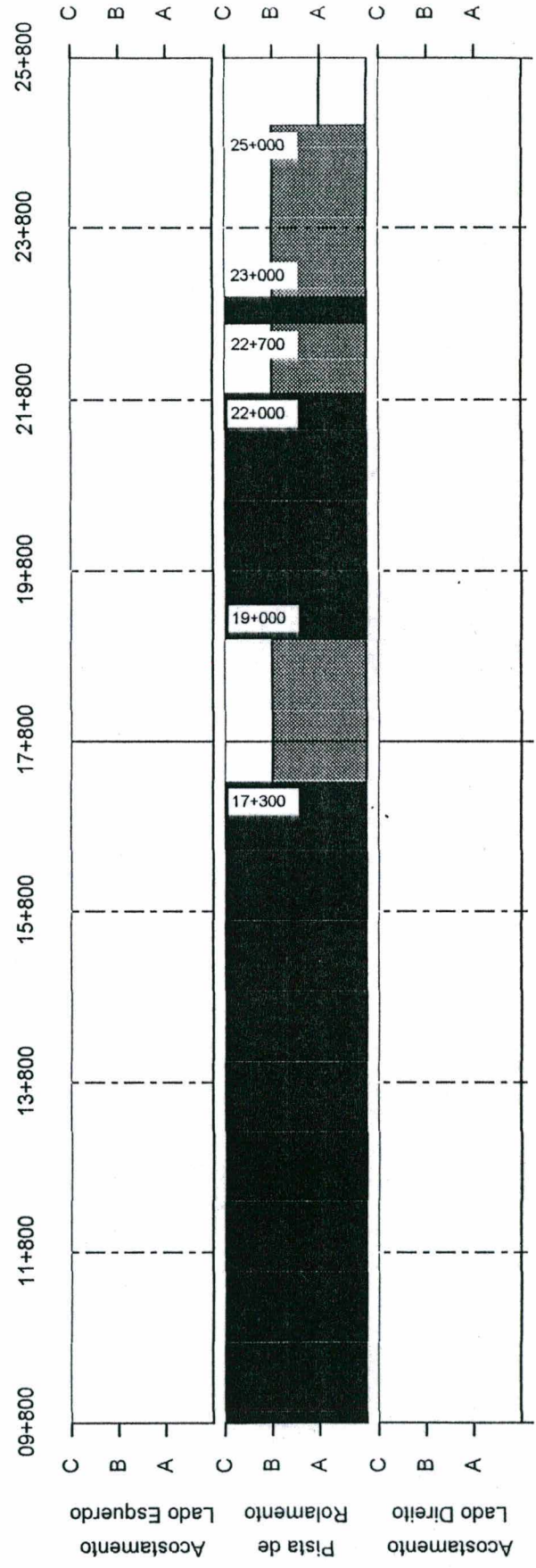


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento

- DIAGRAMA UNIFILAR -



- A Bom estado
- ▨ B Defeitos em pontos localizados
- C Defeitos concentrados

RODOVIA: SC-448
TRECHO: FORQUILHINHA - MELEIRO

sem escala



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
 "Análise da Base de Dados de um Grupo de Rodovias para Aplicação em Projetos de Reabilitação"
 - REGISTRO FOTOGRÁFICO -
 Trecho: Forquilha - Meleiro

Rodovia: SC-448

Sentido do Levantamento: Forquilha - Meleiro

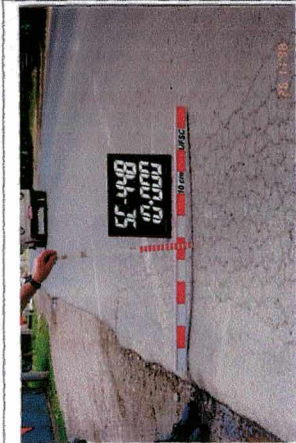


Foto 1
 Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3 e afundamento de Trilha de Roda e Trilha de Roda Externa-Lado Esquerdo

