

ADOLFO MACHADO DE MAGALHÃES

---

---

**UM ESTUDO DOS FATORES INTERVENIENTES NO DESEMPENHO  
DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EXECUTADOS COM SOLOS  
RESIDUAIS SAPROLÍTICOS NA REGIÃO SUL DE  
SANTA CATARINA**

---

---

**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.**

**Florianópolis**

**JULHO / 2001**

**UM ESTUDO DOS FATORES INTERVENIENTES NO DESEMPENHO  
DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EXECUTADOS COM SOLOS  
RESIDUAIS SAPROLÍTICOS NA REGIÃO SUL DE  
SANTA CATARINA**

**Adolfo Machado de Magalhães**

**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. Dr. Antônio Fortunatto Marcon**

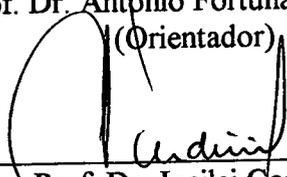
**Florianópolis  
JULHO / 2001**

**UM ESTUDO DOS FATORES INTERVENIENTES NO DESEMPENHO DE  
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EXECUTADOS COM SOLOS RESIDUAIS  
SAPROLÍTICOS NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA**

**ADOLFO MACHADO DE MAGALHÃES**

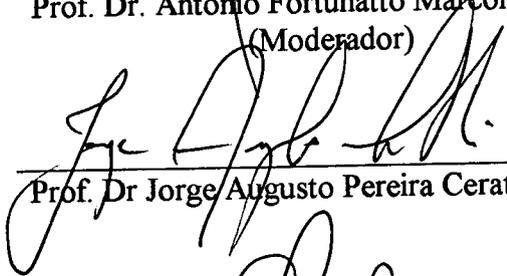
Dissertação defendida em 20/07/ 2001 Sessão n° \_\_\_\_ do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, e aprovada por :

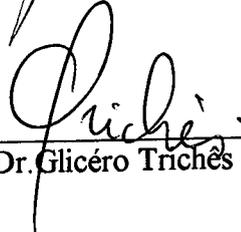
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antônio Fortunatto Marcon  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Jucilei Cordini  
(Coordenador do Curso).

COMISSÃO EXAMINADORA :

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antônio Fortunatto Marcon - UFSC  
(Moderador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Jorge Augusto Pereira Ceratti - UFRGS

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Glicério Trichês - UFSC

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leto Momm -UFSC

**“Um novo século, um novo milênio...**

**Que novas estradas possam ser abertas no caminho de uma humanidade  
mais consciente, justa e pacífica .**

**Que novas pesquisas e conhecimentos possam ser utilizados para um  
desenvolvimento racional e não para gerar guerras, fome, destruição do  
meio ambiente ou uma competitividade desenfreada entre os homens.”**

*À memória de minha saudosa mãe,  
Heloisa Machado de Magalhães*

## **AGRADECIMENTOS**

Às pessoas que de uma forma ou de outra colaboraram para tornar este trabalho uma realidade :

Ao meu pai (Manoel Rubens) e minha madrastra (Adir) que sempre acreditaram em mim e me apoiaram muito nesta empreitada.

Aos meus irmãos, minhas sobrinhas e demais familiares pelo incentivo e apoio.

Ao meu orientador e grande amigo prof. Antônio Fortunatto Marcon pela dedicação, sabedoria e paciência que demonstrou ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos engenheiros dos distritos do Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina (DER/SC) Dilnei Cesa e Lucival José Maurício(Criciúma) e Jaimir Freccia (Tubarão), por viabilizarem o acesso a dados de controle de execução nas obras e a coleta dos solos para ensaio.

Ao Prof. Jorge Augusto Pereira Ceratti e ao Ivan Ribas pela viabilização e execução dos ensaios de carregamento repetido no Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Aos engenheiros Prudêncio Valentim Wust, Maurício Soares e Antônio Carlos de Oliveira , da Diretoria de Estudos e Projetos do Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina (DER/SC) pela possibilidade de acesso ao banco de dados do SGP e aos projetos de engenharia dos trechos.

Ao engenheiro Rubens Murillo Schiram e demais funcionários do Laboratório Central do Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina (DER/SC).

Às empresas IGUATEMI (através da pessoa do engenheiro Danilo Martinelli Pitta) e PROSUL (através da pessoa da engenheira Clarissa Beatriz Sandoval Borges) pelo acesso a informações de estudos efetuados nos trechos.

Aos colegas de mestrado pelo espírito de companheirismo e pela troca de conhecimentos no transcorrer do curso.

Aos mestres do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina ( professores Glicério Trichês, Leto Momm, Glaci Trevisan Santos , Ronaldo da Silva Ferreira, Ismael Ulisséa Neto e Lenise Grando Goldner) pelo conhecimento transmitido.

Aos amigos que encontrei ao longo do período em que morei em Florianópolis, com os quais pude conviver, dividindo os momentos de lazer e as dificuldades de estar longe dos familiares .

Aos colegas Christine Mutti e Iseu Losso pelo incentivo em ingressar neste curso.

À todos os professores e colegas do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná (UFPR) que fizeram parte da primeira e fundamental etapa na minha formação acadêmica.

Aos companheiros da empresa AMODAL pela compreensão e incentivo no transcorrer das etapas finais deste trabalho. Em especial, aos engenheiros Mário Henrique Furtado Andrade e Lucas Bach Adada , e ao colega João Vicente Brollo, pelo apoio e colaboração no desenvolvimento desta dissertação.

À CAPES e ao CNPq pelo financiamento desta atividade de pesquisa.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiv
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - Considerações Iniciais.....	1
1.2 - Objetivos e Abrangência do Estudo.....	1
1.3 - Organização do Trabalho.....	2
1.4 - Metodologia da Pesquisa.....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 - Estrutura dos pavimentos.....	5
2.1.1- Camadas constituintes do Pavimento.....	5
2.1.1.1 - Subleito.....	6
2.1.1.2 - Regularização.....	6
2.1.1.3 - Reforço do Subleito.....	6
2.1.1.4 - Sub-base.....	7
2.1.1.5 - Base.....	7
2.1.1.6 - Revestimento.....	7
2.2 - Emprego de Solos em Pavimentos Flexíveis.....	8
2.2.1 - Solos.....	8
2.2.1.1 - Caracterização dos Solos de acordo com o Perfil de Alteração de Rocha <sup>9</sup>	9
2.2.1.2 - Parâmetros para Caracterização do Comportamento dos Solos.....	10
2.2.1.3 - Classificação de Solos Granulares quanto à Resiliência .....	12
2.2.1.4 - Outras Metodologias para a Classificação de Solos.....	13
2.2.2 - Solos Residuais Saprolíticos.....	15
2.2.2.1 - Aspectos Importantes dos Solos Residuais.....	15
2.2.2.2 - Comportamento dos Solos Residuais Saprolíticos na Pavimentação. ....	16
2.3 - Metodologias para dimensionamento de pavimentos flexíveis.....	18
2.3.1- Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNER (1979)..	18

2.3.1.1 - Capacidade de Suporte dos Materiais e Coeficientes de Equivalência Estrutural.....	18
2.3.1.2 - Espessura mínima de Revestimento Betuminoso.....	19
2.3.2 - Outras Metodologias para Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis.....	19
2.4 - Tráfego de veículos.....	19
2.4.1 - Avaliação do Tráfego Existente.....	20
2.4.2 - Previsão do Tráfego Futuro.....	20
2.4.3 - Número Equivalente de Operações do eixo tomado como padrão (N).....	21
2.5 - Sistema de Gerência de Pavimentos.....	21
2.5.1- Avaliação do Desempenho do Pavimento.....	21
2.5.1.1- Divisão do Trecho em Segmentos Homogêneos.....	22
2.5.1.2- Avaliação dos Defeitos na Superfície do Pavimento.....	24
2.5.1.3- Avaliação da Condição Estrutural do Pavimento.....	25
2.5.1.4- Determinação da Irregularidade.....	27
2.5.2 - Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC.....	29
2.5.2.1 - Estrutura do Sistema de Gerência Implantado.....	29
2.5.2.2 - Levantamentos e Auscultações das Degradações do Pavimento.....	31
3. IDENTIFICAÇÃO DOS TRECHOS.....	34
3.1 - Localização dos Trechos.....	36
3.2 - Características Geológicas da Região.....	36
3.3 - Implantação dos trechos.....	38
3.4 - Características do Clima.....	38
4. AVALIAÇÃO DO TRÁFEGO.....	40
4.1- Composição do Tráfego.....	40
4.1.1 - Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) .....	41
4.1.2 - Percentual de Veículos de Carga Pesados.....	41
4.2 - Taxas de Crescimento Anuais Estimadas e Observadas.....	43
4.2.1 - Taxas de Crescimento Utilizadas em Projetos.....	43
4.2.2 - Taxas de Crescimento Observadas.....	43
4.3 - Número N Projeto x Número N observado.....	45
4.3.1 - Metodologia para avaliar a evolução do número N.....	47
4.3.1.1 - Períodos da Análise.....	47
4.3.1.2 - Fatores de Veículos.....	47
4.3.1.3 - Volumes de Tráfego considerados.....	48
4.3.2 - Vida de Projeto x Ano em que N Projeto foi efetivamente atingido.....	48
5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO....	50
5.1 - Material do subleito.....	50
5.1.1 - Caracterização Geológica .....	50

5.1.2 - Caracterização de acordo com a Classificação HRB.....	51
5.1.3 - Análise dos Resultados dos Ensaios Realizados.....	52
5.1.3.1 - Ensaio de Índice de Suporte Califórnia.....	52
5.1.3.2 - Ensaios de Compactação e Caracterização.....	54
5.2 - Material da sub-base e/ou reforço do subleito.....	55
5.2.1 - Considerações sobre os Estudos de Projetos.....	56
5.2.1.1 - Materiais e espessuras.....	56
5.2.1.2 - Verificação das Camadas Executadas através de Sondagens.....	57
5.2.1.3 - Caracterização de acordo com a Classificação HRB.....	58
5.2.1.4 - Análise dos Resultados dos Ensaios Realizados.....	59
5.2.2 - Análise de dados de execução.....	61
5.2.2.1 - Espessuras das camadas de solo residual saprolítico.....	62
5.2.2.2 - Ensaios de ISC com os solos utilizados.....	62
5.3 - Material da camada de base.....	64
5.3.1 - Materiais e espessuras utilizadas.....	64
5.3.2 - Verificação das Camadas Executadas através de Sondagens.....	64
5.3.3 - Ensaios realizados com os materiais das pedreiras indicadas em projeto.....	65
5.3.4 - Ensaios realizados na execução das obras.....	67
5.4 - Material da camada de revestimento.....	69
5.4.1 - Espessuras dimensionadas e materiais asfálticos utilizados.....	69
5.4.2 - Verificação das Camadas Executadas através de Sondagens.....	69
5.4.3 - Espessuras das Camadas Executadas de acordo com Controles de Obra.....	71
5.4.4 - Controles dos Agregados.....	72
6. ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS.....	73
6.1 - Resultados obtidos das avaliações dos pavimentos.....	73
6.1.1 - Avaliação de Defeitos de Superfície.....	73
6.1.2 - Medições de Deflexões Recuperáveis.....	75
6.1.3 - Medição do IRI (condições de irregularidade).....	76
6.2 - Caracterização do Estado de Conservação dos Pavimentos.....	76
6.2.1 - Avaliação de acordo com a Programação de Intervenções na Rede(PROG).....	76
6.2.1.1 - Determinação dos Níveis em que se encontram os Trechos.....	77
6.2.1.2 - Considerações sobre os resultados desta Avaliação.....	78
6.3 - Aplicação de Índices de Condição do Pavimento.....	80
6.3.1 - Determinação dos Índices utilizados para Acompanhamento da Malha Rodoviária do DER/SC.....	80
6.3.1.1- Determinação dos Índices IQP e IQU para os Trechos Estudados.....	81
6.3.1.2- Considerações sobre os Resultados destes Índices.....	81
6.3.2 - Avaliação dos Defeitos de Superfície pelo método VIZIR.....	83
6.3.2.1- Aplicação dos Índices propostos pelo Método VIZIR.....	85
6.3.2.2- Considerações sobre os resultados destes Índices obtidos.....	85
6.4 - Considerações Gerais sobre as avaliações dos trechos.....	87
6.4.1 - Processo de Fadiga do Pavimento x Condição Estrutural.....	87
6.4.2 - Afundamento de Trilha de Rodas x Condição Estrutural.....	88

6.4.3 - Irregularidade x Defeitos de superfície.....	88
6.4.4 - Comparativo entre os sub-trechos com sub-base de solo residual saprolítico e seixo rolado bruto ( trecho Urussanga-Orleans) .....	89
6.4.5 - Comparativo entre os sub-trechos com reforço do subleito executados com solo residual saprolítico e areia ( trecho Imaruí - BR 101 ).....	91
6.5 - Análise Particular de cada um dos trechos.....	91
6.5.1 - Divisão dos Trechos em Segmentos Homogêneos.....	92
6.5.2 - Trecho Armazém – Gravatal (SC –431) .....	92
6.5.3 - Trecho Gravatal - Braço do Norte (SC –438).....	96
6.5.4 - Trecho Braço do Norte –São Ludgero (SC –438).....	98
6.5.5 - Trecho Urussanga - Orleans (SC –446) .....	100
6.5.6 - Trecho Treze de Maio - BR 101 (SC –441).....	104
6.5.7 - Trecho Imaruí – BR 101 (SC –437) .....	106
6.5.8 - Trecho Urussanga - Criciúma (SC –446).....	108
6.6 - Principais conclusões da análise do desempenho dos pavimentos... ..	111
6.6.1 - Pavimentos com Bom Desempenho.....	111
6.6.2 - Pavimentos com Desempenho Intermediário.....	112
6.6.3 - Pavimentos com Mau Desempenho.....	112
7. AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS DOS PAVIMENTOS.....	113
7.1 - Investigação das estruturas executadas.....	113
7.2 - Espessuras dimensionadas e análise crítica do método utilizado no dimensionamento.....	113
7.2.1 - Estruturas dimensionadas nos Projetos de Engenharia.....	114
7.2.2 - Análise Crítica do Método.....	114
7.3 - Comparativo da vida de projeto dos pavimentos dimensionados com a vida útil da estrutura efetivamente executada.....	115
7.4 - Retroanálise das Bacias de Deformação.....	117
7.4.1 - Considerações sobre os programas computacionais utilizados.....	122
7.4.2 - Metodologia para aplicação da Retroanálise.....	124
7.4.3 - Resultados da Retroanálise.....	127
7.4.3.1 - Trecho Armazém – Gravatal.....	127
7.4.3.2 - Trecho Gravatal – Braço do Norte.....	127
7.4.3.3 - Trecho Braço do Norte – São Ludgero.....	128
7.4.3.4 - Trecho Urussanga – Orleans.....	129
7.4.3.5 - Trecho Treze de Maio – BR 101.....	129
7.4.3.6 - Trecho Imaruí – BR 101.....	130
7.4.3.7 - Trecho Urussanga – Criciúma.....	131
7.5 - Avaliação dos raios de curvatura obtidos para as bacias de deformação medidas.....	133

8. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DAS CAMADAS DE SOLOS RESIDUAIS SAPROLÍTICOS.....	138
8.1 - Ensaio efetuados durante a pesquisa.....	138
8.1.1 - Ensaio de Campo.....	139
8.1.2 - Análise Granulométrica.....	139
8.1.3 - Ensaio de ISC.....	140
8.1.4 - Ensaio Triaxial de Carregamento Repetido.....	143
9 . CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	153
9.1 - Principais Conclusões do Estudo.....	153
9.2 - Limitações para o uso de solos residuais saprolíticos em estruturas de pavimentos.....	154
9.3 - Recomendações para futuros estudos.....	154
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155
ANEXO A - TERMINOLOGIAS DE DEFEITOS DE SUPERFÍCIE.....	158
ANEXO B - AVALIAÇÃO UTILIZADA PELO SISTEMA DE PROGRAMAÇÃO DE INTERVENÇÕES DO SGP DO DER/SC (PROG).....	164
ANEXO C - DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DO SISTEMA DE ACOMPANHAMENTO DA MALHA RODOVIÁRIA DO SGP DO DER/SC (ACOMP).....	166
ANEXO D - PROCEDIMENTOS E CRITÉRIOS UTILIZADOS PELO SGP (DER/SC) PARA LEVANTAMENTO DE DEFEITOS.....	171
ANEXO E - APLICAÇÃO DO MÉTODO VIZIR (LCPC- FRANÇA).....	175

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1.1 - Fluxograma com as Etapas da Metodologia do Estudo.....	4
2.1 - Classificação de solos granulares quanto à resiliência (PREUSSLER,1983).....	13
2.2 - Exemplo de Divisão em Segmentos Homogêneos pelo Método das Diferenças Acumuladas (AASHTO, 1993).....	23
3.1 - Perfil Esquemático das Estruturas dos Pavimentos Estudados.....	34
3.2 - Mapa de localização dos trechos estudados.....	37
4.1 - Comparativo das Taxas de Crescimento (Estimadas x Observadas).....	46
5.1 - Jazida de Solo Residual Saprolítico utilizada na região de Criciúma.....	56
6.1 - Médias das Deflexões Recuperáveis Máximas.....	75
6.2 - Médias de IRI.....	76
6.3 - Gráficos com valores médios de trincamentos, remendos e IRI.....	89
6.4 - Remendos superficiais mal executados apresentando desagregações e arrancamentos no revestimento (km 104+300) .....	95
6.5 - Segmento com um bom estado de defeitos no trecho Armazém-Gravatal (km 98+600) .....	95
6.6 - Trincamentos interligados de severidade alta, deixando exposto o material da camada de base (km 186+100) .....	97
6.7 - Trincamentos interligados de severidade alta, parcialmente selados com massa asfáltica fina, e apresentando o início formação de painéis ( km 181+320).....	99
6.8 - Painel formado e trincamentos interligados de severidade alta, parcialmente tratadas com execução de sela-trincas (km 181 +400) .....	100
6.9 - Pavimento em condições gerais boas no sub-trecho 1 de Urussanga-Orleans, executado com sub-base de seixo rolado bruto ( próximo a km 0) .....	102
6.10-Trincas interligadas de severidade alta e processo de formação de painéis.....	103
6.11-Trincas interligadas de severidade alta e afundamentos plásticos visíveis.....	103
6.12-Local representativo do ótimo estado em que se encontra o pavimento no trecho Treze de Maio – BR 101 (km 2+400).....	105
6.13-Local representativo do bom estado em que se encontra o pavimento do trecho Imaruí – BR 101 (km 7+300) .....	107

<b>6.14-Visualização do acréscimo de espessura de concreto asfáltico proporcionado pela restauração efetuada no pavimento ( km 26 +630) .....</b>	<b>108</b>
<b>6.15-Trincas interligadas de severidade alta e afundamentos plásticos nas trilhas de rodas internas, e apresentando um início de processo de formação de painelas.....</b>	<b>110</b>
<b>6.16-Início de formação de trincas interligadas em local onde foi executada camada de concreto asfáltico ( km 36 + 500) .....</b>	<b>110</b>
<b>7.1 - Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Armazém-Gravatal) .....</b>	<b>118</b>
<b>7.2 - Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Gravatal-Braço do Norte).....</b>	<b>118</b>
<b>7.3 - Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Braço do Norte - São Ludgero).....</b>	<b>119</b>
<b>7.4 - Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Urussanga – Orleans).....</b>	<b>119</b>
<b>7.5 - Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Treze de Maio – BR 101).....</b>	<b>120</b>
<b>7.6 - Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Imaruí – BR 101).....</b>	<b>120</b>
<b>7.7 - Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Urussanga - Criciúma) sub-trecho Urussanga – Cocal do Sul.....</b>	<b>121</b>
<b>7.8 - Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Urussanga - Criciúma) sub-trecho Cocal do Sul - Criciúma.....</b>	<b>121</b>
<b>7.9 - Fluxograma da Metodologia para a Retroanálise das bacias de deformação medidas com viga Benkelman.....</b>	<b>124</b>
<b>7.10-Fluxograma da Metodologia para a Retroanálise das bacias de deformação medidas com equipamentos do tipo FWD.....</b>	<b>125</b>
<b>7.11-Gráfico com as médias ponderadas dos E obtidos em retroanálise (camada de revestimento).....</b>	<b>132</b>
<b>7.12-Gráfico com as médias ponderadas dos E obtidos em retroanálise (camada de base).....</b>	<b>132</b>
<b>7.13-Gráfico com as médias ponderadas dos E obtidos em retroanálise (camada de sub-base e/ou reforço do subleito).....</b>	<b>132</b>
<b>7.14-Gráfico com as médias ponderadas dos E obtidos em retroanálise (subleito).....</b>	<b>133</b>
<b>7.15-Médias e desvios-padrões de Raio de Curvaturas por trecho.....</b>	<b>137</b>
<b>8.1- Resultados de Ensaio Triaxial (a) - Módulo de Resiliência x Tensão Confinante.....</b>	<b>145</b>
<b>8.2 - Resultados de Ensaio Triaxial (b) - Módulo de Resiliência x Tensão Confinante.....</b>	<b>146</b>
<b>8.3 - Módulo de Resiliência x Tensão Confinante – Jazida Pomerode (VALLE, 1994).....</b>	<b>148</b>
<b>8.4 - Módulo de Resiliência x Tensão Confinante – Jazida Brusque (VALLE, 1994).....</b>	<b>149</b>

8.5 - Módulo de Resiliência x Tensão Confinante – Jazida Blumenau (VALLE, 1994).....	150
8.6 - Módulo de Resiliência x Tensão Confinante – Solo Residual de Gnaisse (a) (TRICHÊS, 1985).....	151
8.7 - Módulo de Resiliência x Tensão Confinante – Solo Residual de Gnaisse (b) (TRICHÊS, 1985).....	152

## LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
2.1 - Proposição de Perfil de Alteração de Rocha (DEERE & PATTON, 1971).....	10
2.2 - Condição do pavimento quanto à irregularidade (rodovias pavimentadas).....	29
2.3 - Frequência das auscultações do SGP - DER/SC.....	31
3.1 - Apresentação dos Trechos abrangidos na Pesquisa.....	34
3.2 - Estruturas dos Pavimentos (Dados de Execução).....	35
3.3 - Informações sobre a Implantação dos Pavimentos.....	38
3.4 - Dados de Clima.....	39
4.1 - Evolução do TMDA (VMDA) e composição do tráfego .....	42
4.2 - Percentuais Médios de Veículos de Carga Pesados.....	43
4.3 - Taxas de Crescimento Anuais do Tráfego utilizadas nos projetos.....	44
4.4 - Taxas de Crescimento Anuais Médias observadas.....	45
4.5 - Fatores de Veículos adotados pelos Projetos de Engenharia.....	47
4.6 - Análise do ano em que N projeto foi atingido.....	49
5.1 - Número e Percentual de Ocorrências dos grupos de solos por trecho (de acordo com a Classificação H.R.B.) .....	52
5.2 - Tratamento Estatístico dos resultados dos ensaios de ISC dos materiais do subleito.....	53
5.3 - Tratamento Estatístico dos resultados dos ensaios de ISC dos materiais do subleito ( para os sub-trechos distintos de Urussanga – Orleans, , Imaruí – BR 101 e Urussanga – Criciúma ).....	54
5.4 - Tratamento Estatístico dos resultados dos ensaios de Compactação e Caracterização (para os materiais do subleito).....	55
5.5 - Espessuras dimensionadas e jazidas de solo indicadas ( sub-base ).....	56

5.6 - Espessuras e classificação expedita em sondagens ( camadas de solo residual).....	57
5.7 - Percentuais de ocorrências dos solos analisados das jazidas Indicadas para as camadas de sub-base e/ou reforço do subleito ( de acordo com a Classificação H.R.B.).....	59
5.8 - Tratamento Estatístico dos resultados do ensaio de ISC das jazidas de solos (eliminando-se os valores espúrios encontrados).....	59
5.9 - Tratamento Estatístico dos resultados dos ensaios de Compactação e Caracterização ( para os solos das jazidas ).....	61
5.10-Espessuras médias (camadas de solo residual saprolítico) .....	62
5.11-Tratamento Estatístico do ensaio de ISC (dados de execução / solo residual).....	63
5.12-Espessuras dimensionadas de base com BGS.....	64
5.13-Materiais e espessuras de base encontrados em sondagens.....	65
5.14-Resultados dos ensaios realizados com os agregados das pedreiras indicadas pelos Projetos Finais de Engenharia.....	66
5.15-Média dos resultados obtidos no ensaio de ISC com agregados (trecho Armazém – Gravatal) .....	68
5.16-Resultados obtidos no ensaio de frasco de areia (trecho Imaruí-BR 101) .....	68
5.17-Espessuras de revestimento em CAUQ dimensionadas em projeto.....	69
5.18-Materiais Utilizados nas Camadas de Revestimento Asfáltico.....	70
5.19-Espessuras de revestimento em CAUQ (sondagem da estrutura) .....	70
5.20-Espessuras de revestimento em CAUQ (medições de serviços).....	71
5.21-Espessuras de revestimento em CAUQ (controles de obra) .....	71
5.22-Composição dos Concretos Asfálticos utilizados na camada de Revestimento.....	72
6.1 - Defeitos de Superfície ( Percentuais médios).....	74
6.2 - Aplicação do programa PROG (DER /SC) .....	79
6.3 - Aplicação do sub-sistema ACOMP (DER /SC) .....	82
6.4 - Resultados da 1ª aplicação dos Índices propostos pelo VIZIR.....	85
6.5 - Resultados de nova aplicação dos Índices propostos pelo VIZIR.....	87
6.6 - Médias das Deflexões Máximas medidas nos 2 sub-trechos distintos do trecho Urussanga - Orleans ( x 10 <sup>-2</sup> mm) .....	90

6.7 - Percentual médio de incidência de defeitos nos 2 sub-trechos distintos do trecho Urussanga - Orleans.....	90
6.8 - Médias das Deflexões Máximas medidas nos 2 sub-trechos distintos do trecho Imaruí - BR 101 ( x 10 <sup>-2</sup> mm).....	91
6.9 - Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Armazém - Gravatal.....	93
6.10- Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento (Armazém - Gravatal).....	94
6.11- Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Gravatal - Braço do Norte.....	96
6.12- Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento (Gravatal - Braço do Norte).....	97
6.13- Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Braço do Norte - São Ludgero.....	98
6.14- Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento (Braço do Norte - São Ludgero).....	99
6.15- Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Urussanga - Orleans.....	101
6.16- Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento (Urussanga - Orleans).....	102
6.17- Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Treze de Maio - BR 101.....	104
6.18- Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento (Treze de Maio - BR 101).....	105
6.19- Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Imaruí – BR 101.....	106
6.20- Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento (Imaruí - BR 101).....	107
6.21- Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Urussanga - Criciúma.....	109
6.22- Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento (Urussanga - Criciúma).....	109
6.23- Diagnóstico do Desempenho dos Pavimentos.....	111
7.1 - Informações de execução dos Trechos.....	114
7.2 - Estruturas dos pavimentos dimensionados.....	115
7.3 - Vida útil efetiva dos pavimentos.....	116
7.4 - Erros relativos aceitáveis para retroanálise.....	123
7.5 - Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise (trecho Armazém - Gravatal ).....	127
7.6 - Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise(trecho Gravatal - Braço do Norte).....	128
7.7 - Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise (trecho Braço do Norte - São Ludgero).....	128
7.8 - Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise (trecho Urussanga - Orleans ).....	129

<b>7.9</b> - Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise ( trecho Treze de Maio - BR 101).	130
<b>7.10</b> - Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise ( trecho Imaruí - BR 101).....	130
<b>7.11</b> - Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise ( trecho Urussanga - Criciúma).....	131
<b>7.12</b> - Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura (trecho Armazém - Gravatal).....	134
<b>7.13</b> - Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura (trecho Gravatal - Braço do Norte) .....	134
<b>7.14</b> - Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura (trecho Braço do Norte - São Ludgero) .....	135
<b>7.15</b> - Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura (trecho Urussanga -Orleans).....	135
<b>7.16</b> - Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura (trecho Treze de Maio - BR 101) .....	135
<b>7.17</b> - Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura (trecho Imaruí - BR 101).....	136
<b>7.18</b> - Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura (trecho Urussanga-Criciúma).....	136
<b>8.1</b> - Locais para a retirada de amostras de solo residual saprolítico das camadas de sub-base e / ou reforço do subleito.....	138
<b>8.2</b> - Resultados dos ensaios de campo.....	139
<b>8.3</b> - Resumo do ensaio de peneiramento (Análise Granulométrica) .....	141
<b>8.4</b> - Resultados do ensaio de Índice de Suporte Califórnia ( I.S.C.).....	142

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	- American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACOMP	- Subsistema de Acompanhamento (SGP do DER/SC)
BGS	- Brita Graduada Simples
CAP	- Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ	- Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CBR	- "California Bearing Ratio"
CLIMERH	- Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina
DER/SC	- Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina
DNER	- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EB	- Especificação Brasileira
ES	- Especificação de Serviço
FV	- Fator de Veículo
HRB	- "Highway Research Board"
IBP	- Instituto Brasileiro de Petróleo
IG	- Índice de Grupo
IGG	- Índice de Gravidade Global
IP	- Índice de Plasticidade
IPR	- Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IQG	- Índice de Qualidade Global
IQP	- Índice de Qualidade do Patrimônio
IQU	- Índice de Qualidade do Usuário
IRI	- "International Roughness Index"
IS	- Índice de suporte
ISC	- Índice de Suporte Califórnia
LCPC	- "Laboratoire Central des Ponts et Chaussées"
LL	- Limite de Liquidez

MCT	- Metodologia de Classificação para Solos Tropicais
ME	- Metodologia de Ensaio
MR	- Módulo de Resiliência
N	- Número de repetições do eixo padrão de 8,2 t
NBR	- Norma Brasileira
PRO	- Procedimento
PROG	- Subsistema de Programação de Obras (SGP do DER/SC)
QI	- Quociente de Irregularidade
SGP	- Sistema de Gerência de Pavimentos
TB	- Terminologia Brasileira
TMDA	- Tráfego Médio Diário Anual
UFRGS	- Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USACE	- “United States Army Corps of Engineers”
VMDA	- Volume Médio Diário Anual

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\sigma_d$	= tensão desvio
$\sigma_1$	= tensão principal vertical
$\sigma_3$	= tensão principal horizontal (ou confinante)
$\epsilon_R$	= deformação resiliente vertical ou deformação específica recuperável
$k_1$ e $k_2$	= parâmetros determinados no ensaio de carregamento repetido com equipamento triaxial para determinação do Módulo de Resiliência
$k$	= coeficiente de equivalência estrutural
$D_{max}$	= densidade máxima
$\gamma$	= massa específica aparente seca
$h$	= umidade
$h_{ot}$	= umidade ótima
$\nu$	= coeficiente de Poisson
$D_c$	= deflexão característica
$D_o$	= deflexão máxima
$E$	= módulo de elasticidade
$\sigma$	= desvio-padrão
$t$	= toneladas
$\text{kgf/cm}^2$	= quilograma-força por centímetro quadrado (unidade de pressão)
$\text{km}$	= quilômetros

## RESUMO

Os solos residuais saprolíticos têm sido muito utilizados na estrutura de pavimentos flexíveis na região sul do Brasil. O uso deste tipo de solo é justificado pelo grande volume disponível e ao fato de lhe ser atribuído uma boa capacidade de suporte na estrutura do pavimento. Entretanto, tem-se verificado em pesquisas mais recentes que o comportamento dos solos residuais saprolíticos, principalmente para amostras ensaiadas acima da umidade ótima de compactação, demonstra ser inferior ao que se espera para um material utilizado como camada de pavimento. Este mau comportamento é identificado a partir da resposta do material em termos de deflexões recuperáveis, que normalmente apresentam valores elevados. Este estudo abrangeu 7 trechos rodoviários localizados no sul do Estado de Santa Catarina cujos pavimentos tem solos residuais saprolíticos nas camadas de sub-base ou reforço do subleito. Objetivou-se nesta pesquisa, não somente, caracterizar o comportamento dos solos residuais saprolíticos utilizados nos pavimentos aqui estudados, mas também efetuar uma análise dos fatores que influíram no desempenho destes pavimentos. Além da característica dos solos utilizados, estes fatores estão associados ao desempenho das estruturas dos pavimentos como um todo e à influência do tráfego que circula nas rodovias que abrangem o estudo. Como conclusão desta pesquisa, a partir das análises efetuadas, são indicadas algumas limitações para o uso dos solos residuais saprolíticos em estruturas de pavimentos flexíveis.

**Palavras – chave:** avaliação de pavimentos, desempenho de pavimentos flexíveis, solos residuais saprolíticos.

## ABSTRACT

The saprolitic soils are materials that have been largely used in the structure of flexible pavements in the south of the Brazil. Moreover the great use of this kind of soil in Brazil can be explained. First, because of the large amount of this soil that is found in the south of the country. Second, due to its great support capacity in the structure of the pavements. However, the most recent researches have showed that the performance of the saprolitic soils to sample tests in humidity above optimum water content. Concerning that an opposite result was expected from a material used in the pavement layer. This inadequate performance can be identified through the elevate deflections measurements. This study embraced 7 highways in the south of the State of Santa Catarina whose pavements have saprolitic soils in the sub-base layer or reinforcement of the subgrade. The purpose of this research is to describe the performance of the saprolitic soils used in the layers pavements. In addition, the factors that influenced the performance of these pavements will also be analyzed. Over there characterization of the saprolitic soils used, these factors are linked to the performance of the pavements' structures. Also the traffic in the highways presented in this research have a strong result concerning the performance of the pavements. Finally, it is possible to conclude from the analyses done in this research, that there are some limitations for using saprolitic soils in the structure of flexible pavements.

**Words - key:** pavement's surveys, performance of flexible pavements, saprolitic soils.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1– Considerações Iniciais

A utilização de solos residuais saprolíticos na estrutura de pavimentos flexíveis foi praticada usualmente em algumas regiões do Estado de Santa Catarina durante as décadas de 70 e 80. Esta prática era justificada pelo seu bom suporte, determinado pelo ensaio de Índice de Suporte Califórnia com imersão, em condições de moldagem próximas a da umidade ótima.

Entretanto, com a difusão dos conhecimentos da resiliência dos materiais de pavimentação, que ocorreu com mais ênfase a partir da década de 80, começou a ser verificado em algumas pesquisas efetuadas, que o comportamento resiliente dos solos residuais saprolíticos, em determinadas condições de compactação, demonstra ser relativamente inferior ao que se espera para um material utilizado como camada de sub-base.

## 1.2 – Objetivos e Abrangência do Estudo

Este trabalho contempla o estudo dos pavimentos de 7 trechos, que apresentam sub-base ou reforço do subleito constituídos por solos residuais saprolíticos , e tem como objetivos:

- caracterizar o comportamento dos solos nas estruturas destes pavimentos;
- avaliar a vida útil dos pavimentos a partir da abertura dos trechos ao tráfego de veículos, considerando os volumes de tráfego observados em contagens volumétricas e as estruturas executadas ;
- verificar o comportamento das estruturas dos pavimentos estudados como um todo, uma vez que são semelhantes no que diz respeito aos materiais de pavimentação utilizados (incluindo revestimento asfáltico, base granular e material do subleito) ;
- analisar o desempenho dos pavimentos, de forma comparativa, a partir de avaliações de defeitos de superfície, medições deflectométricas e avaliações da irregularidade do pavimento ; e caracterizar o "estado" em que se encontram os pavimentos de cada um dos trechos estudados, a partir de índices de condição do pavimento já estabelecidos no meio rodoviário .

Em dois trechos abrangidos pelo estudo tem-se a presença de dois sub-trechos executados com materiais diferentes nas camadas de sub-base ou reforço do subleito, apresentando além de camadas de solo residuais saprolíticos :

- sub-base com seixo rolado bruto no trecho Urussanga - Orleans ;
- reforço do subleito com areia no trecho Imaruí - BR 101.

A inclusão dos trechos Urussanga - Orleans e Imaruí - BR 101 neste estudo, possibilita, assim, uma análise comparativa do desempenho do pavimento em um sub-trecho executado com solos residuais saprolíticos na camada de sub-base e /ou reforço do subleito, com outro sub-trecho executado com outro tipo de material nas mesmas camadas. Esta análise é oportuna, uma vez que tem-se ao longo destes trechos condições semelhantes de tráfego e clima, estrutura e idade do pavimento.

O principal objetivo deste trabalho é, identificar quais dos fatores analisados abaixo desempenharam um papel preponderante no surgimento e na evolução de cada degradação constatada nos pavimentos dos trechos rodoviários estudados, referindo-se estes fatores a :

- Composição do Tráfego dos trechos rodoviários estudados;
- Avaliação da Vida Útil dos pavimentos ;
- Comportamento das camadas de saibro (sub-base e/ou reforço do subleito);
- Caracterização das demais camadas e do subleito ;
- Avaliação Estrutural dos pavimentos .

E , ainda, como conclusão, objetiva-se juntamente com a identificação dos fatores que influenciaram de forma mais incisiva no desempenhos dos pavimentos estudados, verificar os aspectos positivos e negativos da utilização do saibro nas estruturas destes pavimentos, com o intuito de poder indicar as limitações para o uso deste material nos serviços de pavimentação.

### **1.3 – Organização do Trabalho**

O capítulo 1 apresenta os objetivos e a organização do trabalho , bem como a metodologia de pesquisa. No capítulo 2 é efetuada uma Revisão da Bibliografia referente aos principais aspectos abordados neste estudo.

O capítulo 3 consiste em uma breve identificação dos trechos estudados no que diz respeito as suas localizações e extensões , bem como das características geológicas e climáticas regionais.

No capítulo 4 apresenta-se a avaliação do comportamento do tráfego de veículos verificado nos trechos rodoviários estudados, a partir de contagens volumétricas, do ponto de vista da composição do tráfego e do crescimento efetivamente observado ao longo do período de análise. Neste capítulo é efetuada, ainda, uma análise comparativa do número N de repetições do eixo padrão definida em projeto e do N obtido de forma acumulada a partir das contagens volumétricas, com o objetivo de avaliar o período de tempo que levou para o N de projeto ser atingido.

O capítulo 5 visa a caracterização dos materiais de pavimentação que compõem as estruturas dos pavimentos, a partir de ensaios e investigações efetuados para projetos e, controles de execução das obras. Enquanto, que, no capítulo 6 é efetuada uma análise do desempenho dos pavimentos com base nas avaliações efetuadas nos pavimentos (defeitos de superfície, deflexões recuperáveis e condições de irregularidade) e na aplicação de índices de condição do pavimento, com o objetivo de estabelecer um diagnóstico da situação em que se encontram os pavimentos.

No capítulo 7 , inicialmente, é feita uma análise comparativa das estruturas dos pavimentos dimensionadas em projeto e efetivamente executadas, e uma conseqüente análise da vida dos pavimentos abrangendo a avaliação das estruturas dos pavimentos a partir da investigação das estruturas executadas. Ainda neste capítulo são apresentados os resultados da retroanálise das bacias de deformação e uma avaliação dos raios de curvatura.

O capítulo 8 apresenta os resultados dos ensaios efetuados com amostras das camadas de saibro coletadas para este estudo , enfatizando principalmente os ensaios triaxiais de carga repetida. uma análise comparativa dos módulos elásticos das camadas de saibro estimados na retroanálise com os módulos de resiliência obtidos pelo ensaio de cargas repetidas. E, finalmente, no capítulo 9 são apresentadas as conclusões deste estudo juntamente com recomendações para novas pesquisas.

## **1.4– Metodologia da Pesquisa**

O Fluxograma apresentado na Figura 1.1 apresenta de forma esquemática e resumida as etapas da metodologia de pesquisa desenvolvida neste estudo .

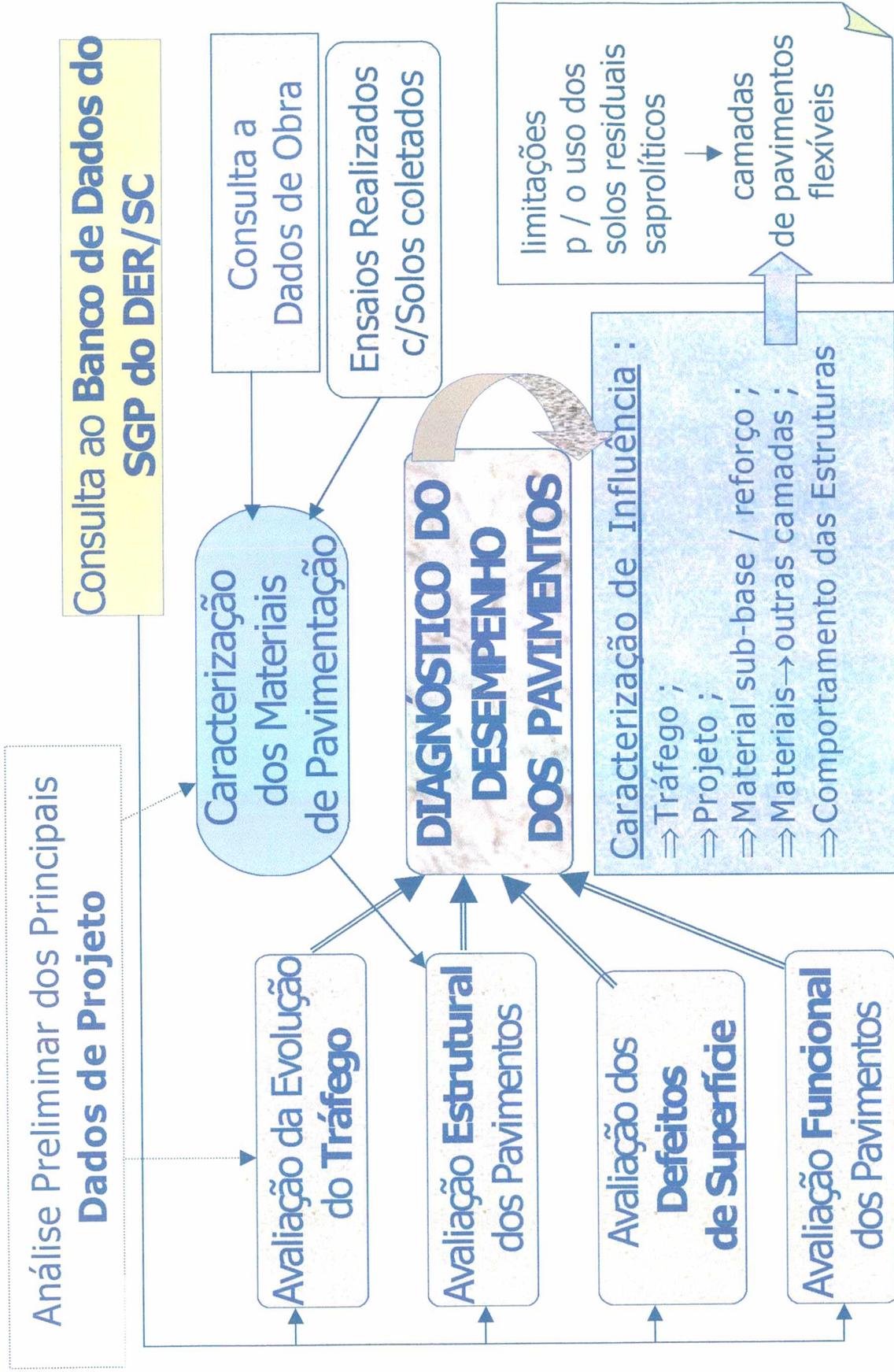


Figura 1.1 – Fluxograma com as Etapas da Metodologia do Estudo

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é feita uma revisão da literatura relacionada a alguns dos principais aspectos enfocados nesta pesquisa , abrangendo :

- a estrutura dos pavimentos ;
- emprego de solos em pavimentos flexíveis ;
- metodologias para dimensionamento de pavimentos flexíveis ;
- a consideração do tráfego de veículos ;
- sistema de gerência de pavimentos .

### 2.1 - Estrutura dos Pavimentos

A atual norma de pavimentação, NBR-7207/82 da ABNT ( a qual foi originada da antiga norma "Terminologia e classificação de pavimentação", TB-7, de 1953, revisada em 1969), define pavimento como " uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a :

- a ) resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego ;
- b ) melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança ;
- c ) resistir aos esforços horizontais, tornando mais durável a superfície de rolamento ".

De acordo com MEDINA (1997) esta definição exprime aquilo que foi, historicamente, o objetivo da pavimentação de estradas e ruas : melhorar as estradas de terra, protegendo-as da ação da água, do desprendimento de poeira e pedras, enfim, tornando-as mais cômodas e seguras ao tráfego e mais duráveis.

#### 2.1.1- Camadas constituintes do Pavimento

Uma seção transversal típica de um pavimento - com todas as camadas possíveis - consta de uma fundação, o subleito, e de camadas com espessuras e materiais determinados por um dos inúmeros métodos de dimensionamento (SENÇO ,1997).

É colocado por SOUZA (1980) “que em um pavimento podem ser encontradas as seguintes camadas : revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e regularização do subleito”.

Nas Especificações gerais para Obras Rodoviárias do DER/SC (1992), encontra-se a seguinte definição de camada, “parte homogênea de uma estrutura (aterro, pavimento, etc.) da rodovia, construída por materiais dispostos em espessuras uniformes”.

Entretanto, MEDINA (1997) observa que "perde o sentido a definição das camadas quanto às suas funções específicas e distintas umas das outras", sendo que, pelo autor "à medida que se passou a analisar o pavimento como um sistema em camadas e a calcular as tensões e deformações, começou-se a considerar a absorção dos esforços de tração pelas camadas superficiais dotadas de rigidez como o concreto asfáltico". E, ainda, pelo mesmo autor "o estado de tensões numa camada espessa de concreto asfáltico tem influência na tensão transmitida ao subleito".

#### **2.1.1.1 - Subleito**

O subleito, de acordo com as especificações do DER/SC (1992), é o “maciço teoricamente infinito que serve de fundação para um pavimento”.

O subleito é considerado e estudado até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego. Do ponto de vista prático deve ser estudado, no mínimo, até as camadas de 0,60 m a 1,50 m de profundidade” (SOUZA, 1980).

#### **2.1.1.2 - Regularização**

A regularização "é a camada de espessura irregular, construída sobre o subleito e destinada a conformá-lo, transversal e longitudinalmente, de acordo com o projeto" SENÇO(1997).

#### **2.1.1.3 - Reforço do Subleito**

Nas especificações do DER/SC (1992) define-se reforço do subleito como a “camada do pavimento executada com o objetivo de reduzir a espessura da sub-base, por razões técnicas ou econômicas”.

#### 2.1.1.4 - *Sub-base*

A sub-base é a “camada complementar à base, quando, por circunstâncias técnicas e econômicas, não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito. Segundo a regra geral (com exceção dos pavimentos de estrutura invertida) o material constituinte da sub-base deverá ter características tecnológicas superiores às do material de reforço; por sua vez, o material da base deverá ser de melhor qualidade que o material da sub-base” (SENÇO, 1997).

Nas especificações do DER/SC (1992) encontra-se que é a “camada complementar à base, com as mesmas funções desta, executada quando, por razões de ordem técnica ou econômica, for conveniente reduzir a espessura da base”.

#### 2.1.1.5 - *Base*

De acordo com as especificações do DER/SC (1992) a base é uma camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos sobre a qual se constrói um revestimento.

Os diversos materiais que usualmente são utilizados na execução da camada de base (alguns também utilizam-se na camada de sub-base), de acordo com diversos autores consultados, são divididos em dois grupos:

- *Bases Rígidas (ou Cimentadas)* : concreto compactado a rolo , macadame cimentado e solo-cimento ;
- *Bases Flexíveis* : solo estabilizado ( granulometricamente, solo-betume, solo-cal, e solo-brita), macadame hidráulico, brita graduada, macadame betuminoso, alvenaria poliédrica e paralelepípedos (sendo que estas duas últimas são adotadas por aproveitamento de revestimento antigo) .

#### 2.1.1.6 - *Revestimento*

A terminologia TB-7 define revestimento como a "camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destinada a econômica e simultaneamente:

- a) a melhorar as condições do rolamento quanto à comodidade e segurança ;
- b) a resistir aos esforços horizontais que nele atuam , tornando mais durável a superfície de rolamento" .

Dentro das especificações do DER/SC (1992), encontra-se que é simplesmente a “camada que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos”.

Os materiais que são utilizados de forma mais usual na execução da camada de revestimento, podem ser divididos em dois grupos, que de acordo com SOUZA(1980) se distinguem em :

- *Revestimentos Rígidos* : Concreto de cimento, Macadame de cimento e Paralelepípedos rejuntados com Cimento ;
- *Revestimentos Flexíveis* - que por sua vez, podem, segundo o autor, ser subdivididos em : Asfálticos ou Betuminosos (concretos asfálticos , pré-misturados à quente, pré-misturados à frio , areia-betume, tratamentos superficiais e macadames betuminosos) e Calçamentos (alvenaria poliédrica e paralelepípedos).

## **2.2. Emprego de Solos em Pavimentos Flexíveis**

Dentre os principais materiais empregados usualmente em pavimentos flexíveis rodoviários no Brasil, destacam-se os solos, os agregados e os materiais asfálticos. Como o objetivo deste estudo é focado para o primeiro tipo de material, e os demais materiais tem sido largamente abordados em bibliografias sobre pavimentação, realiza-se a seguir uma abordagem sobre os principais aspectos sobre o emprego de solos e de forma específica dos solos residuais saprolíticos em serviços de pavimentação.

### **2.2.1- Solos**

Os aspectos de interesse do solo ao estudo aqui realizado, podem ser justificados em parte pela seguinte colocação feita por SENÇO (1997), “quando se pretende utilizar o solo como material componente, por exemplo, de uma camada de pavimento, o solo guinda à condição de material de construção e, assim, deve merecer estudos prévios de qualidade e

controle rigorosos durante a aplicação. Os estudos para a localização de jazidas e os complementares de estabilização, quer utilizando aglutinantes, quer pela simples e conveniente distribuição dos diâmetros dos grãos, representam hoje, em nosso meio, uma das mais importantes atividades dos engenheiros de pesquisas, dadas às inegáveis vantagens econômicas do uso crescente de materiais locais”.

#### *2.2.1.1 - Caracterização dos Solos de acordo com o Perfil de Alteração de Rocha*

As teorias clássicas utilizadas em Mecânica de Solos foram desenvolvidas, em geral, para solos de climas temperados, e os solos brasileiros, em sua maioria, ocorrem em regiões tropicais e subtropicais. Dessa forma, os parâmetros estabelecidos na literatura clássica, nem sempre se adaptam a determinados tipos de solos brasileiros (SANTOS,1997).

Considerando que a principal classificação utilizada nos ensaios de caracterização realizados nos Projetos Finais de Engenharia dos trechos aqui estudados utilizaram a metodologia da HRB , desenvolvida nos Estados Unidos, o que, segundo a consideração feita por SANTOS (1997), deve tornar as caracterizações dos solos realizadas por estes ensaios menos representativas das condições reais destes solos, porém não invalidando totalmente esta classificação dentro do estudo aqui realizado.

Outra colocação importante feita por SANTOS (1997) é de que “o estudo do comportamento geotécnico de solos tropicais e subtropicais é complexo, devido à grande variedade de classes ou tipos existentes com diferentes comportamentos, pois os mesmos se formam em ambientes, onde a presença de umidade e variações de temperatura favorece intensa atividade química no perfil de intemperismo. Muito dos solos tropicais e subtropicais são parcialmente saturados, com uma pressão de sucção que tende a desaparecer com fortes chuvas ou mesmo tornar-se positiva”. Ainda segundo a mesma autora, existem algumas diferenciações para caracterizar os solos, de acordo com a área de atuação de quem o faz (engenharia civil, pedologia, geografia, geomorfologia,etc.), assim como diferentes proposições de perfil de alteração de rocha.

Assim sendo, segundo SANTOS (1997) “os solos chamados saprolíticos pelos engenheiros civis, correspondem ao horizonte C dos solos descritos pela pedologia, ao passo que, solos designados lateríticos são aqueles com horizonte B bem desenvolvido, constituído de micro agregados, formando uma estrutura porosa”.

Em seu trabalho SANTOS (1997) apresenta diferentes proposições de perfil de alteração de rochas, colocando, entretanto, que o perfil proposto por DEERE & PATTON (1971) comparativamente com os outros “é o que mostra maior integração entre pesquisadores de diferentes áreas”, assim apresenta-se na Tabela 2.1 um esquema que resume esta proposição .

**Tabela 2.1 - Proposição de Perfil de Alteração de Rocha (DEERE & PATTON, 1971)**

SOLO RESIDUAL I			ROCHA ALTERADA II		ROCHA SÃ III
IA – Horizonte “A”	IB– Horizonte “B”	IC – Horizonte “C” (Saprolítico)	IIA – Transição (solo saprolítico para rocha alterada)	IIB – Rocha parcialmente alterada	

### 2.2.1.2 – Parâmetros para Caracterização do Comportamento dos Solos

São apresentados neste item alguns dos principais parâmetros necessários para a caracterização dos solos, de acordo com o que é estabelecido para os estudos do comportamento dos solos na área de pavimentação. Para alguns destes parâmetros são colocados os valores limites especificados para os solos serem utilizados em camadas de pavimentos.

