

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

**DETERMINAÇÃO DE MODELO DE DETERIORAÇÃO
DOS PAVIMENTOS PARA A MALHA RODOVIÁRIA
ESTADUAL DO CEARÁ.**

Carlos Roberto Cunha

**Dissertação submetida ao Programa de
Mestrado em Engenharia de Transportes
da Universidade Federal do Ceará, como
parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Ciências (M. Sc.) em
Engenharia de Transportes**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Sérgio Armando de Sá e Benevides

Fortaleza

2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FICHA CATALOGRÁFICA

CUNHA, CARLOS ROBERTO

Determinação de modelo de deterioração dos pavimentos para a malha rodoviária do Estado do Ceará, 2008.

195 fls., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

1. Transportes – Dissertação

2. Modelo de Desempenho

3. Gerência de pavimentos

4. Deterioração de Pavimentos

CDD 388

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CUNHA, C. R. (2008). Determinação de Modelo de Deterioração dos Pavimentos para a Malha Rodoviária do Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia do Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 195 fls.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Carlos Roberto Cunha

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Determinação de Modelo de Deterioração dos Pavimentos para a Malha Rodoviária do Estado do Ceará.

Fortaleza - Mestre / 2008

É concedida à Universidade Federal do Ceará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Carlos Roberto Cunha

Rua Carlos Vasconcelos, 2852 ap. 1201

60115-171 – Fortaleza/CE – Brasil

DETERMINAÇÃO DE MODELO DE DETERIORAÇÃO DOS PAVIMENTOS
PARA A MALHA RODOVIÁRIA DO ESTADO DO CEARÁ

Carlos Roberto Cunha

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE
TRANSPORTES.

Aprovada por:

Prof. Sérgio Armando de Sá e Benevides, D.Sc.
(Orientador)

Prof. Jorge Barbosa Soares, Ph.D.
(Examinador Interno)

Prof^a Laura Maria Goretti da Motta, D.Sc.
(Examinadora Externa)

FORTALEZA, CE – BRASIL

OUTUBRO DE 2008

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que esteve comigo dando-me força e sabedoria, coragem nos momentos de cansaço, e fé para superar todos os obstáculos.

À minha esposa Nely, meu porto seguro, pelos sonhos e desafios compartilhados. Pelo apoio e palavras de incentivo nos momentos de cansaço. Pela confiança que sempre depositou em mim e pelo amor que sempre me dedica em todos os momentos de nossas vidas.

À minha filhinha Lívia que em seu pequeno mundo infantil soube entender a falta do papai em muitos fins de semanas. Perdão filha, pelos momentos de convivência perdidos, mas tenha certeza que tudo que faço é pensando em assegurar-lhe um futuro melhor.

Aos meus pais que sempre me ensinaram a importância da construção e coerência de meus próprios valores. Vocês são a lição mais profunda que vivi de ética, dignidade e amor.

Sinceros agradecimentos ao meu Professor Orientador, Sérgio Benevides, por sua orientação com sabedoria, amizade, empenho e apoio dado no desenvolvimento e conclusão desta pesquisa.

Ao Departamento de Edificações e Rodovias pela concessão dos dados e informações necessárias à pesquisa.

Ao apoio dos meus amigos, Ingrid Romero, Carlos André Pontes e Marcos Timbó que contribuíram com sua amizade e com sugestões efetivas para a realização deste trabalho.

Aos colegas de mestrado, funcionários e professores do DET / PETRAN.

Enfim a todos que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito deste Mestrado eu deixo aqui o meu muito obrigado!

Resumo da Dissertação submetida ao PETRAN/UFC como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Transportes

DETERMINAÇÃO DE MODELO DE DETERIORAÇÃO DOS PAVIMENTOS
PARA A MALHA RODOVIÁRIA DO ESTADO DO CEARÁ.

CARLOS ROBERTO CUNHA

Outubro/2008

Orientador: Prof. Sérgio Armando de Sá e Benevides

Estudos criteriosos de planejamento, a médio e longo prazo, devem fornecer informações confiáveis para a tomada de decisão, evitando custos desnecessários à sociedade devido à má conservação das rodovias. Para isso, muitas instituições rodoviárias se utilizam de ferramentas de gestão, como os Sistemas de Gerências de Pavimentos – SGP. Esses sistemas utilizam modelos de previsão de desempenho de pavimentos e identificam as melhores soluções a serem implementadas, definem os custos estimados, priorizam os investimentos, segundo cenários de restrições orçamentárias impostas. Essa pesquisa teve como objetivo determinar um modelo de deterioração dos pavimentos para a malha rodoviária cearense, utilizando dados do monitoramento realizado pelo Departamento de Edificações e Rodovias do Estado do Ceará – DER, através do Levantamento Visual Contínuo – LVC, realizados nos anos de 2001 a 2007, exceto 2003. Com essa série histórica e o banco de dados da instituição foi possível estabelecer a correlação da idade do pavimento *versus* o fator equivalente de defeitos e o fator equivalente de defeitos em anos sequenciais para trinca de fadiga e de bloco, remendo e afundamento. Foram, também, estabelecidas relações agrupando os dados por patamares de tráfego e tipo de superfície, que em alguns casos melhoraram significativamente a confiança do modelo. Espera-se que este estudo contribua para melhorar a qualidade das projeções de desempenho de pavimentos para rodovias cearenses.