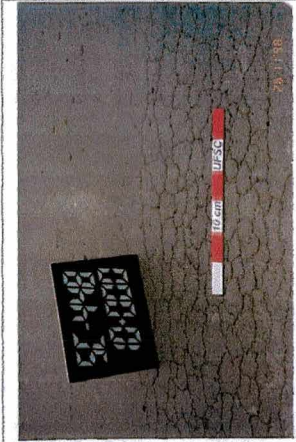


Foto 2
 Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3 DETALHE - Lado Esquerdo



Foto 3
 Remendo Lado Direito

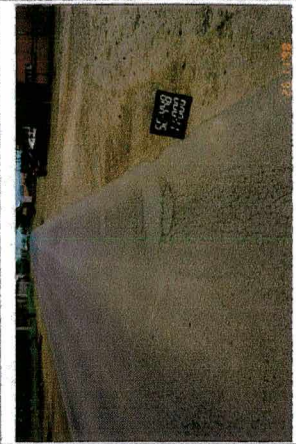


Foto 4
 Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3 e remendo - Lado Direito



Foto 5
 Remendo e trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3 DETALHE - Lado Direito

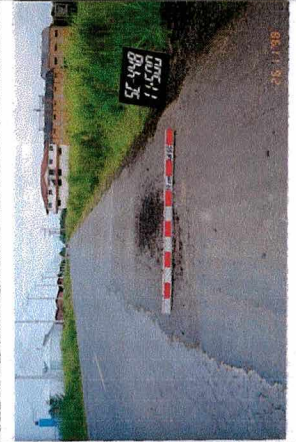


Foto 6
 Remendo Lado Direito

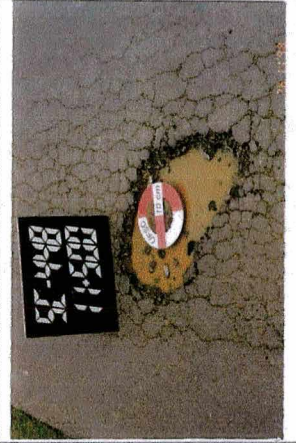


Foto 7
 Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3 com panela DETALHE - Lado Esquerdo

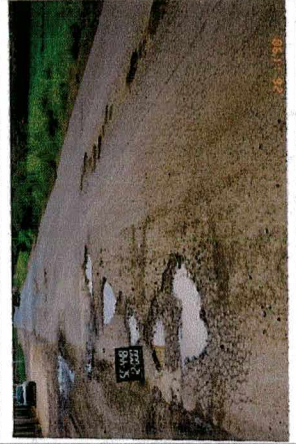


Foto 8
 Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3 e panela Lado Esquerdo e Lado Direito



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise da Base de Dados de um Grupo de Rodovias para Aplicação em Projetos de Reabilitação"

- REGISTRO FOTOGRÁFICO -

Rodovia: SC-448

Sentido do Levantamento: Forquilha - Meleiro

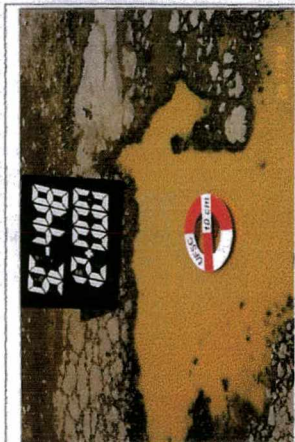


Foto 9
Panela
DETALHE - Lado Esquerdo



Foto 10
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3
Lado Direito



Foto 11
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3 com panela
DETALHE - Lado Esquerdo

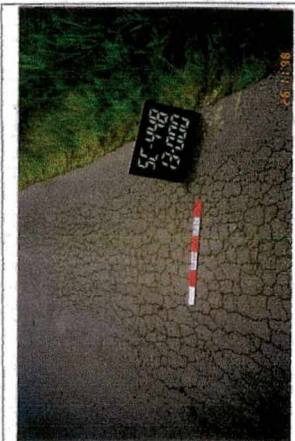


Foto 12
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3
Lado Direito



Foto 13
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3
DETALHE - Lado Direito



Foto 14
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3, panelas e remendos
Lado Esquerdo e Lado Direito