#### a -) Índice Suporte Califórnia

A especificação DER/SC-ES-P-02/92 considera aceitáveis os seguintes valores de ISC, obtidos de acordo com método de ensaio DNER-ME 49/64 :

- para camadas de *reforço do subleito*- ISC superior ao do subleito, a energia de compactação utilizada poderá ser a normal ou a intermediária ;
- para camadas de *sub-base*- ISC superior a 20%, a energia de compactação utilizada poderá ser a intermediária ou a modificada ;
- para camadas de *base* – para  $N < 5 \times 10^6$ ,  $ISC \geq 60\%$ ; e para  $N > 5 \times 10^6$ ,  $ISC \geq 80\%$ ; sendo que a energia de compactação utilizada poderá ser a intermediária ou a modificada .

## b -) Expansão

A especificação DER/SC-ES-P-02/92 considera aceitáveis os seguintes valores de expansão, obtidos de acordo com método de ensaio DNER-ME 49/64 :

- para camada de *reforço do subleito*- máximo de 1% ;
- para camada de *sub-base*- máximo de 0,5 % ;
- para camada de *base* – máximo de 0,5 %.

## c-) Módulo de Resiliência e Módulo Elástico

O módulo de resiliência (MR) de um solo pode ser obtido pelo ensaio triaxial de cargas repetidas, que no Brasil é normatizado pelo método DNER-ME 131/94.

O módulo de resiliência é definido pela “ relação entre a tensão vertical aplicada repetidamente ( $\sigma$ ) e a deformação axial elástica recuperável correspondente a esta solicitação ( $\epsilon_R$ ) para um dado número de aplicações da carga” (MOTTA, 1993).

Da mesma forma MEDINA (1997), apresenta esta relação da seguinte maneira:

$$MR = \sigma_d / \epsilon_R \quad (2.1)$$

Onde :

$\sigma_d$  = tensão desvio =  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  ;

$\sigma_1$  e  $\sigma_3$  = tensão vertical e horizontal (ou confinante), respectivamente ;

$\epsilon_R$  = deformação resiliente vertical, ou deformação específica recuperável.

PREUSSLER (1983) relaciona os principais fatores que afetam o comportamento resiliente dos solos granulares no ensaio triaxial de cargas repetidas :

- número de repetições da tensão desvio ( $\sigma_d$ ) ;
- história de tensões, pois os materiais de pavimentação apresentam um comportamento não-linear ;
- duração e frequência de aplicação da tensão desvio ( $\sigma_d$ ) ;
- nível de tensão aplicada .

O módulo elástico (E) de qualquer camada de um pavimento é estimado através da retroanálise de bacias de deformação medidas em campo (este procedimento será abordado

no item 2.5.1.3) considerando a estrutura do pavimento como um meio elástico (linear ou não-linear).

### 2.2.1.3 – Classificação quanto à Resiliência de Solos Granulares

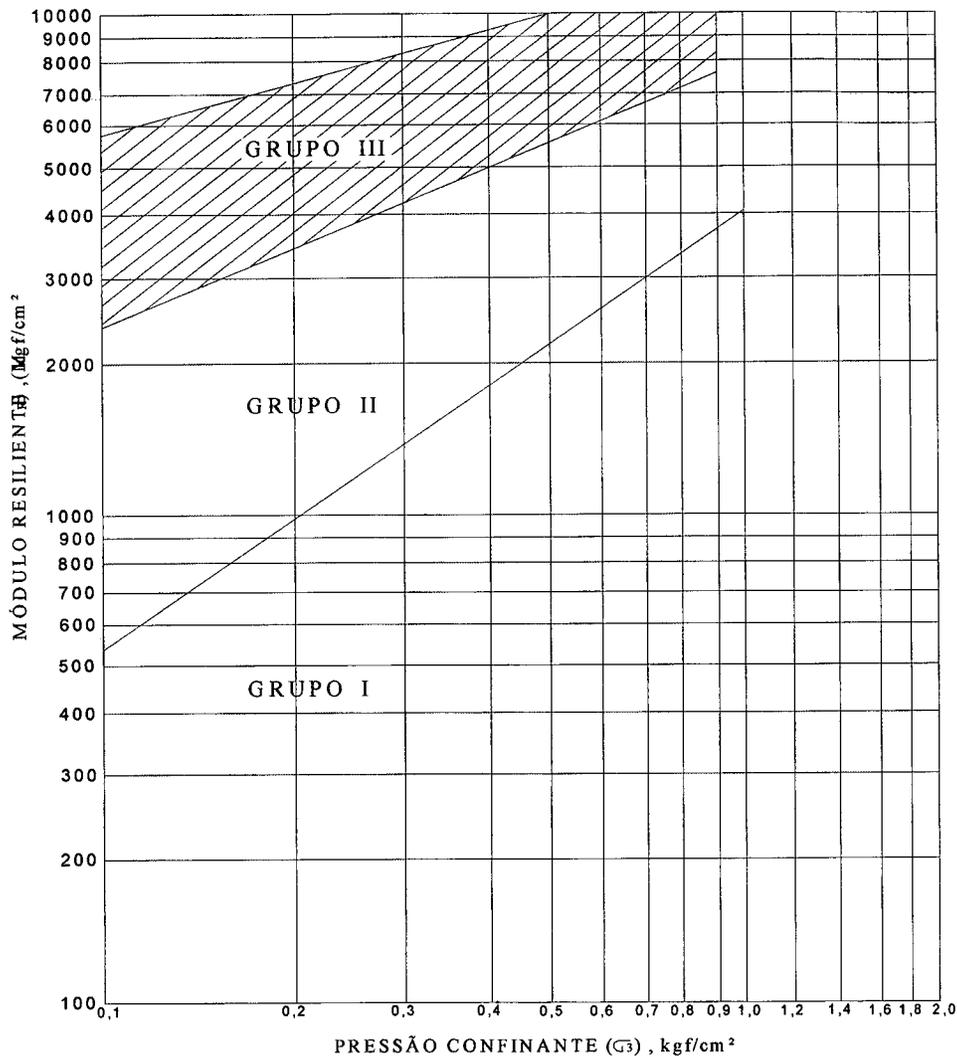
A classificação sugerida por PREUSSLER (1983) com base nas características resilientes dos solos granulares é de grande importância para a pesquisa aqui efetuada.

Esta classificação distingue os solos granulares, de acordo com resultados determinados em ensaios triaxiais de carregamento repetido (os parâmetros  $k_1$  e  $k_2$ ), com base no gráfico apresentado na Figura 2.1, a partir do modelo que relaciona o módulo de resiliência (MR) e as tensões de confinamento ( $\sigma_3$ ) apresentado por HICKS (1970) :

$$MR = k_1 (\sigma_3)^{k_2} \quad (2.2)$$

De acordo com o que apresenta-se no gráfico da Figura 2.1, os solos granulares são distinguidos em três grupos (PREUSSLER, 1983) :

- Grupo I – solos com grau de resiliência elevado, apresentando valores baixos de módulos de resiliência. Estes solos não devem ser empregados em estruturas de pavimentos e constituem subleito de péssima qualidade ;
- Grupo II – solos com grau de resiliência intermediário, podendo dependente das seguintes condições :
  - a)  $K_2 \leq 0,50$  e grau de compactação correspondente ao Proctor Modificado – bom comportamento ;
  - b)  $K_2 > 0,50$  – comportamento dependendo da espessura da camada (sendo sugerido inferior a 40 cm) e da qualidade do subleito ;
- Grupo III – solos com baixo grau de resiliência, apresentando valores consideravelmente elevados de módulos de resiliência. Estes solos quando empregados em estruturas de pavimentos resultam em pequenos valores de deflexões recuperáveis.



**Figura 2.1 – Classificação de solos granulares quanto à resiliência ( PREUSSLER,1983)**

#### 2.2.1.4 – Outras Metodologias para a Classificação de Solos

Os solos podem ser classificados, também, em função das finalidades de seu uso. Segundo SENÇO (1997) “a maneira mais simples de classificar um solo, objetivando sua aplicação em trabalhos de pavimentação, é levar em conta a granulometria desse solo. Esse parâmetro, porém, não atende às finalidades decorrentes do uso do solo para pavimentação, pois não leva em conta, por exemplo, a plasticidade, fator de importância fundamental no estudo do uso dos solos, quer como material de fundação, quer como material a compor as camadas do pavimento. Mesmo a forma geral das curvas granulométricas nem sempre é levada em conta”.

Dentre as diferentes metodologias de classificação de solos propostas, destaca-se aqui a classificação H.R.B., por ser a classificação empregada nos projetos finais de engenharia dos trechos estudados nesta dissertação.

**a -) Classificação do “Highway Research Board” – H.R.B.**

É uma classificação baseada na granulometria do solo e nos limites de consistência, dividindo os solos em sete grupos principais, de A-1 a A-7, na ordem decrescente de diâmetro dos grãos.

Para os grupos de solos com frações mais finas, são estabelecidos valores máximos para os Índices de Grupos (IG), calculado por meio de fórmulas e ábaco que consideram a porcentagem que passa na peneira n°. 200, o Limite de Liquidez, o Índice de Plasticidade, entre outros parâmetros do solo.

**b -) Limitações da classificação HRB e considerações sobre a metodologia MCT**

De acordo com NOGAMI e VILLIBOR (1995) a metodologia de classificação HRB apresenta algumas limitações quando aplicada aos solos tropicais.

Esta afirmação é exemplificada por estes autores referindo-se aos solos do grupo A-7-5 da metodologia HRB, que, “quando lateríticos apresentam propriedades de argila com excelente capacidade de suporte, ao passo que, quando saprolíticos, podem ser altamente expansivos, resilientes e com baixa capacidade de suporte”. Sendo assim estes dois pesquisadores desenvolveram a metodologia de classificação MCT para solos tropicais.

A metodologia MCT (M- de mini, C- de compactado, e T- de tropical) procura determinar as características dos solos, por meio de ensaios realizados com corpos de prova de dimensões reduzidas (diâmetro e altura de 5cm), compactados dinamicamente, levando ainda em conta as propriedades pedológicas (baseadas em estudos realizados com solos do estado de São Paulo) e granulométricas dos solos.

Esta metodologia estabelece limites para os seguintes ensaios que devem ser realizados : Mini-CBR, Expansão, Contração, Coeficiente de Absorção e Coeficiente de Permeabilidade.

Os grupos (cada um tendo seus comportamentos definidos pelos limites dos ensaios citados) em que a metodologia MCT divide os solos são :

- *Não Lateríticos* : NA (areias não lateríticas), NA' (solos não lateríticos arenosos), NS' (solos não lateríticos siltsos), NG' (solos não lateríticos argilosos);

- *Lateríticos* : LA ( areias lateríticas ), LA' (solos lateríticos arenosos),  
LG' (solos lateríticos argilosos).

A metodologia MCT apresenta, também, recomendações quanto à utilização de cada um destes grupos de solos, podendo-se resumir que, não recomenda-se :

- p/ revestimento primário : solos NS' ;
- p/ reforço do subleito : solos NS' e NG' ;
- p/ base do pavimento : solos NA, NS' e NG'.

Ainda, de acordo com estas recomendações, os solos mais recomendados para utilização na estrutura de pavimentos são os lateríticos (principalmente os solos LA' ).

## **2.2.2- Solos Residuais Sapolíticos**

No Committee on Tropical Soils of ISSMFE (1985) apresenta-se a definição de solo sapolítico como “aquele que resulta da decomposição e/ou desagregação “in situ” da rocha (considerada material consolidado da crosta terrestre), mantendo ainda, de maneira nítida, a estrutura da rocha que lhe deu origem”. Este solo é, portanto, um solo genuinamente residual e as camadas que os solos sapolíticos apresentam em suas condições naturais são designadas “horizonte sapolítico” ( NOGAMI e VILLIBOR ,1995) .

### **2.2.2.1 - Aspectos Importantes dos Solos Residuais**

Segundo CRUZ (1987) apud SANTOS (1997) os solos lateríticos e sapolíticos apresentam propriedades regidas pela "história de alteração" e decorrentes manifestações estruturais, enquanto que SANTOS (1997) complementa que os solos sedimentares de clima temperado, têm seu comportamento regido pela "história de tensões" que considera a "pressão de pré-adensamento" na avaliação do comportamento.

Com relação aos minerais presentes nestes tipos de solos encontra-se em NOGAMI e VILLIBOR (1995) que :

- solos superficiais Lateríticos – apresentam uma mineralogia relativamente simples, sendo o quartzo um mineral encontrado com muita frequência e,

quase sempre, de maneira predominante nas frações de areia e pedregulho desses solos ;

- solos Saprólíticos – contrastando com o anterior, possuem uma grande variedade de minerais distintos do quartzo, não excluindo, porém, que em muitos solos saprólíticos haja a possibilidade de o quartzo ser o mineral predominante ou mesmo exclusivo.

Ainda, de acordo com NOGAMI (1970) apud SANTOS (1997) "a cor é uma característica morfológica que indica o grau de intemperismo e hidratação dos sesquióxidos. Nos horizontes superficiais, em geral, as cores avermelhadas e amareladas são relacionadas aos materiais lateríticos com presença respectivamente, de hematita (vermelha) e goetita (amarela) ; os mosqueados são indícios de solos mal drenados; as cores cinzentadas estão associadas aos processos de redução e perda dos óxidos de ferro. Cores mais escuras evidenciam a presença de matéria orgânica. Nos horizontes saprólíticos (horizonte C), as cores, manchas e mosqueados são derivados da rocha de origem e de seu intemperismo" .

#### **2.2.2.2 – Comportamento dos Solos Residuais Saprólíticos na Pavimentação**

Em estudo realizado por VALLE (1994) foram analisados os materiais provenientes de 3 jazidas de saibro utilizados na execução dos reforços dos pavimentos nos seguintes trechos rodoviários situados no Estado de Santa Catarina : Pomerode - Jaraguá do Sul, Brusque - São João Batista e Blumenau - Massaranduba .

A partir da determinação dos módulos de resiliência dos materiais estudados por VALLE (1994) foi observado pelo referido autor que :

- as amostras ensaiadas entre -2% e +2% da umidade ótima determinada na energia do Proctor Intermediário no ensaio de compactação enquadram-se no grupo I da classificação proposta por PREUSSLER (1983) ;
- as amostras que sofreram 4 compactações sucessivas enquadram-se no grupo II .

Dentre as principais conclusões obtidas pelo autor, destacam-se a seguir as de maior interesse à esta pesquisa.

- os materiais estudados apresentaram elevados valores para M.E.A.S e

I.S.C. (atendendo as especificações DER/SC ES-P 02/92 e DNER ES-P 08/71) para sub-base de pavimentos ;

- os materiais demonstraram ser muito sensíveis para a variação do teor de umidade acima da umidade ótima, principalmente no que se refere à resistência (medida pelo ISC) e nos valores do módulo de resiliência, tendo sido observada considerável queda no valor do primeiro parâmetro nesta situação ;
- o material, quando aplicado em estruturas de pavimento, gera elevadas deflexões, deformações específicas de tração e diferenças de tensões na face inferior do revestimento, pois, o material utilizado é de comportamento granular (desde o subleito) ;
- com os valores de tensão de compressão no topo do subleito (obtidos através do programa FEPAVE 2), verificou-se que o material das jazidas estudadas não apresenta problemas quanto à resistência, mas, somente, no que se refere aos parâmetros citados no item anterior, o que acarreta problemas prematuros de fadiga no revestimento ;
- pelos resultados obtidos, verificou-se que uma redução no teor de umidade (da ordem de 2% em relação à umidade ótima) reduz os valores das tensões, deformações e deflexões à qual o pavimento é submetido. Isto se dá em função da melhoria que ocorre nos valores modulares do material do reforço quando o mesmo é compactado na umidade ótima. Entretanto, com a elevação no teor de umidade as variações verificadas são pouco significativas.

É recomendada, ainda, por VALLE (1994) uma seqüência de estudos para a utilização do saibro como camada integrante do pavimento, considerando os resultados obtidos na sua pesquisa. Estes estudos abrangem uma seqüência de ensaios, controles e análises utilizando solo estabilizado granulometricamente e solo estabilizado com cimento. Sugere, ainda, como parte destes estudos uma análise econômica das alternativas estudadas.

Foram realizados, também, no trabalho de VALLE (1994) ensaios de carregamento repetido para determinação dos módulos de resiliência dos solos provenientes das 3 jazidas de saibro estudadas cujos resultados são representados de forma gráfica no capítulo 8 de acordo com as caracterização resiliente de solos granulares.

As características resilientes de camadas executadas com solos residuais de gnaiss no Estado de Santa Catarina também foram estudadas por TRICHÊS (1985), em cujo trabalho determinaram-se a partir de ensaios triaxiais de carregamento repetido as relações entre módulo de resiliência (MR) e tensão confinante ( $\sigma_3$ ) para 15 amostras destes tipos de solos utilizados em camadas de sub-base e reforço do subleito. As amostras foram moldadas em três faixas de umidade ( $h_{ot}$  ;  $h_{ot} -1\%$  ;  $h_{ot} -3\%$ ) com energias de compactação do proctor Intermediário ou Normal. Os resultados destes ensaios são apresentados no capítulo 8 sob a forma de gráficos com a relação  $MR \times \sigma_3$  .

## **2.3 - Metodologias para Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**

Um projeto racional de pavimentos deve considerar não só o CBR do subleito e das camadas granulares, como também suas características elásticas ou resilientes ( PREUSSLER e PINTO, 1994 ).

Entretanto, como é colocado a seguir, o Método de Pavimentos Flexíveis do DNER, o mais comumente aplicado no Brasil , não considera as características elásticas dos materiais.

### **2.3.1- Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNER (1979)**

Este método foi desenvolvido pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza, a partir do início da década de 60, e, baseou-se na adaptação para rodovias do método do Corpo de Engenheiros do Exército Norte-Americano (USACE), originalmente destinado a pavimentos de aeroportos e que utiliza o ensaio de CBR, feita por TURNBULL et al. (1962). Posteriormente este método passou a considerar, também, o conceito de equivalência estrutural estabelecido na pista experimental da AASHO (atualmente AASHTO).

#### **2.3.1.1- Capacidade de Suporte dos Materiais e Coeficientes de Equivalência Estrutural**

Dentre as principais considerações do Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNER (1979) destaca-se :

- a determinação de valores limites de capacidade suporte (CBR) e de expansão determinados no ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) para os materiais do subleito e das camadas granulares;

- a apresentação dos Coeficientes de Equivalência Estrutural ( $k$ ) para os diferentes materiais empregados nas estruturas de pavimentos flexíveis.

### **2.3.1.2 - Espessura mínima de Revestimento Betuminoso**

É justificado na publicação deste método que "a fixação da espessura mínima a adotar para os revestimentos betuminosos é um dos pontos ainda em aberto na engenharia rodoviária, quer se trate de proteger a camada de base, dos esforços impostos pelo tráfego, quer se trate de evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão". As espessuras mínimas recomendadas pelo método, em função do número de repetições do eixo padrão ( $N$ ) definido em projeto, visam atender as bases de comportamento puramente granular.

### **2.3.2 – Outras Metodologias para Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**

No Brasil foi apresentada em 1994 a partir de um trabalho desenvolvido por PREUSSLER e PINTO, a publicação "A Consideração da Resiliência no Projeto de Pavimentos". Esta publicação consta de uma metodologia para dimensionamento de pavimentos flexíveis a partir da consideração da deformabilidade dos pavimentos e das características resilientes dos materiais.

Dentre diversas outras metodologias de dimensionamento desenvolvidas na Europa e nos Estados Unidos, pode-se destacar ainda a metodologia da AASHTO (1993), que considera um índice de serventia do pavimento, a sua condição drenagem e os módulos de elasticidade dos materiais.

## **2.4 - Tráfego de Veículos**

Torna-se importante neste estudo a avaliação da influência do tráfego de veículos no desempenho dos pavimentos estudados, cabendo, então, a seguir, apresentar alguns dos principais aspectos inerentes ao tráfego que determinam a sua importância na elaboração de projetos de engenharia e de estudos de restauração, e até mesmo no contexto de um sistema de gerência de pavimentos.

### **2.4.1 - Avaliação do Tráfego Existente**

Para a avaliação do tráfego existente, tem-se como procedimento mais utilizado pelos órgãos rodoviários brasileiros, a realização de contagens volumétricas classificatórias, que consideram separadamente os diversos tipos de veículos que circulam pelo trecho. Segundo consta no método DNER (1979) os diferentes veículos são classificados pelo DNER nas seguintes categorias:

- automóveis ;
- ônibus ;
- caminhões leves - com dois eixos simples (ambos de rodas simples) ;
- caminhões médios - com 2 eixos , sendo o traseiro de rodas duplas ;
- caminhões pesados - com dois eixos , sendo o traseiro "tandem" ;
- reboques e semi-reboques - as diferentes condições de veículos de carga, em unidades múltiplas.

Esta mesma classificação é utilizada pelo DER/SC nas contagens volumétricas Realizadas pelo órgão, de acordo com o que consta no Anuário Estatístico de Tráfego (DER/SC, 1989).

A partir destas contagens pode-se determinar o Volume Médio Diário Anual (VMDA), ou Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) que circula por cada um dos trechos a serem estudados, além de se avaliar os percentuais com que cada um dos tipos de veículos contribui neste volume.

Outra informação de fundamental importância para a avaliação do tráfego existente é o peso por eixo dos veículos de carga, porém estas informações não foram possíveis de serem obtidas para o estudo aqui realizado devido à inexistência de balanças para efetivar esta pesagem destes veículos nos trechos em questão.

### **2.4.2 - Previsão do Tráfego Futuro**

A previsão do tráfego futuro a circular em um determinado trecho rodoviário é uma etapa importante na elaboração de estudos de tráfego para projetos de implantação e restauração. De acordo com SOUZA (1980) “o tráfego crescerá durante a vida do pavimento, segundo as leis de certa complexidade que precisam ser estabelecidas em cada caso”, e ainda,

que “provavelmente, modificar-se-ão, também, durante a vida do pavimento, as percentagens com que ocorrem as diferentes categorias de veículos”.

Nos relatórios dos projetos de implantação dos trechos aqui estudados foram apresentadas as taxas de crescimento anuais adotadas para cada um dos trechos, com base em avaliações de dados estatísticos. Estas taxas permitiram, juntamente com os dados das contagens volumétricas realizadas, avaliar a estimativa do tráfego futuro efetuada nos referidos projetos.

#### **2.4.3- Número Equivalente de Operações do eixo tomado como padrão (N)**

O parâmetro de tráfego utilizado para o dimensionamento da estrutura de pavimentos é o número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão (N) durante o período de projeto. A metodologia de dimensionamento do DNER (1979), toma como eixo simples padrão aquele com 8,2 t (18.000 libras).

### **2.5 - Sistema de Gerência de Pavimentos**

A revisão bibliográfica de alguns tópicos relacionados à Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) torna-se oportuna neste trabalho, uma vez que, além de ter-se utilizado de consulta ao banco de dados do SGP do DER/SC, também foram aplicados alguns índices de condição do pavimento que compõem este SGP.

#### **2.5.1 – Avaliação do Desempenho do Pavimento**

Para a avaliação do desempenho do pavimento de um determinado trecho rodoviário tornam-se necessários os seguintes procedimentos:

- Divisão do Trecho em Segmentos Homogêneos ;
- Avaliação dos Defeitos na Superfície do Pavimento ;
- Avaliação da Condição Estrutural do Pavimento ;
- Determinação da Irregularidade na Superfície do Pavimento ;
- Avaliação das Condições de Segurança da Pista de Rolamento .

São abordados a seguir os 4 primeiros procedimentos , não sendo feito para

o último procedimento devido ao fato deste não estar englobado na metodologia desta pesquisa, mas ressalta-se a sua importância na avaliação do desempenho de um pavimento.

O motivo da exclusão da avaliação das condições de segurança da pista de rolamento dos pavimentos estudados é a ausência de dados de levantamentos necessários a esta avaliação, os quais não vêm sendo realizados pela grande maioria dos órgãos rodoviários brasileiros.

#### **2.5.1.1– Divisão do Trecho em Segmentos Homogêneos**

Os segmentos homogêneos são definidos por MARCON (1996) como "extensões de pavimento que possuem vários parâmetros cujos valores individuais são semelhantes".

O mesmo autor justifica, ainda, a importância deste procedimento, colocando que "os dados de um trecho longo de pavimento apresentam quase sempre variações significativas, que exigem uma análise mais detalhada no momento da adoção de medidas de manutenção e de avaliação de desempenho". E, ainda, que "as diferentes características encontradas se não forem consideradas adequadamente, diminuem a confiabilidade das conclusões e/ou soluções adotadas".

Dentre os procedimentos empregados para a divisão de um trecho rodoviário em segmentos homogêneos, destaca-se aqui o Método das Diferenças Acumuladas (AASHTO, 1993), que foi o método utilizado neste estudo, e que é abordado sucintamente a seguir.

##### **a-) Método das Diferenças Acumuladas (AASHTO, 1993)**

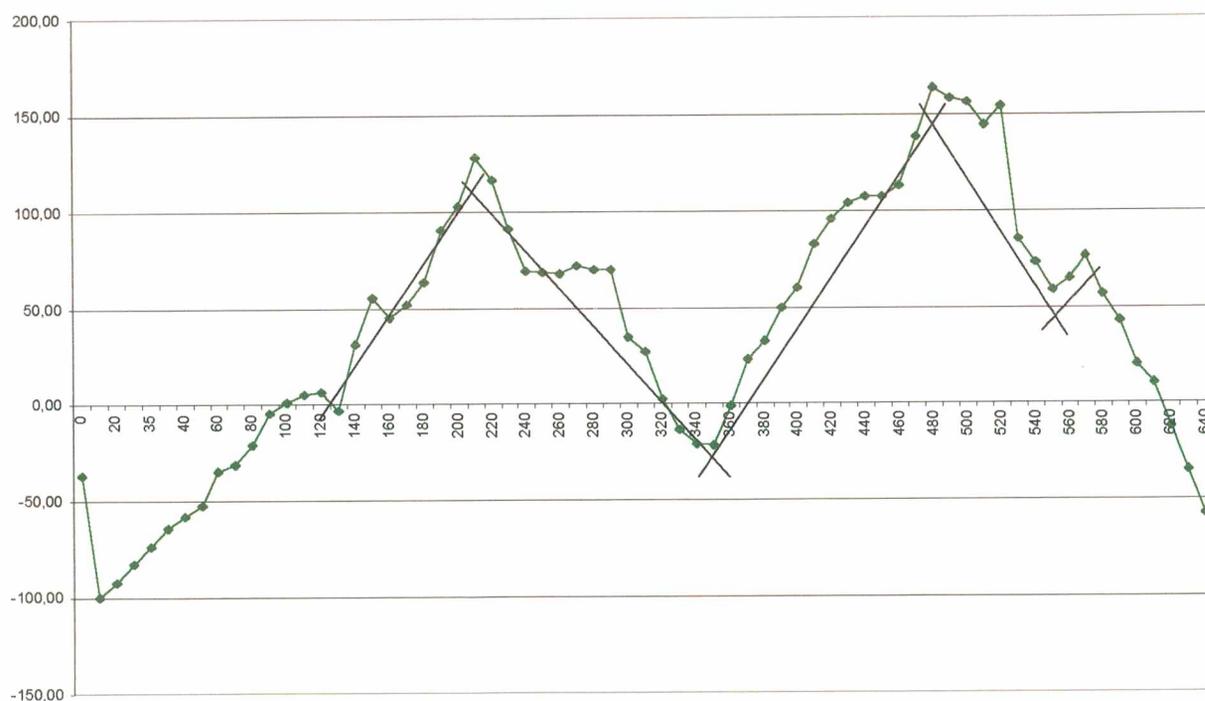
Esta metodologia (denominada "Analysis Unit Delineation by Cumulative Differences") vem sendo amplamente utilizada no meio rodoviário, justificando-se esta utilização de acordo com o que é apresentado na publicação da AASHTO (1993) devido à fácil adaptação para uma resolução por meio de computador e de análise gráfica.

A aplicação desta metodologia consta primeiramente da operacionalização da seguinte rotina de cálculo : determinação da média aritmética do parâmetro a ser utilizado, obtenção das diferenças entre os valores individuais e a média determinada e cálculo dos valores acumulados destas diferenças ao longo dos trechos.

Em seguida realiza-se o traçado de um gráfico onde se tem o referenciamento das distâncias ao longo dos trechos no eixo das abscissas e os seus respectivos valores acumulados das citadas diferenças no eixo das ordenadas (como é apresentado na Figura 2.2).

Consideram-se os limites entre um segmento com comportamento homogêneo e outro os pontos de inflexão das linhas que representam a variação das diferenças acumuladas (coordenadas dos eixos das ordenadas) no gráfico apresentado na Figura 2.2.

Esta metodologia pode ser aplicada a diversos parâmetros representativos de condições dos pavimentos, tais como, deflexões, índices de serventia, coeficientes de atrito da superfície, etc. Cabe ressaltar que no presente trabalho aplicou-se esta metodologia para as deflexões máximas medidas.



**Figura 2.2 - Exemplo de Divisão em Segmentos Homogêneos pelo Método das Diferenças Acumuladas (AASHTO, 1993)**

**b-) Procedimentos recomendados pelas normas do DNER para divisão em segmentos homogêneos**

A especificação de serviço DNER-ES 128/83 coloca que “a escolha dos sub-trechos homogêneos deve ser visualmente pelo engenheiro, não havendo necessidade de utilizar qualquer equipamento”. E, ainda que, um segmento homogêneo deve ter uma extensão entre

300 m e 20 km, e o número de segmentos homogêneos, dentro de um trecho unitário do PNV, pode variar de 1 a 9.

As normas rodoviárias para avaliação estrutural de pavimentos flexíveis DNER-PRO 10/79 e DNER-PRO 11/79 apresentam recomendações idênticas, colocando que estes segmentos devem ter entre 200 e 2000m, e considerando a análise dos seguintes parâmetros: variação das deflexões recuperáveis ; valores dos raios de curvatura ; constituição das camadas dos pavimentos existentes ; materiais que constituem o subleito; a natureza e a frequência dos defeitos verificados na superfície do revestimento da pista de rolamento.

Por outro lado as normas mais atuais do DNER para projetos de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos ( DNER-PRO 159/85 e DNER-PRO 269/94) diferem entre si somente na extensão máxima admitida para estes segmentos, enquanto para a primeira considera-se 3000m, para a segunda aceita-se uma extensão de até 7000m.

#### **2.5.1.2 – Avaliação dos Defeitos na Superfície do Pavimento**

A avaliação dos defeitos na superfície do pavimento, de acordo com o que é colocado na publicação da AASHTO (1993), representa uma medida básica e muito importante das condições do pavimento. E ainda, que “cada tipo de defeito é o resultado de uma ou mais causas, as quais quando conhecidas facilitam a definição dos serviços necessários de reabilitação (ou restauração) do pavimento”.

A avaliação de superfície de pavimentos “é uma atividade que, mediante, procedimentos padronizados de medidas e observações, permite inferir condições funcionais e estruturais dos pavimentos" ( MARCON, 1996).

A definição dos principais defeitos constatados em revestimentos asfálticos são apresentados no **Anexo A**, de acordo com o que estabelecem as normas DNER-TER-PRO 01/78 (DNER, 1978) e DNER-ES 128/83 (DNER,1983), bem como estão descritos no Manual de Procedimentos do Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC (1997).

Uma avaliação de defeitos na superfície de pavimentos “deve quantificar o tipo, a severidade e a extensão de cada tipo de defeito” ( HAAS et al. ,1994).

### 2.5.1.3 – Avaliação da Condição Estrutural do Pavimento

A condição estrutural de um pavimento é avaliada usualmente no meio rodoviário através da medição das deflexões recuperáveis (alguns autores preferem defini-las como deformações elásticas) na superfície dos pavimentos, utilizando aparelhos desenvolvidos especificamente para este fim .

Pode-se também avaliar a condição estrutural de um pavimento através da retirada de partes do pavimento para verificação das condições "in-loco" e obtenção de amostras para ensaios de laboratório (MARCON, 1996).

#### a-) Principais equipamentos utilizados na Medição das Deflexões

Os diversos equipamentos utilizados para a medição das deflexões recuperáveis são distinguidos por HAAS et al. (1994) em três grupos principais, de acordo com o tipo de carga que é aplicada na superfície do pavimento, assim sendo, equipamentos que aplicam cargas Estáticas, Vibratórias e por Impulso.

Dentre estes equipamentos, tem-se utilizado mais freqüentemente no Brasil a viga Benkelman e os equipamentos do tipo FWD ("Falling Weight Deflectometer").

A viga Benkelman enquadra-se como um equipamento que aplica cargas estáticas, pois mede as deflexões a partir do deslocamento da ponta da viga, que é colocada entre uma roda dupla de um caminhão com carga padrão de 8,2 t.

Os equipamentos do tipo FWD através da queda de pesos (com carga variável de um equipamento para outro) a uma altura determinada, permite a medição das deflexões a partir da geração dos impulsos e das reações do pavimento. Segundo é colocado na publicação "Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos" (DNER,1998) estes tipos de equipamentos tem como principal vantagem "a sua capacidade de simular, aproximadamente, as características de uma carga de tráfego transiente em termos de magnitude e freqüência, o que não ocorre no ensaio estático com Viga Benkelmann".

A avaliação da deflexão com equipamentos diferentes devem determinar uma comparação dos resultados, pois os resultados são, geralmente, diversos. Sendo assim, deve-se "conhecer a relação entre as medidas feitas por dois equipamentos na avaliação de um

mesmo pavimento", desta forma podem ser mantidos os resultados de uma série histórica obtidos em avaliações periódicas de pavimentos (MARCON, 1996).

Entretanto, de acordo com MEDINA et al. (1994) apud MARCON (1996), não existe, de uma maneira geral, uma relação única entre as deflexões medidas por diferentes equipamentos. E afirmam os mesmos autores que as correlações obtidas, por isso, devem ser utilizadas com o devido conhecimento das condições nas quais foram obtidas e consciência dos erros envolvidos.

#### **b-) Retroanálise de Bacias de Deformação para determinação de módulos de resiliência**

A retroanálise de bacias de deformação medidas em campo "baseia-se na interpretação da forma e da magnitude da deformação da superfície do pavimento (bacia de deformação) quando submetida a um determinado carregamento (ALBERNAZ et al., 1995).

Ainda, segundo estes autores, dois motivos básicos justificam o esforço empregado no desenvolvimento desta sistemática :

- a necessidade da obtenção dos módulos de resiliência dos materiais nas reais condições de campo, que são de difícil reprodução em laboratório ;
- a eliminação, ou, pelo menos, a minimização da necessidade de onerosas e perigosas coletas de amostras na pista .

A retroanálise utiliza conceitos gerais da Teoria da Elasticidade de BOUSSINESQ (1885) para os meios semi-infinitos, homogêneos, isotrópicos e linearmente elásticos, e nos estudos complementares de BARBER (1940), BURMISTER (1943), ODEMARK (1949), entre outros.

A operacionalização da retroanálise das bacias de deformação é feita por diversos programas computacionais, sendo que a grande maioria deles utiliza os conceitos citados no parágrafo anterior. Neste trabalho utilizaram-se os programa MODULUS e ELSYM 5, este último desenvolvido para análise de tensões e deformações na estrutura do pavimento.

Entre os principais procedimentos necessários para o desenvolvimento da retroanálise de bacias de deformação, são destacados por PITTA (1998):

- a *busca por Valores Modulares Iniciais* : para dar início ao processo iterativo, sendo que alguns programas determinam estes valores através de

regressões efetuadas com base nas deflexões medidas em campo ( o programa utilizado neste trabalho não o faz, sendo estes valores definidos pelo operador) ;

- a *adoção de um Critério para o Erro Admissível* : utilizam-se diversas técnicas matemáticas para o controle das diferenças entre as deflexões medidas e as calculadas, como a soma dos quadrados, soma das diferenças absolutas, etc ;
- o *Cálculo dos novos Valores Modulares* : necessário para a continuidade do processo iterativo, é um dos pontos onde os programas diferem entre si, utilizando-se alguns algoritmos (baseados no “Método de Newton” ou no “modelo de Hooke-Jeeves”) ou procedimentos matemáticos de interpolação;
- a *consideração das Relações Constitutivas* : alguns programas consideram a elasticidade linear, enquanto, que, outros consideram a não-linearidade dos materiais constituintes dos pavimentos (representando melhor suas propriedades);
- a *imposição ou não de Valores Limites para os Módulos obtidos para cada tipo de material* : sendo necessário o auxílio de um especialista em pavimentação ;
- a *utilização de Programas Específicos para o cálculo de Deflexões, Tensões e Deformações* : considerando que cada programa de retroanálise faz uso destes como parte integrante de sua sub-rotina de cálculo.

#### **2.5.1.4 – Determinação da Irregularidade**

A irregularidade é um tipo de degradação que engloba todas as distorções da superfície do pavimento, que podem provocar o deslocamento lateral e vertical do veículo. O deslocamento vertical é provocado pelas distorções longitudinais, sendo o principal fator de desconforto do usuário. O deslocamento lateral é gerado pelas curvas horizontais e pelas elevações transversais diferenciadas do pavimento (HAAS et.al, 1994).

As distorções da superfície são causadas pelas cargas do tráfego, que provocam deformações permanentes, por falhas construtivas, ou ainda, pela movimentação das camadas de fundação do pavimento (MARCON, 1996).

**a-) Equipamentos para a medição da Irregularidade :**

Os equipamentos utilizados na medição da irregularidade de um pavimento são agrupados, de acordo com HAAS et. al (1994), nos seguintes tipos :

- Medidores de Perfil da Superfície do Pavimento (ou Perfilômetros) - medem o perfil da superfície do pavimento de forma contínua ;
- Perfilógrafos – consiste de vários grupos de três rodas que registram as distorções da superfície do pavimento ;
- Medidores Tipo Resposta – a partir de sensores instalados em um veículo, medem a resposta deste às irregularidades da superfície do pavimento.

**b-) Escalas Representativas da Irregularidade**

Os equipamentos que avaliam a irregularidade de um pavimento realizam a medição do perfil longitudinal da superfície ou a resposta de um veículo às distorções desta (HAAS et. al, 1994).

Torna-se, então, necessária a transformação destas medições em uma escala representativa da irregularidade medida, para avaliação de sua grandeza.

As duas principais escalas utilizadas no Brasil para representar a irregularidade medida na superfície de um pavimento são o QI (“Quociente de Irregularidade”) e o IRI (“International Roughness Index”).

O Quociente de Irregularidade (QI) é um índice que expressa a irregularidade na unidade de contagens por quilômetro. O QI evolui na medida que os desvios da superfície tendem a se agravar, “motivados pela progressão de deformações plásticas em trilhas de roda, afundamentos e buracos presentes na superfície”, o que justifica uma avaliação periódica deste parâmetro (BALBO, 1997).

A correlação obtida entre o IRI e o QI é definida na equação 2.3.

$$\text{IRI} = \text{QI} / 13 \quad (2.3)$$

Para a definição da condição do pavimento em função da irregularidade, encontra-se na publicação “Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos” (DNER, 1998), os limites de IRI que constam na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2 – Condição do pavimento quanto à irregularidade (rodovias pavimentadas)**  
DNER (1998)

Condição	Boa	Regular	Ruim
IRI	1,0 – 3,5	3,5 – 4,5	> 4,5

## 2.5.2 - Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC

Os estudos e o conjunto de atividades para a concepção e a implantação do Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) do DER/SC foram iniciados em setembro de 1994, com o objetivo principal de dotar a administração de um instrumento de trabalho que lhe permitisse gerenciar a malha rodoviária com uma base técnica confiável, possibilitando ao corpo técnico do órgão tomar decisões com base em estratégias devidamente avaliadas e otimizadas, e em intervenções na malha rodoviária adequadamente priorizadas (DER/SC, 1997).

### 2.5.2.1 - Estrutura do Sistema de Gerência Implantado

O SGP do DER/SC, de acordo com o que apresenta-se em seu Manual de Procedimentos (DER/SC, 1997), foi concebido para funcionar com base em 4 subsistemas fundamentais : Subsistema de Informação (Banco de Dados - VISAGE), Subsistema de Avaliação de Estratégias (HDM III), Subsistema de Programação de Obras (PROG) e Subsistema de Acompanhamento (ACOMP).

#### a -) Subsistema de Informação (VISAGE)

O subsistema de informação é constituído por um banco de dados denominado VISAGE, desenvolvido na França, especialmente para funcionar com dados rodoviários. O VISAGE 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 Santa Catarina, 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.

### **b -) Subsistema de Programação de Obras (PROG)**

Este subsistema funciona com base nos dados que caracterizam os segmentos unitários armazenados no banco de dados VISAGE e nos resultados da avaliação de estratégias aplicadas aos segmentos 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 "nível de Alerta" - a partir do qual a rodovia deve ser colocada sob controle e deve ser objeto de uma programação de intervenção a curto ou a médio prazo ;
- um "nível de Intervenção" - quando atingido indica a necessidade de se proceder imediatamente a execução de serviços de manutenção, leves ou pesados, conforme o tipo de intervenção a adotar.

Neste estudo serão aplicadas as considerações destes níveis, em função das informações dos trechos aqui estudados, retiradas do banco de dados do SGP do DER/SC, com a finalidade de situar em que estado de conservação se encontram estes trechos.

Assim sendo, para melhor entendimento de como funciona o PROG , apresenta-se no **Anexo B** , um resumo das etapas para a aplicação deste subsistema.

### **c -) Subsistema de Acompanhamento (ACOMP)**

O 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.

Funciona a partir de uma série de três índices que são estabelecidos a partir da agregação de diferentes indicadores (defeitos, irregularidade, deflexão, etc.), que traduzem o melhor possível, o estado de conservação do pavimento e contribuem para a tomada de decisões.

Os índices permitem estabelecer cinco níveis que vão de péssimo a excelente . Obtém-se assim o Índice de Qualidade do Usuário (IQU), o Índice de Qualidade do

Patrimônio (IQP) e o Índice de Qualidade Global (IQG), sendo que o último índice é uma agregação dos dois primeiros índices.

A aplicação destes índices será feita neste estudo no capítulo 6 (item 6.3.1), constando um resumo das etapas para obtenção destes índices no **Anexo C**.

### 2.5.2.2 - Levantamentos e Auscultações das Degradações do Pavimento

Com base em parâmetros definidos para a caracterização da malha rodoviária, estabeleceram-se procedimentos sistemáticos para o levantamento e a auscultação destes parâmetros em cada trecho da rede.

No contexto do Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC foi definida uma política de auscultação sistemática dos parâmetros apresentados na Tabela 2.3, bem como a frequência com que devem ser realizados, para todas rodovias da rede do DER/SC.

**Tabela 2.3 – Frequência das auscultações do SGP - DER/SC**

DER/SC (1997)			
	<b>Degradação do Pavimento a ser levantada</b>		
	<b>Defeitos da superfície</b>	<b>Medição da irregularidade</b>	<b>Medição da deflexão</b>
<b>Frequência</b>	a cada 2 anos	a cada 4 anos	a cada 4 anos

A seguir são descritos os procedimentos recomendados para o desenvolvimento da auscultação dos parâmetros apresentados na Tabela 2.3.

#### a-) Levantamentos dos Defeitos da Superfície

Estes levantamentos deverão ser feitos com base em um reconhecimento visual dos pavimentos. Tendo em vista que é difícil manter sempre a mesma pessoa de fazer o levantamento e, desta forma, para que os critérios utilizados não diferenciem-se muito de um trecho para outro ou de uma série de levantamentos para outra, foi estabelecido um catálogo de defeitos (apresentado no Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC).

Estes levantamentos devem ser feitos de uma forma contínua, em uma mesma rodovia, em um mesmo trecho e somente em um sentido de tráfego para as rodovias de pista simples.

Além do reconhecimento visual dos defeitos ao longo de uma faixa da rodovia, devem ser anotados as extensões, o tipo e a gravidade da degradação.

Com a finalidade de tornar viável este levantamento contínuo ao longo de toda a malha rodoviária abrangida pelo DER/SC, decidiu-se por utilizar o aparelho “*Desyroute*” que permite um levantamento mais rápido e um tratamento informatizado dos dados.

Este aparelho é um sistema assistido por computador, que é embarcado em um veículo especialmente adaptado para a coleta de informações observadas visualmente por um operador. Permite ao operador registrar as informações através de dois teclados, a medida que ele vai se deslocando sobre a rodovia, e simultaneamente a extensão linear de cada dado é automaticamente registrada por um sensor colocado no cabo do velocímetro na saída da caixa de câmbio, que envia os pulsos para o “*Desyroute*”.

Para cada nível de degradação, o “*Desyroute*” faz automaticamente a soma de todos os comprimentos onde essa degradação foi anotada e calcula automaticamente o percentual de extensão degradada para o segmento unitário de 200 m. Para as degradações pontuais, o “*Desyroute*” faz a soma do número de vezes em que a degradação é lida e a integra no comprimento do segmento unitário de 200 m.

Os principais procedimentos e critérios utilizados pelo SGP do DER/SC para levantamento dos defeitos de superfície são apresentados no **Anexo D**.

#### **b-) Medição da Irregularidade**

No contexto do Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC, a medição da irregularidade é feita na faixa onde foram levantadas as degradações e, à semelhança dos outros tipos de levantamentos, devendo ser medida em cada segmento unitário de 200 m.

O aparelho indicado para a medição da irregularidade é o do tipo resposta Integrador IPR/USP.

O resultado da medição da irregularidade é usualmente apresentado no banco de dados deste SGP sob a forma do índice denominado IRI (“International Roughness Index”).

### *c-) Medição da Deflexão*

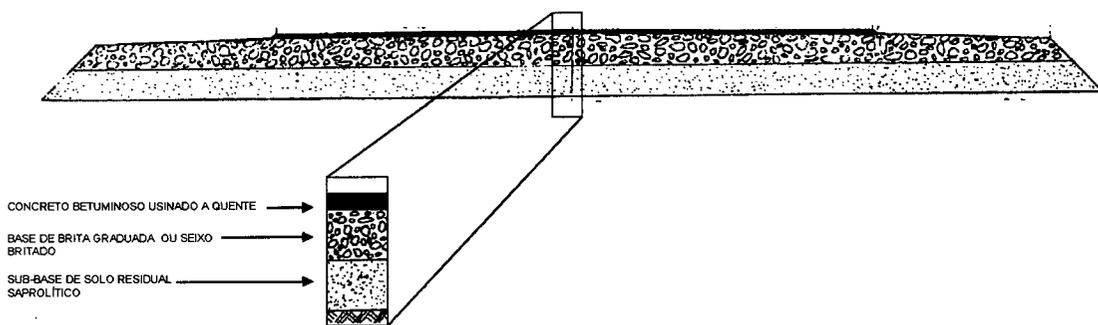
Recomenda-se fazer as medições da deflexão na faixa (ou nas duas faixas quando for o caso) onde foram levantados os defeitos.

É efetuada uma medida de deflexão em cada segmento unitário de 200 m, geralmente, no meio do segmento unitário.

A medição da deflexão dentro do SGP do DER/SC era medida, até os levantamentos realizados no ano de 1990, com a viga Benkelman. A partir dos levantamentos realizados no ano de 1995, passou a ser utilizado o FWD (“Falling Weight Deflectometer”) modelo KUAB, que é de fabricação sueca, e aplica cargas de 1361 kg até 6351,4 kg.

### 3. IDENTIFICAÇÃO DOS TRECHOS RODOVIÁRIOS ESTUDADOS

O estudo aqui realizado abrange a avaliação de 7 trechos rodoviários que apresentam pavimentos flexíveis com estruturas semelhantes, ou seja, camada de revestimento executada com Concreto Asfáltico Usinado a Quente (C.A.U.Q), camada de base com Brita Graduada Simples (BGS) e camada de sub-base e/ou reforço do subleito com solo residual saprolítico , de acordo com o perfil mostrado na Figura 3.1 .



**Figura 3.1 - Perfil Esquemático das Estruturas dos Pavimentos Estudados**

Os trechos que foram objeto de estudo deste trabalho são apresentados na Tabela 3.1 , bem como as rodovias em que situam-se e suas respectivas extensões.

**Tabela 3.1 - Apresentação dos Trechos abrangidos na Pesquisa**

Trecho	Rodovia	Extensão (km) *
1-) Armazém - Gravatal	SC 431	8,347
2-) Gravatal - Braço do Norte	SC 438	13,290
3-) Braço do Norte - São Ludgero	SC 438	6,880
4-) Urussanga - Orleans	SC446	18,700
5-) Treze de Maio - Entroncamento BR 101	SC 441	12,946
6-) Imaruí - Entroncamento BR 101	SC 437	22,720
7-) Urussanga - Criciúma	SC 446	16,890

\* Observação : de acordo com o referenciamento utilizado pelo Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC.

As estruturas dos pavimentos executadas nos trechos rodoviários estudados são apresentadas na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2 – Estruturas dos Pavimentos (Dados de Execução)**

Trecho	Estrutura da Pista ( materiais e espessuras )			
	Revestimento (cm)	Base (cm)	Sub-base (cm)	Reforço (cm)
Armazém - Gravatal	CAUQ (5,0)	BGS (16,0)	SRS (18,0)	-
Gravatal - Braço do Norte	CAUQ (5,0)	BGS (24,0)	-	SRS (14,1)
Braço do Norte - S.Ludgero	CAUQ (5,0)	BGS (24,0)	-	SRS (14,1)
Urussanga - Orleans	CAUQ (5,0)	BGS (15,0)	SRS (21,0)	-
Treze de Maio - BR 101	CAUQ (4,5)	BGS (17,0)	SRS (20,0)	-
Imaruí - BR 101	CAUQ (4,0)	BGS (10,0)	-	SRS (10,0)
Urussanga - Criciúma (1)	CAUQ (5,3)	BGS (19,0)	SRS (44,0)	-
Urussanga - Criciúma (2)	CAUQ (5,2)	BGS (20,0)	SRS (55,0)	-

LEGENDA: CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado à Quente);  
 BGS (Brita Graduada Simples);  
 SRS (Solo Residual Saprolítico).

Cabe ressaltar que para dois trechos abrangidos pelo estudo tem-se sub-trechos executados com outros materiais como camada de sub-base e /ou reforço do subleito, são estes :

- Urussanga – Orleans, que apresenta um sub-trecho (do km 0 ao km 11+380 ) com sub-base consituída por camada de seixo rolado bruto.
- Imaruí – BR 101, que apresenta um sub-trecho (do km 4+858 ao km 18+860 ) com reforço do subleito executado com areia de granulometria fina.

Resolveu-se manter estes sub-trechos dentro do estudo realizado com a perspectiva de se realizar uma análise comparativa direta com os outro sub-trechos dos referidos trechos rodoviários, que apresentam condições de tráfego praticamente idênticas e tendo como maior diferencial na estrutura do pavimento, justamente, o material que constitui a sub-base e/ou reforço do subleito. Ou seja, nestes trechos podem ser realizadas análises comparativas entre sub-trechos executados com materiais distintos nas camadas de sub-base e/ou reforço do subleito, sob condições externas iguais (tráfego e clima).

Estes trechos estão localizados ( de acordo com o que apresenta-se no item 3.1 e como será melhor abordado no item 3.2) em uma região que apresenta solos com comportamentos semelhantes como material de subleito.

### 3.1 Localização dos Trechos

Todos os trechos abrangidos por este trabalho situam-se na região sul do Estado de Santa Catarina, como pode ser visualizado na Figura 3.2.

### 3.2 Características Geológicas da Região :

A caracterização geológica dos trechos em estudo, apresentada a seguir, foi efetuada a partir de estudos realizados para os projetos de engenharia para implantação dos pavimentos, e, de inspeções de campo efetuadas nos trechos.

De um modo geral, verifica-se ao longo dos locais onde situam-se os trechos, uma predominância de material de origem granítica do grupo Pedras Grandes (formação Imaruí), apresentando-se normalmente com granulometria grosseira e com coloração variando de rósea (clara e avermelhada ) até cinza.

Esta região apresenta materiais constituídos basicamente por rochas de embasamento, que apresentam como parâmetros de comportamento em serviços de pavimentação rodoviária um Índice de Suporte Califórnia (ISC)  $\geq 9\%$  e expansão  $< 2\%$ , apresentando-se, assim, satisfatórios para material de subleito (MARCON, 1996).

Nos trechos Armazém - Gravatal, Gravatal - Braço do Norte e Braço do Norte - São Ludgero, verifica-se a presença de depósitos de areias, argilas e cascalhos inconsolidados.