Foto 15
Panela
DETALHE - Lado Esquerdo



Foto 16
Remendos e trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3
Lado Direito



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
"Análise da Base de Dados de um Grupo de Rodovias para Aplicação em Projetos de Reabilitação"

- REGISTRO FOTOGRÁFICO -
Trecho: Forquilha - Meleiro

Rodovia: SC-448

Sentido do Levantamento: Forquilha - Meleiro



Foto 17
Remendos e trinca tipo
"couro de jacaré" Classe 3
Lado Esquerdo



Foto 18
Remendos e trinca tipo
"couro de jacaré" Classe 3
Lado Esquerdo



Foto 19
Remendos e trinca tipo
"couro de jacaré" Classe 3
Lado Direito



Foto 20
Remendos, panela e trinca tipo
"couro de jacaré" Classe 3
Lado Direito

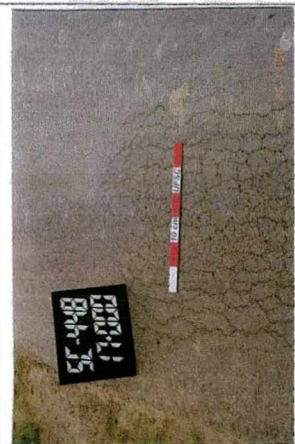


Foto 21
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 2
Lado Esquerdo



Foto 22
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 2
Lado Direito



Foto 23
Remendo e trinca tipo
"couro de jacaré" Classe 3
Lado Direito



Foto 24
Exsudação



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise da Base de Dados de um Grupo de Rodovias para Aplicação em Projetos de Reabilitação"