Na região situada próxima aos trechos Urussanga - Orleans e Urussanga - Criciúma, verificam-se, também, ocorrências sedimentos do Grupo Itararé tilitos, sedimentos da várzea do rio Tubarão e sedimentos de guatar com arenitos da formação Rio Bonito (apresentando ocorrências de rochas Basálticas da formação Serra Geral).

Ao longo do trecho Treze de Maio - BR 101, observa-se, também, a presença de sedimentos Gonduânicos (grupo Itararé) - siltitos argilosos com areia muito fina e sedimentos recentes de composição arenosa nas planície dos rios.

Próximo ao trecho Imaruí - BR 101 ocorrem depósitos de aluviões recentes (planícies alagadiças) e areias finas de dunas (em um provável antigo terreno costeiro).

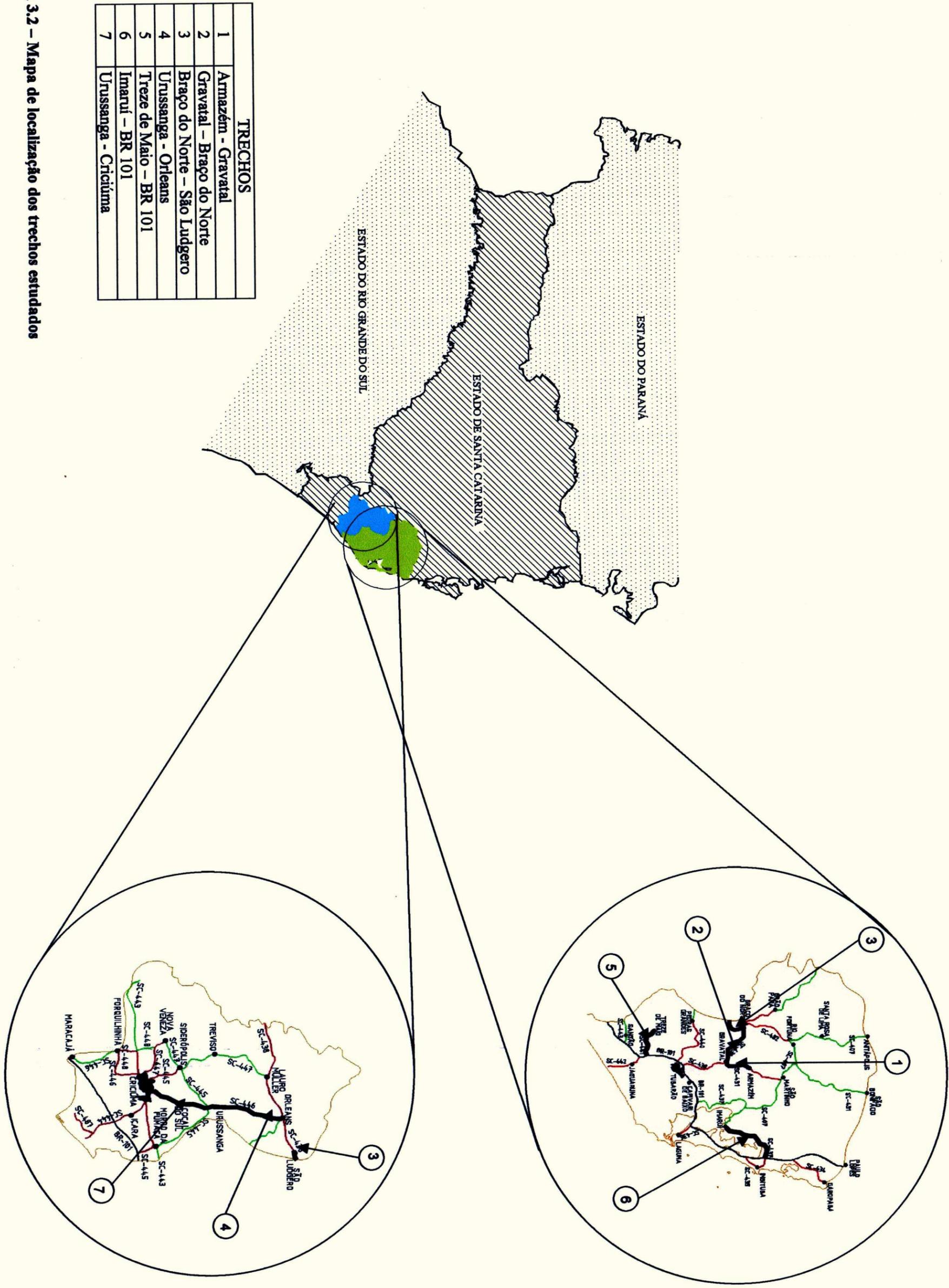


Figura 3.2 – Mapa de localização dos trechos estudados

### 3.3 Implantação dos Trechos

Os Projetos Finais de Engenharia para a implantação de pavimento nos trechos estudados foram elaborados nas épocas apresentadas na Tabela 3.3, juntamente com os períodos de projeto (a vida de projeto dos pavimentos a partir da abertura dos trechos ao tráfego), e , os anos em que foram efetivadas as aberturas dos pavimentos implantados ao tráfego de veículos.

**Tabela 3.3 - Informações sobre a Implantação dos Pavimentos**

TRECHO	PROJETO DE IMPLANTAÇÃO (MÊS / ANO)	PERÍODO DE PROJETO (ANOS)	ANO DE ABERTURA AO TRÁFEGO
Armazém - Gravatal	Janeiro / 80	10	1982
Gravatal - Braço do Norte	Novembro / 74	20	1978
Braço do Norte - São Ludgero	Novembro / 74	20	1978
Urussanga - Orleans	Janeiro / 76	15	1981
Treze de Maio - Entroncamento BR 101	Dezembro / 80	10	1985
Imaruí - Entroncamento BR 101	Janeiro / 81	10	1986
Urussanga - Criciúma	Outubro / 74	10	1978

### 3.4 Características do Clima

O clima ao longo da região que abrange os trechos é caracterizado como mesotérmico úmido, sem estação seca e com verão quente, estando pela classificação Koeppen dentro da tipologia *Cfa* . As características de cada um dos trechos, relacionadas à temperatura média anual e à precipitação pluviométrica anual, bem como os postos pluviométricos e estações meteorológicas cujos dados foram obtidos, são apresentados na Tabela 3.4.

Como pode-se observar na Tabela 3.4, apesar de todos os trechos apresentarem os valores dos parâmetros apresentados muito próximos , observa-se com base nos dados mais atuais, que o trecho Treze de Maio - BR 101 apresenta a maior média anual de precipitação pluviométrica (1798,1 mm), enquanto, que o trecho Armazém - Gravatal apresenta a menor ( 1157,7 mm). Com relação a temperatura média anual, observa-se tanto pelos dados mais atuais (obtidos junto ao CLIMERH, órgão responsável pela coleta e apresentação de dados climáticos no Estado de Santa Catarina), quanto pelos dados de 1986 do GAPLAN apud MARCON(1996), que o trecho Imaruí - BR 101 apresenta a maior média (entre 19,5 e 20,5), no entanto estando muito próxima das temperaturas médias observadas nos demais trechos.

Tabela 3.4 – Dados de Clima

	Inform. de Projetos	Informações contidas no GAPLAN (1986) apud MARCON (1996)			Informações mais atualizadas obtidas junto CLIMERH						
		P.P.A. (mm)	P.P.A. (mm)	T.M.A. (°C)	Estação Meteorolog.	P.P.A. (mm)	Período	Posto Pluviom. (Capivari)	T.M.A. (°C)	Período	Estação Meteorolog
TRECHO											
Armazém - Gravatal	1400,0	1530,0	18,3	Orleans	1157,7	1990-1997	Armazém (Capivari)	19,66	1990-1997	Urussanga	
Gravatal - B. Norte	1219,0	1530,0	18,3	Orleans	1579,0	1990-1997	S.Ludgero	19,66	1990-1997	Urussanga	
B. Norte - S.Ludgero	1219,0	1530,0	18,3	Orleans	1579,0	1990-1997	S.Ludgero	19,66	1990-1997	Urussanga	
Urussanga - Orleans	1438,0	1474,9	19,0	Urussanga	1500,0	1990-1998	Urussanga	19,66	1990-1997	Urussanga	
Treze de Maio - BR 101	1592,0	1474,9	19,0	Urussanga	1798,1	1990-1997	Tubarão	19,66	1990-1997	Urussanga	
Imaruí - BR 101	1337,0	1387,5	19,5	Laguna	*	*	Laguna	20,51	1980-1985	Laguna	
Urussanga - Criciúma	1500,0	1474,9	19,0	Urussanga	1500,0	1990-1997	Urussanga	19,66	1990-1997	Urussanga	

LEGENDA :

P.P.A. = Precipitação Pluviométrica Anual ;

T.M.A. = Temperatura Média Anual .

\* Observação : para este Posto Pluviométrico não tem-se informações disponíveis neste período.

## 4. AVALIAÇÃO DO TRÁFEGO

De acordo com o que é proposto pela metodologia desta pesquisa, realizar-se-á ao longo deste capítulo, uma avaliação do impacto do tráfego no desempenho dos pavimentos dos trechos estudados a partir das seguintes análises :

- composição do tráfego que circula nas rodovias, a partir de todas as contagens volumétricas efetuadas (antes e após a implantação dos pavimentos);
- comparativo das taxas de crescimento utilizadas nos Projetos de Engenharia para a Previsão do Tráfego Futuro e o crescimento efetivo do tráfego observado pelas contagens realizadas ; e
- comparativo dos números N estimados pelo projeto e calculados a partir de contagens volumétricas realizadas ;

### 4.1 - Composição do Tráfego

A análise da composição do tráfego baseou-se nas contagens volumétricas classificatórias realizadas para :

- os estudos dos Projetos Finais de Engenharia ;
- os Anuários Estatísticos de Tráfego do DER/SC dos anos de 1978, 1980 a 1989 e 1992 a 1998 ;
- um relatório apresentado pela empresa de consultoria APPE para o DER-SC em 1991 ;
- o SGP do DER-SC nos anos de 1995 e 1997 ; e
- estudos de Projetos de Restauração .

Não constam nos Anuários Estatísticos contagens referentes ao trecho Gravatal - Braço do Norte, no qual não há um posto de contagem, tendo sido o volume e a composição do tráfego deste trecho para o ano de 1978 e entre 1980 e 1989, estimado a partir das contagens realizadas nestes anos para os trechos Braço do Norte - São Ludgero e Tubarão-

Gravatal (este último não faz parte dos trechos abrangidos nesta dissertação) que interligam-se com as duas extremidades do referido trecho, constituindo a rodovia SC-438.

#### **4.1.1 – Tráfego Médio Diário Anual (TMDA)**

Observa-se na Tabela 4.1 que os trechos que apresentaram os maiores Tráfegos Médios Diários Anuais (TMDA) na contagem realizada pelos estudos para os Projetos Finais de Engenharia foram os 2 sub-trechos do trecho Urussanga - Criciúma (Cocal do Sul – Criciúma e Urussanga-Cocal do Sul) e os trechos Gravatal-Braço do Norte e Braço do Norte-São Ludgero. Estes mesmos trechos apresentam, também, os maiores TMDA nas últimas contagens realizadas para os Anuários Estatísticos de Tráfego e para o SGP do DER-SC, como pode ser observado na Tabela 4.1.

#### **4.1.2 – Percentual de Veículos de Carga Pesados**

O percentual de veículos de carga pesados (caminhões compostos por no mínimo 3 eixos), levando-se em conta a média desde a contagem realizada nos estudos dos Projetos Finais de Engenharia até as últimas contagens dos Anuários Estatísticos (de 1997 e 1998) e do SGP do DER/SC (de 1997), são apresentados na Tabela 4.2 para dois intervalos de tempo considerados:

- durante a década de 80 a partir da abertura do trecho ao tráfego, e ;
- durante o transcorrer da década de 90 até as últimas contagens realizadas.

Observa-se ao longo das contagens realizadas (Tabela 4.1), que este percentual varia bastante em todos os trechos, provavelmente devido às diferentes épocas do ano em que estas foram realizadas, e/ou devido a fatores de ordem econômica nas regiões de influência dos trechos aqui estudados.

Todavia, faz-se necessária esta identificação dos trechos com maior percentual médio de veículos de carga pesados (caminhões pesados, reboques e semi-reboques), pois estes acarretam danos consideravelmente maiores à estrutura dos pavimentos flexíveis.

Tabela 4.1 – Evolução do TMDA (VMDA) e composição do tráfego

TRECHO	Veículos Médios Diários Anuais (VMDA)																					
	Evolução anual à partir da abertura ao tráfego**																					
PFE*	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
Armazém - Gravatal	380	-	-	-	781 <sup>[2]</sup>	915 <sup>[2]</sup>	1048 <sup>[2]</sup>	1182 <sup>[2]</sup>	1202 <sup>[2]</sup>	1221 <sup>[2]</sup>	1022 <sup>[2]</sup>	973 <sup>[2]</sup>	1115 <sup>[2]</sup>	1257 <sup>[2]</sup>	1593 <sup>[2]</sup>	1849 <sup>[2]</sup>	1907 <sup>[2]</sup>	1965 <sup>[2]</sup>	1865 <sup>[2]</sup>	2092 <sup>[2]</sup>	-	
Gravatal - Braço do Norte***	911	1569 <sup>[1]</sup>	2001 <sup>[2]</sup>	2434 <sup>[1]</sup>	2683 <sup>[2]</sup>	2379 <sup>[1]</sup>	2429 <sup>[1]</sup>	2210 <sup>[1]</sup>	2383 <sup>[1]</sup>	2840 <sup>[1]</sup>	2871 <sup>[1]</sup>	3120 <sup>[1]</sup>	3305 <sup>[1]</sup>	2827 <sup>[2]</sup>	2350 <sup>[2]</sup>	3154 <sup>[2]</sup>	4763 <sup>[2]</sup>	4751 <sup>[2]</sup>	4739 <sup>[2]</sup>	4727 <sup>[2]</sup>	-	
Braço do Norte - S. Ludgero	718	1112 <sup>[1]</sup>	1708 <sup>[2]</sup>	2303 <sup>[1]</sup>	2373 <sup>[1]</sup>	2039 <sup>[1]</sup>	2307 <sup>[1]</sup>	2190 <sup>[1]</sup>	2401 <sup>[1]</sup>	2697 <sup>[1]</sup>	2877 <sup>[1]</sup>	3075 <sup>[1]</sup>	3567 <sup>[1]</sup>	2959 <sup>[2]</sup>	2350 <sup>[2]</sup>	4454 <sup>[1]</sup>	4071 <sup>[2]</sup>	3782 <sup>[1]</sup>	4981 <sup>[1]</sup>	5228 <sup>[1]</sup>	-	
Urussanga - Orleans	613	-	-	1130 <sup>[2]</sup>	1216 <sup>[2]</sup>	1302 <sup>[2]</sup>	1389 <sup>[2]</sup>	1475 <sup>[2]</sup>	1561 <sup>[1]</sup>	1702 <sup>[1]</sup>	1877 <sup>[1]</sup>	1884 <sup>[1]</sup>	1913 <sup>[2]</sup>	1941 <sup>[2]</sup>	2609 <sup>[1]</sup>	2538 <sup>[1]</sup>	2744 <sup>[2]</sup>	3401 <sup>[2]</sup>	4183 <sup>[1]</sup>	3051 <sup>[1]</sup>	3679 <sup>[1]</sup>	
Treze de Maio - BR 101	185	-	-	-	-	-	-	492 <sup>[2]</sup>	553 <sup>[1]</sup>	593 <sup>[1]</sup>	603 <sup>[1]</sup>	821 <sup>[1]</sup>	836 <sup>[2]</sup>	851 <sup>[2]</sup>	912 <sup>[1]</sup>	900 <sup>[1]</sup>	971 <sup>[2]</sup>	1042 <sup>[1]</sup>	1303 <sup>[1]</sup>	1144 <sup>[1]</sup>	-	
Imaruí - BR 101	418	-	-	-	-	-	-	-	929 <sup>[1]</sup>	607 <sup>[1]</sup>	882 <sup>[1]</sup>	1250 <sup>[1]</sup>	1170 <sup>[2]</sup>	1090 <sup>[2]</sup>	1184 <sup>[1]</sup>	1701 <sup>[1]</sup>	1463 <sup>[2]</sup>	1344 <sup>[2]</sup>	2049 <sup>[1]</sup>	2100 <sup>[1]</sup>	-	
Urussanga - Criciúma ****																						
***[a]	911	-	2147 <sup>[1]</sup>	1943 <sup>[1]</sup>	2245 <sup>[1]</sup>	2312 <sup>[1]</sup>	1615 <sup>[1]</sup>	2089 <sup>[1]</sup>	1985 <sup>[1]</sup>	2315 <sup>[1]</sup>	2690 <sup>[1]</sup>	2530 <sup>[1]</sup>	3646 <sup>[2]</sup>	4398 <sup>[1]</sup>	4389 <sup>[1]</sup>	4813 <sup>[1]</sup>	5128 <sup>[1]</sup>	5128 <sup>[1]</sup>	7458 <sup>[1]</sup>	6034 <sup>[1]</sup>	-	
***[b]	1.284	-	3042 <sup>[1]</sup>	2774 <sup>[1]</sup>	3172 <sup>[1]</sup>	3224 <sup>[1]</sup>	2251 <sup>[1]</sup>	2914 <sup>[1]</sup>	2780 <sup>[1]</sup>	3243 <sup>[1]</sup>	3752 <sup>[1]</sup>	3529 <sup>[1]</sup>	3588 <sup>[2]</sup>	5583 <sup>[1]</sup>	5567 <sup>[1]</sup>	6082 <sup>[1]</sup>	6488 <sup>[1]</sup>	6488 <sup>[1]</sup>	7208 <sup>[1]</sup>	7540 <sup>[1]</sup>	7921 <sup>[1]</sup>	

Observações:

\* Efetuado nos seguintes anos

- Armazém - Gravatal 1979
- Gravatal - Braço do Norte 1973
- Braço do Norte - S.Ludgero 1973
- Urussanga - Orleans 1975
- Treze de Maio - BR 101 1980
- Imaruí - BR 101 1980
- Urussanga - Criciúma 1974

\*\* Obtido a partir de :

- [1] Dados de contagens volumétricas para Anuários Estatísticos do DER/SC
- [2] Dados estimados a partir de contagens dos anos mais próximos
- [3] Dados de contagens volumétricas realizados pela empresa APPE para o DER/SC em 1991
- [4] Dados de contagens volumétricas para Projetos de Restauração
- [5] Dados de contagens volumétricas para o SGP do DER/SC
- [6] Média de dados de contagens volumétricas realizadas para Projeto de Restauração, SGP e Anuário Estatístico.
- [7] Média de dados de contagens volumétricas realizadas para SGP e Anuário Estatístico.
- [8] Média de dados de contagens volumétricas realizadas para Projeto de Restauração e Anuário Estatístico.

\*\*\* Como nestes trechos não haviam postos de contagem volumétrica para os levantamentos do Anuário Estatístico obtiveram-se seus TMDA a partir de :

- Gravatal - Braço do Norte : média das contagens dos trechos Tubarão - Gravatal e Gravatal - Braço do Norte
- Urussanga - Cocal do Sul : relação dos volumes de tráfego entre este sub-trecho e o sub-trecho Cocal do Sul - Criciúma apresentados no Projeto Final de Engenharia , no Projeto de Restauração (1995) e no banco de dados do SGP do DER/SC (1996 e 1997).

\*\*\*\* Para os sub-trechos :

- [a] Urussanga - Cocal do Sul
- [b] Cocal do Sul - Criciúma

**Tabela 4.2 – Percentuais Médios de Veículos de Carga Pesados**

<b>DÉCADA DE 80</b>		<b>DÉCADA DE 90 (até 1998)</b>	
<b>TRECHO</b>	<b>Percentual médio de veículos de carga pesados</b>	<b>TRECHO</b>	<b>Percentual médio de veículos de carga pesados</b>
Armazém - Gravatal	15,2 %	Gravatal - B. Norte	14,4 %
Braço do Norte - S.Ludgero	13,5 %	B. Norte - S. Ludgero	10,5 %
Gravatal - Braço do Norte	13,0 %	Cocal do Sul - Criciúma	10,0 %
Cocal do Sul - Criciúma	10,9 %	Urussanga - Orleans	9,7 %
Urussanga - Cocal do Sul	9,5 %	Armazém - Gravatal	9,2 %
13 de Maio - BR 101	8,3 %	13 de Maio - BR 101	9,0 %
Urussanga - Orleans	6,3 %	Urussanga - Cocal do Sul	8,3 %
Imaruí - BR 101	2,9 %	Imaruí - BR 101	3,8 %

São de relevante importância os dados de pesagem dos veículos para a verificação das conseqüências de possíveis excessos de carga na deterioração do pavimento. Entretanto, não vem sendo utilizada no Estado de Santa Catarina uma política de pesagem sistemática dos veículos de carga, o que impossibilita esta avaliação.

## **4.2- Taxas de Crescimento Anuais Estimadas e Observadas**

Através de dados incluídos nos Projetos Finais de Engenharia e coletados durante contagens periódicas foi possível comparar as taxas de crescimento estimadas e observadas nos trechos estudados.

### **4.2.1 - Taxas de Crescimento Utilizadas em Projetos**

As taxas de crescimento anuais utilizadas pelos estudos de tráfego realizados nos Projetos Finais de Engenharia para a previsão do tráfego futuro constam na Tabela 4.3.

### **4.2.2 - Taxas de Crescimento Observadas**

Para a análise do crescimento efetivo dos volumes de cada um dos tipos de veículos discriminados pelas contagens volumétricas ao longo da vida útil do pavimento, consideraram-se os percentuais anuais de crescimento observados a partir das contagens realizadas para os estudos dos Projetos Finais de Engenharia até o último ano de avaliação.

Para a análise das taxas percentuais anuais de crescimento do tráfego, foram considerados os dois intervalos de tempo adotados na avaliação do item 4.1.2.

**Tabela 4.3 – Taxas de Crescimento Anuais do Tráfego utilizadas nos projetos**

Trechos	Taxas por Veículo (% a.a.)		
	Automóveis	Ônibus	Caminhões
Armazém – Gravatal	5,9	3,9	4,8
Gravatal – Braço do Norte			
(ano 0 ao 10)	14,0	7,0	7,0
(ano 10 ao 20)	10,0	7,0	7,0
Braço do Norte – São Ludgero			
(ano 0 ao 10)	14,0	7,0	7,0
(ano 10 ao 20)	10,0	7,0	7,0
Urussanga – Orleans			
(tráfego local)	8,0	4,0	4,0
(tráfego longa distância)	7,3	4,0	4,0
Treze de Maio – BR 101 *	-	3,8	6,05
Imaruí – BR 101 *	-	0	3,44
Urussanga - Criciúma	10,94	10,94	10,94

\* Nota : não fez-se uma análise do crescimento de automóveis para estes trechos no projeto

Apresentam-se, assim, na Tabela 4.4 para estes intervalos de tempo, as taxas (t) de crescimento anuais médias observadas para automóveis, ônibus, caminhões médios, caminhões pesados e reboques e semi-reboques.

Pode-se observar na Tabela 4.4, principalmente para caminhões, reboques e semi-reboques, que para a maior parte dos trechos as taxas de crescimento consideradas nos projetos foram inferiores às taxas de crescimento observadas, como destaca-se nos números em negrito.

Nos gráficos apresentados na Figura 4.1, são ilustradas de forma comparativa as taxas anuais de crescimento utilizadas nos Projetos de Engenharia (Estimadas) e as taxas anuais de crescimento observadas a partir das contagens volumétricas do tráfego de veículos. Verifica-se, que as taxas médias de crescimento observadas para os veículos mais pesados são na maioria dos trechos superiores ao dobro das taxas de crescimento consideradas em projetos.

O trecho Urussanga-Criciúma é o que apresenta valores mais próximos entre as referidas taxas, principalmente durante a década de 80, demonstrando uma previsão de tráfego no projeto mais próxima do crescimento real observado, apresentando inclusive taxas menores que as de projeto. O trecho Gravatal-Braço do Norte também apresenta taxas de crescimento efetivas próximas as determinadas em projeto durante este período.

Tabela 4.4 – Taxas de Crescimento Anuais Médias observadas

TRECHO	Automóveis		Ônibus		Caminhões médios		Caminhões pesados		Reboques e Semi-Reboques	
	Dec. 80	Dec. 90	Dec. 80	Dec. 90	Dec. 80	Dec. 90	Dec. 80	Dec. 90	Dec. 80	Dec. 90
Armazém - Gravatal	9,2	11,1	-3,3	10,1	6,8	3,9	7,1	6,9	-1,7	19,4
Gravatal - Braço do Norte	8,2	10,4	3,4	2,7	6,5	8,0	6,3	14,6	10,4	33,7
Braço do Norte – S. Ludgero	10,7	10,7	7,3	6,4	12,8	12,2	13,4	31,1	30,2	85,5
Urussanga – Orleans	5,6	10,9	0,3	6,4	12,7	2,5	10,1	36,8	19,8	27,2
Treze de Maio – BR 101	12,9	5,8	12,0	0,3	15,7	2,8	12,7	33,2	60,8	29,6
Imaruí – BR 101	9,2	12,0	17,9	19,9	15,2	3,8	39,6	18,4	21,9	64,1
Urussanga – Cocal do Sul	3,2	15,0	4,6	6,9	11,3	13,4	-3,5	25,2	13,1	16,7
Cocal do Sul – Criciúma	3,2	12,9	4,6	4,5	11,3	-3,7	-3,5	14,5	13,1	14,7

## Observações :

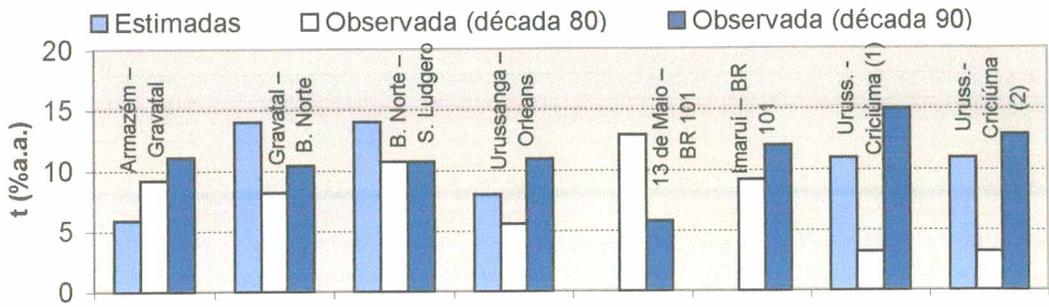
\* valores negativos indicam um decréscimo no volume da categoria de veículos indicada para o períodos em questão ;

\*\* as taxas de crescimento em negrito são aquelas que foram superiores as taxas consideradas em projeto.

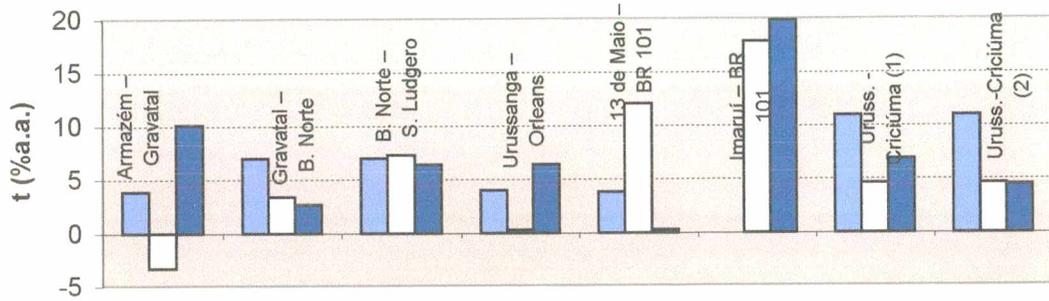
### 4.3 - Número N Projeto x Número N observado

Torna-se de grande importância a avaliação do número equivalente de operações do eixo simples padrão (N) ocorrido entre a abertura dos trechos ao tráfego e o ano das últimas contagens realizadas para os Anuários Estatísticos de Tráfego do DER/SC, com a finalidade de se avaliar em que ano foi atingido o N acumulado previsto nos projetos de dimensionamento dos trechos.

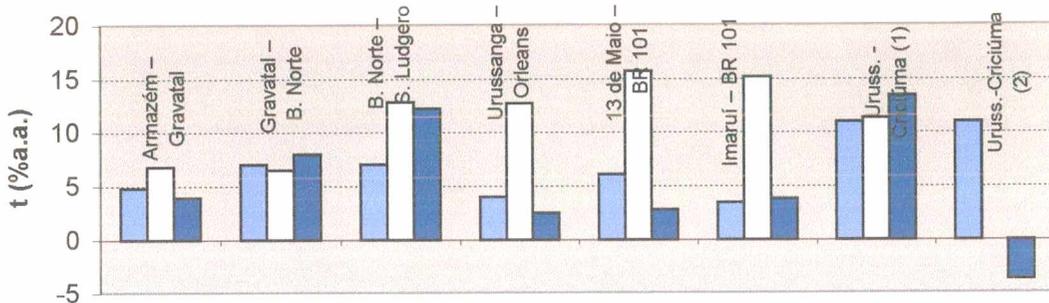
A determinação do ano em que o N de projeto foi atingido, define a partir de que ano a estrutura do pavimento passou a ser solicitada acima do valor para o qual foi dimensionada, que dentro de uma política adequada de manutenção definiria o momento propício para a execução de uma intervenção de maior porte neste pavimento para reabilitação da capacidade estrutural.



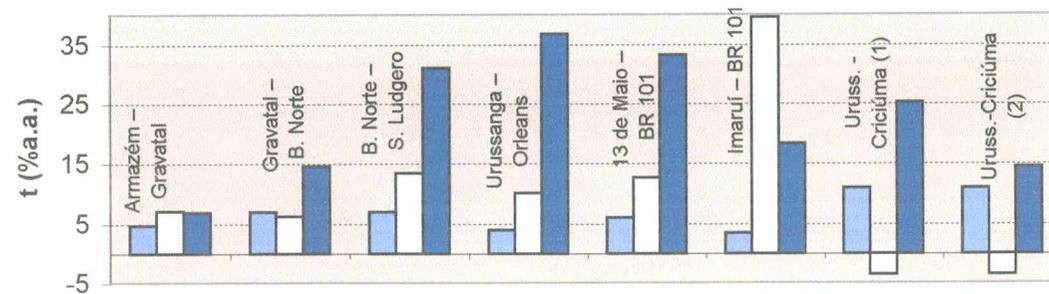
(a) Taxas de crescimento (t) para Automóveis



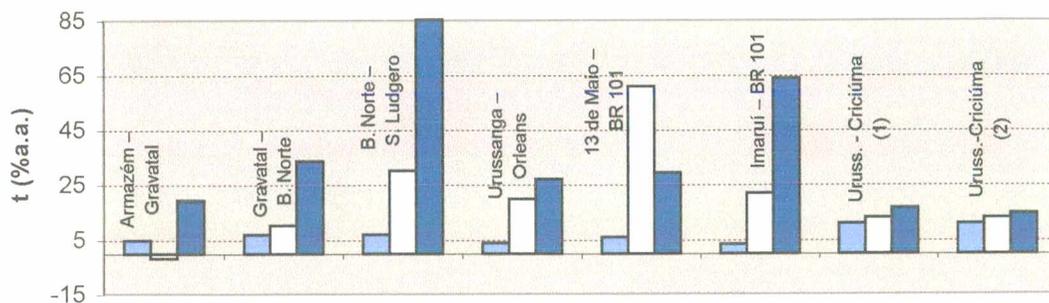
(b) Taxas de crescimento (t) para Ônibus



(c) Taxas de crescimento (t) para Caminhões Médios



(d) Taxas de crescimento (t) para Caminhões Pesados



(e) Taxas de crescimento (t) para Reboques e Semi-Reboques

Figura 4.1 – Comparativo das Taxas de Crescimento (Estimadas x Observadas)

### 4.3.1 – Metodologia para avaliar a evolução do número N

#### 4.3.1.1 – Períodos da Análise

O número equivalente de operações do eixo simples padrão (N) foi calculado anualmente para cada trecho, a partir do ano em que ocorreu a abertura ao tráfego em cada um destes, bem como os valores acumulados do N a partir deste ano.

#### 4.3.1.2 – Fatores de Veículos

Utilizaram-se no cálculo do parâmetro N os fatores de veículos individuais por categoria de veículo (F.V.<sub>i</sub>) apresentados em MARCON (1996) para a malha rodoviária estadual de Santa Catarina, são estes :

- Ônibus = 0,79 ;
- Caminhões Médios = 1,23
- Caminhões Pesados = 5,62
- Reboques e Semi-Reboques = 11,53

Os F.V.<sub>i</sub> utilizados para a determinação do número N utilizados nos Projetos Finais de Engenharia, foram diferentes dos considerados neste estudo. Os F.V.<sub>i</sub> considerados nos projetos baseiam-se, na maioria dos trechos, em dados de pesagem do início da década de 70, enquanto, que os apresentados em MARCON (1996) baseiam-se em alguns dados de pesagem do final da década de 80, período que situa-se em posição intermediária dentro do intervalo de tempo aqui analisado, representando melhor, portanto, as condições de carregamento impostas pelos veículos de carga aos pavimentos dos trechos estudados.

Os projetos que apresentaram os valores de F.V.<sub>i</sub> utilizados foram somente os dos trechos que constam na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5 - Fatores de Veículos adotados pelos Projetos de Engenharia**

Trechos	Valores de F.V. <sub>i</sub> utilizados para :			
	Ônibus	Caminhões Médios	Caminhões Pesados	Reboques e Semi-Reboques
Armazém-Gravatal	0,456	2,04 *	6,047 *	25,4 *
Urussanga-Orleans	0,678	0,606	6,674	11,005

\* Observação: considerando-se os veículos de carga cheios (totalmente carregados).

Os Fatores de Veículos (F.V.) utilizados no cálculo do número N foram, então, obtidos para cada trecho anualmente, efetuando-se a somatória da multiplicação dos F.V.<sub>i</sub> apresentados por MARCON (1996) pelos percentuais (P<sub>i</sub>) de cada um dos tipos de veículos considerados (ônibus, caminhões médios, caminhões pesados e reboques e semi-reboques), como mostra a expressão a seguir :

$$F.V. = \sum F.V._i \cdot [ P_i / 100 ] \quad (4.1)$$

#### 4.3.1.3 – Volumes de Tráfego considerados

A partir dos TMDA apresentados nas contagens dos Projetos Finais de Engenharia e dos Anuários Estatísticos de Tráfego, consideraram-se os volumes médios ocorridos em um sentido de tráfego na obtenção do número N. Em alguns casos, como colocado a seguir, consideraram-se também os valores apresentados nas contagens realizadas em estudos para Projetos de Restauração e em outras realizadas para alimentar o banco de dados do SGP do DER/SC.

Cabe ressaltar que foram necessárias algumas estimativas de volume de tráfego em alguns anos do período de análise considerado, em que não havia dados de contagem volumétrica, para determinados trechos abrangidos pelo estudo.

#### 4.3.2 – Vida de Projeto x Ano em que N Projeto foi efetivamente atingido

Foram calculados, então, os números equivalentes de operações do eixo simples padrão (N), de acordo com o que foi exposto anteriormente, podendo-se assim avaliar através da evolução deste parâmetro, o ano em que o N de projeto foi atingido.

De acordo com o que é apresentado na Tabela 4.6, verifica-se que dos trechos estudados, o único onde não foi atingido o valor do N de projeto antes da vida de projeto estimada foi o trecho Urussanga - Criciúma.

Pode-se observar, ainda, na Tabela 4.6, que os trechos que demonstraram uma maior defasagem na diferença do ano em que deveriam atingir este valor de N (de acordo com o período de projeto) e o ano em que este foi atingido (de acordo com o N calculado a partir das contagens volumétricas), foram os trechos Gravatal - Braço do Norte e Braço do Norte - São Ludgero, tendo atingido este valor, respectivamente, 11 e 12 anos antes do previsto.

Tabela 4.6 – Análise do ano em que N projeto foi atingido

TRECHO	Previsão de Projeto			Avaliação do Tráfego obtido em contagens volumétricas		
	Período de Projeto (anos)	Ano de abertura tráfego	N projeto	Ano em que o N foi atingido	Período p/ atingir N (anos)	Defasagem do Período de Projeto (anos)
Armazém - Gravatal	10	1982	$3,20 \times 10^6$	1987/88	6	-4
Gravatal – B. Norte	15	1978	$2,77 \times 10^6$	1981/82	4	-11
B. Norte – S. Ludgero	15	1978	$1,79 \times 10^6$	1980/81	3	-12
Urussanga – Orleans	15	1981	$2,70 \times 10^6$	1988/89	8	-7
Treze de Maio – BR 101	10	1985	$1,75 \times 10^5$	1986/87	2	-8
Imaruí – BR 101	10	1986	$3,74 \times 10^5$	1989/90	4	-6
Urussanga – Criciúma						
(1)	10	1978	$2,30 \times 10^7$	1996/97	17	-
(2)	10	1978	$2,30 \times 10^7$	1996/97	17	-

Nota : (1) sub-trecho Urussanga - Cocal do Sul

(2) sub-trecho Cocal do Sul - Criciúma

Um dos motivos que contribuiu para a grande defasagem entre a vida de projeto e a observada de acordo com o crescimento do tráfego nos trechos citados, foi o período de projeto muito longo adotado (15 anos), o que torna menos confiável uma projeção de tráfego futuro.

Entretanto, cabe ressaltar que a análise aqui efetuada considerou somente o ano em que o N de projeto foi atingido considerando a estrutura dimensionada com este parâmetro, sendo que a verificação das estruturas efetivamente executadas é feita no capítulo 7, onde poder-se-á constatar a “vida útil” das estruturas executadas.

## 5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

Este capítulo aborda a caracterização dos materiais de pavimentação empregados nas camadas que compõem a estrutura dos pavimentos estudados neste trabalho, bem como os materiais que constituem o subleito sobre o qual se assentam os pavimentos.

### 5.1 - Material do Subleito

A caracterização do material do subleito foi baseada, principalmente, em estudos efetuados para a elaboração dos Projetos Finais de Engenharia dos trechos rodoviários em estudo, abrangendo :

- caracterização geológica ;
- caracterização de acordo com a classificação HRB ;
- ensaios realizados para projeto.

#### 5.1.1 - Caracterização Geológica

Em todos os trechos constata-se a presença de solo residual de granito como principal substrato constituinte do subleito, sendo que nos trechos Armazém - Gravatal, Gravatal - Braço do Norte, Braço do Norte - São Ludgero e Urussanga - Criciúma, são caracterizados como pertencentes ao grupo Pedras Grandes ( da formação Imaruí), apresentando estes granulometria grosseira e coloração cinza e/ou rósea. Os minerais encontrados neste tipo de material são : quartzo, feldspato, biotita, entre outros em menor quantidade.

Nos trechos Treze de Maio - BR101 e Imarui - BR101, foram caracterizados principalmente pela granulometria grosseira, cor rósea e predominância do horizonte pedológico "C".

Cabe ainda ressaltar, que no trecho Gravatal - Braço do Norte encontrou-se um tipo de granito com granulometria mais fina (fácies do granito Rio Chicão).

No desenvolvimento de um extenso trabalho de mapeamento pedológico, geotécnico e geológico da cidade de Florianópolis, concluiu SANTOS (1997) que "solos de alteração de granito no seu estado natural, em geral, são bons para utilização na estrutura de pavimentos, especialmente o horizonte C, pois apresentam índices de resistência (CBR) relativamente elevados".

Entretanto, observando-se os resultados do estudo realizado de VALLE (1994) e a análise preliminar dos dados referentes a deflêctometria dos trechos aqui estudados, deve-se ressaltar que os solos residuais de granito normalmente são bastante resilientes, ou seja, apresentam elevadas deformações elásticas recuperáveis.

Foram encontrados em todos os trechos, também, depósitos de diferentes materiais (areias, argilas, arenitos, tilitos, sedimentos com arenitos, siltitos, areias das calhas dos rios, entre outros), sendo que no trecho Imaruí - BR 101 constatou-se a presença de areias finas de dunas de um antigo terraço costeiro (nas proximidades da BR 101).

No trecho Urussanga - Criciúma tem-se a presença (próximo à Criciúma) de "sills" de basalto e diabásio, caracterizados geologicamente como do grupo São Bento, formação Serra Geral.

No trecho Urussanga - Orleans constataram-se ocorrências de rochas basálticas da mesma formação.

Encontra-se no trabalho de SANTOS (1997) que "deve-se ter cuidado com os solos do horizonte C de diabásio, por apresentar argila de atividade alta". Dentro da área de pavimentação, um solo com a presença de uma argila assim caracterizada, poderá acarretar alguns problemas na estrutura do pavimento, decorrentes da característica deste tipo de material apresentar expansividade.

### 5.1.2 - Caracterização de acordo com a Classificação HRB

Os percentuais de ocorrências de cada um dos tipos de solos definidos pela classificação da H.R.B., são apresentados de forma individual para cada um dos trechos estudados na Tabela 5.1.

Os dois tipos de solos com maior número de ocorrências são de dois grupos que se caracterizam como argilosos (A-7-6 e A-6), assim como o de quarta maior ocorrência (A-7-5).

O tipo de solo com o terceiro maior número de ocorrências (A-2-4) têm características predominantemente arenosas.

Os solos do grupo A-4, que foram os que tiveram o quinto maior número de ocorrências, são caracterizados pela HRB como siltosos, o que os tornam indesejáveis, pois

segundo MEDINA (1997) "quanto menor a fração argilosa e , portanto, maior a de silte nos finos, menos sensível fica o módulo à variação da tensão desvio e, também, mais deformável é o solo à ação de cargas repetidas". Cabe aqui ressaltar que este tipo de solo foi encontrado com maior frequência nos trechos Urussanga - Orleans (em 28,3% das amostras coletadas), Urussanga -Criciúma e Armazém - Gravatal (ambos com 12,1% das amostras coletadas).

**Tabela 5.1 - Percentual de Ocorrências dos grupos de solos por trecho (de acordo com a Classificação H.R.B.)**

TRECHOS	Percentuais dos Grupos de Solos										
	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6
Armazém - Gravatal	-	32,3	-	4,0	2,0	-	12,1	-	10,1	8,1	31,3
Gravatal - B. Norte	-	5,0	-	10,0	15,0	-	2,0	-	5,0	43,0	20,0
B. Norte - S. Ludgero	-	5,0	1,0	7,0	17,0	-	-	-	6,0	16,0	48,0
Urussanga - Orleans	-	17,4	-	1,6	-	-	28,3	-	23,4	7,6	21,7
Treze de Maio - BR 101	0,8	25,2	0,8	4,2	14,3	-	5,0	-	7,6	13,4	28,6
Imaruí - BR 101	5,3	11,8	-	8,2	7,6	12,4	2,9	-	9,4	13,5	28,8
Urussanga - Criciúma	5,0	15,5	-	1,1	-	1,1	12,1	0,6	43,7	1,1	20,1

### 5.1.3 - Análise dos Resultados dos Ensaios Realizados

#### 5.1.3.1 - Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

Foram realizados ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) com o material do subleito para os Projetos Finais de Engenharia e para controle de execução das obras de implantação.

Verificou-se uma variação considerável nos valores de CBR obtidos entre as amostras coletadas, justificada pelos diferentes tipos de solos encontrados. O trecho Urussanga - Criciúma apresentou alguns valores de CBR muito baixos ( 3 ocorrências entre 0,85% e 0,98% e mais 5 amostras com valores de 1,1 a 1,4%). Os demais trechos não apresentaram amostras com CBR inferior a 2,0%.

O tratamento estatístico dos resultados dos ensaios de ISC realizados é resumido na Tabela 5.2, onde se apresentam as médias, os desvios padrões e os coeficientes de variação obtidos para os valores de CBR e expansão, desconsiderando-se a eliminação dos valores divergentes por tratar-se da análise de materiais de características distintas ao longo dos trechos.

Cabe ressaltar, que, devido ao número pouco representativo de amostras para os ensaios realizados nos trechos Gravatal - Braço do Norte e Braço do Norte - São Ludgero (3 amostras para o primeiro trecho e 1 amostra para o outro), não efetuou-se um tratamento estatístico para estes trechos.

No trecho Gravatal - Braço do Norte determinou-se somente um resultado de CBR (igual a 7,0 %) e três resultados de expansão (entre 1,2% e 3,6%). No ensaio realizado para o trecho Braço do Norte - São Ludgero determinou-se somente um valor de expansão (igual a 1,4%).

Os resultados obtidos no ensaio de ISC, determinam a caracterização do material do subleito do trecho Urussanga - Criciúma como o de pior condição de suporte, apresentando os menores valores de CBR e os maiores valores de expansão.

Em contrapartida, os trechos Treze de Maio - BR 101 e o trecho Imaruí - BR 101 apresentaram os melhores resultados de CBR e expansão.

**Tabela 5.2 - Tratamento Estatístico dos resultados dos ensaios de ISC dos materiais do subleito**

Trecho	CBR (%)			Expansão (%)			Número de Amostras
	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	
Armazém - Gravatal	12,9	5,1	39,1	0,69	0,33	47,6	99
Urussanga - Orleans (1)	11,7	5,5	47,2	0,80	0,87	108,86	88
(2)	10,2	4,8	47,5	1,09	0,86	79,20	24
13 de Maio - BR101	21,7	14,2	65,4	0,29	0,73	255,38	79
Imaruí - BR 101 (1)	14,5	10,8	74,6	0,45	0,86	189,09	98
(2)	28,0	16,6	59,1	0,18	0,15	81,78	53
Urussanga - Criciúma	9,6	6,7	69,9	1,53	1,21	79,20	86

Observações :

- (1) ensaio realizado para Projeto Final de Engenharia
- (2) ensaio realizado para controle de execução de obras

Para os trechos Urussanga - Orleans , Imaruí - BR 101 e Urussanga - Criciúma, realizou-se, também, uma análise estatística dos resultados dos ensaios de ISC realizados para os Projetos Finais de Engenharia considerando-se dois sub-trechos distintos. O resumo deste tratamento estatístico é apresentado na Tabela 5.3.

No primeiro trecho (Urussanga - Orleans) considerou-se o sub-trecho 1 no qual a sub-base foi executada com seixo rolado bruto (do km 0 ao km 11+380), e o sub-trecho 2 no qual a sub-base foi executada com solo residual saprolítico (do km 11+380 ao km 18+735).

No segundo trecho (Imaruí - BR 101) considerou-se o sub-trecho 1 no qual o reforço do subleito foi executada com areia (do km 4+858 ao km 18+860), e o sub-trecho 2 no qual o reforço do subleito foi executada com solo residual saprolítico (do km 18+860 ao km 27+578).

No terceiro trecho (Urussanga - Criciúma) considerou-se um sub-trecho de Urussanga até a cidade de Cocal do Sul e outro sub-trecho de Cocal do Sul até Criciúma.

**Tabela 5.3 - Tratamento Estatístico dos resultados dos ensaios de ISC dos materiais do subleito ( para os sub-trechos distintos dos trechos Urussanga - Orleans, Imaruí - BR 101 e Urussanga - Criciúma )**

Trecho	CBR (%)			Expansão (%)			Número de Amostras
	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	
Urussanga - Orleans							
Sub-trecho 1 (seixo rolado bruto)	12,1	6,1	50,2	0,87	0,96	111,37	56
Sub-trecho 2 (solo residual saprol.)	11,1	4,5	40,6	0,69	0,69	99,53	32
Imaruí - BR 101							
Sub-trecho 1 (areia)	15,1	11,4	75,5	0,45	0,93	209,07	54
Sub-trecho 2 (solo residual saprol.)	13,7	10,1	73,6	0,46	0,78	170,51	44
Urussanga - Criciúma							
Urussanga – Cocal do Sul	6,8	4,9	71,3	2,02	1,45	72,10	40
Cocal do Sul - Criciúma	12,0	7,2	59,9	1,10	0,73	66,17	46

#### 5.1.3.2 - Ensaios de Compactação e Caracterização

Efetuuou-se, também, um tratamento estatístico com os resultados dos ensaios de compactação (umidade ótima e densidade máxima) e de caracterização (determinando os limites de liquidez e plasticidade) realizados para os Projetos Finais de Engenharia em 5 dos 7 trechos estudados, que é resumido na Tabela 5.4.

Para os trechos Gravatal - Braço do Norte e Braço do Norte - São Ludgero apresentaram-se nos projetos somente alguns resultados de densidade máxima obtidos no ensaio de compactação (realizados para 8 e 5 amostras dos respectivos trechos), tornando , mais incompleta e menos representativa a análise dos resultados para estes trechos.

A medição da densidade “in-situ”, considerada muito importante para correlacionar a situação em campo com as condições de laboratório, somente foi apresentada nos estudos de subleito dos projetos dos trechos Armazém - Gravatal (que apresentou a melhor correlação laboratório / campo, igual a 1,038), Gravatal - Braço do Norte e Braço do Norte - São Ludgero ( que apresentou a pior correlação laboratório / campo, igual a 1,138).

Nestes 3 trechos as médias das densidades medidas em laboratório foram superiores (correlação superior a 1,00) a das densidades medidas em campo.

**Tabela 5.4 - Tratamento Estatístico dos resultados dos ensaios de Compactação e Caracterização (para os materiais do subleito)**

TRECHO	Ensaio de Compactação **				Ensaio de Caracterização **					
	Umidade Ótima (%)		Densidade Máxima (kg / dm <sup>3</sup> )		Amostras Não Plásticas ( % amostras)	Limite de Liquidez (%)		Limite de Plasticidade (%)		
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
Armazém – Gravatal	14,6	2,7	1,812	0,102	38,4	45,4	9,2	24,3	5,2	
Gravatal – B. Norte	-	-	1,764	0,097	-	-	-	-	-	
B. Norte – S. Ludgero	-	-	1,718	0,091	-	-	-	-	-	
Urussanga - Orleans	17,5	4,5	1,697	0,127	12,0	36,8	10,2	23,0	5,4	
13 de Maio - BR101	16,4	4,5	1,761	0,139	27,1	48,5	11,3	25,6	6,2	
Imaruí – BR 101	16,8	8,1	1,762	0,216	30,0	48,8	13,3	24,0	7,1	
Urussanga - Criciúma	15,1	3,8	1,729	0,111	27,8	37,2	8,7	17,2	5,7	

**Observações :**

\* número de amostras (quantidade e condições das amostras para os ensaios)

Armazém - Gravatal : 99 amostras (coletadas com o tempo seco )

Gravatal – Braço do Norte : 8 amostras ( somente resultados de densidade máxima)

Braço do Norte – São Ludgero : 5 amostras ( somente resultados de densidade máxima)

Urussanga-Orleans: 88 (amostras virgens para ensaio de Compactação) e 184 amostras (para ensaio de Caracterização)

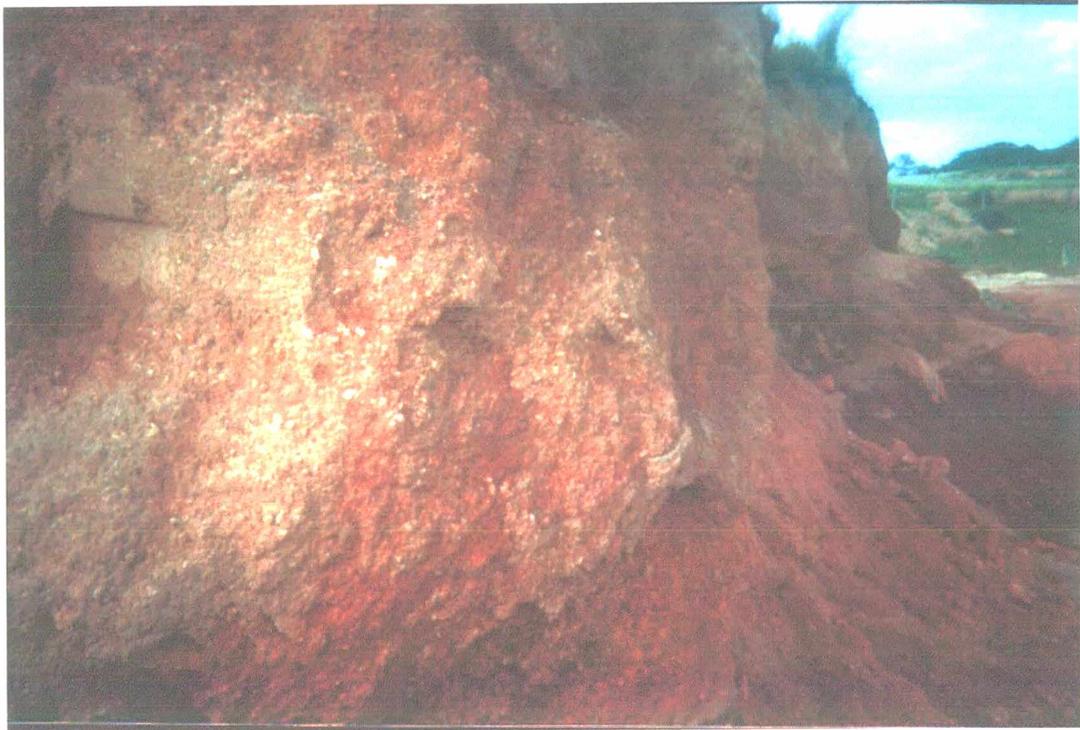
13 de Maio - BR101 : 83 amostras (para ensaio de Compactação) e 118 amostras (para ensaio de Caracterização)

Imaruí - BR 101 : 170 amostras (para ensaio de Caracterização)

Urussanga-Criciúma : 99 (amostras virgens para ensaio de Compactação) e 176 amostras (para ensaios de Caracterização)

## 5.2 . Material da Sub-base e/ou do Reforço do Subleito

Os solos residuais saprolíticos que constituem a camada de sub-base e /ou reforço do subleito dos pavimentos aqui estudados, são caracterizados a seguir, de acordo com estudos efetuados em projetos e ensaios realizados durante o desenvolvimento desta pesquisa. Na Figura 5.1 é ilustrada uma jazida de solo explorada na região de Criciúma. Cabe ressaltar que não serão caracterizados os materiais utilizados nos sub-trechos de Urussanga - Orleans com sub-base de seixo rolado bruto e de Imaruí - BR 101 com reforço executado com areia.