- REGISTRO FOTOGRÁFICO -

Rodovia: SC-448

Sentido do Levantamento: Forquilha - Meleiro

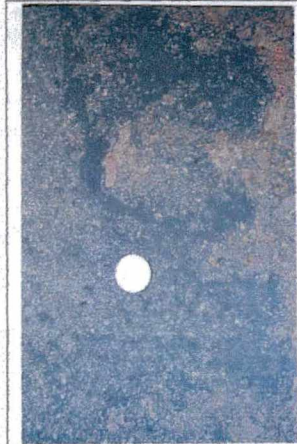


Foto 25
Exsudação
Detalhe

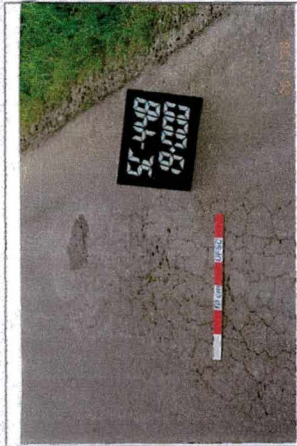


Foto 26
Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3
Lado Direito



Foto 27
Painela e trinca tipo
"couro de jacaré" Classe 3
Lado Esquerdo



Foto 28
Painela e trinca tipo
"couro de jacaré" Classe 3
Lado Direito

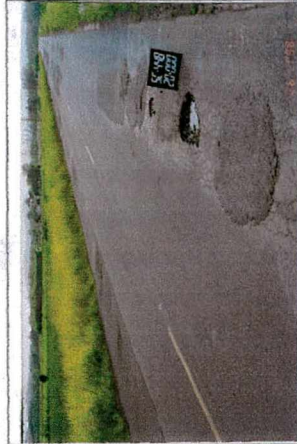


Foto 29
Remendos, painelas e trinca tipo
"couro de jacaré" Classe 3
Lado Direito



Foto 30
Trinca tipo "couro de jacaré"
Classe 3 com painela
Eixo



Foto 31
Remendo
Lado Direito



Foto 32
Remendo
Lado Direito

Anexo - E
Rodovia SC-285, trecho Timbé do Sul - Turvo



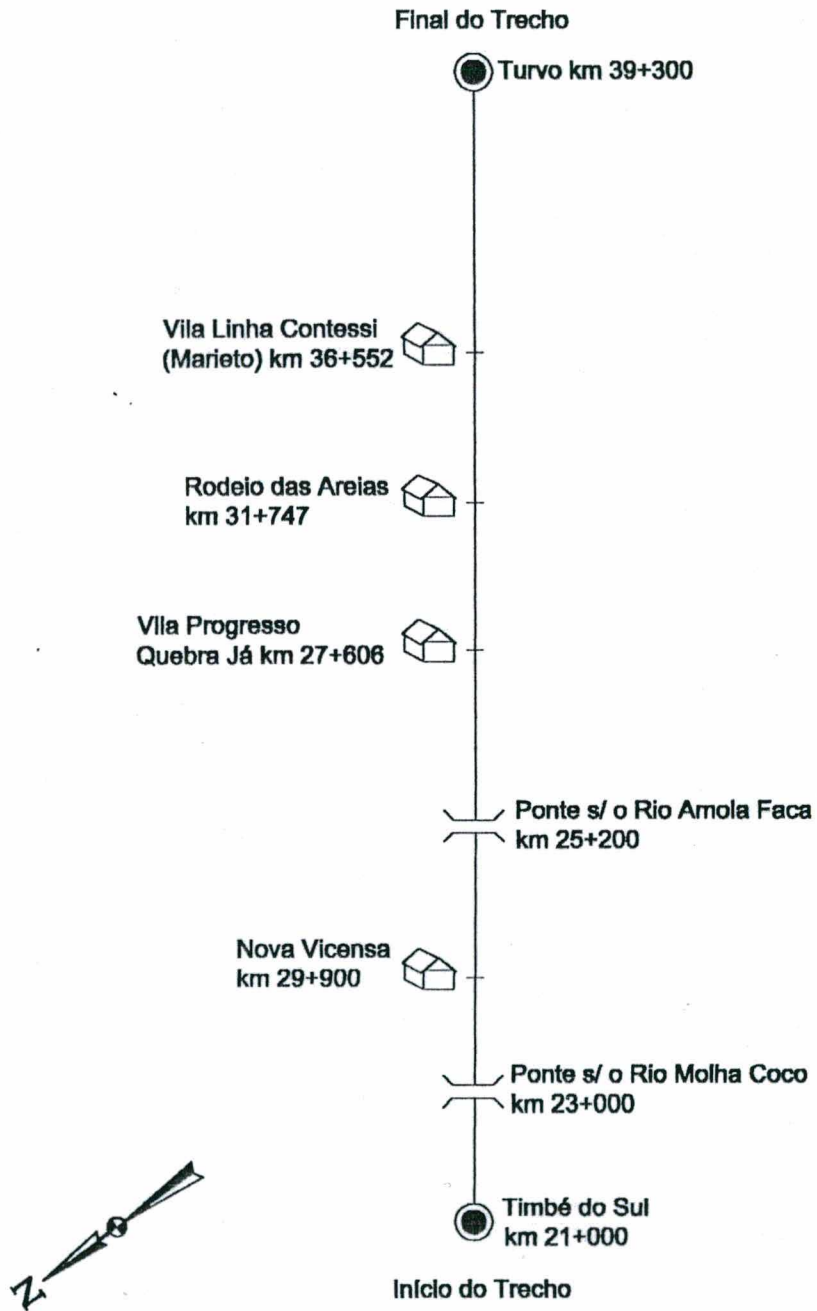
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

MAPA DE SITUAÇÃO

SC - 285

TIMBÉ DO SUL - TURVO: EXTENSÃO = 18.300 m



Sem Escala

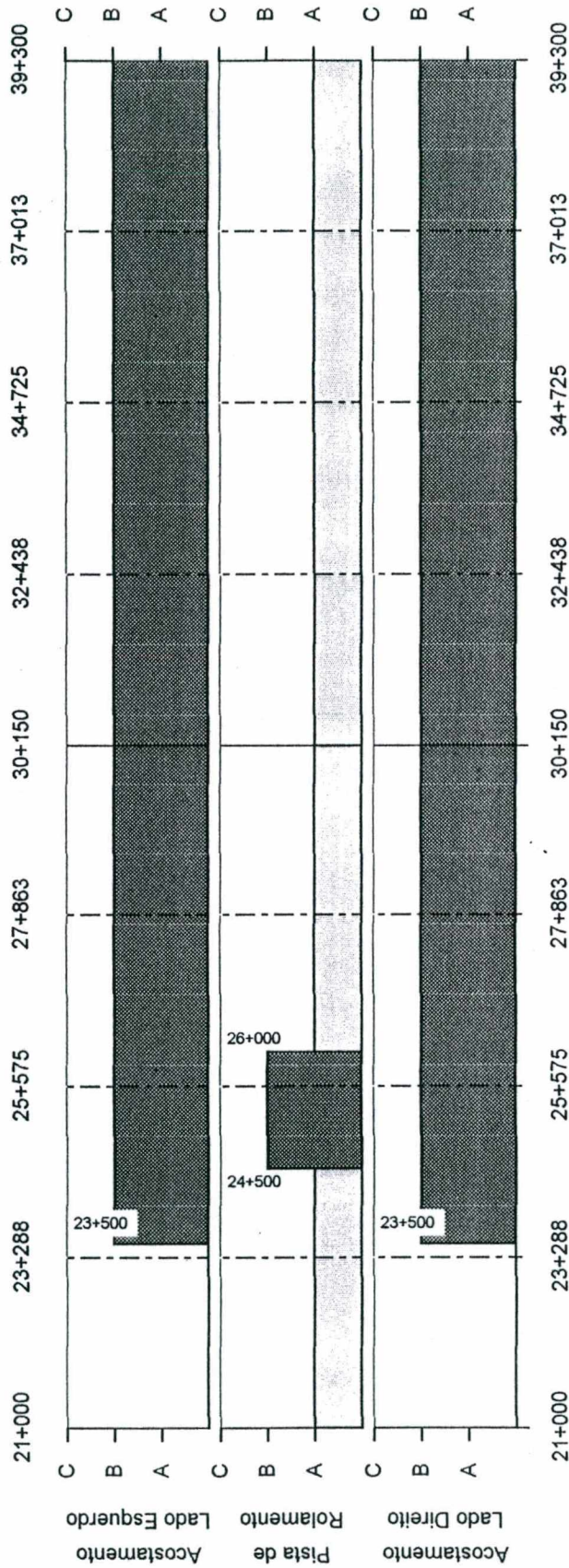


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento

- DIAGRAMA UNIFILAR -



- A Bom estado
- ▒ B Defeitos em pontos localizados
- C Defeitos concentrados

RODOVIA: SC-285

TRECHO: TIMBÉ DO SUL - TURVO

sem escala

Anexo - F
Rodovia SC-448, trecho Turvo - Ermo



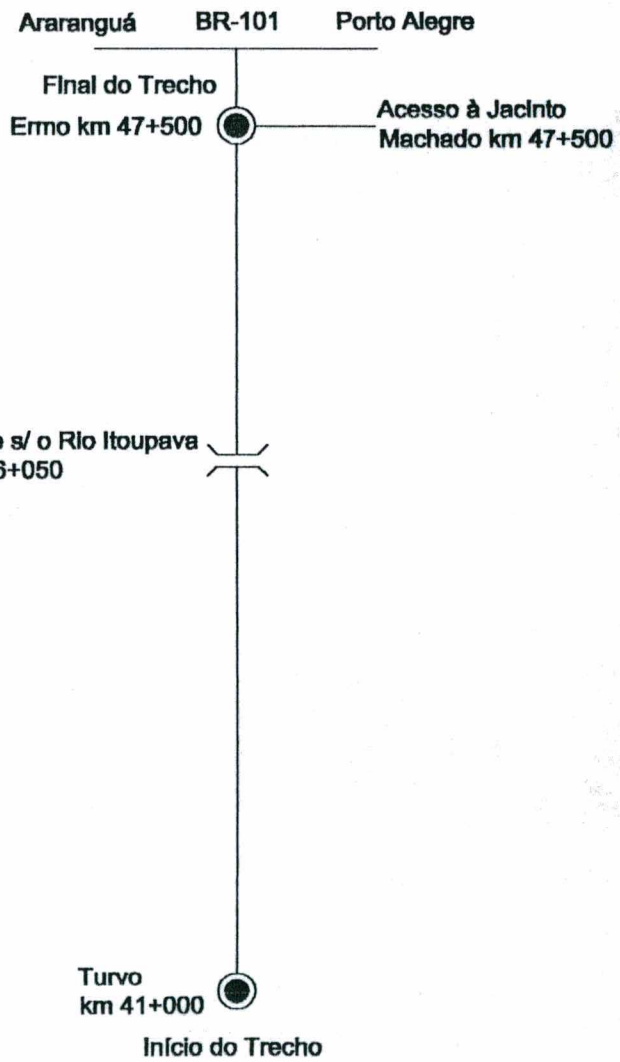
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