**Figura 5.1 – Jazida de Solo Residual Saprolítico utilizada na região de Criciúma**

## 5.2.1 – Considerações sobre os Estudos de Projetos

### 5.2.1.1 – Materiais e espessuras

Em 3 dos 7 trechos estudados, foram definidos nos Projetos de Dimensionamento (quando da implantação dos pavimentos nos trechos), as jazidas de solos e as espessuras a serem utilizados nas camadas de sub-base e/ou reforço do pavimento, como é apresentado na Tabela 5.5.

**Tabela 5.5– Espessuras dimensionadas e jazidas de solo indicadas ( sub-base )**

TRECHO	Espessura (cm)	Número de Jazidas Indicadas em Projeto
Armazém - Gravatal	18,0	1
Urussanga - Orleans	23,0	2
Urussanga - Criciúma (1)	25,0	2
(2)	25,0 + 25,0	

Observações :

(1) do km 24+735 a 19+645 - sub-base

(2) do km 36+535 a 24+735 - sub-base + reforço do subleito

Os 4 trechos em que não se definiram materiais e espessuras nestas camadas foram :

- Gravatal - Braço do Norte – no qual cita-se o assentamento das camadas de base e revestimento sobre o revestimento primário existente (camada de 20 cm de solo residual saprolítico) ;

- Braço do Norte - São Ludgero - onde ocorre a mesma situação do trecho anterior sobre uma camada de 15 cm de solo residual saprolítico ;
- Treze de Maio - BR 101 – no dimensionamento não foram definidas estas camadas, porém indicou-se uma jazida de solo para a execução da camada final de terraplanagem ;
- Imaruí - BR101 – ocorre situação parecida à do trecho anterior, porém não foi apresentado nenhum estudo de jazida de solo, somente tendo sido indicada uma jazida e citando-se, somente, que o material do local apresenta bons valores de ISC . Entretanto, no relatório de um projeto de Restauração (1994) realizado para este trecho, apresentam-se as espessuras desta camada, obtidas em sondagens efetuadas para o referido projeto.

#### 5.2.1.2 – Verificação das Camadas Executadas através de Sondagens

Em alguns trechos, onde foram realizados estudos mais completos para Projeto de Restauração do pavimento, disponibilizaram-se dados de sondagem da estrutura.

Pode-se observar na Tabela 5.6, que as camadas de sub-base e reforço do subleito não foram bem caracterizadas, provavelmente devido à similaridade dos materiais utilizados nas mesmas com o material constituinte do subleito. Isto pode ser constatado nos 3 trechos onde estas sondagens foram disponibilizadas .

**Tabela 5.6 - Espessuras e classificação expedita em sondagens (camadas de solo residual)**

TRECHO	Espessura (cm)	Identificação Expedita do material	Camada
Armazém - Gravatal	-	Saibro amarelo	*
Urussanga - Orleans (sub-trecho 2)	61,0 a 75,0	Saibro amarelo	Reforço do subleito
Imaruí - BR 101	34,0 a 47,0	Saibro amarelo	Reforço do subleito

\* Observação : indicada juntamente com o subleito

Nos trechos Urussanga - Orleans e Imaruí – BR 101, observou-se uma grande variação das espessuras destas camadas entre os furos de sondagens amostrados, além de algumas destas espessuras se encontrarem com valores consideravelmente superiores aos das espessuras determinadas pelos dimensionamentos efetuados nos Projetos Finais de Engenharia.

No trecho Armazém - Gravatal a classificação expedita determina a camada de solo residual saprolítico recolhida como constituinte do subleito, o que vem a reforçar a hipótese de que pode ter havido dificuldade em diferenciar os materiais das camadas de sub-base e reforço do subleito com os materiais que constituem o subleito dos trechos.

### **5.2.1.3 - Caracterização de acordo com a Classificação HRB**

Em 4 dos 7 trechos estudados (Armazém - Gravatal, Urussanga - Orleans, Treze de Maio - BR 101 e Urussanga - Criciúma), apresentaram-se em seus Projetos Finais de Engenharia, resultados de ensaios realizados (Análise Granulométrica, Ensaio de Caracterização, ISC e Compactação) com os materiais das jazidas de solos indicadas para fornecimento de material para as camadas de sub-base e reforço do subleito, tendo sido realizada a classificação das amostras coletadas de acordo com os grupos de comportamento dos solos definidos pela HRB.

Para o trecho Imaruí - BR 101 foi apresentado o resultado dos ensaios realizados para um empréstimo concentrado.

Em outros dois trechos (Gravatal - Braço do Norte e Braço do Norte - São Ludgero) apresentou-se nos projetos, somente um resumo dos resultados obtidos nestes mesmos ensaios, com os valores máximos e mínimos de cada um dos parâmetros para os três horizontes coletados em cada amostra.

Como podem ser observados na Tabela 5.7, de um modo geral, os grupos com maior número de ocorrências foram três de comportamento de solo arenoso (A-1-b, A-2-4 e A-1-a).

De acordo com MEDINA (1997) estes grupos "constituem material com bom comportamento nas camadas de sub-base e reforço, quando em condições de compactação adequada e assentados sobre um subleito com boas condições de suporte" .

Entretanto, a ocorrência destes materiais foi menos freqüente nas amostras coletadas na jazida indicada para a execução do trecho Treze de Maio - BR 101, nas quais ocorreu a predominância de solos dos grupos A-7-5, A-7-6 e A-6, que tem maior quantidade de finos e são menos indicados na composição de camadas do pavimento, exigindo estudos especiais.

### 5.2.1.4 - Análise dos Resultados dos Ensaios Realizados

#### a -) Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC)

O resumo do tratamento estatístico dos resultados obtidos pelo ensaio de ISC efetuado com as amostras coletadas nas jazidas de solo indicadas para as camadas de sub-base e / ou reforço do subleito pelos Projetos Finais de Engenharia, é apresentado na Tabela 5.8.

**Tabela 5.7 - Percentuais de ocorrências dos solos analisados das jazidas Indicadas para as camadas de sub-base e /ou reforço do subleito (de acordo com a Classificação H.R.B.)**

Trecho	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-6	A-2-7	A-4	A-6	A-7-5	A-7-6
Armazém - Gravatal	-	-	83,33%	-	16,67%	-	-	-	-
Urussanga - Orleans	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(jazida J-1)	-	-	60,00%	20,00%	-	-	-	-	20,00%
(jazida J-2)	-	20,00%	80,00%	-	-	-	-	-	-
13 de Maio - BR101	-	20,83%	8,33%	12,50%	-	-	16,67%	25,00%	16,67%
Imaruí - BR 101 (EC *)	-	100%	-	-	-	-	-	-	-
Urussanga.- Criciúma									
(jazida OJ-2)	44,44%	44,44%	-	-	-	11,11%	-	-	-
(jazida OJ-4)	37,50%	25,00%	37,50%	-	-	-	-	-	-

\* empréstimo concentrado para o qual foi indicada no projeto a utilização do solo

**Tabela 5.8 - Tratamento Estatístico dos resultados do ensaio de ISC das jazidas de solos ( eliminando-se os valores espúrios encontrados)**

Trecho	CBR (%)			Expansão (%)			Número de Amostras	
	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação		
Armazém - Gravatal	**	15,0	2,9	19,5	0,17	0,16	97,98	6
	***	23,3	3,9	16,9	0,13	0,12	90,83	
Urussanga - Orleans	(jazida J-1)	31,4	8,3	26,3	0,32	0,15	46,35	5
	(jazida J-2)	38,0	11,2	29,4	0,10*	0,08*	81,65*	5
13 de Maio - BR 101 (jazida J-1)		25,9	12,4	47,9	0,24*	0,20*	83,99*	23
Imaruí - BR101 (EC ****)		36,5	14,6	39,9	0,01	0,01	216,0	12
Urussanga - Criciúma	(jazida OJ-2)	59,7	15,6	16,2	0,27*	0,09*	33,54*	5
	(jazida OJ-4)	59,00	21,6	17,8	0,12	0,09	70,46	8

**Observações:** \* tendo sido necessário eliminar valores espúrios encontrados na Análise de Resíduos (NANNI, 1986)  
 \*\* para corpo de prova compactado com 12 golpes  
 \*\*\* para corpo de prova compactado com 26 golpes  
 \*\*\*\* empréstimo concentrado para o qual foi indicada no projeto a utilização do solo.

A seguir são feitas algumas considerações sobre a aceitação dos materiais das jazidas de solo indicadas pelos projetos como camadas de sub-base e/ou reforço do subleito, com base no tratamento estatístico dos resultados de ensaio de ISC.

Com relação ao trecho Treze de Maio - BR 101, onde não se definiu em projeto a utilização de solo residual saprolítico nem como camada de reforço do subleito nem como de sub-base, tem-se valores de CBR e expansão que atendem a especificação DER-SC-ES-P-02/92 para utilização do material em ambos os tipos de camadas.

Para os trechos Gravatal - Braço do Norte e Braço do Norte - São Ludgero, apresentam-se somente alguns valores limites de ISC das amostras das jazidas, sendo que para o horizonte indicado em projeto estes variam de 15 até 33 %, tendo sido adotado um valor médio de 18%, que impediria sua utilização como camada de sub-base de acordo com a especificação DER-SC-ES-P-02/92. Com relação a expansão os valores máximos observados neste horizonte são bem inferiores ao máximo permitido pela referida especificação.

▪ *Aceitação como camada de Reforço do subleito*

Os materiais estudados nas jazidas de solos para os dois trechos (Armazém - Gravatal e Imaruí - BR 101) em que foram definidos pelo projeto para utilização como camada de reforço do subleito, encontram-se com CBR superior ao do subleito e expansão inferior a 1%, que são os limites aceitação para a utilização neste tipo de camada, de acordo com a especificação DER-SC-ES-P-02/92.

▪ *Aceitação como camada de Sub-base*

Nos dois trechos em que os materiais estudados das jazidas de solos foram definidos para utilização como camada de sub-base (Urussanga - Orleans e Urussanga - Criciúma), verificaram-se valores de CBR superiores a 20% e de expansão inferior a 0,5%, estando dentro do que a especificação DER-SC-ES-P-02/92 permite para um material ser utilizado como camada de sub-base.

***b -) Ensaios de Compactação e Caracterização***

Foram, também, apresentados nos Projetos Finais de Engenharia os resultados dos ensaios de compactação (obtenção da umidade ótima e densidade máxima) e do ensaio de

caracterização (determinando os limites de liquidez e plasticidade). O resumo do tratamento estatístico destes resultados é apresentado na Tabela 5.9.

No ensaio de caracterização efetuado para o material da jazida indicada para o trecho Armazém - Gravatal, somente uma amostra foi caracterizada como Não-Plástica (com LL=50,2% e LP=29,3%), o que impossibilitou o tratamento estatístico destes parâmetros.

Em nenhum dos projetos dos trechos estudados, apresentaram-se resultados de ensaio de densidade “in-situ”, considerada muito importante para correlacionar a situação em campo com as condições de laboratório.

**Tabela 5.9- Tratamento Estatístico dos resultados dos ensaios de Compactação e Caracterização ( para os solos das jazidas )**

TRECHO	Ensaio de Compactação				Ensaio de Caracterização				
	Umidade Ótima (%)		Densidade Máxima (kg / dm <sup>3</sup> )		Amostras Não Plásticas (%) amostras)	Limite de Liquidez (%)		Limite de Plasticidade (%)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Armazém – Gravatal *	11,1	1,2	1,924	0,046	83,3	-	-	-	-
**	10,6	1,0	1,956	0,035	/				
Gravatal – Braço do Norte	13,9	3,1	1,835	0,135	0	45,5	11,1	30,0	6,0
B. Norte – São Ludgero	13,9	3,1	1,835	0,135	0	45,5	11,1	30,0	6,0
Urussanga - Orleans									
(jazida J-1)	11,6	1,6	1,896	0,056	0	36,2	7,2	24,0	2,8
(jazida J-2)	11,9	0,8	1,899	0,028	0	30,4	3,6	24,0	2,9
13 de Maio - BR101	14,4	3,0	1,820	0,095	20,8	45,5	9,0	26,7	3,7
Imaruí - BR101 (EC ***)	11,2	1,0	1,966	0,047	100,0	-	-	-	-
Urussanga - Criciúma									
(jazida OJ-2)	11,6	1,8	1,886	0,070	100,0	-	-	-	-
(jazida OJ-4)	12,7	1,7	1,892	0,069	100,0	-	-	-	-

Observações:

- \* para corpo de prova compactado com 12 golpes
- \*\* para corpo de prova compactado com 26 golpes
- \*\*\* empréstimo concentrado para o qual foi indicada a utilização do saibro no projeto

### 5.2.2 – Análise de dados de execução

Neste item são apresentados os principais elementos obtidos de planilhas de medição de serviços e de controle dos materiais utilizados nas camadas de sub-base e /ou reforço do subleito com saibro, durante a execução das obras de implantação dos pavimentos.

Algumas análises e considerações sobre os resultados apresentados, também, são efetuadas ao longo deste item.

#### 5.2.2.1 – Espessuras das camadas de solo residual saprolítico

As espessuras médias das camadas de sub-base e /ou reforço do subleito com solo residual saprolítico, de acordo com as medições dos serviços feitas na execução das obras de implantação, são apresentados na Tabela 5.10.

Não foram apresentadas as espessuras de solo utilizadas nos trechos Imaruí - BR 101 e Urussanga - Criciúma .

**Tabela 5.10 – Espessuras médias (camadas de solo residual saprolítico)**

TRECHO	Espessura Média (cm)
Armazém - Gravatal	18,0
Gravatal - Braço do Norte	14,1
B. Norte - São Ludgero	14,1
Urussanga - Orleans	21,5
13 de Maio - BR 101	20,0

#### 5.2.2.2 – Ensaio de ISC com os solos utilizados

Durante a execução das obras de implantação do pavimento dos trechos, foi efetuado o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) com os solos utilizados nas camadas inferiores do pavimento, exceto nos trechos Gravatal - Braço do Norte e Braço do Norte - São Ludgero

O resumo do tratamento estatístico efetuado à partir dos resultados do ensaio de ISC é apresentado na Tabela 5.11.

Os valores médios de CBR apresentados na Tabela 5.11 determinam de acordo com o que é especificado pela DER-SC-ES-P-02/92, que :

- os materiais de empréstimos dos trechos Treze de Maio - BR 101 e Imaruí - BR 101 apresentam valores médios de CBR significativamente inferiores ao mínimo de 20% especificado para camada de sub-base ;

- os materiais de empréstimos do trecho Armazém - Gravatal e os materiais de jazidas do trecho Treze de Maio - BR 101 apresentam valores médios de CBR ligeiramente inferiores ao mínimo de 20% especificado para camada de sub-base.

Entretanto, cabe observar que a energia de compactação utilizada nos ensaios de ISC para os 3 trechos acima citados foi a do Proctor Normal, enquanto que a especificação solicita a energia do Proctor Intermediário.

**Tabela 5.11 – Tratamento Estatístico dos resultados de ensaio de ISC  
(dados de execução / solo residual)**

Trecho	CBR			Expansão (%)			Número de Amostras
	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	
Armazém - Gravatal (E)**	19,1	10,6	55,5	0,25	0,18	70,9	25
Urussanga - Orleans (E)**	30,1	5,9	19,8	0,04	0,11	264,6	7
13 de Maio - BR101 (J) *	19,1	7,1	37,1	0,13	0,13	97,0	21
	(E)** 11,9	7,6	63,7	0,11	0,11	97,0	23
Imaruí - BR 101 (J) *	26,2	17,6	67,3	0	0	0	11
	(E)** 14,1	5,7	40,4	0,66	0,7	105,3	28
Urussanga - Criciúma (E)**	55,4	10,2	18,3	0,05	0,1	185,7	15

Observações: \* material de Jazidas  
\*\* material de Empréstimos

Outra ressalva a ser feita é que nas medições de obra destes 3 trechos o solo utilizado não foi discriminado para camada de sub-base mas para camadas de reforço e regularização do subleito.

Os valores médios de CBR apresentados na Tabela 5.11 para os trechos Urussanga - Orleans e Urussanga - Criciúma demonstraram ser altos, confirmando o que foi apresentado nos ensaios efetuados nos estudos das jazidas dos Projetos Finais de Engenharia, que determinaram a boa capacidade de suporte dos materiais disponíveis nas jazidas destinadas ao fornecimento de solos para estes trechos.

Com relação aos valores médios de expansão apresentados na Tabela 5.12, observou-se que somente para os materiais de empréstimos do trecho Imaruí - BR 101 a expansão média não atende ao máximo de 0,5% especificado pela DER-SC-ES-P-02/92, para a utilização como camada de sub-base.

### 5.3 - Material da Camada de Base :

#### 5.3.1 – Materiais e espessuras utilizadas

Em todos os trechos abrangidos pelo estudo, os Projetos Finais de Engenharia determinaram o emprego de camadas de brita graduada simples (BGS) para a execução das camadas de base. As espessuras dimensionadas nestes projetos para as camadas de base são apresentadas na Tabela 5.12.

**Tabela 5.12 – Espessuras dimensionadas de base com BGS**

TRECHO	Espessura (cm)
Armazém - Gravatal	16,0
Gravatal - Braço do Norte	10,0
Braço do Norte - São Ludgero	10,0
Urussanga - Orleans	20,0
13 de Maio - BR101	15,0
Imaruí - BR 101	16,0
Urussanga - Criciúma	20,0

#### 5.3.2 – Verificação das Camadas Executadas através de Sondagens

Em 3 dos 4 trechos onde teve-se acesso a dados de sondagem ( realizadas para projetos de restauração do pavimento), observaram-se significativas variações nas espessuras das camadas de base granular.

As espessuras e os materiais encontrados nas sondagens são apresentados na Tabela 5.13.

Cabe ressaltar, ainda, a considerável diferença entre as espessuras determinadas em projeto e as espessuras de sondagens. No trecho Urussanga - Orleans esta diferença chegou a ser inferior a 40 % em relação a espessura dimensionada, enquanto, que no trecho Imaruí - BR 101 atingiu até 39% menos do que o dimensionado, e no trecho Urussanga - Criciúma 35 % inferior.

O trecho Armazém - Gravatal foi o único onde esta diferença foi menos significativa observando-se espessuras de no máximo 7,5% inferiores a definida em projeto.

A especificação DER-SC-ES-P-02/92 (Especificação de Serviço - Camadas Estabilizadas Granulometricamente) admite uma tolerância de menos 1 cm nos valores individuais e médios da camada de base em relação a espessura de projeto. Esta tolerância representa para as espessuras das camadas de base de brita graduada dimensionadas para os trechos estudados ( que variam de 10 até 20 cm), um percentual admissível de 5 até 10%. No trecho Urussanga - Orleans e Urussanga - Criciúma, por exemplo, seria de 5%; e nos trechos Imaruí - BR 101 e Armazém -Gravatal, de 6,25%. Ou seja, as espessuras de sondagens correspondem a um valor de até 8 vezes menor que o admissível pelo DER/SC para os dois primeiros trechos citados, e, pouco mais de 6 vezes menor para trecho Imaruí - BR 101.

Entretanto, para o trecho Armazém - Gravatal esta diferença de espessura está próxima do admissível , apresentando uma espessura mínima de 14,8 cm , enquanto, a espessura de projeto é de 16,0 cm.

**Tabela 5.13 – Materiais e espessuras de base encontrados em sondagens**

TRECHO	Material	Espessura (cm)
Armazém – Gravatal	SRB	14,8 a 22,0
Urussanga – Orleans		
sub-trecho 1*	SRB	21,0 e 22,0
sub-trecho 2**	BGS	12,0 e 13,0
Imaruí – BR 101	BGS	9,8 a 21,1
Urussanga - Criciúma	BGS	13,0 a 21,5

Observações :

\* executado com sub-base de seixo rolado bruto ;

\*\* executado com sub-base de solo residual saprolítico ;

SRB = seixo rolado parcialmente britado ;

BGS = brita graduada simples .

### 5.3.3 – Ensaios realizados com os materiais das pedreiras indicadas em projeto

As fontes de matéria-prima (pedreiras) a serem utilizadas, foram devidamente localizadas e o material caracterizado de acordo com alguns dos principais ensaios a serem realizados com agregados (abrasão Los Angeles, sanidade, adesividade), além da caracterização da rocha que constitui o material (bem como os minerais primários e secundários presentes nesta).

Os resultados dos ensaios realizados para a avaliação da qualidade dos materiais das pedreiras indicadas em projeto, efetuados nos estudos dos Projetos Finais de Engenharia, são apresentados na Tabela 5.14.

Com relação ao ensaio de abrasão Los Angeles, os valores de desgaste obtidos podem ser considerados satisfatórios, tendo tido o trecho Imaruí – BR 101 o pior resultado (37% de desgaste), e o trecho Urussanga - Orleans um resultado consideravelmente inferior (9,8% de desgaste) aos dos outros trechos . Cabe ressaltar que a jazida de agregados indicada em projeto para este último trecho foi caracterizada como de origem basáltica, enquanto que as dos demais trechos são graníticas (como pode-se observar na Tabela 5.14).

Como foi apresentado na revisão bibliográfica, a especificação DER/SC-ES-P-02/92, admite um desgaste máximo de 50% para agregados destinados a camadas de base estabilizadas granulometricamente.

**Tabela 5.14 - Resultados dos ensaios realizados com os agregados das pedreiras indicadas pelos Projetos Finais de Engenharia**

Trecho	Ensaio de Sanidade (% perda) *	Ensaio de Adesividade ( % recobrimento)	Ensaio de Abrasão Los Angeles (% desgaste) após 500 revol.	Tipo de Rocha	Minerais Primários	Caracterização quanto a Escavação	Conclusão ( para o emprego do material no trecho )
Armazém - Gravatal	2,1 *	100,0 **	31,0	-	-	-	-
Gravatal - B. Norte	satisfatória	satisfatória ***	30,2	Biotita Granito	Felspato Alcalino (46%) e Quartzo(23%) Felspato plagioclásio (22%) e Biotita(2%)	1a. categoria (40%capa) 2a. categoria (60% capa)	boa qualidade para pavimentação rodoviária
B. Norte - S. Ludgero	satisfatória	satisfatória ***	30,2	Biotita Granito	Felspato Alcalino (46%) e Quartzo(23%) Felspato plagioclásio (22%) e Biotita(2%)	1a. categoria (40%capa) 2a. categoria (60% capa)	boa qualidade para pavimentação rodoviária
Urussanga - Orleans	1,0	vários resultados ****	9,8	origem Basáltica	Piroxênio (41,7%), Plagioclásio (37,1%), Intercrescimentos Micrográficos (9,2%) e outros	-	boa qualidade para pavimentação rodoviária
13 de Maio - BR 101	2,2	satisfatória ***	32,0	Biotita Granito	Felspatos (58%), Quartzo (29%) e Biotita (2%)	praticamente sem capa	boa qualidade
Imaruí - BR 101	1,0	satisfatória ***	37,0	Biotita Granito	Felspatos Alcalinos (59%), Quartzo (28%) e Biotita (2%)	formação excessiva de finos	boa qualidade
Urussanga - Criciúma	4,2	-	24,0	Granito cinza	-	Pequena decapagem	-

Observações: \* Após 5 ciclos, usando Sulfato de Sódio .

\*\* Usando-se CAP 85/100 e aditivo Policing 200 (com 1,0 % de aditivo)

\*\*\* Utilizando 0,5% de aditivo

\*\*\*\* Usando-se CAP 85/100, o resultado diferiu de acordo c/ o que é colocado mais adiante no texto da dissertação ;

Os resultados do ensaio de sanidade determinaram em 5 trechos valores muito abaixo dos limites máximos aceitáveis pelo DER/SC, o que confere a estes materiais uma boa

expectativa de desempenho sob a ação dos intemperismos. Nos trechos Gravatal - Braço do Norte e Braço do Norte - São Ludgero, não se apresentaram valores numéricos (constando apenas como satisfatórios).

Os resultados diferenciados obtidos no ensaio de adesividade realizado com os agregados estudados para o trecho Urussanga - Orleans, foram os seguintes:

- Má adesividade - sem aditivo (40% de descobrimento) ;
- Adesividade má a regular – com 0,25% de aditivo "Kling Beta 200" (30% de descobrimento) ;
- Adesividade regular - com 0,25% do aditivo "Amine Doping" (25% de descobrimento), com 0,50% do mesmo aditivo (15% de descobrimento) , e com 0,50% de "Kling Beta 200" (20% de descobrimento) ;
- Adesividade regular a boa - com 0,25% do aditivo "Pavidope II" (10% de descobrimento) ;
- Boa adesividade- com teor de 0,75% do aditivo "Kling Beta 200" 0,75% (5% de descobrimento) e com 0,50 % de "Pavidope II" (5% de descobrimento) ;
- Ótima adesividade – com os seguintes teores de aditivos , 0,75 e 1% de "Amine Doping", 1% de "Kling Beta 200"; e 0,75 e 1% de "Pavidope II" (todos sem descobrimento).

Com relação aos *tipos de rochas* que constituem os materiais das pedreiras estudadas e indicadas nos projetos, em 6 trechos foram caracterizados como de origem granítica e no trecho Urussanga - Orleans como de origem basáltica.

#### 5.3.4 – Ensaios realizados na execução das obras

Na maior parte dos trechos estudados não foram efetuados ensaios para avaliar a qualidade dos agregados utilizados nas camadas de base dos pavimentos.

Os únicos ensaios realizados com os agregados utilizados na execução das obras em que foram obtidos resultados são os seguintes :

- Análise granulométrica, ensaio de ISC e ensaio de equivalente de areia : para o trecho Armazém - Gravatal ;

- Ensaio de frasco de areia para determinação da densidade de campo : para o trecho Imaruí - BR 101.

a- ) Trecho Armazém - Gravatal :

O material utilizado neste trecho foi classificado como seixo parcialmente britado , sendo que a granulometria do material ensaiado demonstrou que este se enquadra na faixa II especificada para agregados utilizados em camadas estabilizadas granulometricamente pela especificação de serviço DER-SC-ES-P-02/92.

O ensaio de equivalente de areia realizado com o material resultou em uma média de 43,8%, o que torna este material aceito para execução como camada de base estabilizada.

Os resultados do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) realizado com os agregados utilizados na base do pavimento do trecho Armazém - Gravatal, são apresentados na Tabela 5.15, através da média dos valores obtidos. O valor de CBR obtido é superior ao mínimo admissível pela DER-SC-ES-P-02/92.

**Tabela 5.15 – Média dos resultados obtidos no ensaio de ISC com agregados (trecho Armazém - Gravatal)**

Dmax	h ot (%)	CBR (%)	Expansão (%)
2,305	7,8	115	0

b- ) Trecho Imaruí - BR 101 :

O material utilizado na base do pavimento do trecho Imaruí - BR 101 foi classificado como Brita Graduada Simples (BGS).

Os resultados do ensaio de frasco de areia são apresentados na Tabela 5.16 através da faixa de variação dos valores obtidos. Cabe, aqui ressaltar que a faixa de valores de grau de compactação obtidos no controle de execução da camada, situa-se dentro do valor mínimo admissível de 100% determinado pela especificação DER-SC-ES-P-02/92.

**Tabela 5.16 – Resultados obtidos no ensaio de frasco de areia (trecho Imaruí - BR 101)**

Umidade (%)	Daparente	Grau de Compactação (%)
4,2 a 8,0	2,112 a 2,200	100 a 115

**Tabela 5.18 – Materiais Utilizados nas Camadas de Revestimento Asfáltico**

<b>TRECHO</b>	<b>Revestimento ( CAP )</b>	<b>Tratamento Superficial ( Emulsão Asfáltica )</b>	<b>Imprimação ( Asfalto diluído )</b>	<b>Pintura de Ligação ( Emulsão Asfáltica )</b>
Armazém - Gravatal	85/100	RR-2C	CM 30	RR-2C
Gravatal - Braço do Norte	85/100	-	CM 30	RR-1C
Braço do Norte - S.Ludgero	85/100	-	CM 30	RR-1C
Urussanga - Orleans *	85/100	RR-2C	CM 30	RR-2C
Treze de Maio - BR 101	85/100	-	CM 70	RR-2C
Imaruí - BR 101	85/100	RR-1C	CM 70	RR-1C
Urussanga - Criciúma *	85/100	RR-2C	CM 30	RR-2C

\* Observação : dados referentes a medições para o trecho Criciúma – Urussanga – Orleans - São Ludgero

**Tabela 5.19 – Espessuras de revestimento em CAUQ (sondagem da estrutura)**

<b>TRECHO</b>	<b>Espessura (cm)</b>
Armazém - Gravatal	3,8 a 4,2
Urussanga - Orleans	
sub-trecho 1*	3,2 e 3,6
sub-trecho 2**	3,8 e 4,3
Imaruí - BR 101	2,9 a 4,5
Urussanga - Criciúma	5,0 a 5,6

**Observações :**

\* executado com sub-base de seixo rolado bruto ;

\*\* executado com sub-base de solo residual saprolítico.

Pode-se observar que as espessuras de revestimento determinadas nas sondagens foram consideravelmente menores que as espessuras determinadas pelo projeto.

A especificação DER/SC-ES-P-05/92 admite uma tolerância de até menos 10% na variação de valores individuais da espessura, em relação a espessura prevista em projeto. Entretanto, apresentaram-se nestas sondagens, espessuras 16 a 24% menores (para o trecho Armazém - Gravatal), 14 a 36% menores (para o trecho Urussanga - Orleans), até 27,5% menores (para o trecho Imaruí - BR 101) e de 25,3 a 33,3 % ( para o trecho Urussanga - Criciúma).

Além disso, estas espessuras determinadas na sondagem, não atendem as espessuras mínimas determinadas pelo método de dimensionamento do DNER (1979), que haviam sido atendidas de forma exata (valores iguais a 5 cm) no dimensionamento.

### 5.4.3 – Espessuras das Camadas Executadas de acordo com Controles de Obra

As espessuras das camadas de revestimento executadas foram, também, investigadas através das seguintes informações de obra :

- medições de serviços executados ;
- diários de controles de execução .

As espessuras indicadas nas medições dos serviços executados, foram disponibilizadas em 5 trechos, e constam na Tabela 5.20.

**Tabela 5.20 – Espessuras de revestimento em CAUQ (medições de serviços)**

<b>TRECHO</b>	<b>Espessura (cm)</b>
Armazém - Gravatal	5,0
Gravatal - Braço do Norte	5,0
Braço do Norte - São Ludgero	5,0
Urussanga - Orleans	5,0
Imaruí - BR 101	4,0 a 6,0

Nos controles de execução consultados em diários de obras foram apresentadas informações sobre as espessuras de revestimento executadas somente em 2 trechos (Treze de Maio - BR 101 e Imaruí - BR 101). A faixa de variação das espessuras e a média das espessuras observadas, de acordo com as informações de diários de obras, são apresentadas na Tabela 5.21.

**Tabela 5.21 – Espessuras de revestimento em CAUQ (controles de obra)**

<b>TRECHO</b>	<b>Faixa de variação da espessuras (cm)</b>	<b>Média das espessuras (cm)</b>
13 de Maio - BR 101	3,3 a 6,8	4,7
Imaruí - BR 101	2,9 a 5,3	4,0

As variações dos valores individuais das espessuras de revestimento verificados em medições de serviços, para os trechos apresentados na Tabela 5.21, em relação a espessura prevista em projeto, foram superiores ao que é permitido pela especificação do DER /SC.

Estas variações equivalem a espessuras até 17,5% menores (para o trecho Treze de Maio - BR 101), e até 27,5% menores (para o trecho Imaruí - BR 101).

#### 5.4.4 – Controles dos Agregados

O ensaio de adesividade dos agregados das pedreiras estudadas nos Projetos Finais de Engenharia (cujos resultados foram apresentados na Tabela 5.14) para mistura asfáltica, foi tido como "satisfatório" em 6 trechos, porém ressalta-se que em 5 destes utilizou-se 0,5% de aditivo para melhorar a adesividade e no trecho Armazém - Gravatal utilizou-se 1,0% de aditivo.

No trecho Urussanga - Orleans realizou-se este ensaio sob várias situações, obtendo-se resultados tidos como "má adesividade" (com 40% de descobrimento) sem a utilização de aditivo; até resultados de "boa adesividade" (com 5% de descobrimento) com a adição 0,50 e 0,75% de dois tipos de aditivos; e "ótima adesividade" (com 0% de descobrimento) com a adição 0,75 e 1,00% de três tipos de aditivos.

Caracteriza-se, então, em todos os ensaios realizados para os trechos estudados, que com adição de 0,5% de aditivo para melhorar a adesividade do agregado, estes apresentam um desempenho satisfatório com relação a este parâmetro.

De acordo com as informações da composição dos concretos asfálticos executados nos trechos, apresentadas na Tabela 5.22, em todos os trechos estudados foi utilizado 0,5 % de aditivo (com relação ao peso total de C.A.P.), o que garante a boa adesividade dos agregados indicados na incorporação à massa asfáltica.

**Tabela 5.22 – Composição dos Concretos Asfálticos utilizados na camada de Revestimento**

Trecho	CAP (%)	Brita (%)	Areia (%)	Pó-de-pedra (%)	Filler (%)	Aditivo (% Peso do CAP)
Armazém - Gravatal	5,8	-	-	-	-	0,5
Gravatal - Braço do Norte	5,6	33,04	18,88	37,76	4,72	0,5
Braço do Norte - S.Ludgero	5,6	33,04	18,88	37,76	4,72	0,5
Urussanga - Orleans *	5,6	33,04	18,88	37,76	4,72	0,5
Treze de Maio - BR 101	6,1	-	-	-	-	-
Imaruí - BR 101	5,5	81,15 **	9,5 ***	-	3,8	0,5
Urussanga - Criciúma *	5,6	33,04	18,88	37,76	4,72	0,5

Observações :

\* dados referentes a medições para o trecho Criciúma – Urussanga – Orleans - São Ludgero ;

\*\* cascalho britado ;

\*\*\* areia de duna.

## 6. ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS

A análise do desempenho dos pavimentos baseou-se em dados de avaliações dos pavimentos realizadas para estudos de Projeto de Restauração e para atualizações do banco de dados do Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) do DER/SC.

Entretanto, cabe observar que a última avaliação realizada pelo SGP do DER/SC foi em 1997, o que propicia uma certa falta de atualização nos dados disponíveis.

Outra ressalva importante é a de que os resultados da avaliação de 1997 efetuadas para o trecho Imaruí-BR 101 não serão considerados na análise comparativa entre os trechos, pois foram obtidos após a restauração executada no pavimento.

As avaliações dos pavimentos realizadas abrangeram os seguintes levantamentos :

- Avaliação de Defeitos de Superfície ;
- Medições de Deflexões Recuperáveis ;
- Determinação do IRI (condições de irregularidade).

### 6.1- Resultados obtidos das Avaliações dos Pavimentos

Os resultados obtidos , bem como os principais aspectos das avaliações realizadas, são a seguir abordados neste item .

#### 6.1.1 - Avaliação de Defeitos de Superfície

Esta análise refere-se principalmente às avaliações de defeitos de superfície realizadas para o SGP do DER/SC nos anos de 1995 e 1997, de acordo com o que é estabelecido pelo Manual de Procedimentos do SGP (DER/SC, 1997), cujas considerações principais são apresentadas no **Anexo D** .

Os percentuais médios das extensões afetadas pelos defeitos inventariados em cada um dos trechos estudados, são apresentadas na Tabela 6.1.

**Tabela 6.1 – Defeitos de Superfície ( Percentuais médios\*)**

TRECHO	Trincas		Couro de Jacaré		Remendos 1		Remendos 2		Painelas		Desgaste	
	SGP(95)	SGP(97)	SGP(95)	SGP(97)	SGP(95)	SGP(97)	SGP(95)	SGP(97)	SGP(95)	SGP(97)	SGP(95)	SGP(97)
Armazém - Gravatal	0,20	0,20	20,40	24,80	2,40	2,40	0,30	0,40	0	0,10	2,10	2,00
Gravatal - Braço do Norte	0,73	0,27	55,63	77,22	9,13	19,37	3,27	8,21	0,07	0,27	-	1,49
Braço do Norte - São Ludgero	0,88	0,21	53,14	63,48	13,71	23,08	5,29	11,17	0,46	0,80	-	9,60
Urussanga - Orleans(sub-trecho 1)	-	-	-	17,10	-	4,10	-	0,80	-	0,10	-	0,26
(sub-trecho 2)	0	-	-	58,90	-	9,90	-	1,30	-	0,10	-	3,40
Treze de Maio - BR 101	-	-	-	0,40	-	0,30	-	0,05	-	0	-	1,80
Imarui - BR 101 (sub-trecho 1)	-	-	-	0,03	-	0	-	0	-	0	-	0,68
(sub-trecho 2)	-	-	-	0	-	0,21	-	0	-	0	-	0
Urussanga - Criciúma	-	-	-	72,20	-	7,90	-	0,01	-	0,18	-	13,77

TRECHO	Exsudação		Afundam. Trilha 1		Afundam. Trilha 2		Afund. Trilha 3		Afund. de Bordo	
	SGP(95)	SGP(97)	SGP(95)	SGP(97)	SGP(95)	SGP(97)	SGP(95)	SGP(97)	SGP(95)	SGP(97)
Armazém - Gravatal	0	0	0	2,20	1,70	1,30	0	0	0,30	0,10
Gravatal - Braço do Norte	0	0	-	0	-	3,38	-	0	-	0
Braço do Norte - São Ludgero	0	0	-	0	-	1,69	-	0	-	0
Urussanga - Orleans(sub-trecho 1)	0	0	-	-	-	0,05	-	0,07	-	0,07
(sub-trecho 2)	0	0	-	-	-	0,90	-	1,30	-	0,30
Treze de Maio - BR 101	0	0	-	-	-	0	-	0	-	0
Imarui - BR 101 (sub-trecho 1)	0	0	-	-	-	0	-	0	-	0
(sub-trecho 2)	0	0	-	-	-	0	-	0	-	0
Urussanga - Criciúma	0	0	-	-	-	1,50	-	0	-	0

**Observações :**

\* Os levantamentos referem-se ao percentual da extensão afetada de cada segmento (exceto as painelas que é o percentual médio de ocorrências p/ o número de estações inventariadas).

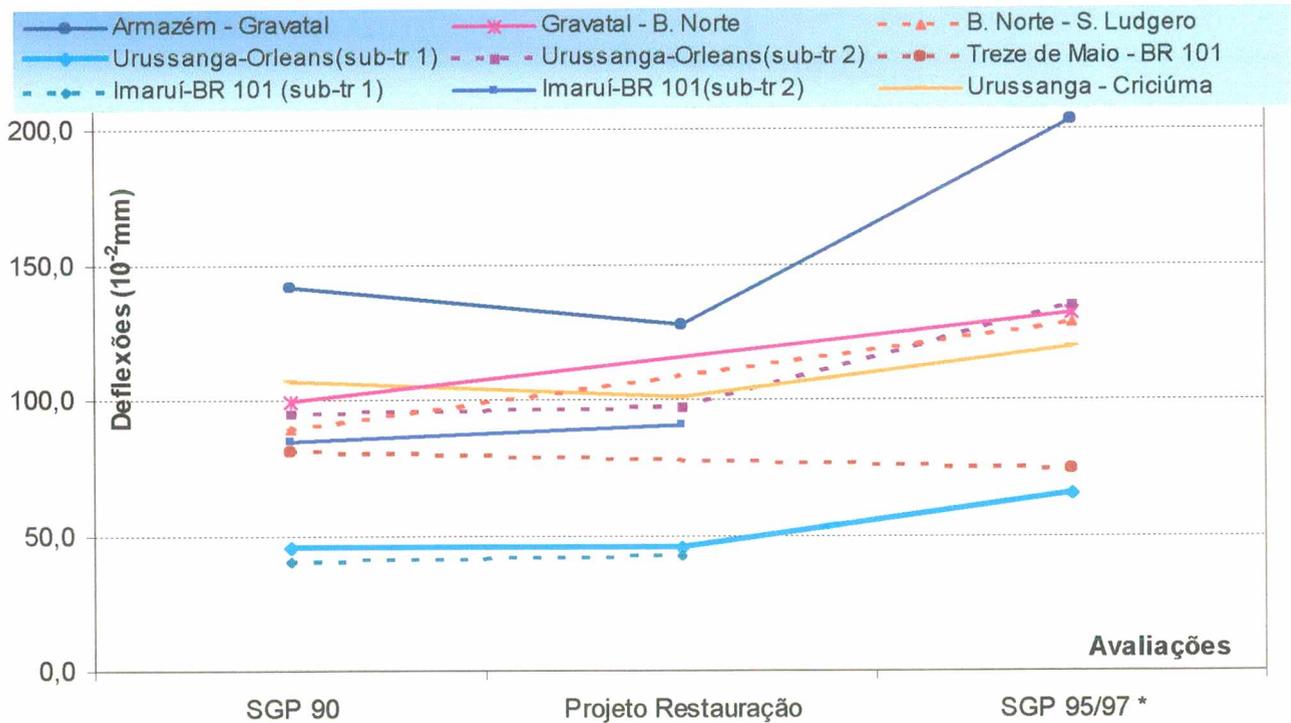
### 6.1.2 - Medições de Deflexões Recuperáveis

As medições de deflexões recuperáveis foram efetuadas com viga Benkelman nas duas primeiras avaliações (SGP 1990 e Projetos de Restauração-1994 a 1996) e com equipamento tipo FWD na última avaliação (SGP 1995/1997).

Os valores médios das deflexões recuperáveis máximas em cada um dos trechos estudados, são resumidos sob forma de gráfico na Figura 6.1. As deflexões medidas com FWD ( $D_{FWD}$ ) foram transformadas em deflexões Benkelman ( $D_B$ ) através das correlações apresentadas por DUARTE et al. (1996) com objetivo de utilização em dimensionamento de reforços de pavimentos pelos métodos do DNER e no modelo HDM do Banco Mundial, as quais são transcritas a seguir :

$$D_B = 20,645 (D_{FWD} - 19)^{0,351} - p/ \text{valores de } D_{FWD} < 85 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_B = 8,984 (D_{FWD} - 60)^{0,715} - p/ \text{valores de } D_{FWD} > 85 \times 10^{-2} \text{ mm} .$$



**Figura 6.1 – Médias das Deflexões Recuperáveis Máximas**

\*Nota : medições FWD convertidas para Viga Benkelman.

No caso dos trechos aqui estudados, tem-se um estudo de medições efetuadas pelo consórcio das empresas KOCKS / PROSUL no Projeto de Reabilitação do trecho Urussanga - Criciúma em 1995, no qual determinou-se as seguinte correlação (com um  $R^2 = 0,637$ ):

$$D_B = (0,907 \times D_{FWD}) + 14,52$$

### 6.1.3 - Medição do IRI (condições de irregularidade)

A determinação dos valores de IRI foram feitas utilizando-se equipamento medidor de resposta modelo Integrador IPR / USP, com espaçamento de 200 metros, sendo que os valores médios obtidos nas medições efetuadas para os trechos estudados são apresentados no gráfico na Figura 6.2.

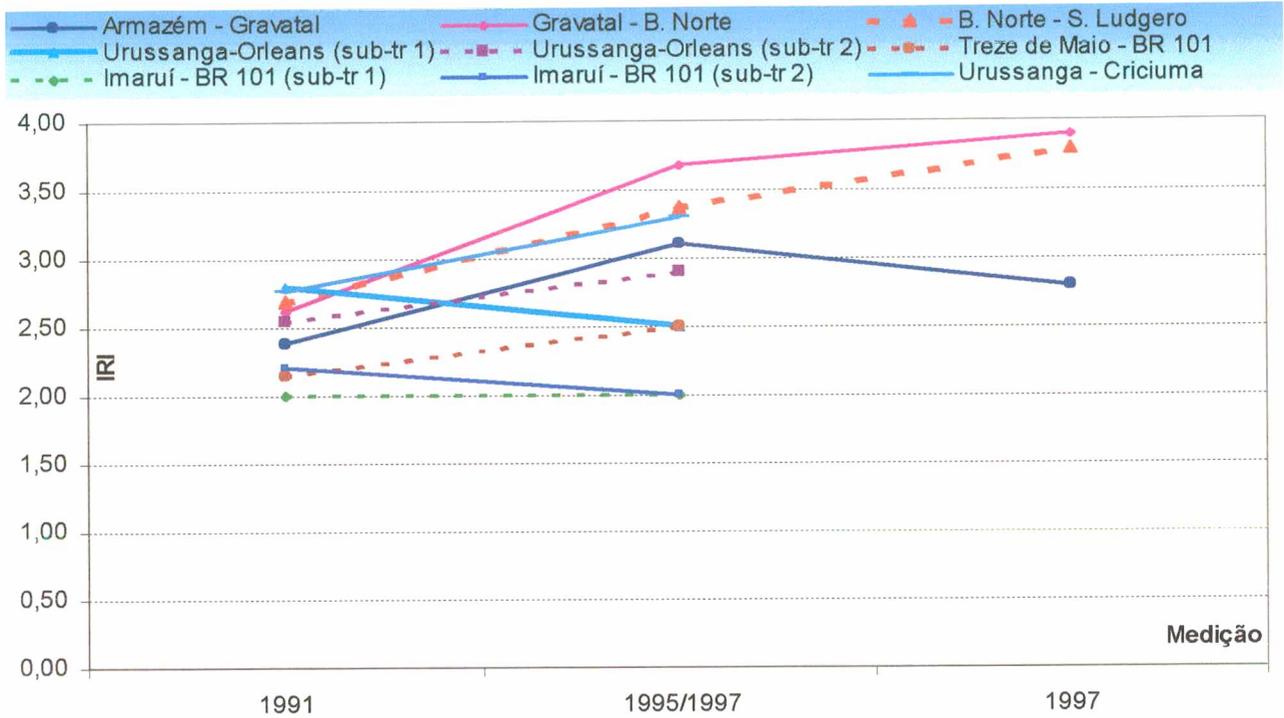


Figura 6.2 – Médias de IRI

## 6.2- Caracterização do Estado de Conservação dos Pavimentos

O Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC apresenta no seu Manual de Procedimentos (DER/SC,1997), alguns índices para acompanhar as condições dos pavimentos, e, limites máximos de valores a serem atingidos pelas degradações no pavimento para se realizar a programação de intervenções, para os trechos que constituem a rede de rodovias sob responsabilidade do DER/SC.

### 6.2.1 - Avaliação de acordo com a Programação de Intervenções na Rede (PROG)

O sistema de programação deve permitir a definição dos programas de intervenção na rede, determinando a solução de manutenção para cada trecho, bem como estabelecer as prioridades de intervenção de cada trecho (DER/SC,1997). Sendo assim o Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC utiliza um programa para esta finalidade denominado PROG.

Dentro deste programa estabelece-se primeiramente uma classificação composta de duas notas de prioridade para cada segmento unitário, que são as seguintes :

- nota de prioridade do *Usuário* : para assegurar o conforto e a segurança ;
- nota de prioridade do *Patrimônio* : manter bom estado da estrutura do pavimento e adaptá-lo á evolução do tráfego.

Essas duas notas são calculadas com base em indicadores pertinentes aos objetivos fixados para o *Usuário* ( irregularidade, aderência, trilha de roda, exsudação, panelas, condição dos acostamentos e desgaste) e para o *Patrimônio* ( trincas, couro de jacaré, trilha de roda, afundamento de borda, deflexão, remendos, drenagem e condição dos acostamentos).

A determinação das notas baseada em indicadores elementares, como foi exposto, considera ainda para cada um dos indicadores dois níveis :

- *Nível de Alerta* – a partir do qual o pavimento deve ser colocado sob controle e deve ser objeto de uma programação a curto ou médio prazo ;
- *Nível de Intervenção* – quando atingido provoca teoricamente intervenções de manutenção, leves ou pesadas, dependendo dos valores atingidos.

#### 6.2.1.1 - *Determinação dos Níveis em que se encontram os Trechos*

Estes níveis são determinados de acordo com três categorias de tráfego estabelecidas na modelação técnica da malha rodoviária do DER/SC, sendo ambos (níveis e categorias de tráfego) apresentados no **Anexo B** .

A aplicação do PROG consistiu na avaliação dos níveis que foram atingidos para cada um dos parâmetros citados (irregularidade, deflexão e defeitos) considerando os dados obtidos do levantamento realizado pelo SGP do DER/SC em 1997 (alguns dados de deflexão são de 1995) nos trechos estudados. Não foram consideradas as condições de drenagem e do acostamento.

A determinação dos níveis foi feita de modo particular para cada um dos parâmetros, de acordo com os valores médios obtidos pelos resultados dos últimos levantamentos do SGP do

DER-SC. Os resultados apresentados na Tabela 6.2 referem estes valores médios obtidos aos valores limites para Nível de Alerta (NA) e Nível de Intervenção (NI) em termos percentuais.

Por exemplo, quando não se atingiu o Nível de Alerta indicou-se NA – x %, onde o “x” representa o percentual que o valor médio do parâmetro está abaixo do Nível de Alerta.

#### 6.2.1.2 - Considerações sobre os Resultados desta Avaliação

##### a-) Situação dos Trechos

O trecho em *melhor situação* é o que liga Treze de Maio - BR 101, pois nenhum parâmetro avaliado atingiu (até os levantamentos realizados pelo SGP do DER/SC em 1997) nem mesmo o nível de alerta, considerando-se as médias dos valores levantados para todas as estações inventariadas.

Os trechos em *pior situação* são os que ligam Gravatal - Braço do Norte, Braço do Norte - São Ludgero e Urussanga - Criciúma, pois tiveram, respectivamente, 6, 5 e 4 parâmetros que atingiram e/ou superaram o nível de intervenção (nos levantamentos realizados pelo SGP do DER/SC em 1997), considerando-se as médias dos valores levantados para todas as estações inventariadas. Ressalta-se aqui que destes trechos o primeiro e o último tiveram estes níveis de intervenção superados nas médias de irregularidades medidas, considerando-se a prioridade do Usuário, ou seja, as condições de rolamento da pista encontram-se em condições péssimas de acordo com o que julga o PROG para que o usuário tenha condições de conforto e segurança.

Tabela 6.2 – Aplicação do programa PROG (DER /SC)

Trecho	Categoria da rodovia	Prioridade Usuário			Prioridade Patrimônio						
		Irregularid.	Trilha de Roda 1	Exsudação	Panelas *	Irregularid.	Deflexão	Jacaré 2	Trilha de Roda 2	Remendo 1	Remendo 2
Armazém - Gravatal	II	NA+4,0%	NA-84,0%	0	NI	NA-13,3%	NI+38,3%	NI-0,8%	NA-90,0%	NA-76%	NA-96%
Gravatal - Braco do Norte	I	NI+20,3%	0	0	NI+700%	NI+3,1%	NI+47,0%	NI+415%	NA-32,4%	NI-37,1%	NI-17,9%
Braco do Norte - São Ludgero	I	NI-5,7%	0	0	NI+900%	NA-5,7%	NI+42,7%	NI+323%	NA-66,2%	NI+130,8%	NI+11,7%
Urussanga - Orleans (sub-trecho 1)	I	NA	-	0	NI+66,7%	NA-16,7%	NA-8,6%	NI+14,7%	NA-99%	NA-18%	NA-84%
(sub-trecho 2)	I	NI-3,3%	-	0	NI+150%	NA-3,3%	NI+49,1%	NI+293%	NA-82%	NI-1%	NA-74%
Treze de Maio - BR 101	III	NA-16,7%	-	0	0	NA-28,6%	NA-42,4%	NA-98,4%	0	NA-98,5%	NA-99,8%
Imarui - BR 101 (sub-trecho 1)	II	NA-20,0%	-	0	0	NA-33,3%	NA-39,1%**	NA-99,8%	0	0	0
(sub-trecho 2)	II	NA-20,0%	-	0	0	NA-33,3%	NI-9,3%**	0	0	NA-97,9%	0
Urussanga - Cricúma	I	NI+8%	-	0	NI+650%	NA+8%	NI+66%	NI+381%	NA-70%	NI-21%	NA-99,8%

Observações :

\* considera-se o número de panelas ao longo do trecho.