MAPA DE SITUAÇÃO

SC - 448

TURVO - ERMO: EXTENSÃO = 6.500 m

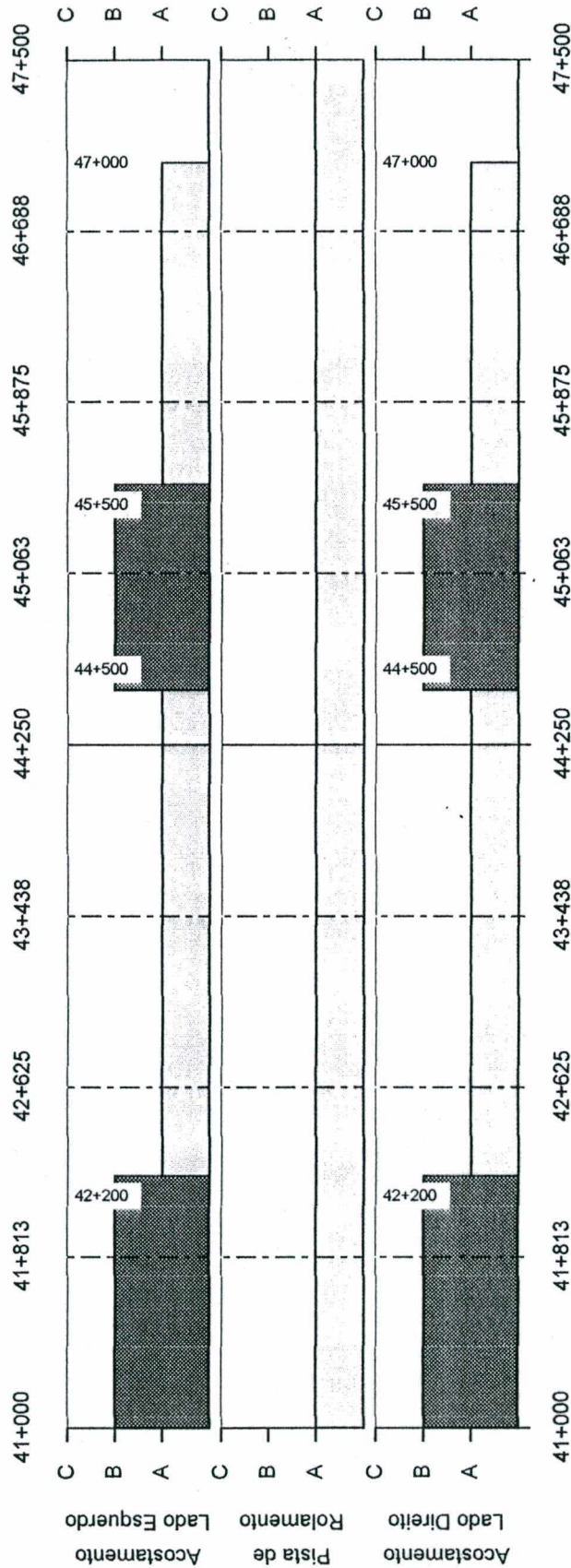


Sem Escala



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"
 Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento

- DIAGRAMA UNIFILAR -



- A Bom estado
- B Defeitos em pontos localizados
- C Defeitos concentrados

RODOVIA: SC-448

TRECHO: TURVO - ERMO

sem escala

Anexo - G

Rodovia SC-483, trecho Ermo - Jacinto Machado



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

MAPA DE SITUAÇÃO

SC - 483

ERMO - JACINTO MACHADO: EXTENSÃO = 11.600 m

Final do Trecho

Jacinto Machado
km 51+300

Centro Comunitário
Último Rio km 48+500



Ponte s/ o Rio Águas Brancas
km 42+600

Ermo km 39+700

Início do Trecho



Sem Escala

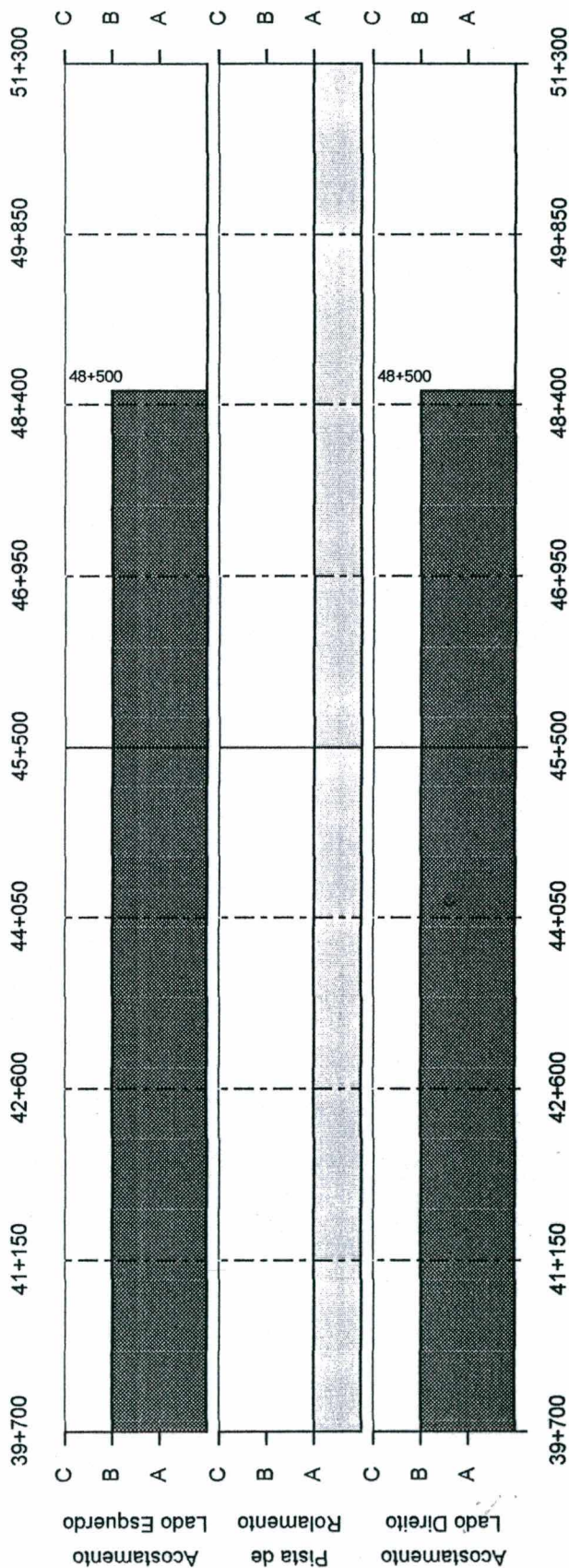


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento

- DIAGRAMA UNIFILAR -



- A Bom estado
- B Defeitos em pontos localizados
- C Defeitos concentrados

RODOVIA: SC-483
TRECHO: ERMO - JACINTO MACHADO

sem escala



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
 "Análise da Base de Dados de um Grupo de Rodovias para Aplicação em Projetos de Reabilitação"

- REGISTRO FOTOGRÁFICO -
 Trecho: Ermo - Jacinto Machado

Sentido do Levantamento: Ermo - Jacinto Machado

Rodovia: SC-438

<p>Foto 1 - km 44+000 Desgaste</p>	<p>Foto 2 Erro no sistema referencial</p>	<p>Foto 3 Confirmação de erro no sistema referencial</p>	<p>Foto 4 Remendo Lado Esquerdo</p>
<p>Foto 5 Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3 Lado Esquerdo</p>			<p>Foto 6 - km 46+000 Trinca tipo "couro de jacaré" Classe 3 DETALHE - Lado Esquerdo</p>