\*\* os valores de deflexão aqui considerados para o trecho Imarui - BR 101 são de 1994, portanto antes da restauração executada no pavimento.

\*\*\* a referência em relação Nivel de Alerta (NA) foi considerada até 50% acima do valor limite para este nível, acima deste percentual o parâmetro passou a ser referenciado ao Nivel de Intervenção (NI - x%).

LEGENDA :

NI + = percentual acima do limite de Nivel de Intervenção

NI - = percentual abaixo do limite de Nivel de Intervenção

NA + = percentual acima do limite de Nivel de Alerta

NA - = percentual abaixo do limite de Nivel de Alerta

## b-) Avaliação particular de alguns Parâmetros

Dois parâmetros apresentaram valores baixos, de acordo com os levantamentos do SGP do DER-SC de 1997, a exsudação e as trilhas de rodas, não tendo sido atingidos nem mesmo níveis de alerta para estes parâmetros em nenhum dos trechos estudados.

Em contrapartida os parâmetros que tiveram os *piores resultados* em relação ao que se estabelece no sistema PROG foram as ocorrências de panelas e o percentual de extensões afetadas por couro de jacaré nível 2, tendo estes superado consideravelmente os níveis de intervenção estabelecidos em 4 dos 7 trechos estudados, considerando-se as médias dos valores levantados para todas as estações inventariadas.

Além destes parâmetros, os valores médios de deflexões medidas também superaram os níveis de intervenção em 5 trechos, incluindo os 4 trechos onde os defeitos citados atingiram estes níveis. Pode-se, assim, considerar a possibilidade de se associar o mau comportamento estrutural dos pavimentos nestes trechos à considerável evolução dos defeitos relacionados ao processo de fadiga nos pavimentos.

## 6.3- Aplicação de Índices de Condição do Pavimento

A partir dos resultados destas avaliações aplicaram-se duas metodologias diferentes para estabelecer “Índices de Condição dos Pavimentos” :

- 1.) Apresentada pelo sub-sistema ACOMP do SGP do DER/SC (DER/SC, 1997) para Acompanhamento da Malha Rodoviária do órgão ;
- 2.) Método VIZIR, AUTRET e BROUSSE (1991), desenvolvido pelo “Laboratoire Central des Ponts et Chaussées”- LCPC .

### 6.3.1 - Determinação dos Índices utilizados para Acompanhamento da Malha Rodoviária do DER/SC

O Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC, apresenta um sub-sistema para Acompanhamento da Malha Rodoviária denominado ACOMP. O ACOMP utiliza-se para este fim de dois índices distintos:

- Índice de Qualidade do Usuário (IQU) - considera a irregularidade e três defeitos na superfície do pavimento ( panelas , exsudação e trilha de roda nível 1 ) ;

- Índice de Qualidade do Patrimônio (IQP) - considera a irregularidade, a deflexão e cinco defeitos na superfície do pavimento (trincas, couro de jacaré níveis 1 e 2, e trilha de roda níveis 2 e 3).

Para cada um dos parâmetros avaliados pelos índices (IQU e IQP) são determinadas notas, de acordo com intervalos de valores apresentados no **Anexo C**.

O IQP considera limites menos rígidos para estabelecer a nota de irregularidade do que o IQU, justificando-se que este parâmetro acarreta maiores prejuízos ao usuário (piores condições de rolamento na pista) do que ao patrimônio.

#### 6.3.1.1 - *Determinação dos Índices IQP e IQU para os Trechos Estudados*

Os resultados obtidos na aplicação destes índices nos trechos aqui estudados são apresentados na Tabela 6.3, considerando as mesmas três categorias de tráfego citadas no subitem anterior (apresentadas no **Anexo C**).

#### 6.3.1.2 - *Considerações sobre os Resultados destes Índices*

De acordo com estes resultados o Índice de Qualidade do Usuário (IQU), que privilegia o conforto e a segurança do mesmo, determinou-se :

- 2 trechos em estado *péssimo* (Gravatal - Braço do Norte e Braço do Norte - São Ludgero);
- 2 trechos em estado *ruim* (sub-trecho 2 de Urussanga - Orleans e Urussanga - Criciúma);
- 2 trechos em estado *regular* (Armazém - Gravatal e sub-trecho 1 de Urussanga - Orleans);
- 1 trecho em estado *ótimo* (Treze de Maio - BR 101).

Para os dois sub-trechos do trecho Imaruí - BR 101 obteve-se um conceito *ótimo* para o IQU, entretanto consideraram-se dados obtidos após a restauração do pavimento.

Foram consideradas as médias dos valores obtidos em todas as estações inventariadas nos levantamentos do Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC, no ano de 1997, para os parâmetros avaliados.

Tabela 6.3 – Aplicação do sub - sistema ACOMP (DER /SC)

TRECHO	Índice Qualidade do Usuário (IQU)				Índice de Qualidade do Patrimônio (IQP)								
	Irregul. (IRI)	Defeitos		IQU	Irregul. (IRI)	Deflexões	Defeitos			Deflexões + Defeitos	IQP		
		Panelas *	Exsudação				Trilhas de Roda 1	Jacaré 1	Jacaré 2			Trilhas de Roda 2	Trilhas de Roda 3
Armazém - Gravatal	C	C	A	A	C	E	A	A	E	A	A	E	D
Gravatal - Braço do Norte	E	E	A	A	E	E	A	A	E	A	A	E	E
Braço do Norte - São Ludgero	C	E	A	A	E	E	A	A	E	A	A	E	D
Urussanga - Orleans (sub-trecho 1)	B	E	A	Z	C	A	Z	Z	E	Z	Z	C	B
(sub-trecho 2)	C	E	A	Z	D	E	A	D	E	A	A	E	D
Treze de Maio - BR 101	A	A	A	Z	A	A	A	A	A	A	A	A	A
(sub-trecho 1)	A	A	A	Z	A	A	A	A	A	A	A	A	A
(sub-trecho 2)	A	A	A	Z	A	A	A	A	A	A	A	B	B
Urussanga - Criciúma	D	E	A	Z	D	E	D	D	E	D	A	E	D

Observações :

\* considera-se o número de panelas ao longo do trecho.

\*\* os valores de deflexão aqui considerados para o trecho Imaruí - BR 101 são de 1994, portanto antes da restauração executada no pavimento.

**LEGENDA :**

A classificação do estado das rodovias adotada é a seguinte :

- A = ótimo ;
- B = bom ;
- C = regular ;
- D = ruim ;
- E = péssimo ;
- Z = ausência de dados .

A aplicação do Índice de Qualidade do Patrimônio (IQP), que prioriza a manutenção do bom estado da estrutura do pavimento, determinou :

- 1 trecho em estado *péssimo* (Gravatal - Braço do Norte) ;
- 4 trechos em estado *ruim* ( Armazém - Gravatal , Braço do Norte - São Ludgero, sub-trecho 2 de Urussanga - Orleans e Urussanga - Criciúma) ;
- 1 trecho em estado *bom* (sub-trecho 1 de Urussanga - Orleans), e 1 trecho em estado *ótimo* ( Treze de Maio - BR 101 ).

Para o trecho Imaruí - BR 101 obteve-se um conceito *ótimo* de IQP para o sub-trecho 1 (executado com areia no reforço do subleito) e um conceito *bom* para o sub-trecho 2 (executado com solo residual saprolítico no reforço do subleito), considerando, entretanto, dados obtidos após a restauração do pavimento.

Três trechos apresentaram uma melhoria de conceito no índice que prioriza a estrutura do pavimento (IQP) em relação ao índice que privilegia o conforto e a segurança do usuário (IQU), foram estes os que ligam Braço do Norte - São Ludgero, Urussanga - Orleans (sub-trecho 1) e Imaruí - BR 101.

Situação oposta, ou seja um melhor conceito no IQU, ocorreu no trecho Armazém-Gravatal.

### 6.3.2 - Avaliação dos Defeitos de Superfície pelo método VIZIR

O método VIZIR (AUTRET e BROUSSE, 1991) desenvolvido pelo LCPC - “ Laboratoire Central des Ponts et Chaussées” para avaliação das condições do pavimento a partir da quantificação e classificação dos defeitos da superfície do pavimento, de acordo com o que é apresentado no **Anexo E**. O VIZIR estabelece a determinação de um índice (“Índice Global de Degradação”) com finalidade de estimar a qualidade da superfície do pavimento para fins de tomadas de decisões de futuros serviços de manutenção.

O “Índice Global de Degradação” é calculado considerando-se 3 grupos de defeitos :

- Trincas ou Couros de Jacarés ;
- Deformações de Trilha de Roda ;
- Remendos .

**a-) Índice de Trincas –  $I_t$  :**

Este índice depende da severidade e extensão das trincas e couros de jacarés, sendo o que apresentar maior extensão percentual destes dois defeitos aquele a ser utilizado no cálculo do índice  $I_t$ , definido de acordo com o que se apresenta no **Anexo E**.

**b-) Índice de Deformações –  $I_d$  :**

Este índice depende da severidade e extensão das deformações e trilhas de rodas, sendo definido de acordo com o que é apresentado no **Anexo E**.

**c-) Índice de Degradação Não - Corrigido :**

Combinando-se os índices  $I_t$  e  $I_d$  obtém-se um índice de degradação, de acordo com o que é definido no **Anexo E**, que em certos casos esconde algumas deficiências da superfície do pavimento, devendo, então, ser corrigido (etapa seguinte).

**d-) Correção do Índice de Degradação :**

A correção necessária para o índice de degradação representar de forma eficaz a qualidade do pavimento, é feita somando-se 1 ao índice não-corrigido nos casos definidos no **Anexo E**.

**e-) Índice de Degradação da Superfície -  $I_s$**

Realizando-se a correção de acordo com a etapa anterior, obtém-se o "*Índice de Degradação da Superfície*" ( $I_s$ ), que pode, então, variar de 1 a 7.

Estes valores representam as seguintes situações :

- $I_s = 1$  ou  $2$  - superfície em boas condições, não necessitando de serviços de manutenção (no momento presente) ;
- $I_s = 3$  ou  $4$  - superfície em condição intermediária, necessitando de uma manutenção preventiva ;
- $I_s = 5, 6$  ou  $7$  - superfície em más condições, necessitando de um serviço maior de manutenção ou até de restauração .

### 6.3.2.1 - Aplicação dos Índices Propostos pelo Método VIZIR

Para a aplicação dos índices propostos pelo método VIZIR considerou-se aqui, que para :

- o Índice de Trincas ( $I_t$ ) a ocorrências de trincas interligadas tipo couro de jacaré do nível 2 (de acordo com o que estabelece o SGP do DER/SC) como sendo equivalente ao de trincas interligadas com severidade 2, de acordo com o que estabelece o método VIZIR (**Anexo E**) ;
- o Índice de Deformação ( $I_d$ ) a ocorrências de trilhas de rodas do nível 2 (de acordo com o que estabelece o SGP do DER/SC) como sendo equivalente ao mesmo defeito com severidade 2, de acordo com o que consta no **Anexo E**.

Sendo assim, os índices obtidos para cada um dos trechos, considerando-se a média dos valores levantados em cada uma das estações inventariadas pelo Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC em 1997, são apresentados na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4 - Resultados da 1ª aplicação dos Índices propostos pelo VIZIR**

Trecho	Índice de Degradação da Superfície		
	$I_t^*$	$I_d$	$I_s$ corrigido
Armazém - Gravatal	3	2	4
Gravatal - B. Norte	4	2	5
B. Norte - S. Ludgero	4	2	5
Urussanga - Orleans (sub-trecho 1)	3	2	4
Urussanga - Orleans (sub-trecho 2)	4	2	5
Treze de Maio - BR 101	2	2	3
Imaruí - BR 101 (sub-trecho 1)	2	2	3
Imaruí - BR 101 (sub-trecho 2)	2	2	3
Urussanga - Criciúma	4	2	5

\* considerando as trincas interligadas tipo couro de jacaré do nível 2 como sendo de severidade 2.

### 6.3.2.2 - Considerações sobre os resultados destes Índices obtidos

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 6.4, têm-se pelo que estabelece o método VIZIR, 3 trechos com superfícies em más condições ( Gravatal - Braço do Norte,

Braço do Norte - São Ludgero e Urussanga - Criciúma), além do sub-trecho 2 de Urussanga-Orleans; e os outros 3 trechos estudados (Armazém - Gravatal, Treze de Maio - BR 101 e Imaruí - BR 101), juntamente com o sub-trecho 1 de Urussanga - Orleans, em condições intermediárias.

Os trechos que situam-se nos limites de má condição da superfície do pavimento, assim se apresentaram devido ao alto percentual em extensão de couro de jacaré do nível 2 (acima de 60% na média das estações inventariadas). Como já foi apresentado anteriormente neste item é colocado por AUTRET e BROUSSE (1991) que pavimentos nestas condições necessitam imediatamente de serviços maiores de manutenção ou até mesmo restauração do pavimento.

Com relação aos outros trechos pôde-se constatar uma ineficiência na aplicação dos índices propostos por este método, considerando que mesmo apresentando percentuais extremamente baixos de couro de jacaré nível 2 (abaixo de 0,5% na média das estações inventariadas), os trechos Treze de Maio - BR 101 e Imaruí - BR 101 somente por considerar a ocorrência desta degradação como do nível de severidade 2, obtém um índice de trincas que de forma combinada com o índice de deformação, não parece considerar uma diferenciação destes baixos percentuais com os percentuais consideravelmente mais elevados dos trechos Urussanga - Orleans (sub-trecho 1) e Armazém - Gravatal (respectivamente 17,1% e 24,8%). Segundo os autores citados no parágrafo anterior, pavimentos nestas condições necessitam somente de uma manutenção preventiva.

Entretanto, se for feita uma alteração em uma das considerações iniciais feitas para a aplicação deste método, considerando a ocorrência de trincas interligadas tipo couro de jacaré do nível 2 (de acordo com o que estabelece o SGP do DER/SC) como sendo equivalente ao de trincas interligadas com severidade 3 (ao invés de severidade 2), que parece estar mais próximo dos limites estabelecidos pelo método VIZIR para esta degradação, os índices de degradação da superfície pioram na maioria dos trechos, como pode-se observar na Tabela 6.5.

Sendo assim somente os trechos Treze de Maio - BR 101 e Imaruí - BR 101 se encontram em condições intermediárias, estando os demais trechos em más condições de degradação superficial.

**Tabela 6.5- Resultados de nova aplicação dos Índices propostos pelo VIZIR**

Trecho	Índice de Degradação da Superfície		
	$I_t^*$	$I_d$	$I_s$ corrigido
Armazém - Gravatal	4	2	5
Gravatal - B. Norte	5	2	5
B. Norte - S. Ludgero	5	2	5
Urussanga - Orleans (sub-trecho 1)	4	2	5
Urussanga - Orleans (sub-trecho 2)	5	2	5
Treze de Maio - BR 101	3	2	4
Imaruí - BR 101 (sub-trecho 1)	3	2	4
Imaruí - BR 101 (sub-trecho 2)	3	2	4
Urussanga - Criciúma	5	2	5

\* considerando as trincas interligadas tipo couro de jacaré do nível 2 como sendo de severidade 3

## 6.4 - Considerações Gerais sobre as Avaliações dos Trechos

### 6.4.1 – Processo de Fadiga do Pavimento x Condição Estrutural

Como pôde ser observado na avaliação realizada de acordo com os sub-sistemas PROG e ACOMP do Sistema de Gerência de Pavimentos do DER-SC, os trechos com maior ocorrência de trincamento interligado couro de jacaré (nível 2), remendos (nível 1) e panelas, apresentaram um mau desempenho estrutural, refletido através de altos valores de deflexões recuperáveis medidos nestes trechos (Gravatal - Braço do Norte; Braço do Norte - São Ludgero; Urussanga - Orleans - subtrecho 2 ; e; Urussanga - Criciúma).

Assim como os trechos com menores valores de deflexões recuperáveis (Urussanga - Orleans, subtrecho 1 e Treze de Maio - BR 101 ) também apresentaram os menores percentuais dos referidos defeitos.

Verificou-se, assim, em 5 dos 7 trechos estudados uma significativa influência da capacidade estrutural destes pavimentos na evolução de defeitos relacionados à fadiga do pavimento. Cabe ressaltar que não coube efetuar uma análise para o trecho Imaruí - BR 101, pois os dados obtidos de defeito de superfície referem-se a um período após a execução da restauração do pavimento.

O trecho Armazém - Gravatal é a única exceção com relação ao comportamento associado da capacidade estrutural com a fadiga do pavimento, pois apresenta elevados

valores de deflexões recuperáveis (inclusive sendo o maior valor médio entre todos os trechos), entretanto, apresenta ocorrências de trincamentos ocorrendo de forma mais localizada .

#### **6.4.2 – Afundamento de Trilha de Rodas x Condição Estrutural**

A ocorrência de afundamentos plásticos nas trilhas de rodas não devem necessariamente estar associados a um mau comportamento da estrutura do pavimento, pois este tipo de defeito pode ter como origem aspectos de ordem construtiva tais como compactação inadequada de alguma(s) camada(s) do pavimento ou aplicação da mistura asfáltica com baixa estabilidade em locais com solicitação de tráfego lento e pesado.

Nos trechos em estudo não se observaram percentuais significativos de ocorrência de afundamentos nas trilhas de rodas. Como pode-se observar na Tabela 6.1, o trecho com maior ocorrência deste defeito apresentou somente 3,5 % de sua extensão afetada por afundamentos nas trilhas de rodas (somando-se os três níveis adotados na avaliação do SGP).

Os trechos que não apresentaram ocorrências de afundamentos plásticos nas trilhas de rodas foram aqueles com os melhores comportamentos estruturais justificados pelas menores médias de deflexões recuperáveis máximas, sendo estes : Urussanga - Orleans ( sub-trecho 1) e Treze de Maio - BR 101 .

Entretanto, para este último trechos pode-se justificar este fato, também pelo baixo volume de tráfego de veículos, de acordo com que se apresentou no capítulo 4 .

#### **6.4.3 – Irregularidade x Defeitos de superfície**

A medição de irregularidade no pavimento detecta todas as distorções que ocorrem na sua superfície, como afundamentos causados por falhas construtivas ou defeitos causados pelo processo de fadiga do revestimento (trincas, remendos e panelas).

Entretanto, como observou-se na avaliação dos defeitos de superfície dos pavimentos dos trechos aqui estudados, os afundamentos plásticos ocorreram de forma mais localizada que os defeitos relacionados à fadiga, procurou-se, então, estabelecer uma relação destes últimos com os valores de IRI medidos.

Pela última avaliação da irregularidade (de acordo com valores apresentados no gráfico da Figura 6.2), pode-se observar que os trechos que apresentam os menores valores de IRI (próximo a 2,5) são aqueles com melhores condições de defeitos de superfície : Treze de Maio – BR 101, Armazém - Gravatal , e Urussanga - Orleans (sub-trecho 1).

Em contrapartida os trechos com maiores valores de IRI apresentam-se com consideráveis percentuais de trincamentos interligados e remendos (nível 1 e 2), como pode ser melhor observado pelos gráficos apresentados na Figura 6.3.

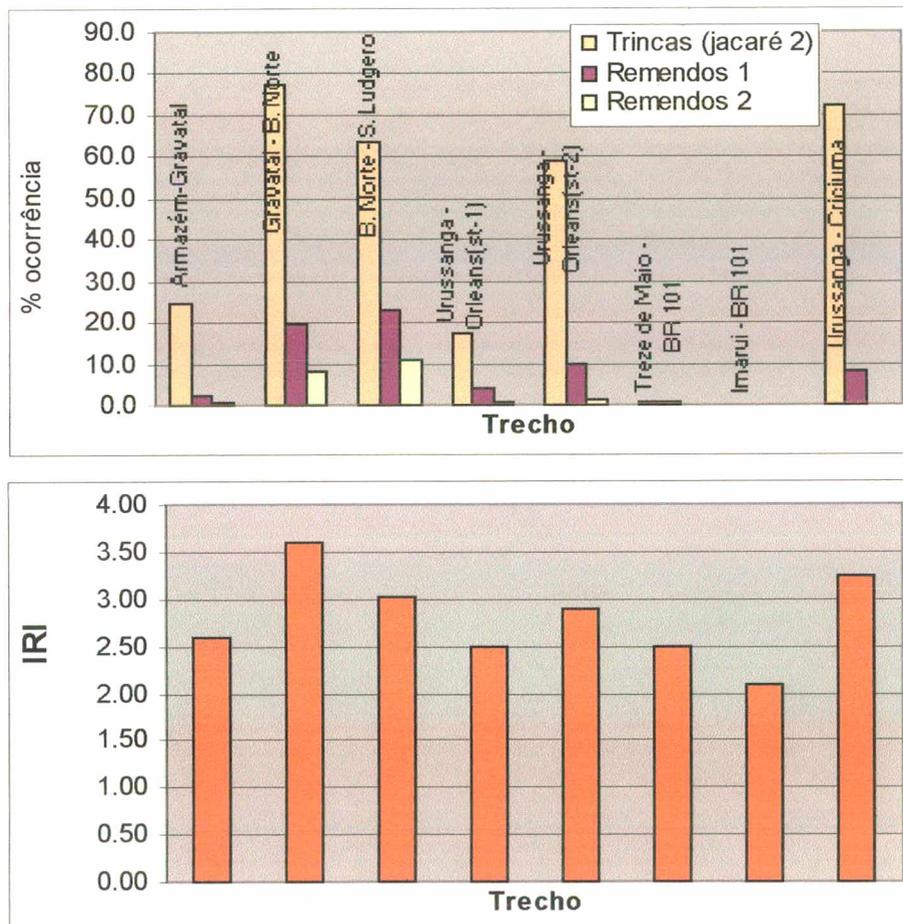


Figura 6.3 – Gráficos com valores médios de trincamentos, remendos e IRI

#### 6.4.4 – Comparativo entre os subtrechos com sub-base de solo residual saprolítico e seixo rolado bruto ( trecho Urussanga-Orleans )

A execução de dois segmentos do trecho Urussanga - Orleans com materiais de sub-base distintos permite uma análise comparativa, cabendo ressaltar que :

- esta análise foi feita devido ao fato de tratar-se de segmentos de um mesmo trecho rodoviário, e apresentarem, portanto, condições de solicitação do tráfego e influências ambientais externas semelhantes ;

- entretanto, deve-se considerar, que de acordo com sondagens feitas para estudos de projeto de restauração do pavimento, as camadas de bases destes dois segmentos são distintas (materiais e espessuras), o que pode tirar a influência exclusiva do material utilizado na sub-base na análise realizada.

O comportamento estrutural do sub-trecho 1 do trecho Urussanga – Orleans, executado com sub-base de seixo rolado bruto, apresentou um desempenho consideravelmente melhor que a do sub-trecho 2 (executado com solo residual saprolítico), como pode ser verificado na Tabela 6.6 que apresenta os valores médios de deflexões recuperáveis obtidos nas medições efetuadas.

**Tabela 6.6 – Médias das Deflexões Máximas medidas nos 2 sub-trechos distintos do trecho Urussanga - Orleans ( x 10<sup>-2</sup> mm)**

Medições referentes ao ano de :	1990 SGP (DER-SC)	1994 Projeto de Restauração	1997 SGP (DER-SC)
Sub-trecho 1 (seixo rolado bruto)	45,4	45,2	45,7
Sub-trecho 2 (solo residual saprolítico)	95,2	97,0	104,4

Com relação aos defeitos relacionados com o processo de fadiga do revestimento, observa-se pelos resultados apresentados na Tabela 6.7 que o sub-trecho 2 , executado com sub-base de solo residual saprolítico, encontra-se mais deteriorado .

**Tabela 6.7 – Percentual médio de incidência de defeitos nos 2 sub-trechos distintos do trecho Urussanga - Orleans**

Defeito	Couro de Jacaré	Painéis	Remendos	
			Nível 1	Nível 2
Sub-trecho 1 (seixo rolado bruto)	17,10 *	0,10 **	4,10 *	0,01 *
Sub-trecho 2 (solo residual saprolítico)	53,14 *	0,10 **	9,90 *	1,30 *

Observações : \* referem-se aos percentuais médios de extensão afetada ;

\*\* referem-se aos percentuais médios de número de ocorrências por número de estações inventariadas.

Pelos resultados apresentados pode-se associar o estado mais avançado de deterioração da superfície do pavimento do sub-trecho executado com sub-base de solo residual

saprolítico, ao pior desempenho de sua estrutura em relação ao sub-trecho em que tem-se seixo rolado bruto na sub-base.

E, finalmente, cabe aqui colocar que o sub-trecho 2 apresentou uma média do índice de irregularidade (IRI) um pouco maior que a do sub-trecho executado com seixo rolado bruto.

#### **6.4.5 – Comparativo entre os sub-trechos com reforço do subleito executados com solo residual saprolítico e areia ( trecho Imaruí - BR 101)**

Assim como na análise feita no item anterior, tem-se aqui para o trecho Imaruí - BR 101 a oportuna ocorrência de dois segmentos com materiais de reforço do subleito distintos permitindo uma análise comparativa do desempenho do pavimento nestes dois sub-trechos.

Entretanto, no caso do trecho Imaruí - BR 101, a análise comparativa restringe-se somente ao comportamento estrutural do pavimento antes da restauração efetuada em 1997, uma vez que os resultados de defeitos de superfície e irregularidade fornecidos pelo banco de dados do SGP do DER/SC foram obtidos logo após a restauração do pavimento.

O comportamento estrutural do sub-trecho 1, que teve o reforço do subleito executado com areia, foi mais satisfatório que o sub-trecho 2 (com reforço do subleito constituído por solo residual saprolítico), como constata-se pelos valores médios de deflexões recuperáveis medidos antes da restauração do pavimento apresentados na Tabela 6.8.

**Tabela 6.8 - Médias das Deflexões Máximas medidas nos 2 sub-trechos distintos do trecho Imaruí - BR 101 ( x 10<sup>-2</sup> mm)**

<b>Medições referentes ao ano de :</b>	<b>1990 SGP (DER-SC)</b>	<b>1994 Projeto de Restauração</b>
Sub-trecho 1 (areia)	39,8	42,6
Sub-trecho 2 (solo residual saprolítico)	84,3	90,7

### **6.5 - Análise Particular de cada um dos Trechos**

A análise particular de cada um dos trechos estudados neste trabalho foi feita a partir da divisão dos trechos em segmentos homogêneos e da inspeção visual em campo do estado de deterioração em que se encontram os pavimentos. Com os trechos divididos em segmentos

de comportamento homogêneo e a inspeção de campo pôde-se interpretar de forma mais confiável os resultados das avaliações realizadas (levantamento de defeitos, medições de deflexões recuperáveis e irregularidade na superfície), que foram apresentadas anteriormente neste capítulo.

### **6.5.1 - Divisão dos Trechos em Segmentos Homogêneos**

Para uma melhor caracterização do estado em que se encontra o pavimento ao longo de um trecho rodoviário, faz-se necessária a divisão deste trecho em segmentos que apresentem comportamentos diferenciados entre si, no que refere-se a ocorrência de defeitos superficiais, valores de deflexões recuperáveis e irregularidade, bem como a consideração de possíveis diferenças na estrutura do pavimento e no volume de tráfego que circula ao longo do trecho.

Fez-se, assim, a divisão dos segmentos homogêneos para as rodovias aqui estudadas, utilizando-se o Método das Diferença Acumuladas proposto pela AASHTO (1993) aplicado às deflexões recuperáveis medidas em campo, pois este parâmetro demonstrou ser o que obteve uma divisão mais coerente com o comportamento médio dos segmentos homogêneos do que os outros parâmetros considerados (irregularidade e trincamentos).

Os trechos Urussanga - Orleans e Imaruí - BR 101 apresentam estrutura do pavimento com materiais distintos nas camadas de sub-base e reforço do subleito, respectivamente, como já foi colocado anteriormente nesta dissertação, o que acarretou na divisão destes trechos em dois sub-trechos claramente diferenciados.

Cabe, ainda, ressaltar, que não foi possível a constatação, pelas contagens volumétricas efetuadas, de volumes diferenciados de tráfego ao longo dos trechos, devido ao reduzido número de postos de contagem (um para cada trecho).

Os segmentos homogêneos obtidos na divisão efetuada, são apresentados, a seguir, na análise particular de cada um dos trechos estudados.

### **6.5.2- Trecho Armazém - Gravatal (SC - 431)**

O trecho Armazém - Gravatal apresenta, de um modo geral, as seguintes deficiências no pavimento :

- elevados valores de deflexões recuperáveis, apresentando a maior média geral de todos os trechos em estudo;
- é um dos trechos em estudo que apresenta maior ocorrência de afundamentos nas trilhas de rodas, os quais concentram-se principalmente no segmento km 104+400 ao km 102, próximo ao entroncamento com a rodovia SC-438 trecho Gravatal - Braço do Norte ;
- diversas ocorrências de panelas .

A ocorrência de trincamentos interligados não se dá em grande parte do trecho, apresentando maior frequência entre o km 104+400 e o km 102 .

A presença de trincamentos interligados e afundamentos nas trilhas de rodas no segmento situado entre o km 104+400 ao km 102 pode ser justificada por adensamento que ocorreu em um aterro executado nesta região.

Verificou-se, ainda, na inspeção visual do trecho a ocorrência de algumas desagregações do revestimento asfáltico, ocasionadas provavelmente devido à execução de remendos mal feitos (como pode ser visualizado na foto da Figura 6.4 ).

Entretanto, a maior parte deste trecho encontra-se em condições razoavelmente boas de defeitos de superfície, podendo seu estado geral estar representado pela situação do local visualizado na foto apresentada na Figura 6.5.

A divisão em segmentos homogêneos obtida para o trecho Armazém - Gravatal é apresentada na Tabela 6.9, tendo como referência os marcos quilométricos utilizados pelo SGP do DER/SC.

**Tabela 6.9 – Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Armazém - Gravatal**

	SEGMENTOS HOMOGÊNEOS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Início (km)	104+400*	103+200	101+600	100+800	100+400	98+600	98+000	97+200
Final (km)	103+200	101+600	100+800	100+400	98+600	98+000	97+200	96+053**
Extensão (m)	1.200,0	1.600,0	800,0	400,0	1.800,0	600,0	800,0	1.147,0
% do trecho	14,4	19,2	9,6	4,8	21,6	7,2	9,6	13,7

\* entroncamento com a rodovia SC-438 em Gravatal

\*\* rótula de acesso à Armazém

A condição estrutural, funcional e de defeitos de superfície de cada um destes segmentos homogêneos (SH) é observada na Tabela 6.10, através das médias dos valores obtidos em avaliações do SGP do DER/SC realizadas em 1997.

**Tabela 6.10 – Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento (Armazém - Gravatal)**

SH	Defeitos de Superfície (%)							Estrutural	Funcional
	Trincas (Jacaré 2)	Painelas	Remendos		Desgaste	Afundam. Trilha		Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)	IRI
			1	2		1	2		
1	50,8	0,2	8,5	1,0	0,3	9,7	8,3	176,0	3,5
2	39,9	0,0	3,3	0,0	0,3	3,5	0,0	143,0	2,4
3	22,5	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	169,0	2,9
4	16	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	176,0	2,4
5	13,7	0,0	1,2	0,0	0,8	0,0	0,0	93,8	2,5
6	10,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	166,7	3,2
7	17,7	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	126,7	2,8
8	5,9	0,1	0,7	1,4	9,9	0,0	0,0	117,1	2,7

O SH 1 apresenta a pior condição de trincamentos (mais de 50% da extensão afetada por trincas interligadas do tipo jacaré 2), decorrente do processo de fadiga do revestimento sob a ação do carregamento. Este processo de fadiga pode ser justificado pelo mau comportamento estrutural observado neste SH, com um dos maiores valores de deflexão recuperável máxima. Cabe ressaltar que este SH apresenta, também, o maior percentual de afundamentos, o que pode reforçar a possibilidade de um maior comprometimento das camadas do pavimento neste SH.

Os dois SH subsequentes (SH 2 e 3) também apresentam um percentual significativo de suas extensões afetadas por trincas interligadas, acima de 20%, estando os demais SH em melhores condições.

A condição funcional do pavimento, como pode ser constatado pelos valores de IRI da última medição apresentados na Tabela 6.10, é boa em todo o trecho. Cabe ressaltar, entretanto, que o SH 1 encontra-se no limite de uma condição “boa” para uma “regular”.



**Figura 6.4 – Remendos superficiais mal executados apresentando desagregações e arrancamentos no revestimento (km 104+300)**



**Figura 6.5 – Segmento com um bom estado de defeitos no trecho Armazém - Gravatal (km 98+600)**

### 6.5.3 - Trecho Gravatal - Braço do Norte (SC - 438)

O trecho Gravatal - Braço do Norte apresenta como principais deficiências no pavimento:

- grande frequência de ocorrências de trincamentos interligados com severidade alta, deixando exposto em alguns pontos o material da camada subjacente (como pode ser visto na foto da Figura 6.6) ;
- é o trecho em estudo com maior média de valores de IRI medidos (igual a 3,9), indicando comprometimento nas condições de rolamento da pista ;
- elevados valores de deflexões recuperáveis ;
- apresenta remendos mal executados, observando-se arrancamentos das camadas asfálticas utilizadas nestes serviços;
- é um dos trechos em estudo que apresenta maior ocorrência de afundamentos nas trilhas de rodas.

A divisão em segmentos homogêneos obtida para o trecho Gravatal - Braço do Norte é apresentada na Tabela 6.11, tendo como referência os marcos quilométricos utilizados pelo SGP do DER/SC.

**Tabela 6.11 – Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Gravatal - Braço do Norte**

	SEGMENTOS HOMOGÊNEOS								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Início (km)	184+880 *	185+200	187+200	187+600	188+600	189+000	190+600	191+600	193+600
Final (km)	185+200	187+200	187+600	188+600	189+000	190+600	191+600	193+600	198+170 **
Extens (m)	320,0	2.000,0	400,0	1.000,0	400,0	1.600,0	1.000,0	2.000,0	4.570,0
% do trecho	2,4	15,0	3,0	7,5	3,0	12,0	7,5	15,0	34,4

\* próximo a Braço do Norte ( a 456 m do entroncamento com a rodovia SC-439)

\*\* próximo a Gravatal

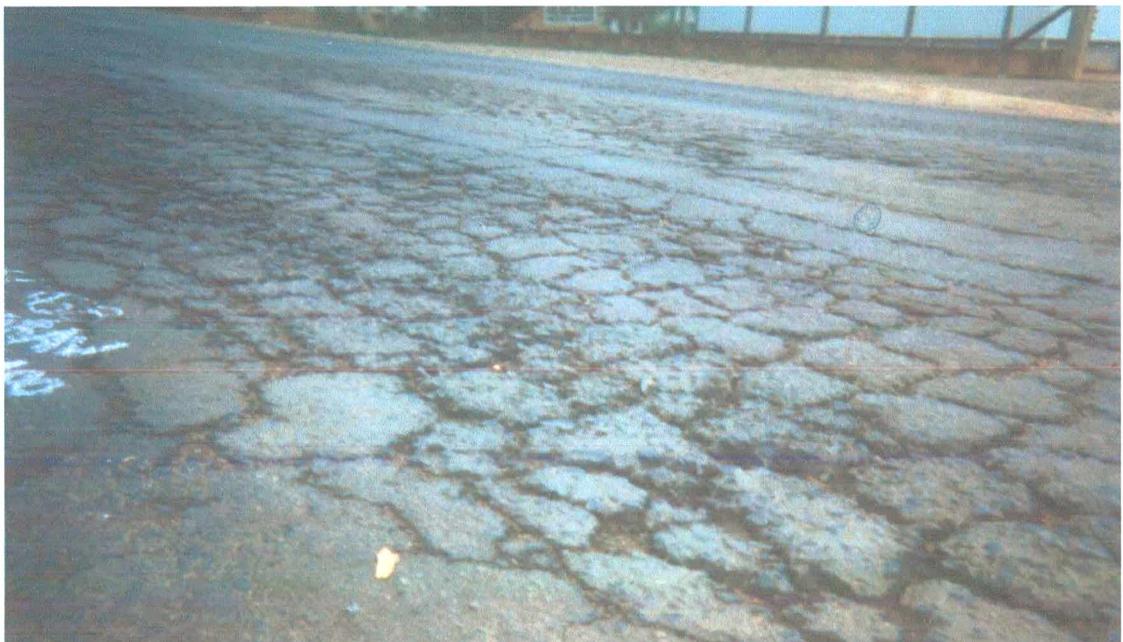
A condição estrutural, funcional e de defeitos de superfície de cada um destes segmentos homogêneos (SH) é observada na Tabela 6.12, através das médias dos valores obtidos em avaliações do SGP do DER/SC realizadas em 1995 (deflexões) e 1997.

**Tabela 6.12– Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento  
(Gravatal - Braço do Norte)**

SH	Defeitos de Superfície (%)							Estrutural	Funcional
	Trincas (Jacaré 2)	Painelas	Remendos		Desgaste	Afundam. Trilha		Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)	IRI
			1	2		1	2		
1	6,5	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	53,0	2,7
2	68,9	0,5	16,0	13,2	7,2	0,0	16,9	113,2	3,6
3	21	0,5	1	1,5	0	0	2	83,5	3,4
4	57,6	0,25	5,3	0	0	0	0	109,4	2,7
5	80,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	104,0	2,9
6	71,3	0,6	13,0	3,0	0,3	0,0	0,0	127,6	3,3
7	100,0	0,0	25,8	1,5	0,0	0,0	0,0	95,2	3,4
8	100,0	0,3	33,5	1,6	0,0	0,0	0,6	146,7	3,9
9	83,3	0,1	22,6	15,5	0,4	0,0	0,0	69,5	4,6

As piores condições de defeitos de superfície são verificadas nos SH 7 e 8, que apresentam suas extensões totalmente afetadas por trincas interligadas do tipo jacaré 2, e com grande percentual de ocorrências de remendos.

O SH 1 é o único que não apresenta extensão significativa afetada por trincas interligadas e ocorrências de remendos, apresentando também o menor valor médio de deflexão recuperável, o que indica a sua melhor condição estrutural em relação ao restante do trecho.



**Figura 6.6 - Trincamentos interligados de severidade alta, deixando exposto o material da camada de base (km 186+100)**

#### 6.5.4 - Trecho Braço do Norte - São Ludgero (SC - 438)

No trecho Braço do Norte - São Ludgero apresentaram-se como principais deficiências no pavimento:

- grande frequência de ocorrências de trincamentos interligados com severidade alta, como pode ser visto na foto da Figura 6.7 ;
- muitas ocorrências de painéis, algumas com grandes dimensões como visualiza-se na foto apresentada da Figura 6.8 ;
- é um dos trechos em estudo com maior média de valores de IRI medidos (igual a 3,8), indicando comprometimento nas condições de rolamento da pista ;
- é um dos trechos em estudo que apresenta maior ocorrência de afundamentos nas trilhas de rodas.

A divisão em segmentos homogêneos obtida para o trecho Braço do Norte - São Ludgero é apresentada na Tabela 6.13, tendo como referência os marcos quilométricos utilizados pelo SGP do DER/SC.

**Tabela 6.13 – Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Braço do Norte - São Ludgero**

	SEGMENTOS HOMOGÊNEOS			
	1	2	3	4
Início (km)	178+000*	180+800	182+200	183+400
Final (km)	180+800	182+200	183+400	184+880**
Extensão (m)	2.800,0	1.400,0	1.200,0	1.480,0
% do trecho	40,7	20,3	17,4	21,5

\* início da cidade de São Ludgero

\*\* próximo a Braço do Norte ( a 456 m do entroncamento com a rodovia SC-439)

A condição estrutural, funcional e de defeitos de superfície de cada um destes segmentos homogêneos (SH) é observada na Tabela 6.14 , através das médias dos valores obtidos em avaliações do SGP do DER/SC realizadas em 1995 (deflexões) e 1997.

Os SH 1 e 3 apresentam as piores condições de defeitos de superfície, observando-se elevados percentuais de suas extensões afetadas por trincas interligadas do tipo jacaré 2 (acima de 80%), além de considerável percentual de extensões com remendos.

**Tabela 6.14 – Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento  
(Braço do Norte - São Ludgero)**

SH	Defeitos de Superfície (%)							Estrutural	Funcional
	Trincas (Jacaré 2)	Pancas	Remendos		Desgaste	Afundam. Trilha		Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)	IRI
			1	2		1	2		
1	81,9	0,9	37,9	2,6	7,8	0,0	1,1	121,7	3,0
2	69,4	0,9	18,0	13,4	2,6	0,0	5,3	75,3	4,0
3	89,7	0,8	18,3	25,8	24,8	0,0	0,0	121,2	4,1
4	22,9	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,4	93,2	3,5

O SH 4 é notadamente o que apresenta a melhor condição de defeitos de superfície.

O SH 2 é que apresenta o menor valor médio de deflexões recuperáveis máximas, entretanto apresenta-se consideravelmente deteriorado do ponto de vista de defeitos, incluindo os locais mostrados nas fotos das Figuras 6.7. e 6.8.



**Figura 6.7 – Trincamentos interligados de severidade alta, parcialmente selados com massa asfáltica fina, e apresentando o início formação de pancas ( km 181+320)**



**Figura 6.8 – Panela formada e trincamentos interligados de severidade alta, parcialmente tratadas com execução de sela-trincas (km 181 +400)**

#### **6.5.5 - Trecho Urussanga - Orleans (SC - 446)**

O trecho Urussanga - Orleans apresenta na sua estrutura materiais diferentes na camada de sub-base, tendo sido distinguidos dois sub-trechos :

- sub-trecho 1 – com sub-base de *seixo rolado bruto*;
- sub-trecho 2 – com sub-base de *solo residual saprolítico* .

Esta situação proporcionou uma análise comparativa do desempenho destes dois sub-trechos, abordada no item 6.4.4.

Além desta análise comparativa, realizam-se, a seguir, algumas considerações sobre o desempenho destes dois sub-trechos, dentro da análise global de todos os trechos estudados nesta dissertação.

O pavimento do sub-trecho 1 (seixo rolado bruto) apresenta um desempenho mais satisfatório que o outro sub-trecho, estando a sua condição de superfície no revestimento, de um modo geral, bem representada pelo local visualizado na foto da Figura 6.9, tendo como deficiências :

- ocorrências de painelas ;
- remendos mal executados, apresentando arrancamentos de placas de material asfáltico utilizado na intervenção .

O sub-trecho 2 (solo residual saprolítico) apresenta:

- grande frequência de ocorrências de trincamentos interligados com severidade alta, como pode ser visto na foto da Figura 6.10 ;
- é um dos trechos em estudo que apresenta maior ocorrência de afundamentos nas trilhas de rodas, sendo que em vários locais são bem caracterizados visualmente (como mostra a foto apresentada na Figura 6.11) ;
- ocorrências de painelas devido à evolução do processo de trincamento por fadiga (Foto da Figura 6.10) .

A divisão em segmentos homogêneos obtida para o trecho Urussanga - Orleans é apresentada na Tabela 6.15, tendo como referência os marcos quilométricos utilizados pelo SGP do DER/SC.

**Tabela 6.15 – Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Urussanga - Orleans**

	SEGMENTOS HOMOGÊNEOS							
	Sub-Trecho 1			Sub-Trecho 2				
	1	2	3	4	5	6	7	8
Início (km)	0+000*	1+020	7+920	11+380	12+120	15+320	16+320	18+120
Final (km)	1+020	7+920	11+380	12+120	15+320	16+320	18+120	18+700**
Extensão (m)	1.020,0	6.900,0	3.460,0	740,0	3.200,0	1.000,0	1.800,0	580,0
% do trecho	5,5	36,9	18,5	4,0	17,1	5,3	9,6	3,1

\* entroncamento com a rodovia SC-438 (próximo a Orleans)

\*\* acesso principal à Urussanga

A condição estrutural, funcional e de defeitos de superfície de cada um destes segmentos homogêneos (SH) é observada na Tabela 6.16, através das médias dos valores obtidos em avaliações do SGP do DER/SC realizadas em 1997.

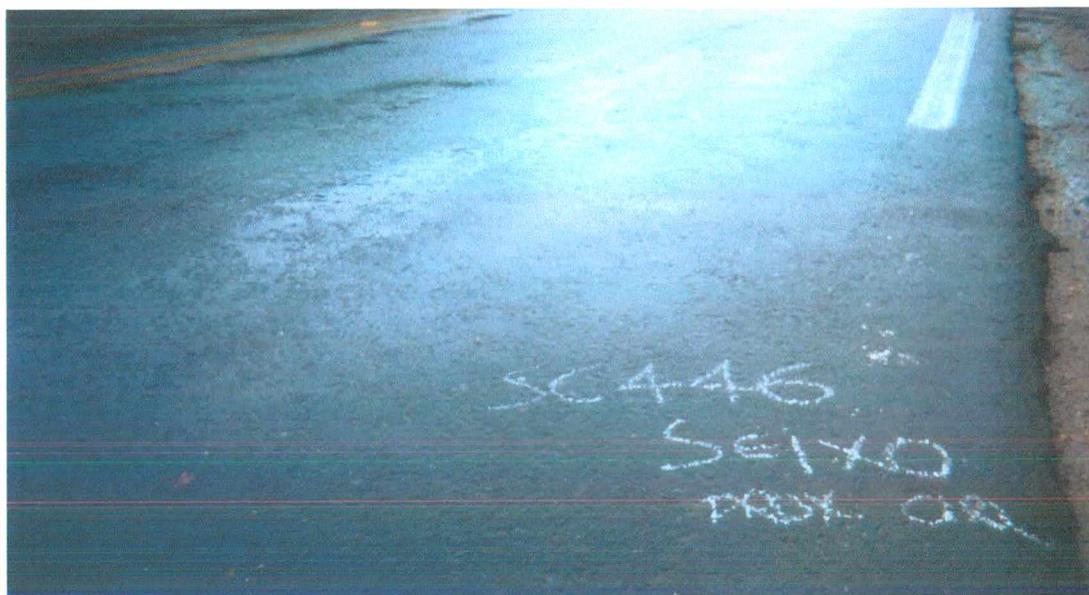
No sub-trecho 1, o SH 3 é o único que apresenta um percentual significativo de sua extensão afetada por defeitos de superfície, principalmente trincamentos interligados e remendos.

**Tabela 6.16 – Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento  
(Urussanga - Orleans)**

SH	Defeitos de Superfície (%)								Estrutural	Funcional	
	Trincas (Jacaré 2)	Pneus	Remendos		Desgaste	Afundam. Trilha			Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)	IRI	
			1	2		1	2	3			
1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	67,2	2,4	Sub-trecho 1
2	2,7	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	43,6	2,3	
3	51,9	0,3	14,2	3,4	0,7	0,0	0,2	0,2	44,0	2,9	
4	59,5	0,0	8,8	0,0	0,0	0,0	0,5	4,5	58,5	2,5	Sub-trecho 2
5	68,2	0,2	14,2	2,5	5,8	0,0	1,9	2,8	100,9	3,2	
6	76,2	0,0	7,7	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	108,7	2,9	
7	54,9	0,1	6,7	0,6	2,2	0,0	0,0	0,0	126,8	2,9	
8	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	119,0	2,4	

Em contrapartida no sub-trecho 2, o SH 8 é o único em condições relativamente boas no que diz respeito a defeitos de superfície, estando todos os demais SH com mais de 50% de suas extensões afetadas por trincamentos interligados do tipo jacaré 2.

Do ponto de vista estrutural, pode-se observar pelos valores médios de deflexões recuperáveis apresentados na Tabela 6.16, que, o SH 4 é o único no sub-trecho 2 que apresenta um comportamento estrutural satisfatório.



**Figura 6.9 – Pavimento em condições gerais boas no sub-trecho 1 de Urussanga-Orleans, executado com sub-base de seixo rolado bruto ( próximo a km 0)**



**Figura 6.10 – Trincas interligadas de severidade alta e processo de formação de painelas**



**Figura 6.11 - Trincas interligadas de severidade alta e afundamentos plásticos visíveis**

### 6.5.6 - Trecho Treze de Maio - BR 101 (SC - 441)

O trecho Treze de Maio - BR 101 não apresenta ocorrências de defeitos de superfície ocasionados pelo processo de fadiga do revestimento asfáltico.

Os defeitos de superfície que ocorreram com muito pouca frequência foram : trincas transversais isoladas, desgaste superficial do revestimento e remendos.

A foto apresentada na Figura 6.12 é representativa da boa situação em que se encontra o pavimento do trecho Treze de Maio - BR 101 .

A divisão em segmentos homogêneos obtida para o trecho Treze de Maio - BR 101 é apresentada na Tabela 6.17, tendo como referência os marcos quilométricos utilizados pelo SGP do DER/SC.

**Tabela 6.17 – Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Treze de Maio - BR 101**

	SEGMENTOS HOMOGENEOS						
	1	2	3	4	5	6	7
Início (km)	0 *	2+400	4+200	7+000	9+600	11+000	11+400
Final (km)	2+400	4+200	7+000	9+600	11+000	11+400	12+946 **
Extensão (m)	2.400,0	1.800,0	2.800,0	2.600,0	1.400,0	400,0	1.546,0
% do trecho	18,5	13,9	21,6	20,1	10,8	3,1	11,9

\* cidade de Treze de Maio ( início do cruzamento da av. 7 de Setembro com a rua Celso Ramos)

\*\* entroncamento com a rodovia BR-101

A condição estrutural, funcional e de defeitos de superfície de cada um destes segmentos homogêneos (SH) é observada na Tabela 6.18, através das médias dos valores obtidos em avaliações do SGP do DER/SC realizadas em 1997.

As ocorrências de defeitos de superfície neste trecho, como já foi colocado anteriormente no relato da inspeção visual de campo, são muito localizadas. O comportamento estrutural e funcional da rodovia demonstram ser muito bons , de acordo com os valores de deflexões recuperáveis e IRI observados.

**Tabela 6.18 – Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento  
(Treze de Maio - BR 101)**

SH	Defeitos de Superfície (%)								Estrutural	Funcional
	Trincas		Painelas	Remendos		Desgaste	Afundam. Trilha		Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)	IRI
	Isoladas	Jacaré 2		1	2		1	2		
1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	53,7	2,4
2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,3	2,8
3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	8,5	0,0	0,0	66,1	2,6
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,1	2,3
5	4,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	1,9	66,6	2,4
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	61,5	2,9
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,6	2,5



**Figura 6.12 – Local representativo do ótimo estado em que se encontra o pavimento no trecho Treze de Maio - BR 101 (km 2+400)**

### 6.5.7 - Trecho Imaruí - BR 101 (SC - 437)

O pavimento do trecho Imaruí - BR 101 encontra-se com boas condições de rolamento, apresentando muito poucas ocorrências de defeitos de superfície, como pode ser visualizado nas fotos apresentadas nas Figuras 6.13 e 6.14.

Entretanto, cabe ressaltar, que foi executada restauração do pavimento um pouco antes da última avaliação do SGP do DER-SC, em 1997, o que justifica as boas condições de defeitos, funcional e estrutural do pavimento.

O trecho Imaruí - BR 101 apresenta na sua estrutura materiais diferentes na camada de reforço do subleito, tendo sido distinguidos dois sub-trechos :

- sub-trecho 1 – com reforço executado com *areia*;
- sub-trecho 2 – com reforço executado com *solo residual saprolítico* .

Esta situação proporcionou uma análise comparativa do desempenho destes dois sub-trechos, abordada no item 6.4.5. A condição de defeitos de superfície e de irregularidade nestes dois sub-trechos é boa devido a restauração do pavimento, não proporcionando uma análise comparativa relativa a estes parâmetros. Entretanto, pôde-se constatar pelas medições de deflexões recuperáveis efetuadas anteriormente à restauração do pavimento, que a condição estrutural do sub-trecho 1 é consideravelmente melhor que a do sub-trecho 2.

A divisão em segmentos homogêneos obtida para o trecho Imaruí - BR 101 é apresentada na Tabela 6.19, tendo como referência os marcos quilométricos utilizados pelo SGP do DER/SC.

**Tabela 6.19 – Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Imaruí - BR 101**

	SEGMENTOS HOMOGENEOS						
	Sub-Trecho 1			Sub-Trecho 2			
	1	2	3	4	5	6	7
Início (km)	4+858 *	8+200	11+540	18+860	24+420	24+900	25+900
Final (km)	8+200	11+540	18+860	24+420	24+900	25+900	27+578 **
Extensão (m)	3.342,0	3.340,0	7.320,0	5.560,0	480,0	1.000,0	1.678,0
% do trecho	14,7	14,7	32,2	24,5	2,1	4,4	7,4

\* entroncamento com a rodovia BR-101

\*\* cidade de Imaruí (esquina da rua Nereu Ramos com a rua Capitão Geraldo Bittencourt)

A condição estrutural, funcional e de defeitos de superfície de cada um destes segmentos homogêneos (SH) é observada na Tabela 6.20, através das médias dos valores obtidos em avaliações do SGP do DER/SC realizadas em 1997.

**Tabela 6.20 – Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento (Imaruí - BR 101)**

SH	Defeitos de Superfície (%)							Estrutural Deflexão* (10 <sup>-2</sup> mm)	Funcional IRI	
	Trincas (Jacaré 2)	Painelas	Remendos		Desgaste	Afundam.Trilha				
			1	2		2	3			
1	0,1	0,0	0,0	0,3	3,1	0,0	0,0	43,7	2,2	Sub-trecho <b>1</b>
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,7	2,0	
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,8	2,0	
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	88,0	2,0	Sub-trecho <b>2</b>
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	141,2	2,4	
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,7	2,1	
7	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	80,5	-	

\* valores medidos em 1994 (Projeto de Restauração) com viga Benkelman



**Figura 6.13 – Local representativo do bom estado em que se encontra o pavimento do trecho Imaruí - BR 101 (km 7+300)**



**Figura 6.14 – Acréscimo de espessura de concreto asfáltico proporcionado pela restauração efetuada no pavimento ( km 26 +630)**

#### **6.5.8 - Trecho Urussanga - Criciúma (SC - 446)**

O trecho Urussanga - Criciúma apresenta como principais deficiências no pavimento:

- grande freqüência de ocorrências de trincamentos interligados com severidade alta, como observa-se na foto da Figura 6.15 ;
- algumas ocorrências de afundamentos plásticos severos nas trilhas de rodas;
- é o trecho com maior percentual de área afetada por desgaste superficial do revestimento asfáltico ;
- é um dos trechos em estudo com maior média de valores de IRI medidos (igual a 3,3), indicando comprometimento nas condições de rolamento da pista .
- início de formação de painelas.

Cabe ressaltar , que, foram executados alguns serviços de conservação no pavimento neste trecho, nas proximidades da cidade de Criciúma, como :

- execução de camada de reperfilamento em concreto asfáltico (espessura=2,5 cm) – do km 36+535 até aproximadamente o km 35+000 ;

- execução de sela-trincas com massa asfáltica fina – do km 34+000 até aproximadamente o km 30+500 .

Entretanto, estas pequenas intervenções no pavimento, foram insuficientes para uma melhoria do seu desempenho. Os locais citados encontram-se atualmente com trincas interligadas e até afundamentos plásticos nas trilhas de rodas.

A divisão em segmentos homogêneos obtida para o trecho Urussanga - Criciúma é apresentada na Tabela 6.21, tendo como referência os marcos quilométricos utilizados pelo SGP do DER/SC.

**Tabela 6.21 – Segmentos Homogêneos obtidos para o trecho Urussanga - Criciúma**

	SEGMENTOS HOMOGÊNEOS								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Início (km)	19+645 *	22+900	24+300	25+300	27+300	28+700	29+700	34+300	35+500
Final (km)	22+900	24+300	25+300	27+300	28+700	29+700	34+300	35+500	36+535**
Extensão (m)	3.255,0	1.400,0	1.000,0	2.000,0	1.400,0	1.000,0	4.600,0	1.200,0	1.035,0
% do trecho	19,3	8,3	5,9	11,8	8,3	5,9	27,2	7,1	6,1

\* entroncamento com a rodovia SC-445

\*\* cidade de Criciúma (entrada do Hospital São João Batista)

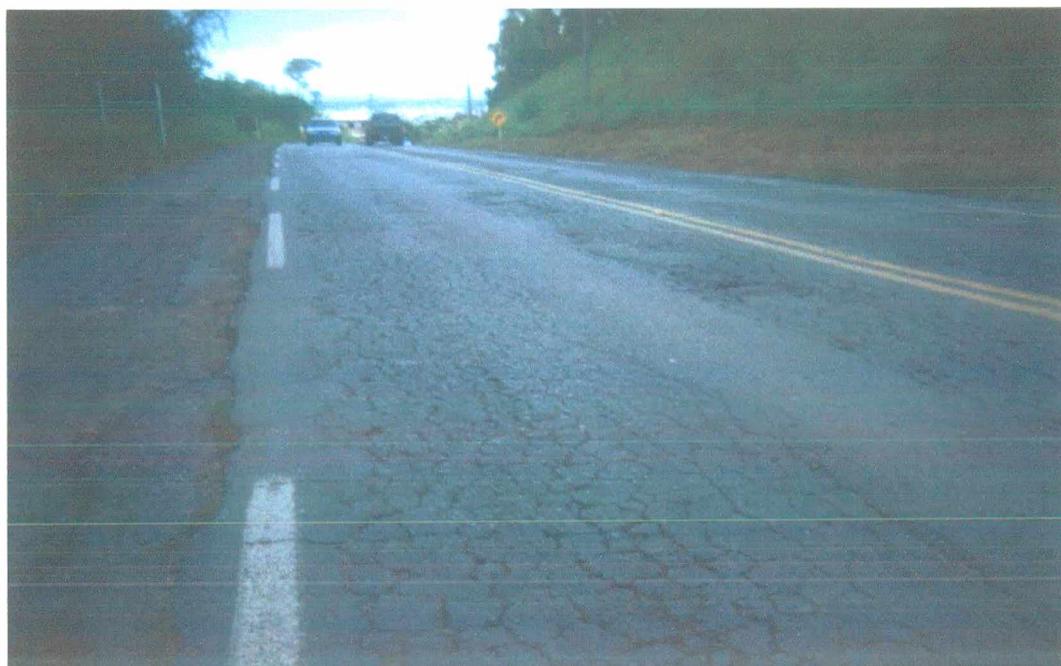
A condição estrutural, funcional e de defeitos de superfície de cada um destes segmentos homogêneos (SH) é observada na Tabela 6.22, através das médias dos valores obtidos em avaliações do SGP do DER/SC realizadas em 1997.

**Tabela 6.22 – Valores médios de parâmetros de avaliação do pavimento (Urussanga - Criciúma)**

SH	Defeitos de Superfície (%)							Estrutural Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)	Funcional IRI
	Trincas (Jacaré 2)	Panelas	Remendos		Desgaste	Afundam. Trilha			
			1	2		2	3		
1	82,6	0,1	5,9	0,0	24,9	0,2	0,0	154,4	3,1
2	53,2	0,0	0,6	0,0	19,4	0,0	0,0	169,6	3,0
3	49,7	0,2	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	75,2	3,0
4	45,73	0,1	0,36	0,00	1,27	0,0	0,0	86,5	2,7
5	100,0	0,0	4,0	0,0	87,0	0,0	0,0	72,0	4,3
6	100,0	0,4	11,6	0,0	44,2	3,2	0,0	108,4	4,2
7	77,1	0,3	10,9	0,1	12,4	0,5	0,0	116,6	3,5
8	97,9	0,4	28,4	0,0	4,3	5,1	0,0	127,3	3,7
9	70,7	0,3	9,0	0,0	0,0	8,8	0,0	115,5	3,2

De um modo geral a condição do pavimento nos SH 2 e 3, próximo ao acesso à cidade de Cocal do Sul, encontra-se um pouco melhor que nos demais segmentos. Esta

situação pode ser justificada pela modificação do comportamento do tráfego nestes segmentos. Entretanto, do ponto de vista estrutural, os SH 3, 4 e 5, são os únicos que se encontram com valores médios de deflexões recuperáveis abaixo de  $100 \times 10^{-2}$  mm. Os SH 5 e 6, como pode-se observar pelos valores de IRI, apresentados na Tabela 6.22, são os que se encontram em pior situação em termos de irregularidade.



**Figura 6.15 – Trincas interligadas de severidade alta e afundamentos plásticos nas trilhas de rodas internas, e apresentando um início de processo de formação de panelas**



**Figura 6.16 – Início de formação de trincas interligadas em local onde foi executada camada de concreto asfáltico ( km 36 + 500)**

## 6.6 - Principais conclusões da análise do desempenho dos pavimentos

A partir dos resultados e análises efetuadas no capítulo 6, pode-se aqui efetuar algumas conclusões com relação ao desempenho dos pavimentos dos trechos aqui estudados. Assim sendo, ressaltam-se, a seguir algumas destas principais conclusões, considerando para os trechos estudados, aqueles que apresentaram pavimentos com :

- bom desempenho ;
- desempenho intermediário ;
- mau desempenho .

Cabe ressaltar que o trecho Imaruí - BR 101 não foi incluído nesta análise comparativa do desempenho do pavimento pois sua última avaliação foi efetuada após a restauração do pavimento.

O diagnóstico do desempenho do pavimento efetuado com base nas análises desenvolvidas ao longo deste capítulo é resumido na Tabela 6.23.

**Tabela 6.23 – Diagnóstico do Desempenho dos Pavimentos**

CONCEITO	TRECHO	Condições***		
		Defeitos	Deflexões	IRI
<b>Bom Desempenho</b>	Treze de Maio - BR 101	Boa	Boa	Boa
	Urussanga - Orleans (sub-trecho 1)*	Regular	Boa	Boa
<b>Intermediário</b>	Armazém - Gravatal	Regular	Ruim	Boa
<b>Mau Desempenho</b>	Gravatal - Braço do Norte	Ruim	Ruim	Regular
	Braço do Norte - São Ludgero	Ruim	Ruim	Regular
	Urussanga - Orleans (sub-trecho 2)**	Ruim	Ruim	Boa
	Urussanga - Criciúma	Ruim	Ruim	Boa

Observações : \* com sub-base de seixo rolado bruto ;

\*\* com sub-base de solo residual saprolítico ;

\*\*\* baseando-se nos índices de condição utilizados .

### 6.6.1 – Pavimentos com Bom Desempenho

De acordo com as avaliações efetuadas neste capítulo, pode-se identificar que os pavimentos dos trechos Treze de Maio - BR 101 e Urussanga - Orleans (sub-trecho 1), de um modo geral, apresentam um bom desempenho do ponto de vista de defeitos de superfície, deflexões recuperáveis e irregularidades na superfície.

O sub-trecho 1 de Urussanga - Orleans, executado com sub-base de seixo rolado bruto, apresentou um desempenho melhor que o do sub-trecho executado com sub-base de solo residual saprolítico.

### **6.6.2 – Pavimentos com Desempenho Intermediário**

O trecho Armazém - Gravatal apresentou um pavimento com desempenho intermediário, considerando-se os índices determinados nos itens 6.3, e que :

- apresentou condições razoavelmente boas de defeitos de superfície e de irregularidade ;
- porém apresentou resultados insatisfatórios nas medições de deflexões recuperáveis.

### **6.6.3 – Pavimentos com Mau Desempenho**

A partir do que foi avaliado ao longo deste capítulo, identificou-se um mau desempenho dos pavimentos dos trechos Gravatal - Braço do Norte, Braço do Norte - São Ludgero, Urussanga - Orleans (sub-trecho 2) e Urussanga - Criciúma.

Estes trechos demonstraram condições insatisfatórias no que diz respeito a :

- defeitos de superfície – apresentando mais de 50% de suas extensões com trincamentos interligados ;
- comportamento estrutural – com valores médios de deflexões recuperáveis acima de  $100 \times 10^{-2}$  mm .

Do ponto de vista funcional , somente , os trechos Gravatal - Braço do Norte e Braço do Norte - São Ludgero apresentaram valores médios de IRI acima do limite desejável para determinar uma condição boa de irregularidade na pista de rolamento.

Assim sendo, constatou-se, levando em consideração, também, os resultados da aplicação dos índices de condição utilizados neste trabalho (item 6.3), que os pavimentos dos dois trechos citados no parágrafo anterior foram os que apresentaram os piores desempenhos.

## **7. AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS DOS PAVIMENTOS**

Neste capítulo serão abordados aspectos relevantes a este estudo sobre as estruturas dimensionadas e as camadas efetivamente executadas nos pavimentos dos trechos estudados, a saber :

- Investigação das Estruturas Executadas;
- Espessuras dimensionadas em projeto e análise crítica do método utilizado no dimensionamento;
- Comparativo da vida de projeto dos pavimentos dimensionados com a vida útil da estrutura efetivamente executada ;
- Retroanálise das bacias de deformação medidas em campo para obtenção dos módulos de elasticidade das camadas do pavimento ;
- Avaliação dos raios de curvatura obtidos para as bacias de deformação medidas .

### **7.1 - Investigação das Estruturas Executadas**

As espessuras e os respectivos materiais efetivamente utilizados nas camadas dos pavimentos foram apresentadas na Tabela 3.2 (capítulo 3). Na Tabela 7.1 apresentam-se os CBR médios obtidos de ensaios realizados a partir de coletas dos materiais durante a execução dos trechos (fornecidos pelos distritos de Tubarão e Criciúma do DER-SC) para os materiais do subleito e das jazidas de solos a serem utilizadas.

### **7.2 - Espessuras dimensionadas e análise crítica do método utilizado no dimensionamento**

Todos os trechos rodoviários estudados foram dimensionados de acordo com a metodologia de pavimentos flexíveis do DNER (1979), de autoria do engenheiro Murillo Lopes de Souza, sendo que na época da elaboração do projeto de alguns trechos (como Gravatal - Braço do Norte, Braço do Norte - São Ludgero, Urussanga - Orleans, e Urussanga - Criciúma) a publicação vigente datava do ano de 1966, anterior a última publicação de 1979 .

**Tabela 7.1– Informações de execução dos Trechos**

Trecho	CBR médio campo (%)	
	Jazidas	Subleito
Armazém - Gravatal	20	11
Gravatal - Braço do Norte	13	11
Braço do Norte - S.Ludgero	13	11
Urussanga - Orleans	25	10
Treze de Maio - BR 101	21	12
Imaruí - BR 101	20	12
Urussanga - Criciúma (1)	25	10
Urussanga - Criciúma (2)		

\* Observação : o trecho Urussanga – Criciúma foi dimensionado em dois sub-trechos distintos :  
 (1) do km 0 ao 11+180 e (2) do km 11+180 ao 17+466.

Os principais dados de entrada para a obtenção das espessuras das camadas de acordo com o método de pavimentos flexíveis do DNER são :

- o CBR de projeto do subleito e da sub-base ou reforço do subleito (obtidos, de acordo com o que constam nos projetos, através do critério de cálculo estatístico recomendado pelo DNER);
- o número N de repetições de carga equivalente ao eixo padrão (8,2 t) durante os períodos de projeto.

### 7.2.1 – Estruturas dimensionadas nos Projetos de Engenharia

As espessuras e os materiais das camadas componentes das estruturas dos pavimentos dos trechos estudadas, dimensionados para os Projetos Finais de Engenharia, de acordo com a metodologia citada, são apresentados na Tabela 7.2.

### 7.2.2 – Análise Crítica do Método

O método no qual se baseou o dimensionamento dos pavimentos dos trechos estudados nesta dissertação, apesar de apresentar reconhecidas qualidades de avaliar a resistência do subleito de acordo com o índice de suporte determinado pelo ensaio de CBR, não considera algumas propriedades importantes da estrutura do pavimento.

Pode-se destacar, por exemplo, as considerações feitas por PREUSSLER e PINTO na publicação “A Consideração da Resiliência no Projeto de Pavimentos” (DNER, 1994) de que “um projeto racional de pavimento deve considerar não só o CBR do subleito e das camadas granulares, como também suas características elásticas ou resilientes”. Convém, entretanto,

considerar que as empresas de consultoria não dispunham deste tipo de metodologia para dimensionamento de pavimentos na época da elaboração dos projetos .

Apesar das limitações do método utilizado no dimensionamento dos pavimentos aqui estudados, não pode ser atribuída ao método uma influência no desempenho dos pavimentos.

As espessuras dimensionadas poderiam ter sido mais bem avaliadas por critérios que consideram o comportamento elástico dos materiais de pavimentação, entretanto, verificou-se pela investigação das estruturas dos pavimentos, que as camadas executadas apresentaram valores consideravelmente divergente do que foi dimensionado.

**Tabela 7.2– Estruturas dos pavimentos dimensionados**

Trecho	Estrutura da Pista ( materiais e espessuras )			
	Revestimento (cm)	Base (cm)	Sub-base (cm)	Reforço (cm)
Armazém - Gravatal	CAUQ (5,0)	BGS (16,0)		Solo residual (18,0)
Gravatal - Braço do Norte	CAUQ (4,0+8,0)	BGS (10,0)	Revestimento primário – solo residual (20,0)	-
Braço do Norte - São Ludgero	CAUQ (4,0+8,0)	BGS (10,0)	Revestimento primário – solo residual (15,0)	-
Urussanga - Orleans	CAUQ (5,0)	BGS (20,0)	Solo residual (23,0)	-
Treze de Maio - BR 101	CAUQ (4,0)	BGS (15,0)	-	-
Imaruí - BR 101	CAUQ (4,0)	BGS (16,0)	-	-
Urussanga - Criciúma (1)	CAUQ (7,5)	BGS (20,0)	Solo residual (25,0)	Solo residual (25,0)
Urussanga - Criciúma (2)	CAUQ (7,5)	BGS (20,0)	Solo residual (25,0)	

\* Observação : o trecho Urussanga – Criciúma foi dimensionado em dois sub-trechos distintos :

(1) do km 0 ao 11+180 e (2) do km 11+180 ao 17+466.

### 7.3 – Comparativo da vida de projeto dos pavimentos dimensionados com a vida útil da estrutura efetivamente executada

A partir das espessuras médias ao longo dos trechos de cada uma das camadas dos pavimentos, determinou-se o número N de repetições do eixo padrão de 8,2 t que esta estrutura suporta, com a finalidade de estimar a vida útil dos pavimentos, a partir da qual deve-se ter observado o início do processo de fadiga do revestimento.

Para isto utilizou-se do ábaco que integra a metodologia de pavimentos flexíveis do DNER, que considera o CBR do subleito e o número N para a determinação da espessura total da estrutura do pavimento. Como o CBR do subleito e a espessura total dos pavimentos são conhecidos, e considerando-se os coeficientes de equivalência estrutural dos materiais que compõem as camadas, determinou-se de forma inversa o número N.

Com os valores dos números de repetições N suportados por cada uma das estruturas executadas, e com o N acumulado observado com a evolução do tráfego apresentado no capítulo 5, determinou-se a vida útil dos pavimentos de acordo com o que é apresentado na Tabela 7.3.

Considerou-se, também, para determinar o valor de N apresentado na Tabela 7.3, as espessuras mínimas da camada de revestimento de acordo com os diferentes valores de N apresentado em tabela no método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER.

Estas espessuras mínimas de revestimento determinadas pelo método para estruturas com camadas granulares procuram assegurar que com a solicitação do tráfego, não ocorram tensões e deformações muito elevadas na estrutura, e conseqüentemente uma diminuição na sua vida útil.

**Tabela 7.3 – Vida útil efetiva dos pavimentos**

TRECHO	N suportado pela estrutura		Avaliação do Tráfego obtido em contagens volumétricas				
	Vida útil prevista projeto (anos)	N estrutura	Ano em que o N foi atingido	Vida útil observada (anos)	Defasagem da vida útil (anos)	N acumulado final (última contagem)	Acréscimo do Nestrutura (%)
Armazém - Gravatal	10	$5 \times 10^6$ *	1992	10	-	$7,83 \times 10^6$	56,6
Gravatal - B. Norte	15	$5 \times 10^6$ *	1983	5	10	$2,55 \times 10^7$	410,0
B. Norte - S. Ludgero	15	$5 \times 10^6$ *	1983	5	10	$2,26 \times 10^7$	352,0
Urussanga - Orleans	15	$3,5 \times 10^6$	1990	9	6	$1,20 \times 10^7$	242,9
Treze de Maio - BR 101	10	$5 \times 10^6$ *	-	-	-	$3,35 \times 10^6$	-33,0
Imaruí - BR 101	10	$2,5 \times 10^6$	2000**	14	-	$2,04 \times 10^6$	2,4
Urussanga - Criciúma							
(1)	10	$5 \times 10^6$ *	1987	8	2	$1,69 \times 10^7$	238,0
(2)	10	$5 \times 10^6$ *	1986	7	3	$2,7 \times 10^7$	440,0

Observações : \* considerando máximo  $N = 5 \times 10^6$  p/ uma espessura de revestimento asfáltico de 5 cm.

\*\* projetando-se a mesma taxa de crescimento a partir da última contagem

(1) sub-trecho Urussanga - Cocal do Sul

(2) sub-trecho Cocal do Sul - Criciúma

A primeira constatação com relação aos números N de repetições do eixo padrão suportados pelas estruturas executadas, apresentados na Tabela 7.3, é que em 6 dos 7 trechos estudados são superiores aos N de projeto.

O trecho Urussanga - Criciúma foi o único que apresentou um N inferior ao de projeto, tendo isto ocorrido somente devido à espessura de 5 cm de revestimento asfáltico executada.

Com relação à vida útil dos pavimentos observada de acordo com a consideração das estruturas executadas dentro do método de pavimentos flexíveis do DNER, pode-se tecer as seguintes considerações (excluindo-se da análise o trecho Imaruí - BR 101) :

- o trecho Treze Maio - BR 101 foi o único que não atingiu o final de sua vida útil, ao contrário do que havia se verificado pelo N de projeto que demonstrou ser bem inferior ao N efetivo do pavimento executado.
- o trecho Armazém - Gravatal demonstrou atingir o final de sua vida útil exatamente no período determinado em projeto.
- os demais trechos atingiram o final da vida de útil antes do período de projeto.

A evolução do número de repetições do eixo padrão N, determinado de acordo com o tráfego e o N determinado pelo projeto de dimensionamento do pavimento, e pelas estruturas executadas, são representados de forma comparativa da Figura 7.1 até a 7.8 para cada um dos trechos estudados.

#### **7.4 – Retroanálise das Bacias de Deformação**

Para avaliar o comportamento das estruturas dos pavimentos sob a ação das cargas repetidas do tráfego, foi efetuada a retroanálise das bacias de deformação medidas em campo.

A retroanálise, como já colocado na Revisão Bibliográfica efetuada no capítulo 2, objetiva a obtenção dos módulos de elasticidade das camadas do pavimento a partir da forma da bacia de deformação obtida sob a ação de um carregamento definido. Essa informação é de fundamental importância na interpretação da condição estrutural do pavimento, pois permite avaliar as camadas do pavimento nas condições reais de campo.

Foram utilizados dois programas computacionais para efetuar a retroanálise das bacias de deformação :

- MODULUS (versão 4.0) ;
- ELSYM 5.

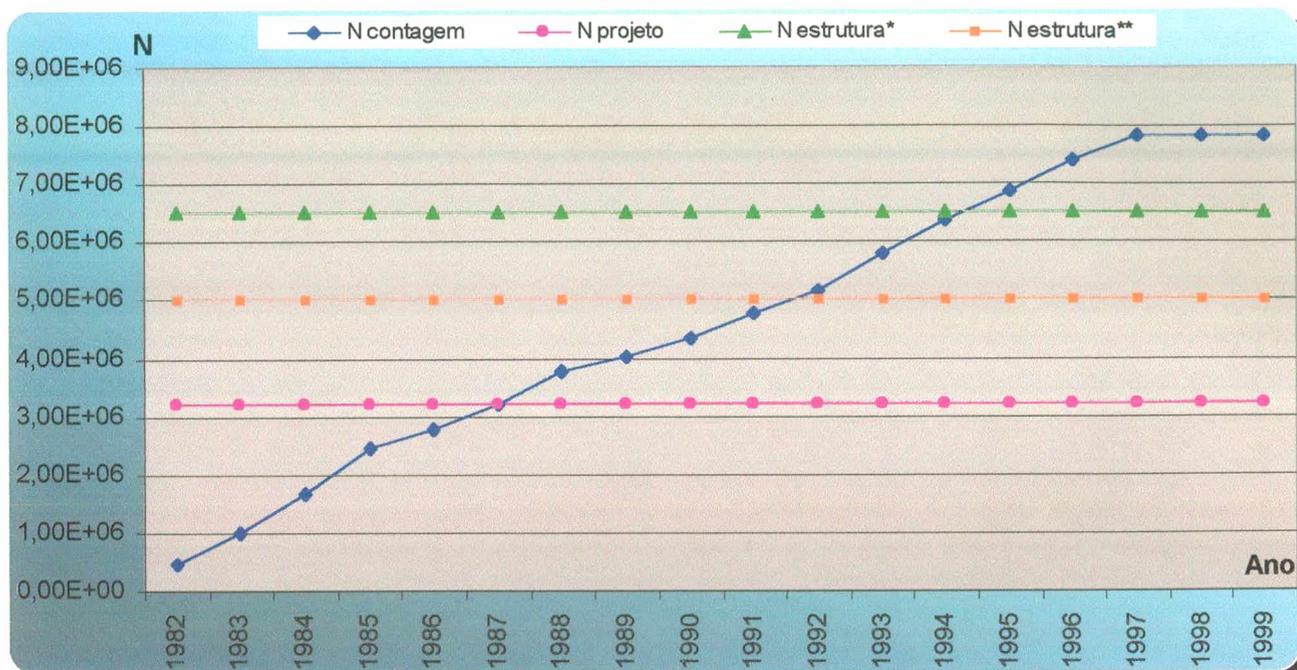


Figura 7.1 – Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Armazém - Gravatal)

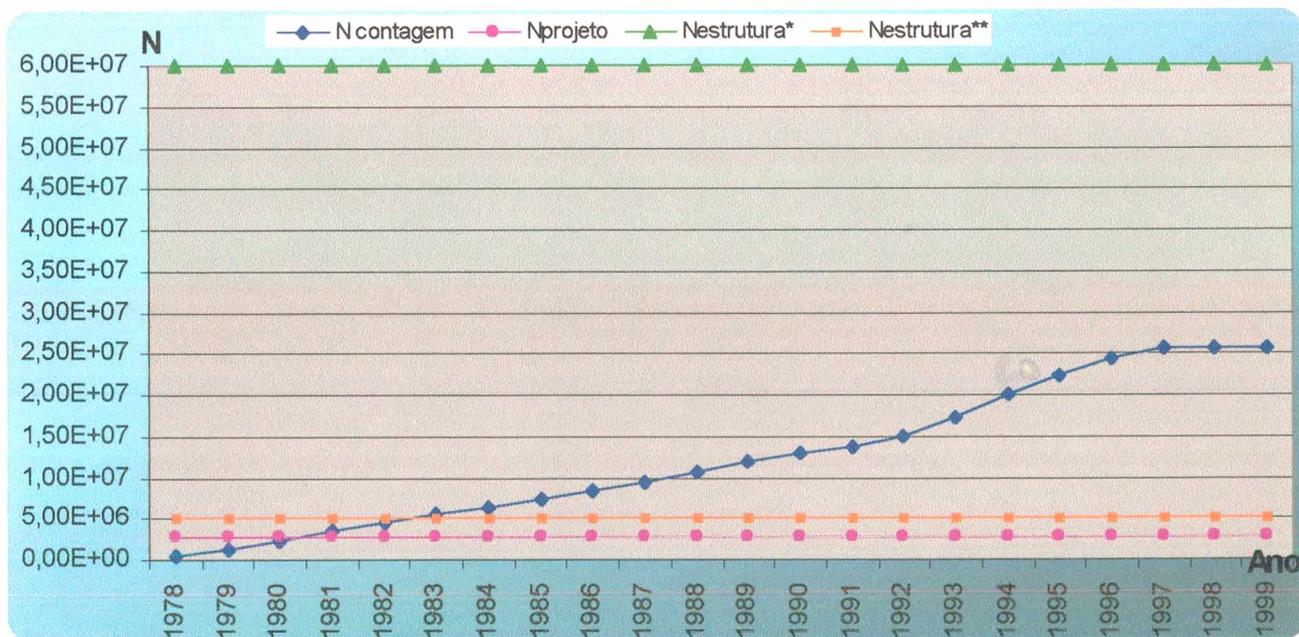


Figura 7.2 – Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Gravatal - Braço do Norte)

\* considerando o N proporcionado pela estrutura sem restrições de espessura de revestimento asfáltico;

\*\* considerando que para um revestimento com espessura de 5 cm o N máximo é de  $5 \times 10^6$ , como determina o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER, para que o efeito da fadiga causada devido a ocorrência de tensões e deformações de tração acima do que suporta a espessura de camada asfáltica não diminua a vida útil do pavimento.

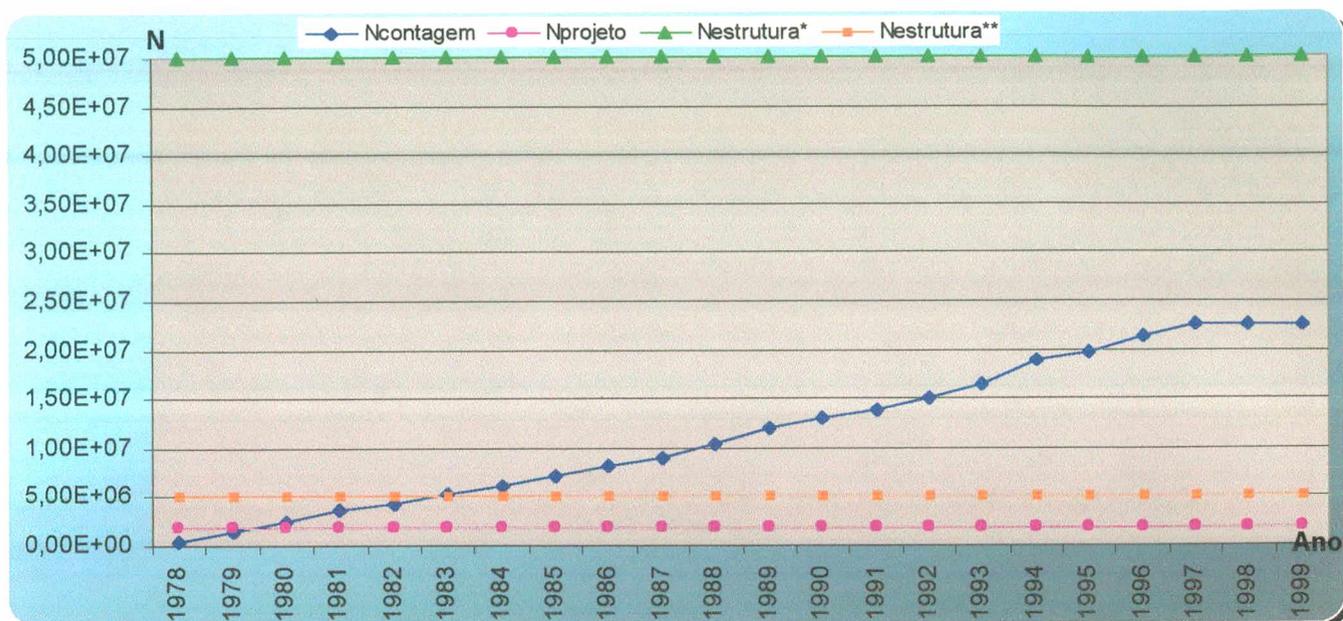


Figura 7.3 –Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Braço do Norte - São Ludgero)

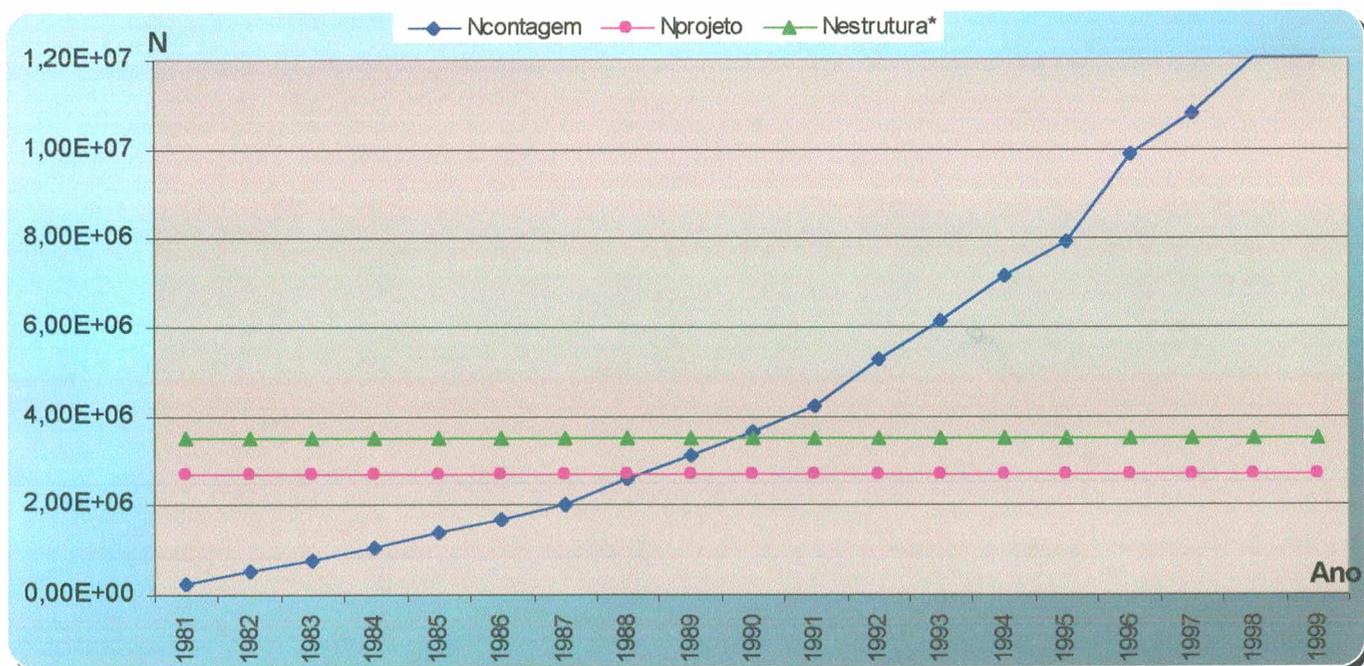


Figura 7.4 –Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Urussanga - Orleans)

\* considerando o N proporcionado pela estrutura sem restrições de espessura de revestimento asfáltico;

\*\* considerando que para um revestimento com espessura de 5 cm o N máximo é de  $5 \times 10^6$ , como determina o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER, para que o efeito da fadiga causada devido a ocorrência de tensões e deformações de tração acima do que suporta a espessura de camada asfáltica não diminua a vida útil do pavimento.

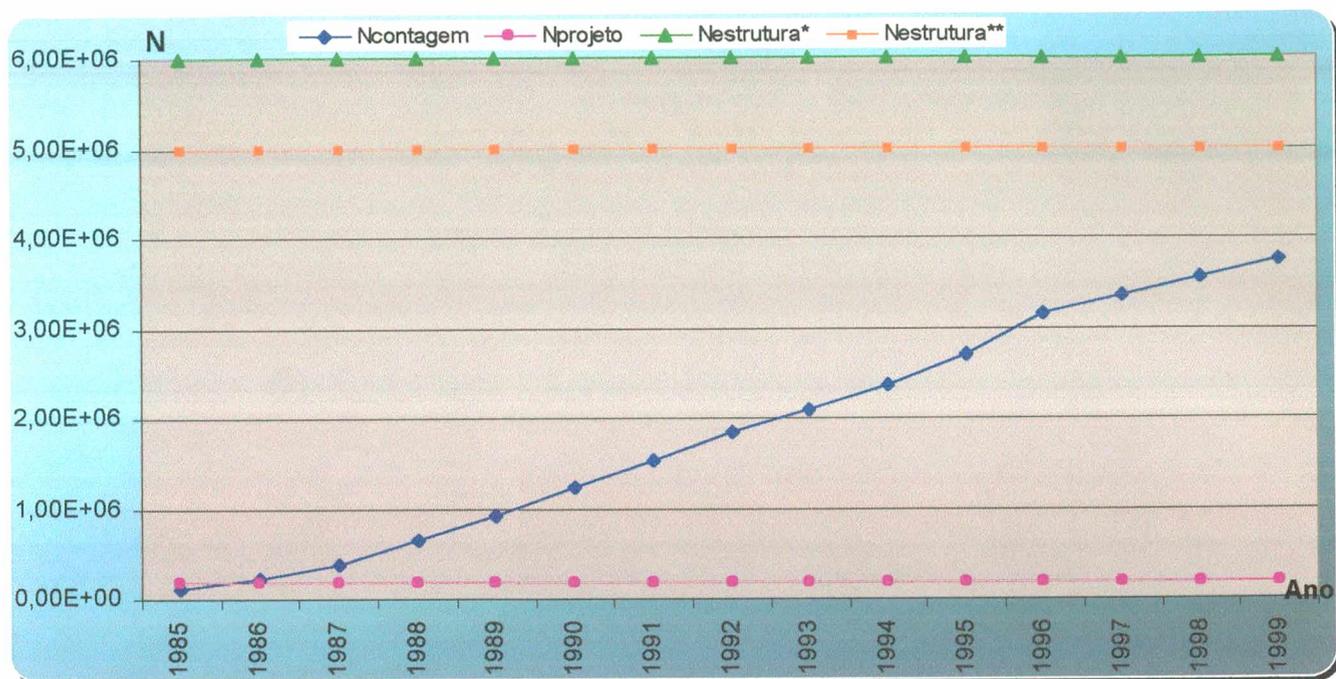


Figura 7.5 – Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Treze de Maio - BR 101)

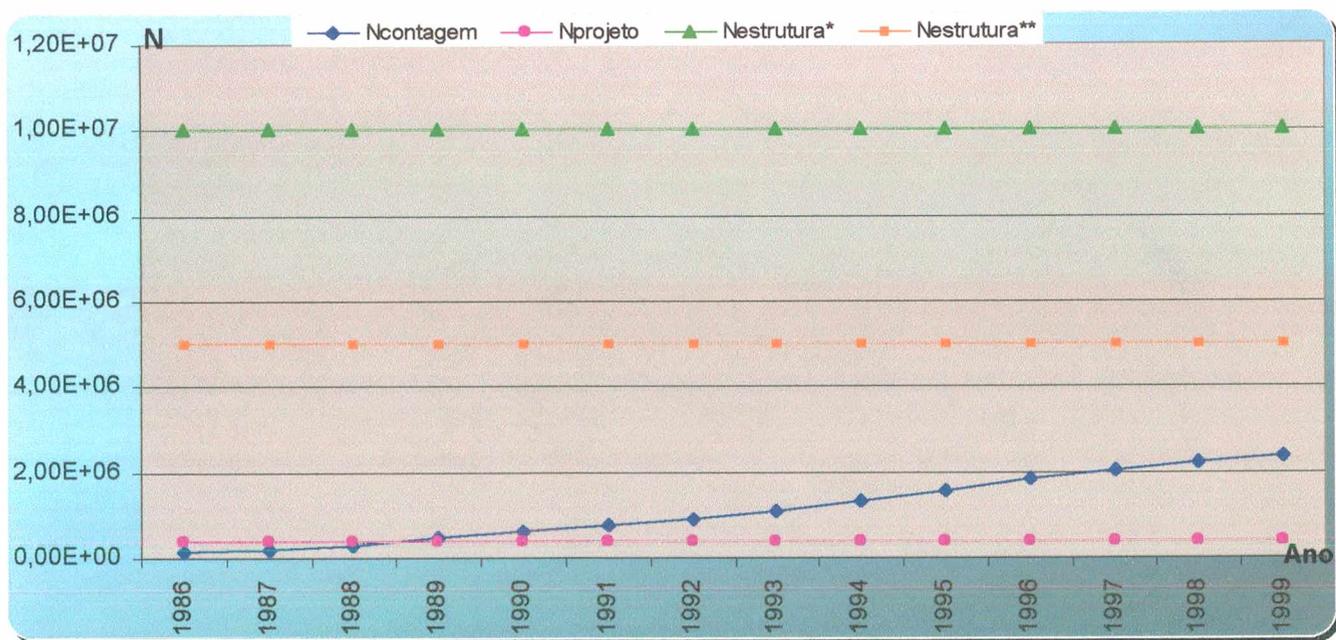
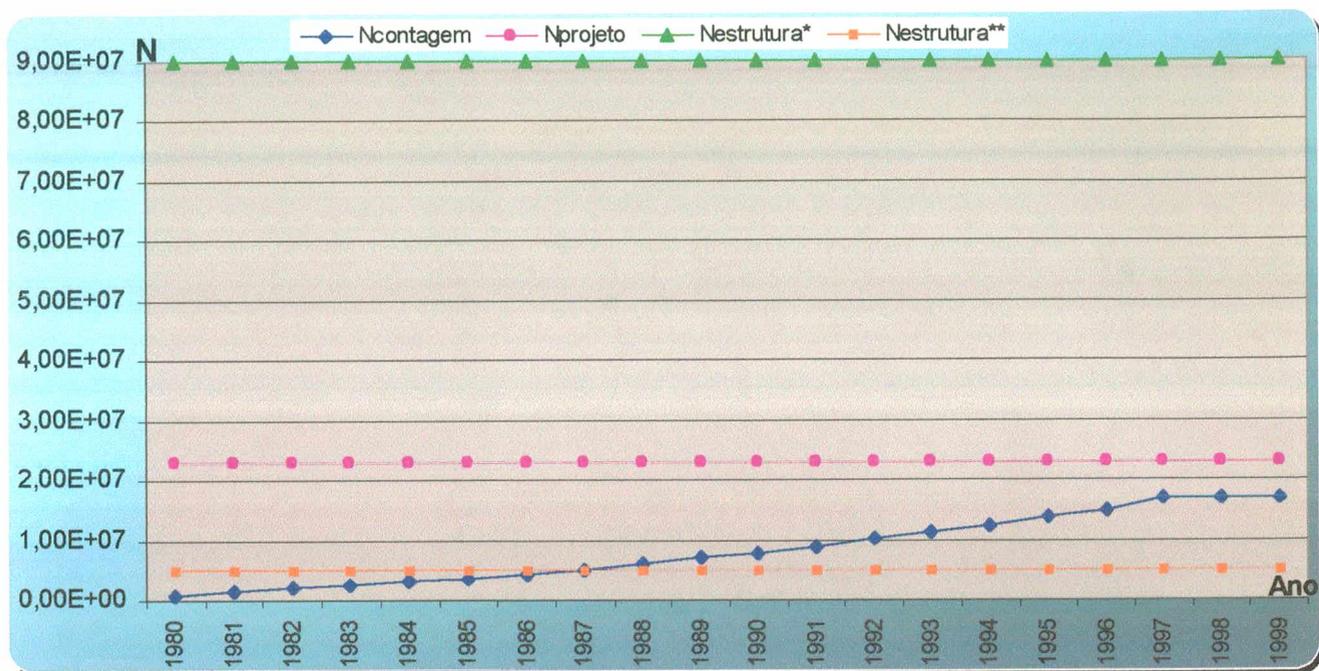


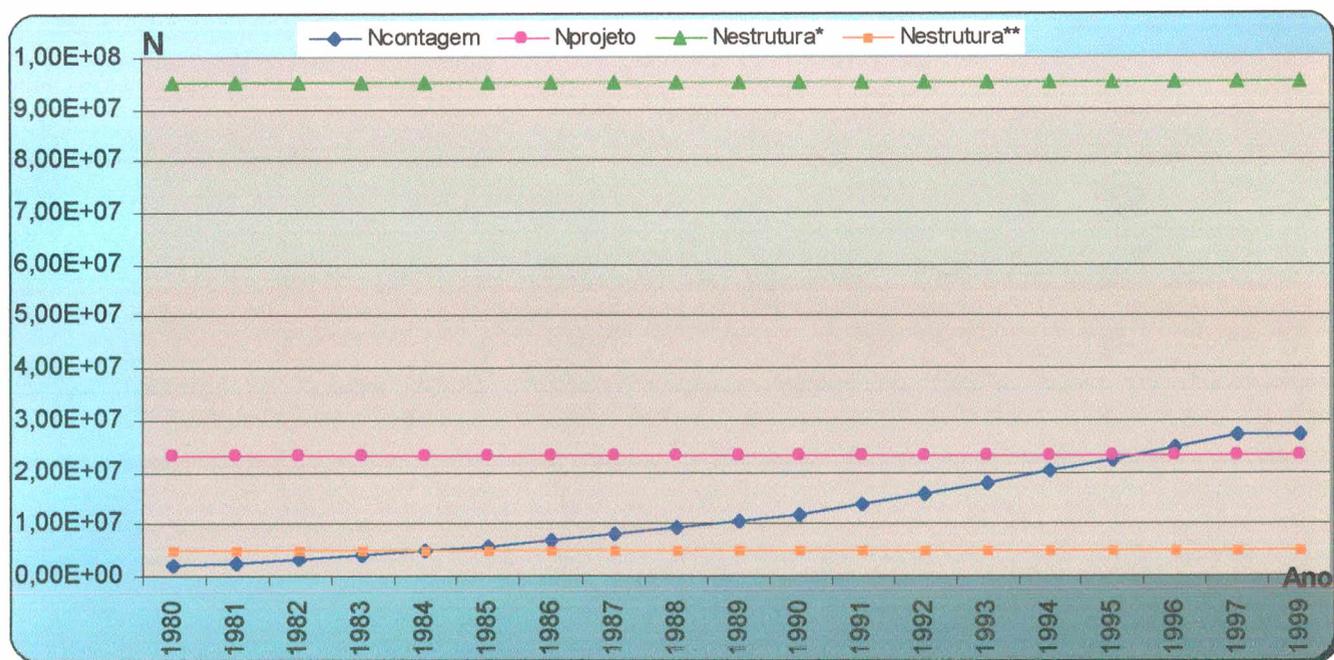
Figura 7.6 – Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Imaruí - BR 101)

\* considerando o N proporcionado pela estrutura sem restrições de espessura de revestimento asfáltico;

\*\* considerando que para um revestimento com espessura de 5 cm o N máximo é de  $5 \times 10^6$ , como determina o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER, para que o efeito da fadiga causada devido a ocorrência de tensões e deformações de tração acima do que suporta a espessura de camada asfáltica não diminua a vida útil do pavimento.



**Figura 7.7 – Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Urussanga - Criciúma)**  
sub-trecho Urussanga - Cocal do Sul



**Figura 7.8 – Avaliação da vida útil do pavimento (trecho Urussanga - Criciúma)**  
sub-trecho Cocal do Sul - Criciúma

\* considerando o N proporcionado pela estrutura sem restrições de espessura de revestimento asfáltico;

\*\* considerando que para um revestimento com espessura de 5 cm o N máximo é de  $5 \times 10^6$ , como determina o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER, para que o efeito da fadiga causada devido a ocorrência de tensões e deformações de tração acima do que suporta a espessura de camada asfáltica não diminua a vida útil do pavimento.

### 7.4.1 – Considerações sobre os programas computacionais utilizados

#### a-) *MODULUS* (versão 4.0)

Este programa considera um sistema de camadas elásticas para a obtenção dos módulos de elasticidade dos materiais constituintes das camadas do pavimento.

Os principais dados de entrada do programa MODULUS são :

- os valores lidos em todas as bacias medidas em campo – que são inseridos no programa a partir de uma planilha específica do programa;
- o valor da carga aplicada pelo equipamento de medição ;
- as distâncias dos sensores que fazem as leituras das deflexões, em relação à placa de carga do equipamento ;
- as espessuras e coeficientes de Poisson das camadas do pavimento .

Os coeficientes de Poisson ( $\nu$ ) utilizados neste trabalho, para cada uma das camadas do pavimento, foram, de acordo com valores normalmente considerados para os tipos de materiais constituintes das camadas, os seguintes :

- revestimento asfáltico -  $\nu = 0,30$  ;
- base de brita graduada simples e seixo britado -  $\nu = 0,35$  ;
- sub-base de seixo rolado -  $\nu = 0,35$  ;
- sub-base ou reforço de solo residual saprolítico ou areia -  $\nu = 0,40$  ;
- subleito -  $\nu = 0,45$ .

Além dos parâmetros citados, também foram fornecidos como dados de entrada no programa os valores limites para a variação dos módulos de elasticidade obtidos.

Este programa tem como principal qualidade, a capacidade de efetuar a retroanálise de todas as bacias de deformação medidas.

Entretanto, apresenta a limitação de interpretar somente carregamentos aplicados por equipamentos do tipo FWD.

#### b-) “*ELSYM 5* “

A retroanálise com o programa “ELSYM 5” é feita por meio de iterações sucessivas, necessitando arbitrar módulos de elasticidade iniciais para os materiais constituintes das

camadas dos pavimentos. No caso deste estudo, para tornar o processo iterativo mais rápido, adotaram-se os módulos de elasticidade calculados pelo programa “MODULUS” para cada um dos segmentos homogêneos definidos (como apresentado no item 6.5 - capítulo 6).

Os outros dados de entrada necessários para que o programa “ELSYM 5” efetue os cálculos de deformações e tensões são :

- espessuras e coeficientes de Poisson das camadas ;
- cargas, pressões e raios de contato das cargas aplicadas ;
- coordenadas dos pontos onde deseja-se obter os dados de saída : as distâncias de cada uma das leituras dos equipamentos (em cm), na cota da superfície dos revestimento.

A partir dos valores calculados pelo “ELSYM 5” para a bacia deformada, calcula-se o erro relativo ( $\Delta$ ) entre estes e os valores medidos pelos equipamentos, através da equação (7.1) :

$$\Delta_i (\%) = [ ( dm_i - dc_i ) / dm_i ] \times 100 \quad (7.1)$$

onde :

$\Delta_i$  = erro relativo percentual na leitura “i” ;

$dm_i$  = deflexão medida pelo equipamento na leitura “i” ;

$dc_i$  = deflexão calculada pelo ELSYM 5 para uma distância em relação ao ponto de aplicação de carga, correspondente a leitura “i” .

Para serem aceitos os valores arbitrados de módulos de elasticidade, os erros relativos devem estar dentro de um limite máximo. Alguns autores apresentam limites aceitáveis para os erros da bacia calculada em relação à bacia medida em campo. Na Tabela 7.4 são mostrados os valores apresentados por PITTA(1998).