Anexo - H
Rodovia SC-448, trecho Ermo - BR-101



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"

MAPA DE SITUAÇÃO

SC - 448

ERMO - BR-101: EXTENSÃO = 6.000 m

Final do Trecho
BR-101 km 53+500



Ponte s/ o Canal Itoupava
km 49+400



Ponte s/ o Rio Sangra
do Ermo km 47+700



Ermo km 47+500
Início do Trecho



Acesso à
Jacinto Machado km 47+500

Acesso à Turvo

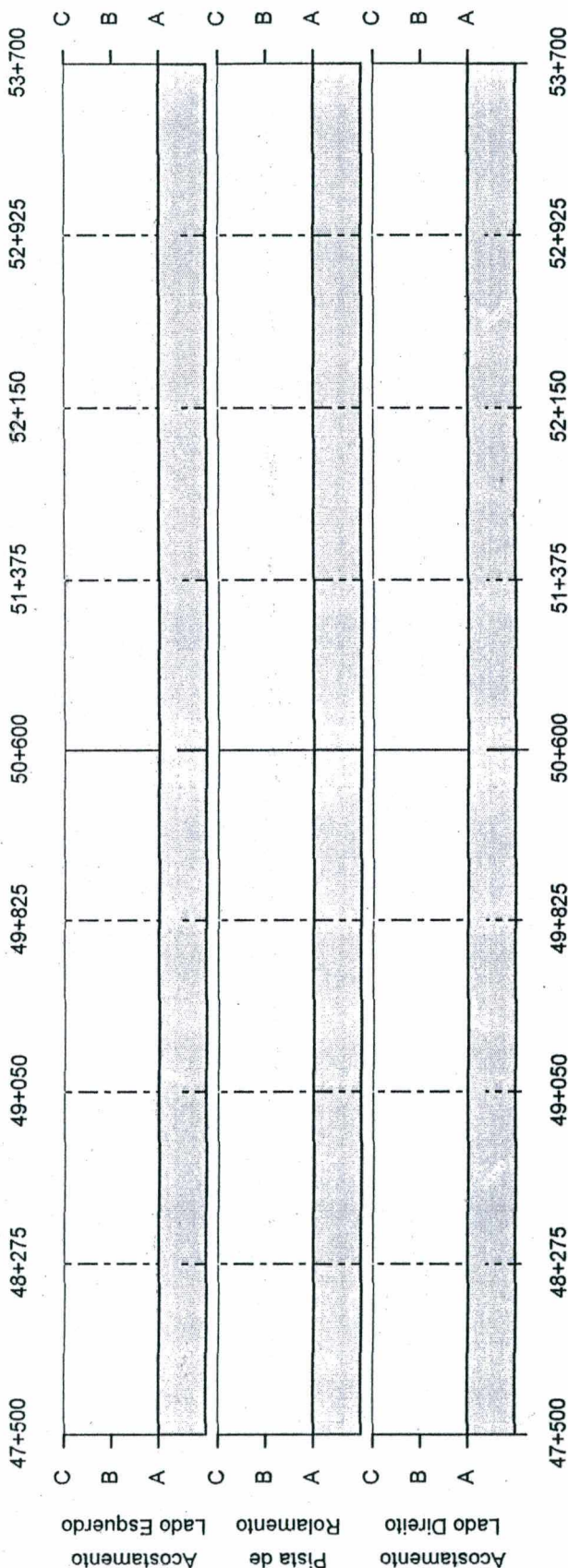


Sem Escala



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
"Análise de Base de Dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos para Projetos de Restauração"
 Avaliação Subjetiva das Condições da Superfície do Pavimento

- DIAGRAMA UNIFILAR -



- A Bom estado
- B Defeitos em pontos localizados
- C Defeitos concentrados

RODOVIA: SC-448
 TRECHO: ERMO - BR-101

sem escala