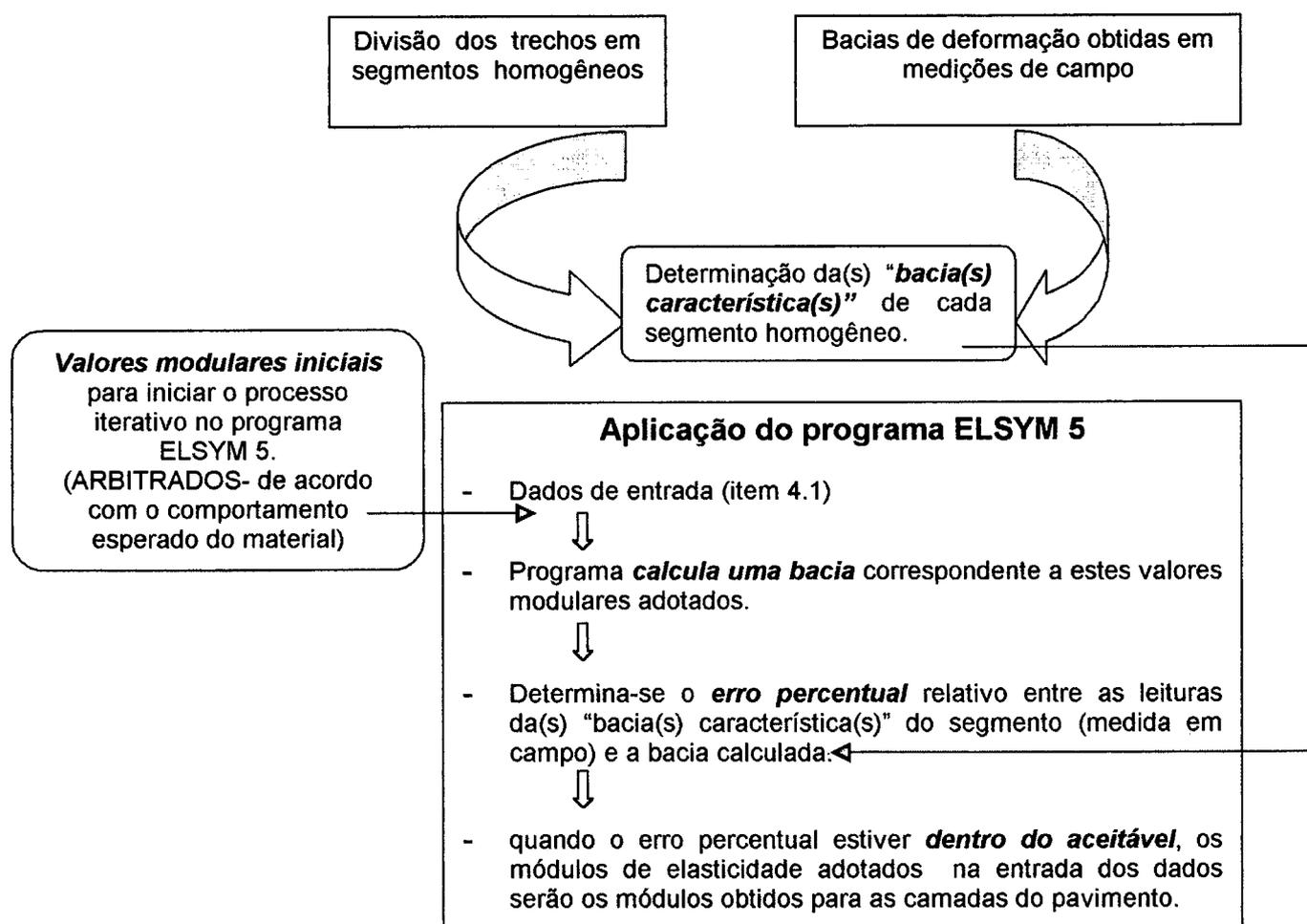
**Tabela 7.4 – Erros relativos aceitáveis para retroanálise**

distância do sensor (cm)	0	20	30	45	60	90	150
erro relativo aceitável	$\leq 2\%$		$\leq 5\%$			$\leq 10\%$	

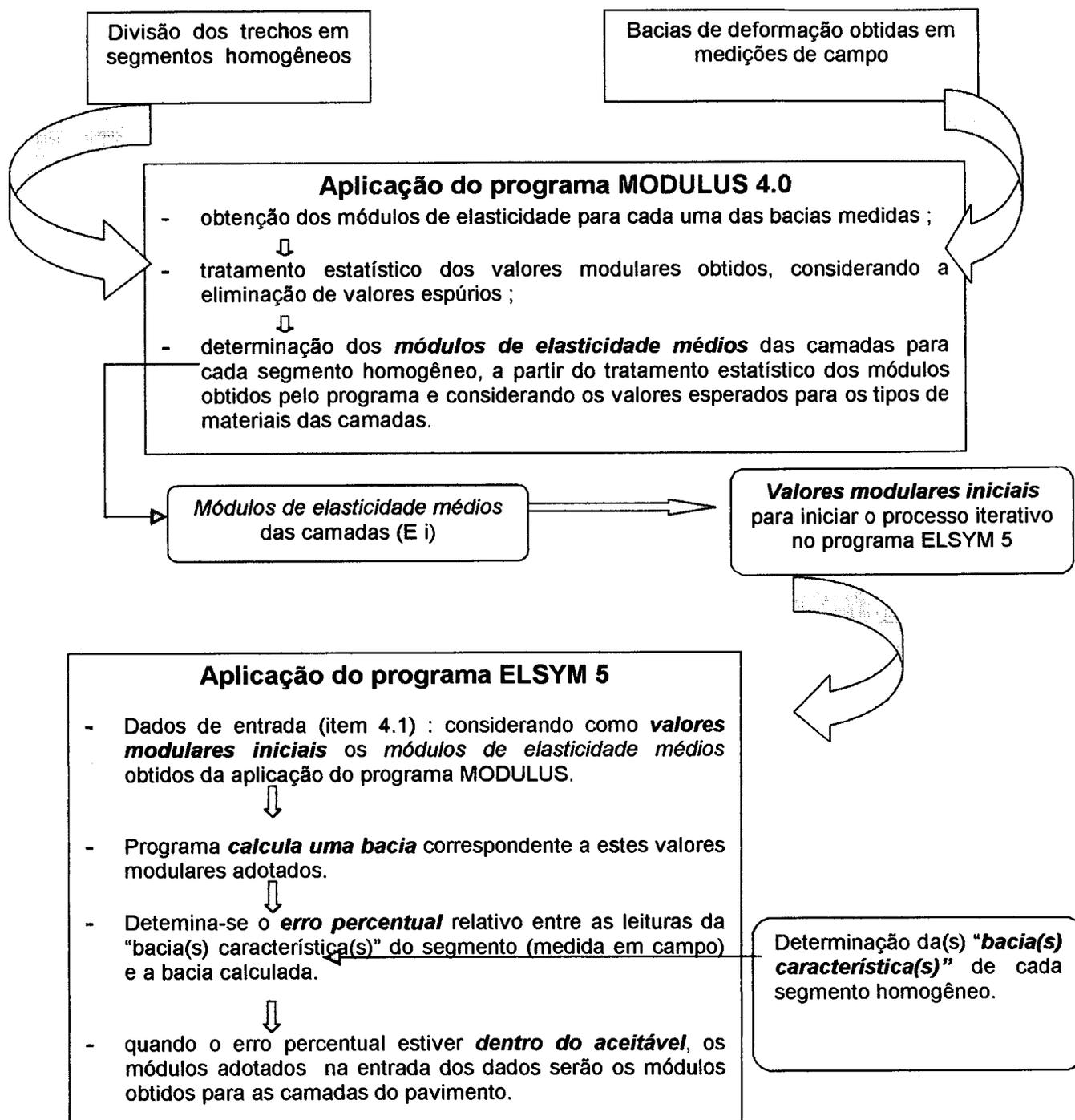
### 7.4.2 – Metodologia para aplicação da Retroanálise

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da retroanálise das bacias de deformação no presente estudo, abrangeu procedimentos diferenciados, de acordo com o equipamento utilizado nas medições de cada um dos trechos, devido ao fato de que o programa MODULUS não interpreta bacias a partir de carregamentos estáticos, como é realizado pela viga Benkelman.

Sendo assim os procedimentos para medições com viga Benkelman e para medições com equipamentos do tipo FWD, são apresentados respectivamente nos fluxogramas apresentados nas Figuras 7.9 e 7.10.



**Figura 7.9 – Fluxograma da Metodologia para a Retroanálise das bacias de deformação medidas com viga Benkelman**



**Figura 7.10 – Fluxograma da Metodologia para a Retroanálise das bacias de deformação medidas com equipamentos do tipo FWD**

Os valores de erros relativos aceitáveis considerados na retroanálise efetuada com o programa ELSYM5 neste estudo, foram próximos aqueles apresentados na Tabela 7.4 para as leituras situadas mais perto do ponto de aplicação da carga (entre 0 e 45 cm).

Para as leituras situadas a distâncias superiores a 45 cm admitiram-se erros relativos percentuais superiores aos apresentados na Tabela 7.4 (considerando-se percentuais de até 35%) pois tornam-se mais difíceis de serem atingidas devido aos baixos valores de leituras, que admitem diferenças absolutas muito pequenas para atender os erros percentuais considerados.

As “*bacias características*” definidas para cada segmento homogêneo foram determinadas da seguinte maneira :

a ) Cálculo da média de todos os valores medidos em campo dentro do segmento homogêneo, para a determinação de uma bacia com valores médios em todas as distâncias de leituras efetuadas pelo equipamento.

b ) Com o valor da média da deflexão máxima ( $D_{0\text{ med}}$ ) do segmento, determinou-se a deflexão característica ( $D_c$ ) do segmento homogêneo, através da expressão :

$$D_c = D_{0\text{ med}} + \sigma$$

Onde :

$\sigma$  = desvio padrão da amostragem das deflexões máximas medidas no segmento homogêneo .

c-) Para definir a(s) “*bacia(s) característica(s)*” do segmento homogêneo, procurou-se atender uma das seguintes condições em ordem de prioridade :

**1ª condição** – a(s) bacia(s) característica(s) é(são) aquela(s) bacia(s) medida(s) situada(s) dentro do intervalo  $D_c \pm \sigma / 2$  ;

**2ª condição** – no caso de não haver uma bacia com valor de deflexão máxima ( $D_0$ ) dentro do limite  $D_c \pm \sigma / 2$  com valor próximo do valor da  $D_c$  (deflexões máximas com valores até  $D_c \pm \sigma$ ), considera-se como bacia característica aquela determinada a partir da média dos valores lidos em todas as bacias medidas no segmento homogêneo.

Para os segmentos homogêneos em que se determinou mais de uma bacia característica, privilegiou-se a convergência em relação a bacia calculada no processo de retroanálise pelo ELSYM 5 para a(s) bacia(s) com deflexão máxima mais próxima da  $D_c$  .

### 7.4.3 – Resultados da Retroanálise

A seguir apresentam-se os resultados da retroanálise das bacias de deformação para cada um dos trechos aqui estudados.

#### 7.4.3.1 – Trecho Armazém - Gravatal

No trecho Armazém - Gravatal consideraram-se as bacias de deformação medidas com viga Benkelman em 1994, para efetuar a retroanálise.

O resumo dos módulos de elasticidade das camadas do pavimento, obtidos para cada um dos segmentos homogêneos em que foi dividido o trecho Armazém - Gravatal, é apresentado na Tabela 7.5.

**Tabela 7.5– Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise  
( Trecho Armazém - Gravatal )**

Segmentos Homogêneos			Módulos de Elasticidade – E (kgf / cm <sup>2</sup> )			
Nº	Início (km)	Término (km)	Revestimento (CAUQ)	Base (BGS)	Sub-base (Solo)	Subleito
1	104+400	103+200	24.000	600	450	500
2	103+200	101+600	28.000	650	570	520
3	101+600	100+800	30.000	550	440	460
4	100+800	100+400	34.000	600	440	470
5	100+400	98+600	35.000	800	580	530
6	98+600	98+000	23.000	500	400	430
7	98+000	97+200	33.000	550	400	500
8	97+200	96+053	36.000	800	550	540

#### 7.4.3.2 – Trecho Gravatal - Braço do Norte

No trecho Gravatal - Braço do Norte consideraram-se as bacias de deformação medidas com equipamento do tipo FWD modelo KUAB em 1995, para efetuar a retroanálise.

O resumo dos módulos de elasticidade das camadas do pavimento, obtidos para cada um dos segmentos homogêneos em que foi dividido o trecho Gravatal - Braço do Norte, é apresentado na Tabela 7.6.

**Tabela 7.6 – Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise  
( Trecho Gravatal - Braço do Norte)**

Segmentos Homogêneos			Módulos de Elasticidade – E (kgf / cm <sup>2</sup> )			
Nº	Início (km)	Término (km)	Revestimento (CAUQ)	Base (BGS)	Sub-base (Solo)	Subleito
1	184+880	185+200	47.000	4.600	1.900	1.500
2	185+200	187+200	30.000	2.100	1.450	1.100
3	187+200	187+600	33.000	2.250	1.500	1.250
4	187+600	188+600	27.000	2.000	1.450	1.200
5	188+600	189+000	29.000	2.000	1.400	1.300
6	189+000	190+600	22.000	1.800	1.350	1.000
7	190+600	191+600	25.000	1.900	1.400	1.250
8	191+600	193+600	21.000	1.650	1.150	1.000
9	193+600	198+170	35.000	2.650	1.700	1.400

#### 7.4.3.3 – Trecho Braço do Norte - São Ludgero

No trecho Braço do Norte - São Ludgero consideraram-se as bacias de deformação medidas com equipamento do tipo FWD modelo KUAB em 1995, para efetuar a retroanálise.

O resumo dos módulos de elasticidade obtidos das camadas do pavimento, para cada um dos segmentos homogêneos em que foi dividido o trecho Braço do Norte - São Ludgero, é apresentado na Tabela 7.7.

**Tabela 7.7 – Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise  
( Trecho Braço do Norte - São Ludgero)**

Segmentos Homogêneos			Módulos de Elasticidade – E (kgf / cm <sup>2</sup> )			
Nº	Início (km)	Término (km)	Revestimento (CAUQ)	Base (BGS)	Sub-base (Solo)	Subleito
1	178+000	180+800	26.000	1.800	1.150	1.000
2	180+800	182+200	34.000	2.000	1.400	1.300
3	182+200	183+400	27.000	1.900	1.200	1.100
4	183+400	184+880	35.000	2.100	1.450	1.300

#### 7.4.3.4 – Trecho Urussanga - Orleans

No trecho Urussanga - Orleans, consideraram-se as bacias de deformação medidas com viga Benkelman em 1994, para efetuar a retroanálise.

O resumo dos módulos de elasticidade das camadas do pavimento, obtidos para cada um dos segmentos homogêneos em que foi dividido o trecho Urussanga - Orleans, é apresentado na Tabela 7.8.

**Tabela 7.8 – Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise  
( Trecho Urussanga - Orleans )**

Segmentos Homogêneos			Módulos de Elasticidade – E (kgf / cm <sup>2</sup> )				
Nº	Início (km)	Término (km)	Revestimento (CAUQ)	Base* (BGS)	Sub-base	Subleito	Sub-trecho (sub-base)
1	0+000	1+020	33.000	2.600	2.400	1.200	1 (seixo rolado bruto )
2	1+020	7+920	32.000	2.500	2.350	1.200	
3	7+920	11+380	27.000	2.500	1.700	1.150	
4	11+380	12+120	34.000	1.900	750	800	2 (solo residual saprolítico)
5	12+120	15+320	23.000	1.200	800	850	
6	15+320	16+320	21.000	950	600	750	
7	16+320	18+120	25.000	1.250	900	900	
8	18+120	18+700	32.000	2.000	1.100	1.000	

\* para os SH 1, 2 e 3 o material da base foi identificado em sondagem como seixo britado

#### 7.4.3.5 – Trecho Treze de Maio - BR 101

No trecho Treze de Maio - BR 101, consideraram-se as bacias de deformação medidas com equipamento do tipo FWD do modelo KUAB em 1995 , para efetuar a retroanálise.

O resumo dos módulos de elasticidade das camadas do pavimento, obtidos para cada um dos segmentos homogêneos em que foi dividido o trecho Treze de Maio - BR 101, é apresentado na Tabela 7.9.

**Tabela 7.9 – Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise  
( Trecho Treze de Maio - BR 101)**

Segmentos Homogêneos			Módulos de Elasticidade – E (kgf / cm <sup>2</sup> )			
Nº.	Início (km)	Término (km)	Revestimento (CAUQ)	Base (BGS)	Sub-base (Solo)	Subleito
1	0	2+400	40.000	3.700	2.000	1.700
2	2+400	4+200	44.000	4.000	2.100	1.950
3	4+200	7+000	43.000	3.500	1.800	1.400
4	7+000	9+600	45.000	4.100	2.200	2.000
5	9+600	11+000	40.000	3.000	1.750	1.500
6	11+000	11+400	42.000	3.500	1.850	1.700
7	11+400	12+946	45.000	3.200	1.800	1.450

#### 7.4.3.6 – Trecho Imaruí - BR 101

No trecho Imaruí - BR 101 consideraram-se as bacias de deformação medidas com viga Benkelman em 1994 , para efetuar a retroanálise. Portanto, os módulos de elasticidade obtidos em retroanálise referem-se a condição estrutural do pavimento antes da execução da restauração efetuada em 1997.

O resumo dos módulos de elasticidade das camadas do pavimento, obtidos para cada um dos segmentos homogêneos em que foi dividido o trecho Imaruí - BR 101, é apresentado na Tabela 7.10 .

**Tabela 7.10 – Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise  
(Trecho Imaruí - BR 101)**

Segmentos Homogêneos			Módulos de Elasticidade – E (kgf / cm <sup>2</sup> )				
Nº.	Início (km)	Término (km)	Revestimento (CAUQ)	Base (BGS)	Reforço do Subleito	Subleito	Sub-trecho (reforço)
1	4+858	8+200	40.000	2.200	1.500	1.250	1 (areia)
2	8+200	11+540	38.000	1.800	1.100	1.100	
3	11+540	18+860	42.000	2.000	1.500	1.250	
4	18+860	24+420	25.000	1.200	850	750	2 (solo)
5	24+420	24+900	22.000	800	750	750	
6	24+900	25+900	28.000	950	900	850	
7	25+900	27+578	23.000	1.150	800	800	

### 7.4.3.7 – Trecho Urussanga - Criciúma

No trecho Urussanga - Criciúma, consideraram-se as bacias de deformação medidas em 1995 com equipamento do tipo FWD modelo PHONIX para efetuar a retroanálise.

O resumo dos módulos de elasticidade das camadas do pavimento, obtidos para cada um dos segmentos homogêneos em que foi dividido o trecho Urussanga - Criciúma, é apresentado na Tabela 7.11 .

**Tabela 7.11 – Módulos de Elasticidade obtidos em Retroanálise  
( Trecho Urussanga - Criciúma)**

Segmentos Homogêneos			Módulos de Elasticidade – E (kgf / cm <sup>2</sup> )			
Nº	Início (km)	Término (km)	Revestimento (CAUQ)	Base (BGS)	Sub-base (Solo)	Subleito
1	19+645	22+900	30.000	1.450	850	850
2	22+900	24+300	32.000	1.500	950	900
3	24+300	25+300	38.000	1.700	1.100	850
4	25+300	27+300	39.000	1.900	1.100	900
5	27+300	28+700	36.000	1.800	1.200	900
6	28+700	29+700	36.000	1.550	1.100	860
7	29+700	34+300	32.000	1.800	1.150	900
8	34+300	35+500	37.000	1.450	950	870
9	35+500	36+535	31.000	1.800	1.100	850

A partir dos resultados de módulos de elasticidade obtidos na retroanálise das bacias de deformação, foram calculados para cada trecho :

- as médias e os desvios padrões dos valores modulares obtidos ao longo dos segmentos homogêneos ;
- médias ponderadas dos valores modulares, a partir do percentual que cada segmento homogêneo representa em relação a extensão total do trecho .

Nas Figuras 7.11, 7.12, 7.13 e 7.14 são apresentados os gráficos com as médias ponderadas verificadas para os valores de módulos de elasticidade obtidos respectivamente para as camadas de revestimento, base e sub-base (ou reforço do subleito) e para o subleito.

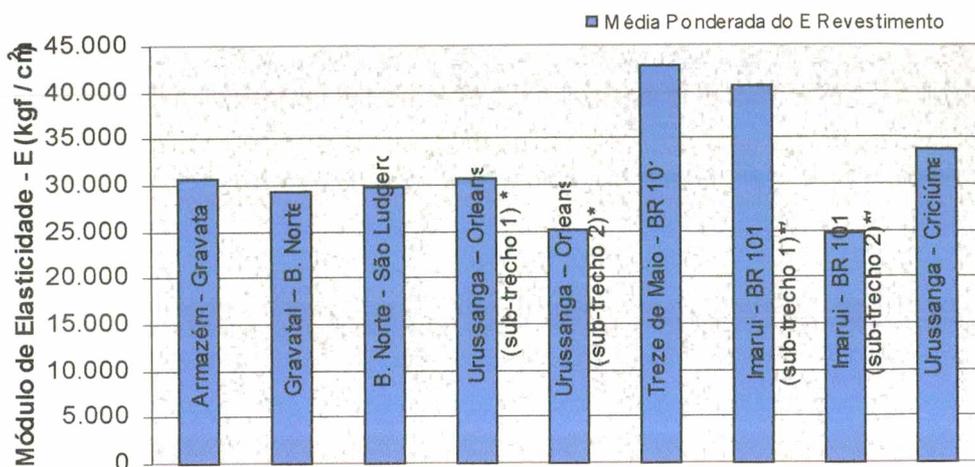


Figura 7.11 – Gráfico com as médias ponderadas dos E obtidos em retroanálise (camada de revestimento)

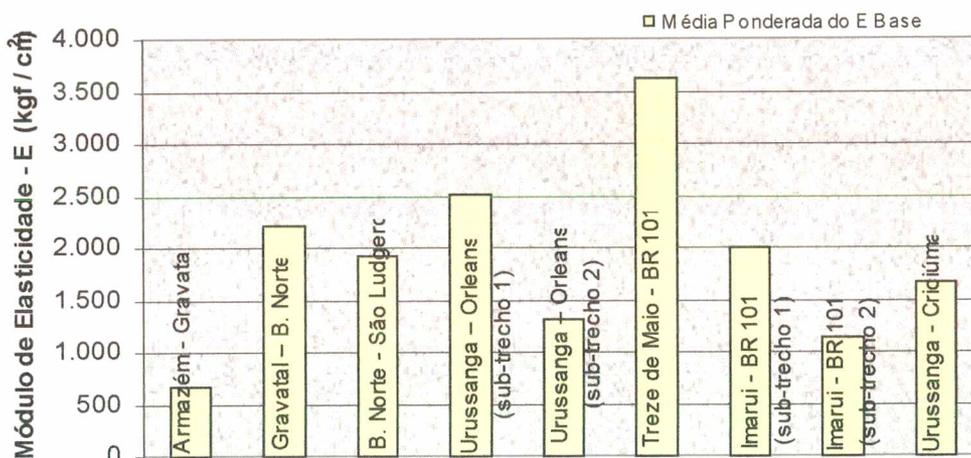


Figura 7.12 – Gráfico com as médias ponderadas dos E obtidos em retroanálise (camada de base)

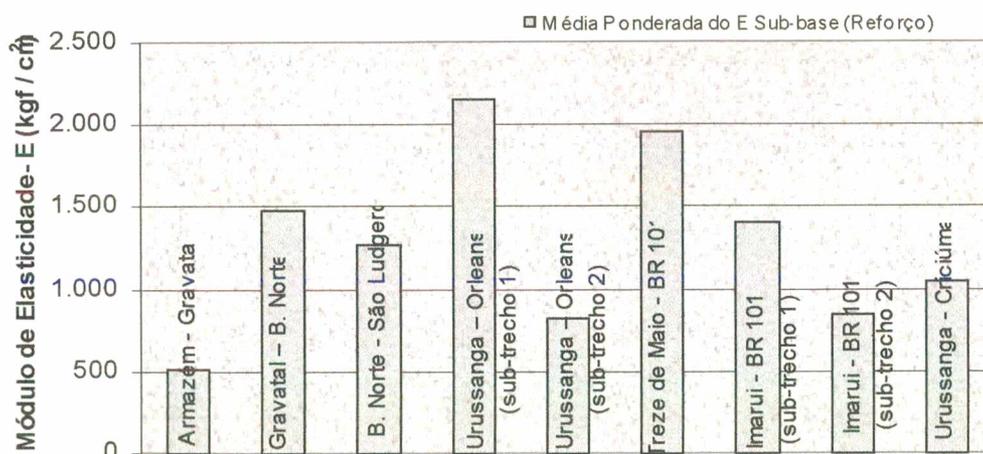
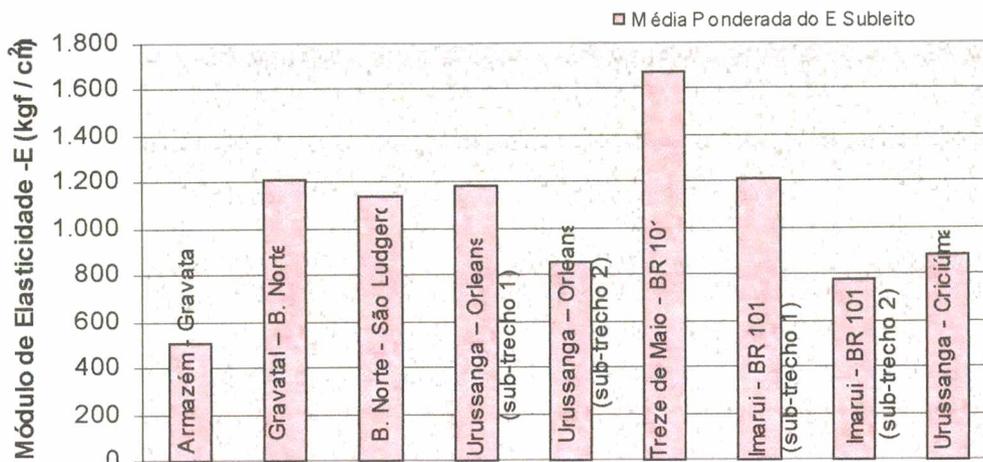


Figura 7.13 – Gráfico com as médias ponderadas dos E obtidos em retroanálise (camada de sub-base e/ou reforço do subleito)



**Figura 7.14 – Gráfico com as médias ponderadas dos E obtidos em retroanálise (subleito)**

## 7.5 – Avaliação dos raios de curvatura obtidos para as bacias de deformação medidas

A determinação dos raios de curvatura das bacias de deformação medidas é um procedimento de fundamental importância, pois este parâmetro permite avaliar o comportamento elástico das camadas superiores do pavimento (o revestimento e a base).

De acordo com o que consta na publicação “Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos” do DNER (1998) “definir um valor crítico para o raio de curvatura é uma tarefa difícil, já que cada estrutura apresenta características particulares. No entanto parece importante uma análise mais acurada de estruturas flexíveis com revestimento asfáltico que exibem raios de curvatura inferiores a 100 m, considerados críticos”. Assim sendo valores de raios de curvatura inferiores a 100 m podem indicar um comportamento insatisfatório das camadas de revestimento e/ou base do pavimento.

O cálculo dos raios de curvatura (R) das bacias de deformação medidas nos trechos aqui estudados, foi efetuado a partir da equação correspondente a uma parábola, que é a mais utilizada em avaliações estruturais aqui no Brasil (DNER,1998) :

$$R = \frac{5 x^2}{(D_0 - D_x)} \quad (7.2)$$

onde :

$x$  = distância, em cm, do centro da carga aplicada pelo equipamento que mede as deflexões recuperáveis e o ponto de onde deseja-se obter o raio de curvatura, que normalmente é o da 2<sup>a</sup>. leitura efetuada pelo equipamento ;

$D_0$  = deflexão máxima, em centésimos de milímetros ;

$D_x$  = deflexão no ponto  $x$  considerado, em centésimos de milímetros.

As médias e os desvios padrões dos raios de curvatura calculados para cada um dos trechos estudados e seus segmentos homogêneos, são apresentados nas tabelas a seguir. Cabe a ressalva que as médias gerais calculadas para cada trecho referem-se a todos os valores individuais das medições de bacias deflectométricas efetuadas.

**Tabela 7.12 – Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura  
(trecho Armazém - Gravatal)**

Segmento Homogêneo	Raios de Curvatura ( $D_0 - D_{25}$ )	
	Média	Desvio Padrão
1	151,0	40,8
2	540,1	686,8
3	168,9	34,9
4	404,4	312,0
5	328,5	166,8
6	375,0	353,6
7	535,7	126,3
8	365,3	244,3
<b>Média geral</b>	<b>346,4</b>	<b>305,5</b>

**Tabela 7.13 – Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura  
(trecho Gravatal - Braço do Norte)**

Segmento Homogêneo	Raios de Curvatura ( $D_0 - D_{20}$ )	
	Média	Desvio Padrão
1	276,0	8,1
2	117,9	40,5
3	152,8	23,6
4	98,0	14,1
5	116,6	43,0
6	90,3	35,1
7	110,5	39,4
8	85,0	28,2
9	145,6	41,2
<b>Média geral</b>	<b>122,2</b>	<b>50,1</b>

**Tabela 7.14 – Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura  
(trecho Braço do Norte - São Ludgero)**

Segmento Homogêneo	Raios de Curvatura (D <sub>0</sub> - D <sub>20</sub> )	
	Média	Desvio Padrão
1	105,8	36,9
2	183,8	73,3
3	109,3	62,0
4	171,7	61,6
<b>Média geral</b>	<b>143,8</b>	<b>66,3</b>

**Tabela 7.15 – Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura  
(trecho Urussanga - Orleans)**

Segmento Homogêneo	Raios de Curvatura (D <sub>0</sub> - D <sub>25</sub> )	
	Média	Desvio Padrão
1	387,2	126,7
2	445,9	231,9
3	422,9	254,2
<b>Média sub-trecho 1</b>	<b>434,1</b>	<b>231,0</b>
4	314,1	139,6
5	197,6	68,4
6	128,9	44,0
7	203,6	121,9
8	384,7	150,3
<b>Média sub-trecho 2</b>	<b>213,7</b>	<b>114,6</b>
<b>Média geral</b>	<b>350,8</b>	<b>222,5</b>

**Tabela 7.16 – Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura  
(trecho Treze de Maio - BR 101)**

Segmento Homogêneo	Raios de Curvatura (D <sub>0</sub> - D <sub>20</sub> )	
	Média	Desvio Padrão
1	183,3	42,5
2	197,5	52,6
3	160,1	43,3
4	206,8	47,9
5	149,4	47,3
6	160,5	19,0
7	165,7	41,7
<b>Média geral</b>	<b>179,2</b>	<b>48,0</b>

**Tabela 7.17 – Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura  
(trecho Imaruá - BR 101)**

Segmento Homogêneo	Raios de Curvatura ( $D_0 - D_{25}$ )	
	Média	Desvio Padrão
1	480,6	162,4
2	381,4	93,6
3	512,3	163,8
<b>Média sub-trecho 1</b>	<b>473,2</b>	<b>156,3</b>
4	226,2	53,2
5	182,3	36,8
6	243,1	79,6
7	197,9	56,4
<b>Média sub-trecho 2</b>	<b>219,3</b>	<b>55,4</b>
<b>Média geral</b>	<b>376,7</b>	<b>177,6</b>

**Tabela 7.18 – Médias e desvios padrões dos Raios de Curvatura  
(trecho Urussanga - Criciúma)**

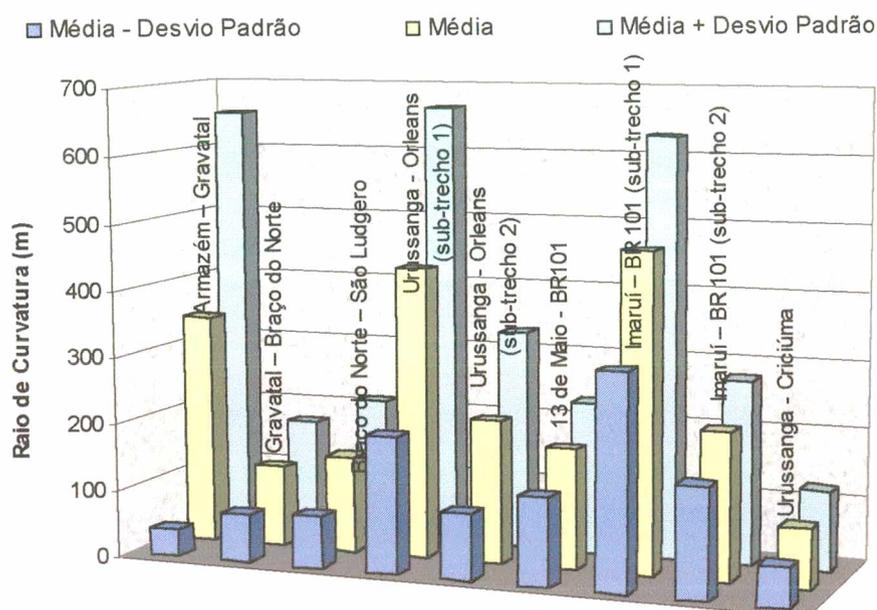
Segmento Homogêneo	Raios de Curvatura ( $D_0 - D_{21}$ )	
	Média	Desvio Padrão
1	76,6	28,2
2	100,6	50,0
3	92,3	20,6
4	92,9	29,1
5	91,0	22,0
6	73,3	16,6
7	95,4	23,4
8	78,9	14,9
9	102,9	46,5
<b>Média geral</b>	<b>89,1</b>	<b>30,2</b>

Na Figura 7.15 são representados graficamente os valores médios de raios de curvatura de cada um dos trechos, bem como os limites atingidos pela subtração e pela adição do desvio padrão ao valor da média .

De acordo com os resultados obtidos de raios de curvatura ao longo dos trechos estudados, pôde-se identificar que o trecho Urussanga - Criciúma foi o único que apresentou um valor médio abaixo do limite crítico de 100 m, considerando, ainda que para o trecho Gravatal - Braço do Norte verificou-se o segundo menor valor médio (igual a 122,2 m) . Estes resultados indicam que, de uma forma geral, estes trechos devem apresentar maiores comprometimentos das camadas de revestimento e/ou base.

Nos trechos Armazém - Gravatal e Urussanga - Orleans (sub-trecho 2), apesar de terem apresentado valores médios acima do crítico em todos os segmentos homogêneos,

constatam-se valores elevados de desvios-padrão apresentados, o que indica que para diversas bacias ao longo dos trechos, tem-se valores abaixo deste limite crítico.



**Figura 7.15 – Médias e desvios padrões de Raio de Curvaturas por trecho**

No trecho Urussanga - Criciúma, apesar do valor médio de raio de curvatura obtido estar abaixo de um limite considerado crítico, não verificaram-se valores de módulos de elasticidade baixos para as camadas de revestimento e base.

É importante a ressalva de que os resultados da retroanálise de bacias de deformação foram obtidos a partir da análise tensão-deformação de um sistema com 4 camadas e de até 7 distâncias de leituras diferentes de deflexões recuperáveis em relação a carga aplicada. Em contrapartida a análise dos raios de curvatura baseia-se nas duas primeiras leituras de deflexões medidas, que, caracterizam melhor o comportamento das camadas de revestimento e base.

Assim sendo, os resultados determinados pelos raios de curvatura devem determinar de forma mais confiável a situação do comportamento elástico das camadas de revestimento e base para o trecho Urussanga - Criciúma.

## 8. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DAS CAMADAS DE SOLOS RESIDUAIS SAPROLÍTICOS

### 8.1 – Ensaio efetuados durante a pesquisa

Para a pesquisa desenvolvida foram selecionados dois locais por trecho para a coleta de amostras de aproximadamente 60 kg de solos residuais saprolíticos das camadas de sub-base e /ou reforço do subleito, com a finalidade de execução dos seguintes ensaios :

- Ensaio de Campo (massa específica aparente seca “in-situ” e umidade natural);
- Análise Granulométrica
- Ensaio de ISC ;
- Ensaio Triaxial de Carregamento Repetido (Módulo de Resiliência)

O critério de seleção dos locais para retirada das amostras de solo baseou-se no comportamento estrutural do pavimento ao longo dos trechos, escolhendo-se dois locais por trecho : um onde verificaram-se valores deflexões mais elevadas (amostras n<sup>o</sup>. 1) e outro com deflexões próximas a deflexão média do trecho(amostras n<sup>o</sup>. 2).

Na Tabela 8.1 estão listados os segmentos selecionados em cada um dos trechos para a retirada das amostras de solos residuais saprolíticos .

**Tabela 8.1 – Locais para a retirada de amostras de solo residual saprolítico das camadas de sub-base e / ou reforço do subleito**

TRECHO	SEGMENTOS - Localização ( km )	
	amostra n <sup>o</sup> . 1	amostra n <sup>o</sup> . 2
Armazém – Gravatal	101,600 a 103,200	97,200 a 98,000
Gravatal – Braço do Norte	191,600 a 193,600	184,800 a 185,200
Braço do Norte – São Ludgero	178,000 a 179,000	181,000 a 182,000
Urussanga - Orleans	18,400 a 18,700	13,000 a 15,000
13 de Maio - BR101	10,200 a 11,400	2,700 a 4,000
Imaruí – BR 101	24,400 a 25,000	12,000 a 17,000
Urussanga - Criciúma	19,000 a 22,500	34,300 a 35,500

### 8.1.1 – Ensaio de Campo

A realização dos ensaios de campo é justificada como de fundamental importância para a caracterização do material na condição em que se encontra na pista, sendo assim, foram realizados com os solos utilizados nas estruturas dos pavimentos, exceto para os trechos Urussanga - Orleans e Urussanga - Criciúma, os seguintes ensaios de campo :

- determinação da *massa específica aparente* “in-situ” ;
- determinação da *umidade natural* do material .

Os resultados destes ensaios de campo são apresentados na Tabela 8.2.

**Tabela 8.2 – Resultados dos ensaios de campo**

TRECHO	Amostra -km	Resultados	
		$\gamma$ ap (in-situ)	h natural (%)
Armazém - Gravatal	nº. 1 - 103,120	1.923	8,2
	nº. 2 - 97,680	2.086	9,7
Gravatal - Braço do Norte	nº. 1 - 192,000	2.170	6,6
	nº. 2 - 185,000	2.080	8,1
Braço do Norte - São Ludgero	nº. 1 - 178,000 – 179,000	2.018	8,9
	nº. 2 - 181,000 – 182,000	1.937	11,3
Urussanga - Orleans	nº. 1 - 18,685	-	-
	nº. 2 - 14,000	-	-
13 de Maio - BR101	nº. 1 - 10,200 – 11,400	1.882	12,3
	nº. 2 - 2,700 – 4,000	1.801	11,9
Imaruí - BR 101	nº. 1 - 24,400 – 25,000	1.952	9,3
	nº. 2 - 14,000	1.867	12,7
Urussanga - Criciúma	nº. 1 - 20,537	-	-
	nº. 2 - 34,500	-	-

LEGENDA:

$\gamma$  ap (in-situ) = massa específica aparente in-situ ;

h natural = umidade natural .

### 8.1.2 – Análise Granulométrica

O ensaio de peneiramento das amostras de solo foi efetuado para a análise das faixas granulométricas dos materiais coletados.

O resumo dos resultados do ensaio de peneiramento são apresentados na Tabela 8.3, podendo-se destacar, de forma resumida, que das 14 amostras ensaiadas :

- 4 amostras apresentaram granulometria com predominância de finos em todas as peneiras (sendo uma amostra caracterizada como areia fina) ;

- 5 amostras apresentaram predominância de faixas mais grossas ;
- as demais amostras apresentaram uma granulometria mais bem distribuídas.

### 8.1.3 – Ensaio de ISC

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) foi efetuado com a energia de compactação no Proctor Intermediário (26 golpes).

Para a determinação das curvas de compactação confeccionaram-se 5 corpos de prova para cada uma das amostras coletadas (amostras não trabalhadas) .

A partir das curvas de compactação foram determinados para cada uma das amostras coletadas :

- a Densidade máxima ( $D_{max}$ ) ;
- a Umidade ótima ( $h_{ot}$ ) ;
- o Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR) ;
- a Expansão .

Os resultados obtidos no ensaio de ISC são apresentados na Tabela 8.4.

Somente uma amostra ensaiada não apresentou valor de CBR acima do que determina como mínimo a especificação DER-SC-ES-P-02/92, para um material ser utilizado em camada de sub-base estabilizada granulometricamente.

O valor mínimo indicado pela referida especificação é CBR superior a 20%, sendo que para a amostra n<sup>o</sup> 2 retirada no trecho Imaruí - BR 101 foi determinado um CBR igual a 15%. Cabe ressaltar que esta amostra é a única que não é caracterizada como solo residual saprolítico, trata-se de uma areia de granulometria bem fina.

Com relação aos resultados de expansão, encontraram-se três amostras com valores acima do que determina a DER-SC-ES-P-02/92 como valor máximo (igual a 0,5%) para um material ser usado em camada de sub-base. Entretanto, os valores determinados para estas três amostras, se encontram dentro que é permitido (máximo de 1,0%), para um material ser utilizado como reforço do subleito. Como nos estudos efetuados nos projetos dos trechos onde foram retiradas estas três amostras (Armazém - Gravatal, Gravatal - Braço do Norte

Tabela 8.3 – Resumo do ensaio de peneiramento (Análise Granulométrica)

TRECHO	Local de coleta da amostra (km- lado)	% passando em peso nas peneiras :										
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	n° 4 (4,8mm)	n° 10 (2,0mm)	n° 40 (0,42mm)	n° 80 (0,18mm)	n° 200 (0,074mm)	
Armazém - Gravatal	97,680 (BD)	100,0	100,0	97,6	97,3	96,4	87,6	64,3	38,9	30,8	25,1	
	103,120 (BE)	100,0	95,6	94,5	92,2	88,6	70,8	48,3	28,7	22,7	18,6	
Gravatal - B. Norte	185,000(BD)	100,0	96,0	94,9	94,2	93,1	83,3	64,5	36,0	25,6	19,8	
	192,000 (BE)	100,0	95,6	93,4	92,1	89,3	73,5	49,0	22,5	15,8	12,0	
B. Norte - S. Ludgero	178,000 - 179,000 (BD)	100,0	97,0	96,2	94,3	91,8	77,5	52,0	27,5	20,3	16,4	
	181,000 - 182,000 (BE)	100,0	94,3	94,3	93,3	92,4	86,4	71,9	44,8	34,1	28,2	
Urussanga - Orleans	14,000 (BD)	90,5	90,5	89,9	88,5	86,2	77,1	63,5	36,4	25,9	19,2	
	18,685 (BE)	100,0	95,1	93,8	90,4	86,6	73,8	56,4	28,5	19,4	14,5	
13 de Maio - BR 101	2,700 - 4,000 (BD)	100,0	100,0	96,6	93,4	90,3	79,1	53,6	26,2	18,9	14,8	
	10,200 - 11,400 (BE)	100,0	100,0	100,0	98,4	98,4	95,7	74,8	48,7	37,7	30,7	
Imaruí - BR 101	24,400 - 25,000 (BD)	100,0	97,2	95,4	94,6	93,4	82,0	58,0	30,4	22,5	17,3	
	14,000 * (BE)	100,0	100,0	100,0	99,7	99,6	99,3	99,1	98,5	68,0	38,7	
Urussanga - Criciúma	20,537 (BD)	100,0	97,6	97,6	96,5	93,9	79,8	59,2	29,7	20,2	15,3	
	34,500	100,0	100,0	100,0	100,0	99,6	88,3	69,5	45,3	35,2	28,1	

**Observação :**

\* material identificado como areia

**Legenda :**

BD = bordo direito da pista

BE = bordo esquerdo da pista

Tabela 8.4 – Resultados do ensaio de Índice de Suporte Califórnia ( I.S.C.)

TRECHO	Amostra (km)	Resultados			
		D max	h ot (%)	CBR (%)	Expansão (%)
Armazém - Gravatal	n.º 1 - 103,120	2,034	9,0	39,0	0,1
	n.º 2 - 97,680	1,983	8,7	27,0	1,0
Gravatal – Braço do Norte	n.º 1 - 192,000	2,064	8,0	53,0	0,0
	n.º 2 - 185,000	2,044	8,8	30,0	0,6
Braço do Norte - São Ludgero	n.º 1 - 178,000 – 179,000	2,016	9,0	32,0	0,4
	n.º 2 - 181,000 – 182,000	1,980	9,3	24,5	1,0
Urussanga - Orleans	n.º 1 - 18,685	2,047	7,9	70,0	0,0
	n.º 2 - 14,000	2,048	9,4	22,1	0,5
13 de Maio - BR101	n.º 1 - 10,200 – 11,400	1,960	9,4	27,0	0,3
	n.º 2 - 2,700 – 4,000	1,957	8,2	58,0	0,1
Imaruí - BR 101	n.º 1 - 24,400 – 25,000	2,050	8,4	60,2	0,0
	n.º 2 - 14,000 *	1,736	11,9	15,5	0,0
Urussanga - Criciúma	n.º 1 - 20,537	2,106	9,7	38,0	0,0
	n.º 2 - 34,500	1,926	10,5	32,0	0,1

Observação :

\* material identificado como areia

e Braço do Norte - São Ludgero), indicam-se os materiais para serem usados como reforço ou camada final de terraplanagem, verificam-se como aceitáveis estes valores de expansão.

#### 8.1.4 – Ensaio Triaxial de Carregamento Repetido

O ensaio realizado com o equipamento triaxial que aplica cargas repetidas em solos e agregados, teve o objetivo de determinar o módulo de resiliência dos solos residuais saprolíticos utilizados como camadas de sub-base e/ou reforço do subleito dos pavimentos.

Este ensaio é normatizado através do método de ensaio DNER-ME 131/94, e foi realizado para 11 das 14 amostras coletadas em campo. O motivo pelo qual não realizou-se o ensaio de carregamento repetido com as outras 3 amostras coletadas foram os seguintes :

- uma amostra de 2 trechos que apresentam um outro trecho no seu prolongamento (Gravatal - Braço do Norte / Braço do Norte - São Ludgero e Urussanga - Orleans / Urussanga - Criciúma) foram eliminadas por motivo de priorização, considerando o prazo para a conclusão deste trabalho e que nestes trechos foram utilizadas jazidas de solos com comportamento semelhantes;
- uma amostra de areia coletada no trecho Imaruí - BR 101, que não é o material que objetiva-se estudar o comportamento resiliente neste trabalho.

Para a realização do ensaio triaxial com aplicação repetida de cargas os corpos de prova foram moldados em três teores de umidade ( $h_{ot} - 2\%$  ;  $h_{ot}$  ;  $h_{ot} + 2\%$ ) com 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, na energia de compactação do Proctor Intermediário.

Em seguida, os corpos de prova foram embalados e colocados na câmara úmida, para que suas umidades sejam mantidas próximas daquelas em que foram moldadas, onde permanecem até o dia seguinte para a execução do ensaio com o equipamento triaxial.

No caso dos tipos de solos aqui estudados, de comportamento arenoso, realiza-se o ensaio em duas etapas ( de acordo com o método de ensaio DNER-ME 131/94) :

- 1<sup>a</sup>. etapa - ) Fase de Condicionamento do Corpo-de-Prova ;
- 2<sup>a</sup>. etapa - ) Registro das deformações resilientes ( $\epsilon_R$ ).

Foram obtidos pelo ensaio de carregamento repetido os módulos de resiliência para cada os 3 níveis de tensão - desvio aplicados em cada uma das tensões confinantes utilizadas .

A partir dos resultados obtidos nos ensaios triaxiais de carregamento repetido aplicou-se o modelo proposto por HICKS (1970) apresentado na equação 8.1, que correlaciona o módulo de resiliência (MR) e as tensões confinantes aplicadas ( $\sigma_3$ ) para cada uma das amostras ensaiadas.

$$MR = k_1 (\sigma_3)^{k_2} \quad (8.1)$$

Para aplicação do modelo de HICKS (1970), efetuou-se uma regressão simples para resolver a expressão logarítmica resultante de (8.1) a partir da equação de uma reta ( $y = a + b x$ ).

Determinaram-se, assim, os valores de  $k_1$  e  $k_2$  a partir da análise de regressão da relação 8.1 entre os MR obtidos no ensaio triaxial de carregamento repetido e as respectivas tensões confinantes aplicadas. Com estes parâmetros determinados puderam-se agrupar as amostras ensaiadas em 3 diferentes grupos de solos como é representado nas Figuras 8.1 e 8.2, de acordo com a classificação resiliente de solos granulares proposta por PREUSSLER (1983) e apresentada na Revisão Bibliográfica.

Para avaliar os módulos de resiliência que os materiais apresentam em campo, foi aplicado o programa de análise de tensões e deformações ELSYM 5 com o objetivo de estimar as tensões confinantes ( $\sigma_3$ ) que ocorrem nas camadas de sub-base executadas com solo residual saprolítico, considerando as estruturas dos locais de onde foram retiradas cada uma das amostras ensaiadas.

Desta forma, foi determinado para cada amostra ensaiada o valor de MR representativo de cada um destes materiais de acordo com o confinamento dos solos nas estruturas dos pavimentos, sendo estes valores inseridos nas Figuras 8.1 e 8.2 para a definição do tipo de solos em que os materiais se enquadram.

Na aplicação do ELSYM considerou-se a solicitação do eixo padrão de 8,2 t e as espessuras das camadas definidas de acordo com a investigação das estruturas executadas (capítulo 7). Consideraram-se, ainda, os módulos de elasticidade dos materiais obtidos na retroanálise das bacias de deformação.

Na estimativa das tensões confinantes ( $\sigma_3$ ) que ocorrem nas camadas de sub-base executadas com solo residual saprolítico, considerou-se um ponto situado no meio da camadas e para atuação de carregamento embaixo da roda dupla do eixo padrão (8,2 t).

Para que os módulos de resiliência obtidos fossem mais representativos da situação de campo, consideraram-se os modelos das faixas de umidade que mais se aproximavam das umidades naturais obtidas nos ensaios de campo.

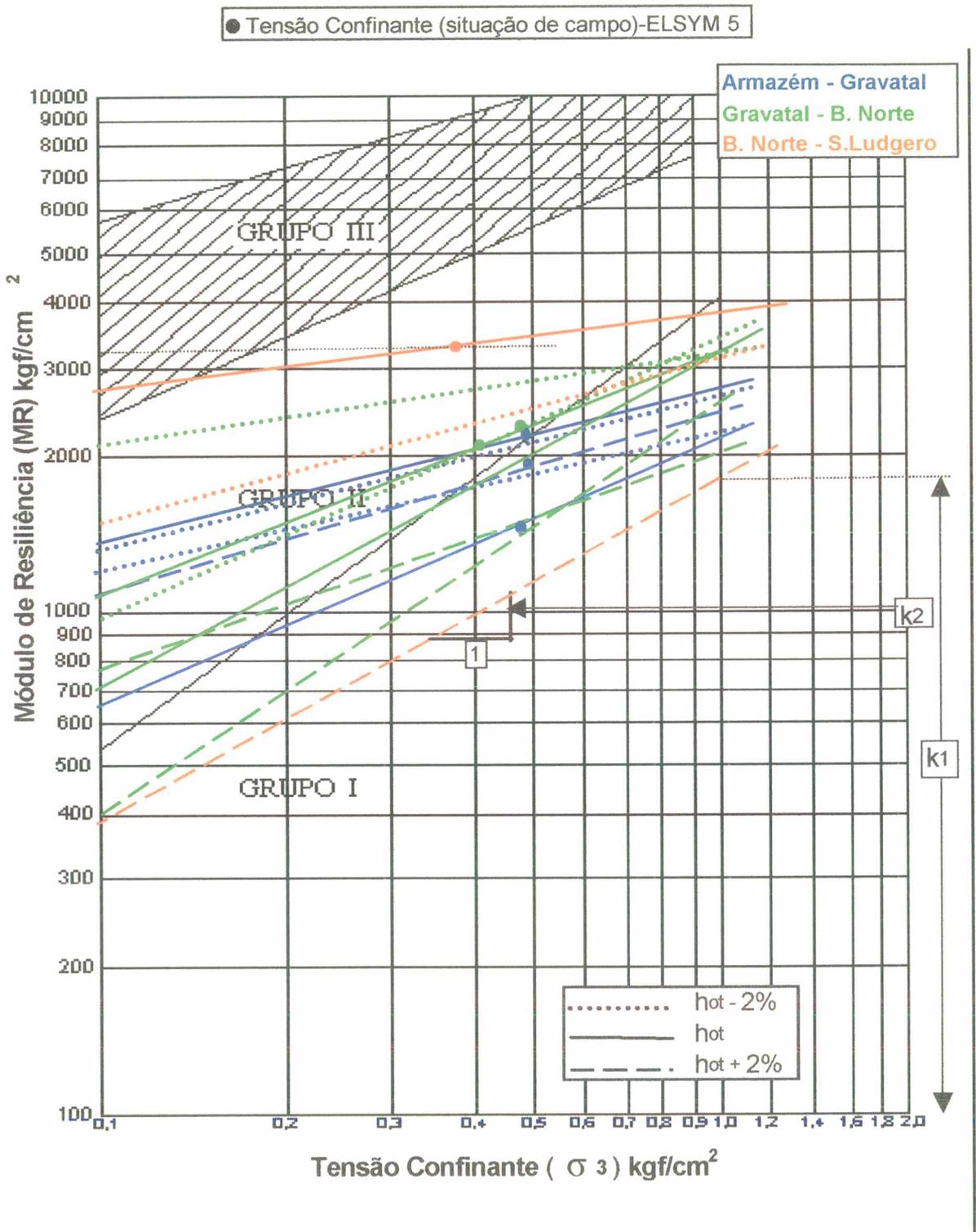


Figura 8.1 – Resultados de Ensaio Triaxial (a) - Módulo de Resiliência x Tensão Confinante

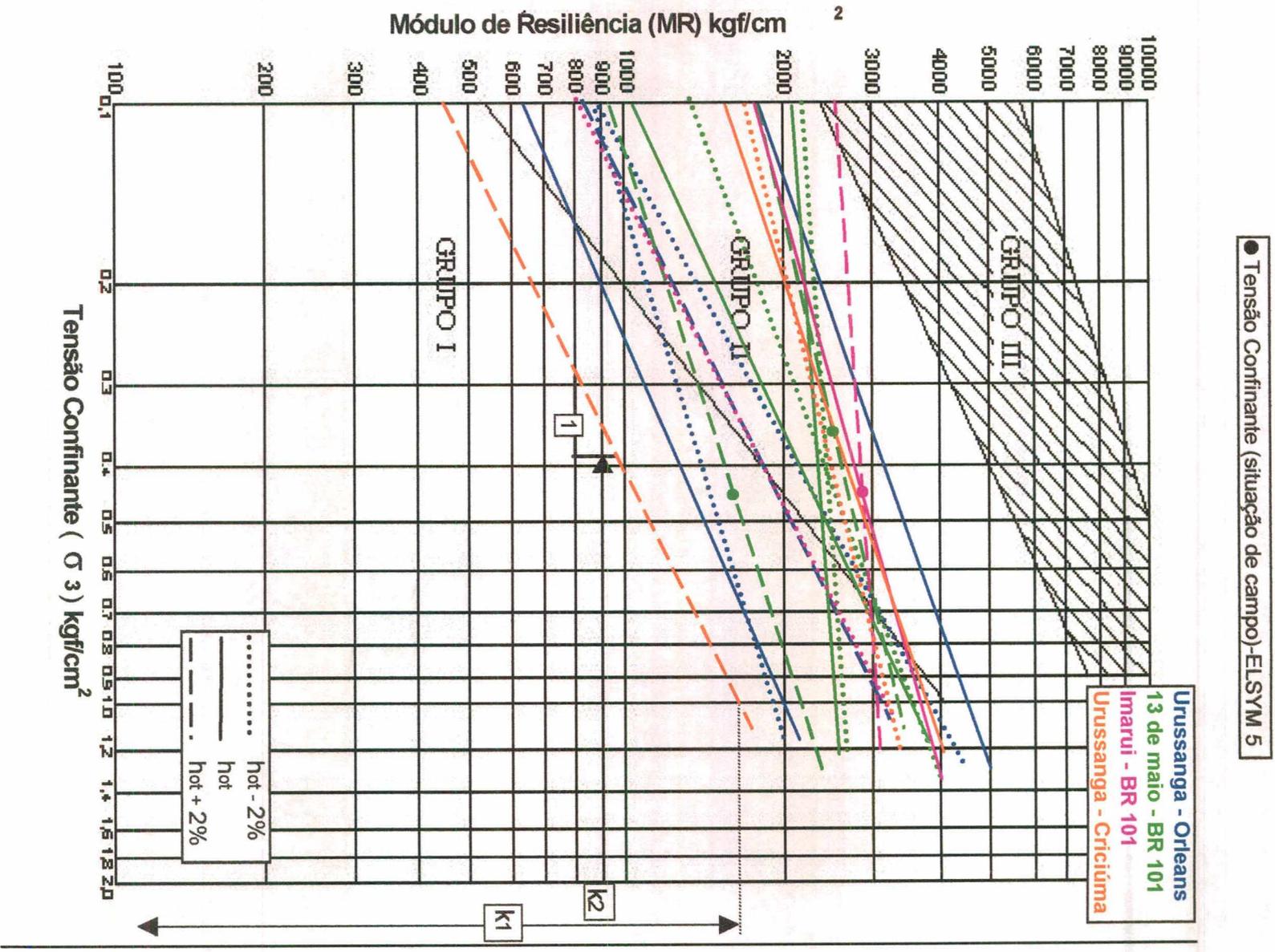


Figura 8.2 – Resultados de Ensaio Triaxial (b) - Módulo de Resiliência x Tensão Confinante

Observou-se que os resultados obtidos para amostras na situação representativa de campo indicaram :

- 5 ocorrências de solo do tipo II com valor de  $k_1 < 0,5$  ;
- 1 ocorrência de solo do tipo II com valor de  $k_1 > 0,5$  ; e
- 3 ocorrências de solo do tipo I .

A primeira situação indica, de acordo com PREUSSLER (1983), um solo de bom comportamento , enquanto que para a segunda este comportamento só será satisfatório em função de um subleito com CBR  $> 10\%$ . Os solos de tipo I não devem ser empregados em estruturas de pavimentos.

Tanto na situação de campo quanto nas demais condições de confinamento e umidade utilizadas no ensaio triaxial, verificou-se uma tendência de pior comportamento dos solos para o teor de umidade mais elevado ( $h_{ot} + 2\%$ ). Esta tendência foi verificada, da mesma forma, em 2 das 3 jazidas de solos residuais saprolíticos estudadas por VALLE (1994) como pode observar-se nos gráficos das Figuras 8.3, 8.4 e 8.5.

No trabalho apresentado por TRICHÊS (1985) foram ensaiadas amostras de solo residual de gnaiss na umidade ótima ( $h_{ot}$ ) e em dois teores abaixo da umidade ótima ( $h_{ot} - 1\%$  e  $h_{ot} - 3\%$ ), verificando-se um melhor comportamento resiliente para os teores com menor teor de umidade como pode-se observar pelos resultados apresentados nos gráficos das Figuras 8.6 e 8.7.

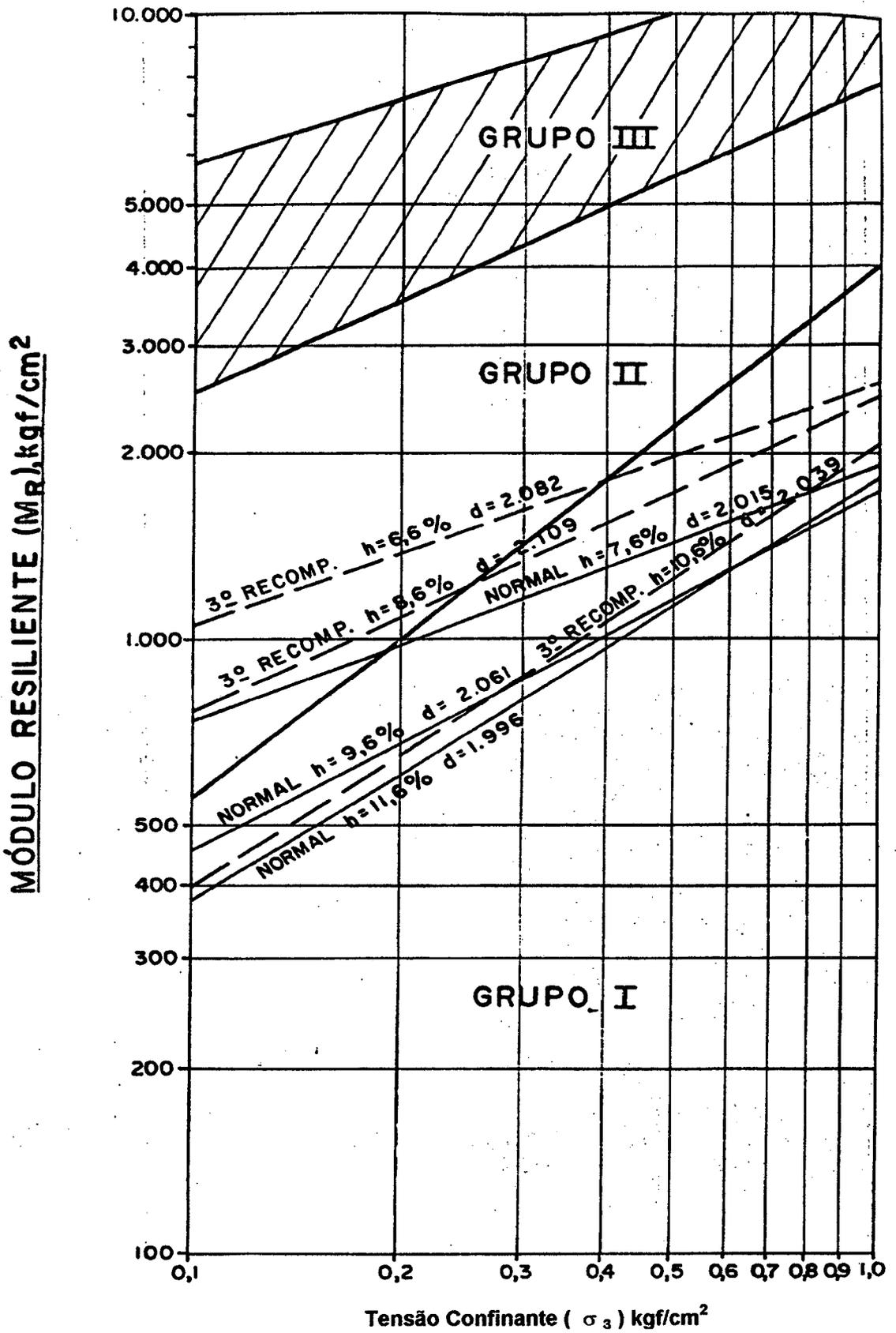


Figura 8.3 – Módulo de Resiliência x Tensão Confinante – Jazida Pomerode (VALLE, 1994)

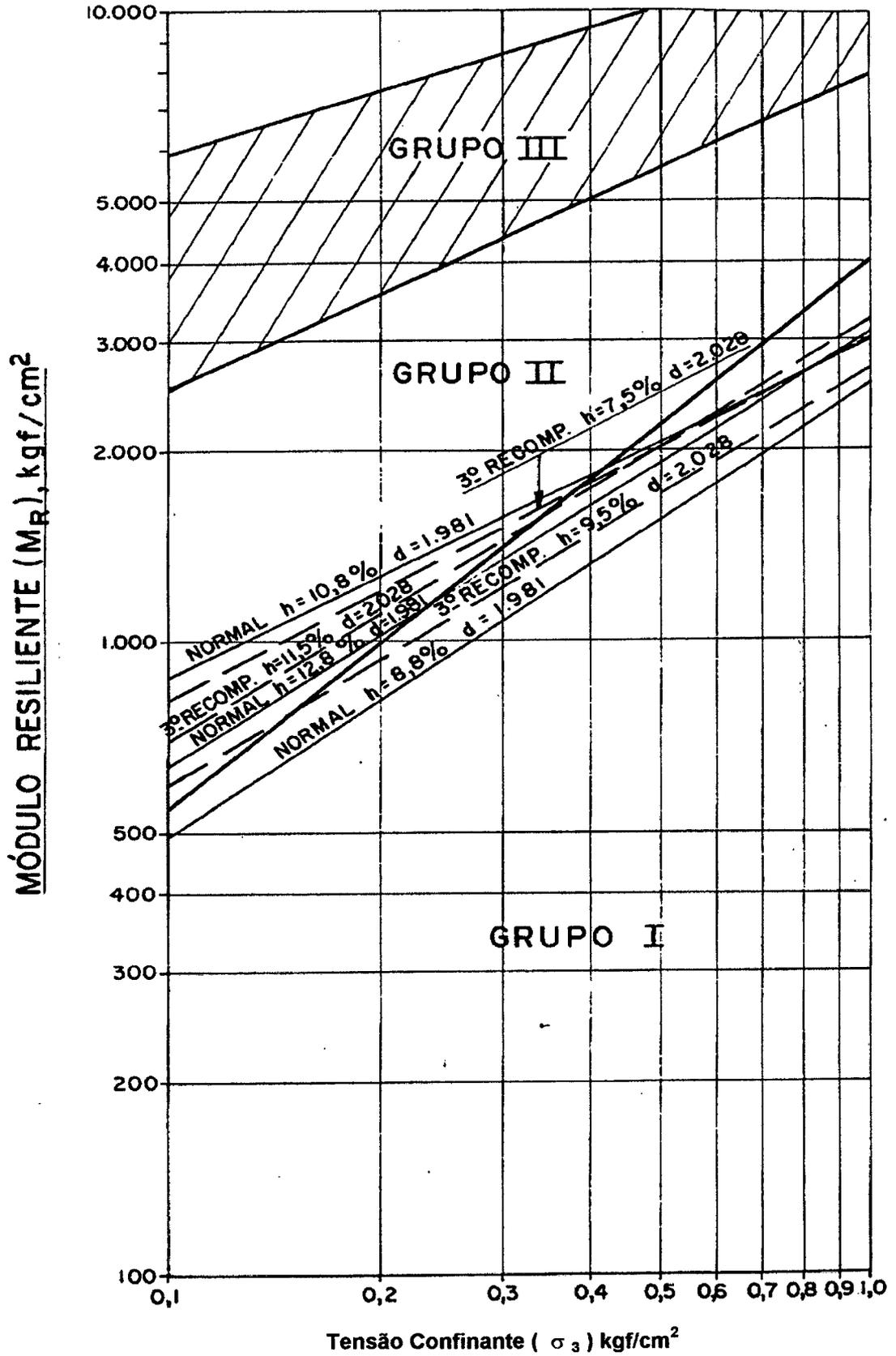


Figura 8.4 – Módulo de Resiliência x Tensão Confinante – Jazida Brusque

(VALLE, 1994)

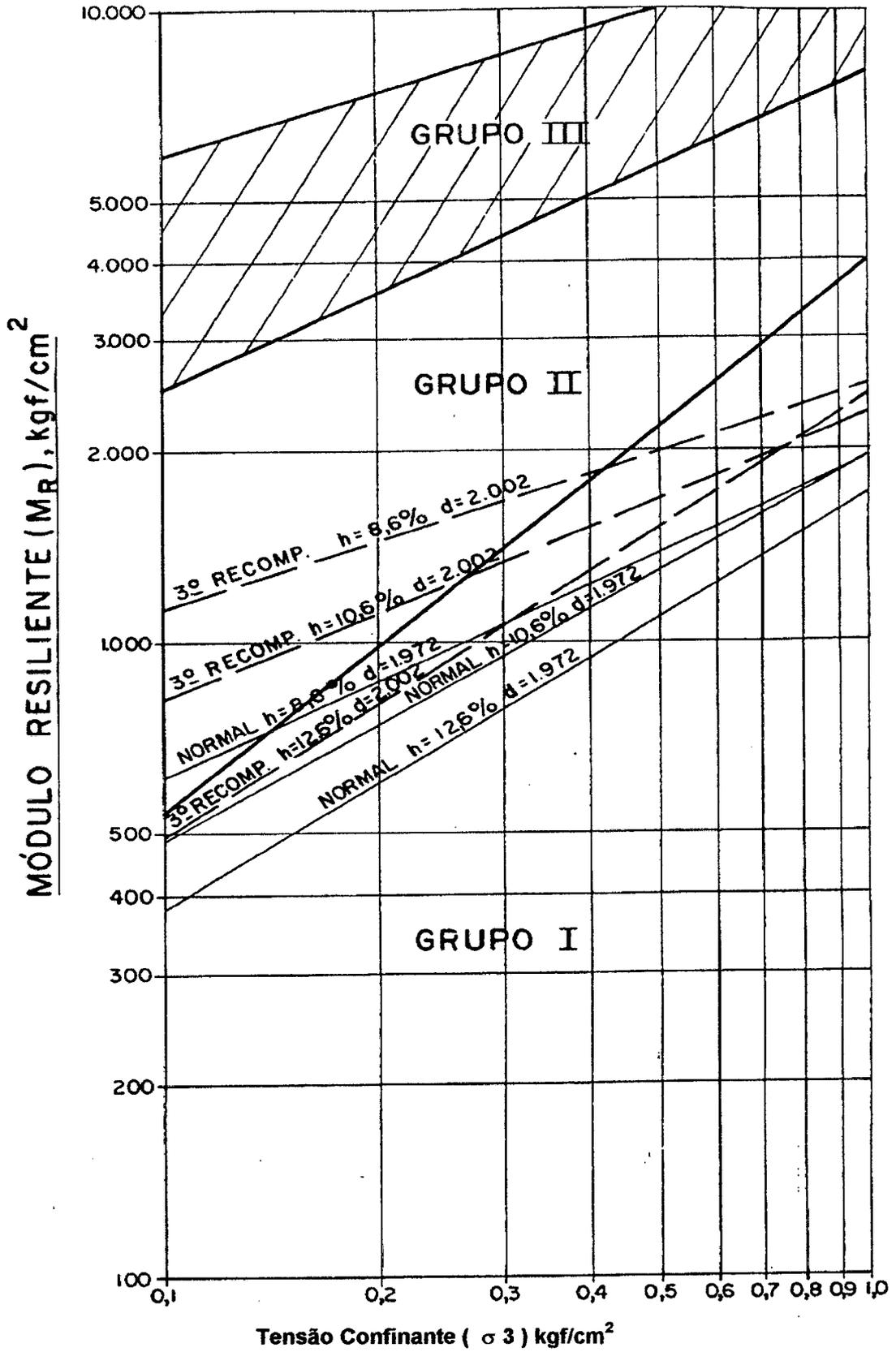


Figura 8.5 – Módulo de Resiliência x Tensão Confinante – Jazida Blumenau  
(VALLE, 1994)

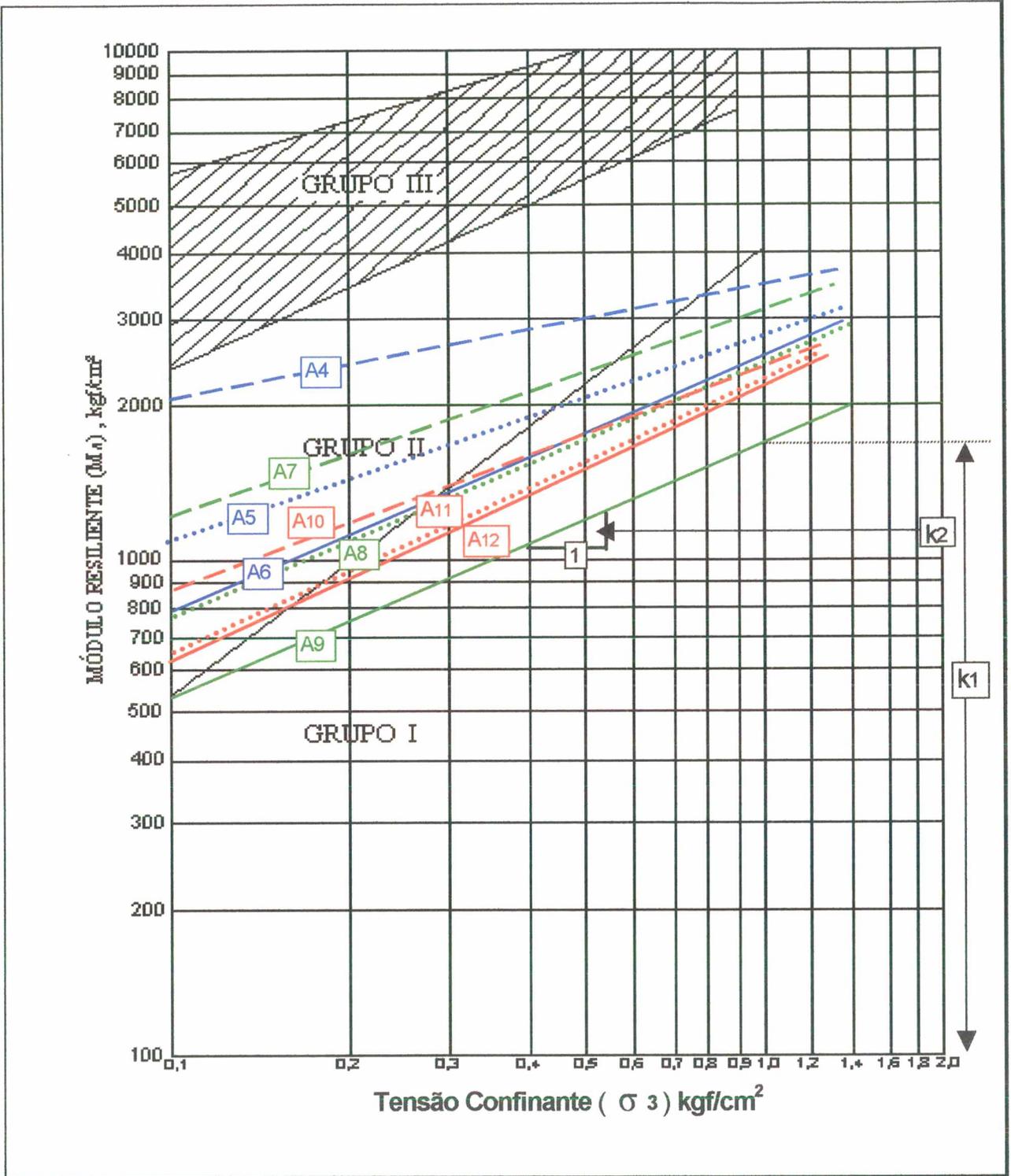


Figura 8.6 – Módulo de Resiliência x Tensão Confinante – Solo Residual de Gnaiss (a)  
(TRICHÊS, 1985)

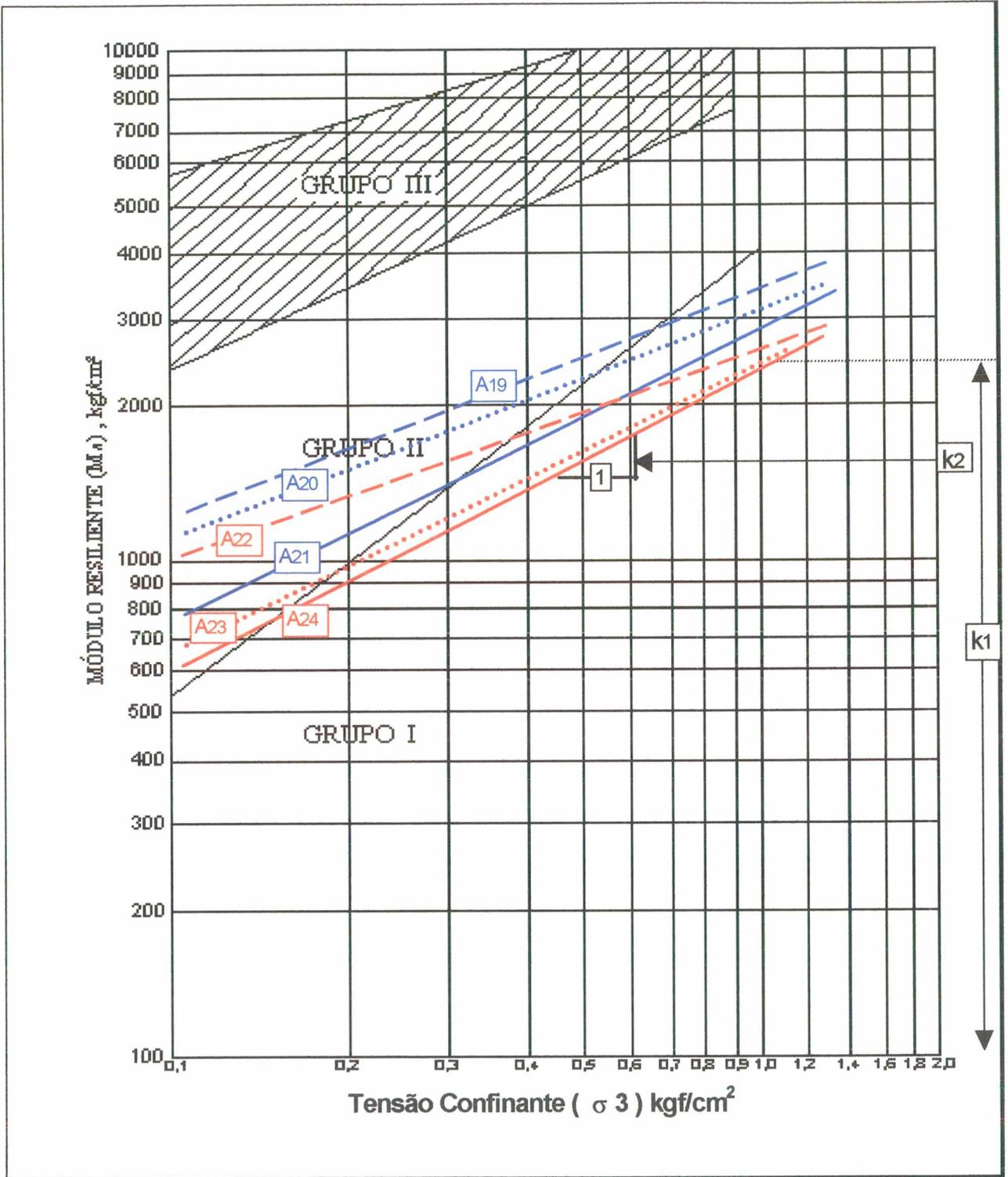


Figura 8.7 – Módulo de Resiliência x Tensão Confinante – Solo Residual de Gnaiss (b)  
(TRICHÊS, 1985)

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A identificação dos fatores que influenciaram o desempenho dos pavimentos são apresentados a seguir, juntamente com as principais conclusões obtidas no estudo aqui efetuado. Dentro dos objetivos propostos no trabalho são apresentadas , também, neste capítulo final, algumas limitações para o uso dos solos residuais saprolíticos em estruturas de pavimentos. E, ainda, são recomendados alguns temas para futuros trabalhos a serem elaborados na área de pavimentação.

### 9.1 – Principais Conclusões do Estudo

**a)** Os fatores que influenciaram o desempenho dos pavimentos estudados, de maneira mais acentuada foram :

- o volume e a composição dos veículos que circulam nas rodovias ;
- o comportamento menos resiliente do sub-trecho executado com seixo rolado bruto no trecho Urussanga - Orleans ;
- a falta de controle na execução para que as espessuras das camadas definidas em projeto fossem atendidas ;
- a falta de intervenções de maior porte (restauração ou até reconstrução) nos pavimentos que demonstram um elevado grau de deterioração mesmo após o final da vida útil .

**b)** Pôde-se observar que alguns outros parâmetros estudados neste trabalho apresentaram um grau de influência consideravelmente menor no desempenho dos pavimentos que os dos aspectos citados no item anterior , cabendo aqui, identificá-los a seguir :

- a tendência de um pior comportamento resiliente dos solos residuais saprolíticos utilizado nas camadas de sub-base e /ou reforço, na faixa de umidade acima da ótima ;
- o comportamento menos satisfatório dos materiais de subleito dos trechos Urussanga - Criciúma e Urussanga - Orleans .

## 9.2 – Limitações para o uso dos solos residuais saprolíticos em estruturas de pavimentos

A partir da análise do comportamento das camadas de sub-base e / ou reforço do subleito executadas com solos residuais saprolíticos em termos de resiliência e condição de suporte, e do desempenho dos pavimentos aqui estudados, propões-se que para uma utilização satisfatória destes solos como camada de sub-base deva ser levado em consideração :

- um acompanhamento adequado na execução da camada, com vistas ao atendimento das condições de umidade ótima, e considerando a liberação da camada somente em condições mais favoráveis de umidade;
- a realização de estudos do comportamento elástico dos materiais das jazidas indicadas para a execução da camada ;
- a adoção de métodos racionais de dimensionamento do pavimento, para assegurar uma estrutura que atenda critérios de ruptura estabelecidos para os materiais que constituem o pavimento;
- concepção de dispositivos adequados de drenagem , para evitar a penetração de água nas camadas inferiores, e conseqüentemente uma condição desfavorável para a camada de solo .

## 9.3 – Recomendações para futuros estudos

Como recomendações para o desenvolvimento de futuros estudos na área de pavimentação, cabe aqui duas sugestões:

- avaliação do desempenho de pavimentos executados com materiais aglomerantes (cal e cimento) adicionados a camadas de solos residuais saprolíticos em teores definidos em laboratório e a investigação da melhoria da resistência e do comportamento elástico do material ;
- estudo do comportamento dos diferentes materiais de subleito encontrados na região sul do Brasil, de acordo com suas características de suporte, de penetração e de resiliência, para que se tenham disponíveis parâmetros mais confiáveis na consideração destes materiais em projetos de dimensionamento de pavimentos .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.A.S.H.T.O - American Association of State Highway and Transportation Officials  
**Guide for Design of Pavement Structures.** Washington-DC, U.S.A., 1993.
- ALBERNAZ, C.A.V. ; MOTTA, L.M.G e MEDINA, J. **Retroanálise : uma ferramenta útil na Avaliação Estrutural de Pavimentos.** In : Anais da 29ª Reunião Anual de Pavimentação , Cuiabá-MT , 1995.
- AUTRET,P. e BROUSSE,J.L.. **VIZIR - Computer-aided Method of estimating road network maintenance needs.** Laboratoire Central des Ponts et Chaussées- LCPC , IST - Section Publications , Paris – França , 1991.
- BALBO, J.T. **Pavimentos asfálticos : patologias e manutenção** , Editora Plêiade , São Paulo-SP , 1997.
- Commitee on Tropical Soils of ISSMFE **Peculiarities of Geotechnical Behaviour of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils.** Progress Report , 1982 -1985 , ABMS , São Paulo-SP , 1985.
- CRUZ, P.T. **Solos residuais : algumas hipóteses de formulações teóricas de comportamento.** In : Anais do Seminário em Geotecnia de Solos Tropicais , ABMS , Brasília-DF, 1987.
- DEERE, D.U. e PATTON, F.D. **Slope Stability in residual soils : state-of-the art report.** In : Anais do Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, vol. 1, Porto Rico, 1971.
- DER/SC **Anuário Estatístico de Tráfego.** Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina , Diretoria de Planejamento Rodoviário e Coordenação – Serviço de Estatística , Florianópolis-SC, 1989.
- DER/SC **Especificações Gerais para Obras Rodoviárias.** Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 1992.
- DER/SC **Manual de Procedimentos do Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC.** Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina , Diretoria de Estudos e Projetos – DIEP , Florianópolis-SC , 1997.
- DNER **Terminologia DNER - TER 01 / 78 - Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem , Rio de Janeiro-RJ ,1978 .
- DNER **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis.** Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR , Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER , publicação 667 , Rio de Janeiro-RJ , 1979.

- DNER **Especificação de Serviço DNER - ES 128/83 - Levantamento da condição de superfície de segmentos-testemunha de rodovias de pavimento flexível ou semi-rígido para gerência de pavimentos a nível de rede.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro - RJ, 1983.
- DNER **Procedimento DNER - PRO 08/94 - Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro-RJ, 1994.
- DNER **Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro-RJ, 1998.
- DUARTE J.C. ; SILVA P.D.E. da e FABRÍCIO J.M. **Correlação entre Deflexões Características em Pavimentos Flexíveis Medidos com a Viga Benkelman e com o FWD - Falling Weight Deflectometer.** In : Anais da 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Salvador-BA, 1996.
- HAAS, R. ; HUDSON, W.R. & ZANIEWSKI, J. **Modern Pavement Management.** Krieger Publishing Company, 1ª edição, Malabar- Flórida- USA, 1994.
- HICKS, R.J. **Factors influenciig the resilient properties of granular materials.** Tese de Doutorado (Ph.D), Universidade da Califórnia, Berkeley- Califórnia - USA, 1970.
- MARCON, A. F. **Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a malha rodoviária estadual de Santa Catarina.** Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, Campo Montenegro, São José dos Campos-SP, 1996.
- MEDINA, J.de; MACEDO, J.A.G; MOTTA, L.M.G. & ALBERNAZ, C.A.V **Utilização de Ensaio Deflectométricos e de Laboratório para Avaliação Estrutural de Pavimentos.** In : Anais da 28ª Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte-MG, 1994.
- MEDINA, J.de **Mecânica dos Pavimentos.** Editora UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, 1997.
- MOTTA, L.M.G **Comportamento Tensão- Deformação e Fadiga de Misturas Asfálticas.** Curso Resiliência e Fadiga de Misturas Asfálticas, Instituto Brasileiro de Petróleo - IBP, Rio de Janeiro-RJ, 1993.
- NANNI, L.F. **Análise Estatística de dados com uso de técnicas computacionais.** Caderno Técnico (revisado), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - CPGEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre-RS, 1986.
- NOGAMI, J.S. **Classificação expedita e terminologia para macroestruturas naturais dos solos.** In : Anais da Semana Paulista de Geologia Aplicada, Associação Paulista de Geologia Aplicada, São Paulo-SP, 1970.
- NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos.** Editora Vilibor, São Paulo-SP, 1995.

- PITTA, D.M. **Contribuição à Retroanálise das Superfícies Deformadas em Pavimentos Asfálticos típicos da região Sul do Brasil.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo-SP, 1998.
- PREUSSLER, E.S. **Estudo da Deformação Resiliente de Pavimentos Flexíveis e Aplicação ao Projeto de Camadas de Reforço.** Tese de Doutorado, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, 1983.
- PREUSSLER, E.S. e PINTO, S. **A Consideração da Resiliência no Projeto de Pavimentos.** Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER, 1994.
- SANTOS, G.T. **Integração de Informações Pedológicas, Geológicas e Geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre-RS, 1997.
- SENÇO, W. de **Manual de Técnicas de Pavimentação.** vol 1, Editora PINI, São Paulo-SP, 1997.
- SOUZA, M.L. **Pavimentação Rodoviária.** Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER, vol 1, Rio de Janeiro-RJ, 1980.
- TRICHÊS, G. **Determinação do Coeficiente de Poisson de Solos, Compactados, no Ensaio Triaxial Dinâmico e o Cálculo de Deflexões de Pavimentos.** Tese de Mestrado, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, 1985.
- TURNBULL, W.J.; FOSTER, C.R. e AHLVIN, R.G. **Design of Flexible Pavements considering mixed loads and traffic volume.** International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Michigan - U.S.A., 1962.
- VALLE, N. **Utilização de Solos Residuais Saprolíticos na Pavimentação Rodoviária em Santa Catarina.** Tese de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – CPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis-SC, 1994.

---

---

## **ANEXO A**

### **TERMINOLOGIAS DE DEFEITOS DE SUPERFÍCIE**

---

---

## **TERMINOLOGIAS DE DEFEITOS DE SUPERFÍCIE**

### **A – Definições de defeitos na superfície de pavimentos pela DNER-TER-PRO 01/78 :**

A terminologia normalizada (DNER-TER-PRO 01/78) dita que estes defeitos são considerados para pavimentos flexíveis e semi-rígidos, ou seja, são aqueles que ocorrem em pavimentos constituídos por revestimentos asfálticos. Sendo assim, apresentam-se a seguir, de forma sucinta, as principais definições abrangendo estes defeitos pela citada norma.

***Fenda*** : qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob as formas a seguir apresentadas.

a-) ***Fissura*** – fenda capilar existente no revestimento, somente perceptível à vista desarmada de distância inferior a 1,50 m ;

b-) ***Trinca*** – fenda existente no revestimento com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob forma de trincas Isoladas ( sub-itens b.1 e b.2) que são classificadas como Fendas Classe Um (FC-1) , e , Interligadas (sub-itens b.3 e b.4) que são classificadas como Fendas Classe Dois ou Três (FC-2 e/ou FC-3), diferenciadamente descritas da forma apresentada a seguir :

**b.1 – *Trinca Transversal*** – trinca isolada que apresenta direção predominante aproximadamente paralela ao eixo do pavimento. Quando apresenta extensão até 100 cm, é denominada Trinca Transversal Curta (TTC); enquanto que para extensão superior a esta denomina-se de Trinca Transversal Longa (TTL);

**b.2 – *Trinca Longitudinal*** – trinca isolada que apresenta direção predominante aproximadamente ortogonal ao eixo do pavimento. Quando apresenta extensão até 100 cm, é denominada Trinca Longitudinal Curta (TLC); enquanto que para extensão superior a esta denomina-se de Trinca Longitudinal Longa (TLL);

**b.3 – *Trinca tipo “Couro de Jacaré”*** – conjunto de trincas interligadas sem apresentarem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Estas trincas podem apresentar (fendas FC-3), ou não(fendas FC-2), erosão acentuada nas bordas;

**b.4 – Trinca tipo Bloco** – conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo apresentar (fendas FC3), ou não(fendas FC-2), erosão acentuada nas bordas .

É ressaltado, ainda, na norma, que no caso de trincas isoladas causadas por retração, estas podem ser classificadas como *Trincas de Retração* (TRR).

Afundamento : deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não de solevamento. Distinguem-se pela terminologia em :

a-) *Afundamento Plástico* – afundamento acompanhado de solevamento ( ou seja , ocorre um levantamento em área contígua ao afundamento). Quando ocorre em extensão de até 6 m, é denominado Afundamento Plástico Local (ALP); quando em extensão maior, e ao longo da trilha de roda, é denominado Afundamento Plástico da Trilha (ATP).

b-) *Afundamento de Consolidação* – afundamento sem estar acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m, é denominado Afundamento de Consolidação Local (ALC); quando em extensão maior, e ao longo da trilha de roda, é denominado Afundamento de Consolidação da Trilha (ATC).

Corrugação : deformação caracterizada por ondulações transversais do pavimento.

Escorregamento do Revestimento Betuminoso : deslocamento do revestimento em relação à base com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.

Exsudação : excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, resultante da migração do ligante através do revestimento.

Desgaste : efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial e provocado por esforços tangenciais devido ao tráfego.

Panelas : cavidade que se forma no revestimento, podendo alcançar a base do pavimento, provocada pela desagregação destas camadas.

## **B – Definições de defeitos na superfície de pavimentos pela DNER-ES 128/83 :**

A Especificação de Serviço DNER-ES 128/83 apresenta, em relação a terminologia DNER-TER-PRO 01/78, uma classificação diferenciada de trincas, além de conceituações diferentes de alguns defeitos, e a definição de remendos e flecha na trilha de roda ( que não constam na terminologia apresentada). Sendo assim apresentam-se estas definições a seguir, com o objetivo de tornar mais amplo e claro o entendimento destes defeitos.

Classificação de Trincas : as trincas devem ser classificadas em função de sua severidade, como segue:

- a-) *Classe 1* – trincas capilares , com largura até 1 mm , normalmente designadas *Fissuras* ;
- b-) *Classe 2* – trincas com largura maior que 1 mm, sem desintegração (ou erosão) nas bordas ;
- c-) *Classe 3* – trincas com largura maior que 1 mm, com desintegração (ou erosão) nas bordas ;

Desgaste : aspereza superficial, com perda no envolvimento betuminoso do agregado, ocorrendo em estágio mais avançado o arrancamento progressivo do agregado.

Ondulação ou Corrugação : sucessão mais ou menos regular de depressões e saliências transversais, observadas na superfície do pavimento.

Flecha na Trilha de Roda : medida, em milímetros, da deformação permanente no sulco formado nas trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE), correspondendo ao ponto de máxima depressão, medida com equipamento padronizado (Treliça de Alumínio).

Remendos : painéis preenchidas com uma mistura betuminosa na operação denominada Tapa-Buracos. Podem ser distinguidos em :

- a-) *Remendo Profundo* – aquele que há substituição do revestimento, e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores. Usualmente apresenta uma forma retangular.

b-) *Remendo Superficial* – correção em área localizada da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada betuminosa delgada como, por exemplo, lama asfáltica ou pré-misturado.

### **C – Descrições dos defeitos na superfície de pavimentos pelo Catálogo de Defeitos do Pavimento (Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC) :**

O Manual de Procedimentos do Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SC (DER/SC, 1997) apresenta dentro da metodologia empregada pelo órgão no levantamento de defeitos na superfície dos pavimentos, um Catálogo de Defeitos do Pavimentos com a descrição, as causas prováveis, os critérios de levantamento, e, a evolução destes defeitos na ausência de intervenções.

Reproduz-se a seguir , então, a descrição feita dos defeitos na superfície do pavimento de rodovias revestidas com Concreto Asfáltico ou Pré Misturado à Frio (PMF) neste catálogo.

*Trincas* : fendilhamentos independentes ou interligados, resultantes das tensões de tração geradas nos revestimentos ou na base. Em geral as trincas iniciais são longitudinais e situam-se nas trilhas de roda. A ação do tráfego agrava o processo, provocando erosão das bordas.

*Jacaré* : é uma combinação de trincas interligadas de diferentes orientações, formando malhas de dimensões variáveis. O jacaré aparece geralmente nas trilhas de roda, mas pode, igualmente, apresentar uma abrangência mais generalizada na seção transversal.

*Trilha de Roda* : evidencia-se pela presença de afundamentos nas trilhas de roda e ocorre no sentido longitudinal. São facilmente reconhecidos após a ocorrência de precipitações pluviométricas, pois a água fica acumulada nos sulcos que se formam ao longo dos percursos das rodas dos veículos na pista.

*Afundamento de Borda* : uma concavidade no pavimento localizada na borda. As leves depressões podem ser perceptíveis após uma chuva com o aparecimento de poças de água.

*Desgaste* : considera-se neste defeito a perda de agregados e/ou de massa fina dos revestimentos asfálticos, podendo ser dividido nos seguintes tipos de degradações :

*Arrancamento* - perda de agregados da camada de revestimento ;

*Descamação* - arrancamento, em forma de placas, de toda ou de parte da camada de revestimento.

*Exsudação* : ascensão de uma película de material betuminoso para a superfície do revestimento, resultando num brilho vítreo, provocando zonas escorregadias, principalmente quando molhado, ocasionando grande prejuízo à segurança do tráfego.

*Panelas* : defeitos que resultam da desagregação e a conseqüente fragmentação do revestimento em pequenas peças devido às trincas de fadiga ou desintegração da mistura. Estas peças são removidas pelo tráfego que força o material interno para fora do buraco, aumentando cada vez mais a sua profundidade, podendo atingir a base e a sub-base. Podem comprometer a estrutura do pavimento, acarretar desconforto para o usuário e trazer prejuízo para a segurança do tráfego.

*Remendos* : são porções do revestimento onde o material original foi removido e substituído por um material similar ou não. Estas reparações objetivam-se, a princípio, a erradicar o defeito de maneira definitiva ou eliminar a sua causa, podendo variar desde uma simples operação de tapa-buraco até os chamados remendos profundos, quando a intervenção atinge várias camadas do pavimento.

---

---

## **ANEXO B**

**AVALIAÇÃO UTILIZADA PELO SISTEMA DE  
PROGRAMAÇÃO DE  
INTERVENÇÕES DO SGP DO DER/SC (PROG)**

---

---

**Quadro 1.1 - Categoria de rodovia em função do tráfego**

Fonte: Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

<b>Categoria</b>	<b>Classe</b>	<b>TMDA</b>	<b>% Tráfego Pesado</b>
	T <sub>5</sub>	> 5.000	
I	T <sub>4</sub>	3.000 - 5.000	
	T <sub>3</sub> <sup>+</sup>	1.500 - 3.000	≥ 30
II	T <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.500 - 3.000	< 30
	T <sub>2</sub> <sup>+</sup>	750 - 1.500	≥ 30
	T <sub>2</sub> <sup>-</sup>	750 - 1.500	< 30
III	T <sub>1</sub>	200 - 750	
	T <sub>0</sub>	0 - 200	

**Quadro 1.2 - Limites para Nível de Intervenção**

Fonte: Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	Prioridade Usuário				Prioridade Patrimônio				
	IRI	Trilha de Roda 1	Exsud.	Panela (n°)	IRI	Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)	Jacaré 2 (%)	Trilha de Roda 2	Remendo 2
Cat. I	3	10	10	2	3,5	70	15	10	10
Cat. II	3	20	20	3	3,5	100	25	20	20
Cat. III	3,5	30	30	5	4	120	40	30	30

**Quadro 1.3 – Limites para Nível de Alerta**

Fonte: Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	Prioridade Usuário				Prioridade Patrimônio				
	IRI	Trilha de Roda 1	Exsud.	Panela (n°)	IRI	Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)	Jacaré 2 (%)	Trilha de Roda 2	Remendo 2
Cat. I	2,5	5	5	1	3	50	10	5	5
Cat. II	2,5	10	10	1	3	70	15	10	10
Cat. III	3	20	20	1	3,5	100	25	20	20

---

---

## **ANEXO C**

DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DO SISTEMA DE  
ACOMPANHAMENTO  
DA MALHA RODOVIÁRIA DO SGP DO DER/SC (ACOMP)

---

---

### 1- Índice de Qualidade do Usuário (IQU)

#### Quadro 1.1- Matriz para definir a Nota de Irregularidade (NIU) no Índice do Usuário (IQU)

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	IRI					
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
I	A	B	C	D	E	
II	A	B	C	D	E	
III	A		B	C	D	E

#### Quadro 1.2 - Matriz para definir a Nota de Painelas (NPA) na NDE do Índice do Usuário

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	Painelas ( número )			
	1	2	3	5
I	A	C	E	
II	A	C	E	
III	A	C	E	

#### Quadro 1.3 - Matriz para definir a Nota de Exsudação na NDE do Índice do Usuário

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	Exsudação ( % )			
	5	10	20	30
I	A	C	D	
II	A	C		D
III	A	C		D

#### Quadro 1.4 - Matriz para definir a Nota de Trilhas de Roda na NDE do Índice do Usuário

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	Trilhas de Roda - nível 1 ( % )			
	5	10	20	30
I	A	C	D	
II	A	C		D
III	A	C		D

**Nota de Defeitos (NDE) = max nota (Painelas, Exsudação e Trilhas de Roda nível 1)**

### Quadro 1.5 - Matriz para definir o Índice de Qualidade do Usuário - IQU

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Defeitos (NDE)	Irregularidade (NIU)					
	A	B	C	D	E	Z
A	A	B	B	C	C	Z
C	B	B	C	D	D	Z
D	B	C	C	D	E	Z
E	C	C	D	D	E	Z
Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z

## 2. Índice de Qualidade do Patrimônio (IQP)

### Quadro 2.1 - Matriz para definir a Nota de Irregularidade (NIP) no Índice do Patrimônio

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	IRI					
	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	
I	A	B	C	D	E	
II	A	B	C	D	E	
III	A		B	C	D	E

### Quadro 2.2 - Matriz para definir a Nota de Deflexão (NDF) no Índice do Patrimônio (IQP)

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	Deflexões ( $10^{-2}$ mm)			
	50	70	100	120
I	A	C	E	
II	A		C	E
III	A		C	E

### Quadro 2.3 - Matriz para definir a Nota de Trincas na NTT do Índice do Patrimônio (IQP)

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	Trincas (%)			
	10	15	20	40
I	A	C	D	
II	A	C		D
III	A		C	D

**Quadro 2.4 - Matriz para definir a Nota de Couro de Jacaré nível 1 na NTT do Índice do Patrimônio (IQP)**

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	Couro de Jacaré - nível 1 (%)			
	10	15	20	40
I	A	C	D	
II	A	C		D
III	A		C	D

**Quadro 2.5 - Matriz para definir a Nota de Couro de Jacaré nível 2 na NTT do Índice do Patrimônio (IQP)**

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	Couro de Jacaré - nível 2 (%)			
	10	15	20	40
I	A	C	E	
II	A	C		E
III	A		C	E

**Quadro 2.6 - Matriz para definir a Nota de Trilha de Roda nível 2 na NTT do Índice do Patrimônio (IQP)**

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	Trilha de Roda - nível 2 (%)			
	5	10	20	30
I	A	C	D	
II	A		C	D
III	A		C	D

**Quadro 2.7 - Matriz para definir a Nota de Trilha de Roda nível 3 na NTT do Índice do Patrimônio (IQP)**

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Categoria de Rodovia	Trilha de Roda - nível 3 (%)			
	5	10	20	30
I	A	C	E	
II	A		C	E
III	A		C	E

**Nota de Defeitos (NDE) = max nota (Trincas; Couro de Jacaré nível 1 e 2; e Trilhas de Rodas nível 2 e 3)**

**Quadro 2.8 - Matriz para definir a Nota de Deflexão combinada com a Nota de Defeitos (NDT) do Índice do Patrimônio (IQP)**

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Defeitos (NTT)	Deflexão (NDF)			
	A	C	E	Z
A	A	B	C	Z
C	B	C	D	Z
D	C	D	D	Z
E	C	D	E	Z
Z	Z	Z	Z	Z

**Quadro 2.9 - Matriz para definir o Índice de Qualidade do Patrimônio (IQP)**

Fonte : Manual de Procedimentos do SGP do DER/SC (1997)

Defeitos + Deflexão (NDT)	Irregularidade (NIP)					
	A	B	C	D	E	Z
A	A	A	B	B	C	Z
B	B	B	B	C	C	Z
C	B	C	C	C	D	Z
D	C	C	D	D	D	Z
E	C	D	D	E	E	Z
Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z

---

---

## **ANEXO D**

**PROCEDIMENTOS E CRITÉRIOS UTILIZADOS PELO  
SGP (DER/SC) PARA LEVANTAMENTO DE DEFEITOS**

---

---

São apresentados a seguir os critérios e procedimentos, descritos no Manual de Procedimentos do Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) do DER/SC, utilizados para os levantamentos de defeitos na superfície do pavimento realizados por este SGP.

### **Trincas :**

Devem ser levantadas todas as trincas de fadiga com mais de 1 mm de abertura, que sejam visíveis pelo operador do aparelho instalado no veículo de inspeção.

O resultado do levantamento é a porcentagem da extensão dos segmentos unitários (normalmente o padrão é 200 m) afetada por trincas.

### **Trincas Interligadas tipo “Couro de Jacaré”:**

Para levantar este defeito distinguem-se dois níveis de gravidade :

- *nível 1* – são anotados todos os “couros de jacarés” de malha larga (> 15 cm) sem perda de material ;
- *nível 2* – são registrados os trechos com “couros de jacarés” de malha fina (< 15 cm) com ou sem perda de material .

O resultado do levantamento é a porcentagem da extensão dos segmentos unitários (normalmente o padrão é 200 m) afetada por “couro de jacaré” em cada um dos referidos níveis.

### **Afundamento nas Trilhas de Roda :**

O levantamento de afundamento nas trilhas de roda deve ser efetuado considerando três níveis de deformações, conforme indicado a seguir :

- *nível 1* – deformações de raio pequeno, sendo sentidas pelos usuários. Ocorre devido à fluência dos materiais da camada de revestimento ;
- *nível 2* – deformações de raio grande (com profundidade de 2 até 5 cm), e com afundamentos localizados ;

- *nível 3* – deformações de raio grande (com profundidade superior a 5 cm), e normalmente acompanhadas de “couros de jacarés” com ou sem solevamento. Esta deformação afeta sensivelmente a segurança do usuário.

O resultado do levantamento é a porcentagem da extensão dos segmentos unitários (normalmente o padrão é 200 m) afetada por afundamento de trilhas em cada um dos referidos níveis.

#### **Afundamento de Borda :**

O levantamento é realizado através da constatação ou não do defeito, ou seja , anota-se a existência de afundamento de borda visível.

O resultado do levantamento é a porcentagem da extensão dos segmentos unitários (normalmente o padrão é 200 m) afetada por afundamento de borda.

#### **Desgaste :**

Este defeito deve ser levantado quando se identifica a perda dos agregados e da massa fina, resultando numa textura da superfície do pavimento, moderadamente, irregular e/ou com arrancamentos superficiais.

O resultado do levantamento é a porcentagem da extensão dos segmentos unitários (normalmente o padrão é 200 m) afetada por desgaste.

#### **Exsudação :**

A exsudação deve ser considerada como defeito somente quando for suficientemente extensa para pôr em risco a segurança dos usuários pela diminuição do fator de atrito. O levantamento deve ser considerado quando há excesso de asfalto livre na superfície do pavimento, deixando-o com uma aparência pegajosa e aparecendo claramente as marcas das rodas.

O resultado do levantamento é a porcentagem da extensão dos segmentos unitários (normalmente o padrão é 200 m) afetada por exsudação.

**Panelas :**

Deve ser anotada a quantidade de panelas que apresentarem diâmetro aproximadamente maior que 30 cm.

O resultado do levantamento é a quantidade de panelas observadas ao longo de cada um dos segmentos unitários.

**Remendos :**

O levantamento dos remendos é realizada em dois níveis de gravidade , como descrito a seguir:

- *nível 1* – presença de remendos pouco freqüentes na seção transversal (presente em uma trilha de roda) ;
- *nível 2* – presença de grandes remendos e muito freqüentes na seção transversal (em geral presente nas duas trilhas de roda).

O resultado do levantamento é a porcentagem da extensão dos segmentos unitários (normalmente o padrão é 200 m) afetada por remendos em cada um dos referidos níveis.

---

---

## **ANEXO E**

**APLICAÇÃO DO MÉTODO VIZIR (LCPC- FRANÇA)**

---

---

## 1. Definição dos Níveis de Severidade para as Degradações

**Quadro 1.1 – Níveis de Severidade para as degradações utilizada no cálculo do índice de degradação.**

Fonte: AUTRET e BROUSSE (1991)

DEGRADAÇÃO	Nível de Severidade		
	1	2	3
Trinca interligada tipo couro de jacaré	Trincas interligadas sem perda de material e com malha larga (acima de 50 cm)	Trincas interligadas de malha mais estreita (menor que 50 cm), podendo estar acompanhadas de perda de materiais, arrancamentos e surgimento de painéis.	Trincas interligadas com malhas bem estreitas (menores que 20 cm) podendo estar acompanhadas de perda de materiais.
Deformação na trilha de roda	Perceptível ao usuário, porém com flechas pequenas (menores que 2 cm).	Deformações severas, com ocorrências localizadas ou na trilha de roda (com flechas entre 2 e 4 cm).	Deformações que afetam bastante a segurança e tempo de viagem (flechas superiores a 4 cm)

## 2. Determinação do Índice de Degradação Superficial

**Quadro 2.1- Definição do Índice de Trincas ( $I_t$ ) :**

Fonte: AUTRET e BROUSSE (1991)

Severidade	Extensão		
	0 a 10 %	10 a 50 %	> 50 %
1	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5

**Quadro 2.2 - Definição do Índice de Deformações ( $I_d$ ) :**

Fonte: AUTRET e BROUSSE (1991)

Severidade	Extensão		
	0 a 10 %	10 a 50 %	> 50 %
1	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5

**Quadro 2.3 - Determinação do Índice de Degradação (não-corrigido) :**

Fonte: AUTRET e BROUSSE (1991)

Severidade	Extensão			
	0	1 - 2	3	4 - 5
0	1	2	3	4
1 - 2	3	3	4	5
3	4	5	5	6
4 - 5	5	6	7	7

**Quadro 2.4 - Correção do Índice de Degradação :**

Fonte: AUTRET e BROUSSE (1991)

<b>Severidade</b>	<b>Extensão</b>		
	<b>0 a 10 %</b>	<b>10 a 50 %</b>	<b>&gt; 50 %</b>
<b>1</b>	0	0	0
<b>2</b>	0	0	+1
<b>3</b>	0	+1	+1