Abstract of Thesis submitted to PETRAN/UFC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.) in Transportation Engineering

DETERMINATION OF PAVEMENTS DETERIORATION MODEL ON THE STATE
ROADS IN CEARÁ

CARLOS ROBERTO CUNHA

October/2008

Advisor: Prof. Sérgio Armando de Sá e Benevides

Study careful planning in the medium and long term, should provide reliable information for decision-making, avoiding unnecessary costs to society due to poor maintenance of roads. For this, many institutions make use of road management tools, such as the Pavements Management Systems - PMS. These systems use models to predict pavement performance and identify the best solutions to be implemented, define the estimated costs, prioritize investments, according to scenarios of budget constraints imposed. This study aimed to determine a pavements deterioration model on the state highways in Ceará, using data from monitoring by the Ceará Department Buildings and Highways - DER, through the Continuous Visual Survey - CVS, conducted from 2001 to 2007, except 2003. With this series, and the database of the institution could establish a correlation between the pavement age versus the defects equivalent factor and the equivalent factor for defects in sequential years to crack fatigue and block, and patch the sinking. Were also established relations grouping the data by traffic levels and type of surface, which in some cases significantly improved the confidence of the model. It is hoped that this study will contribute to improving the quality of performance projections for highway pavements Ceará.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	1
1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA	5
1.2.1. Objetivo Geral	5
1.2.2. Objetivos Específicos	6
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	7
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	8
2.2 CONCEITOS DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	12
2.3 PRINCÍPIOS DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	13
2.4 OBJETIVOS DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	14
2.5 CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	15
2.6 IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	19
2.6.1 Generalidades	19
2.6.2 HDM - Highway Design and Maintenance Standard Model	23
2.6.3 SIGMA - Sistema Integrado de Gestão da Manutenção.....	25
2.7 INFORMAÇÕES BÁSICAS.....	33
2.7.1 Tráfego.....	33
2.7.2 Avaliação do Estado da Superfície ou Levantamento de Defeitos.....	36
2.7.3 Levantamento de Irregularidade Longitudinal	44
2.7.4 Mancha de Areia.....	53
2.7.5 Pêndulo Britânico	55
2.7.6 Levantamento Deflectométrico.....	56
2.8 MODELO DE DESEMPENHO	61
CAPÍTULO 3 - ASPECTOS AMBIENTAIS DO LOCAL DO ESTUDO.....	69
CAPÍTULO 4 - POLÍTICAS DE GESTÃO RODOVIÁRIA	79
4.1. O CICLO DE VIDA ÚTIL DOS PAVIMENTOS BETUMINOSOS RODOVIÁRIOS.....	79

4.2.	CUSTOS ASSOCIADOS ÀS BOAS/MÁS PRÁTICAS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA	81
4.3.	ANÁLISE COMPARATIVA SIMULADA DE CUSTOS NO CASO DER/CE.....	82
4.4.	A MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA ATUAL NO DER/CE.....	83
4.5.	SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS - SIGMA - DER/CE.....	84
CAPÍTULO 5 – METODOLOGIA DA PRESENTE PESQUISA		90
5.1.	LOCALIZAÇÃO DOS TRECHOS ANALISADOS	90
5.2.	DESCRIÇÃO DOS LEVANTAMENTOS UTILIZADOS NA ANÁLISE ...	92
5.1.1.	Metodologia.....	93
5.1.2.	Descrição Individual dos Defeitos.....	95
5.3.	ESTRUTURA DOS DADOS UTILIZADOS NESTA PESQUISA	98
5.4.	FATOR EQUIVALENTE DE DEFEITOS	102
5.5.	CONCEITO DE QUALIDADE DO PAVIMENTO EM RELAÇÃO AO DEFEITO	104
5.6.	DEFINIÇÃO DE SEGUIMENTOS HOMOGÊNEOS	105
5.7.	FATOR EQUIVALENTE MÉDIO POR SEGUIMENTO HOMOGÊNEO 110	
5.8.	REFINAMENTO DAS INFORMAÇÕES.....	112
5.9.	CRITÉRIOS DE ANÁLISE	113
CAPÍTULO 6 - ANÁLISE DE RESULTADOS.....		115
6.1.	TRINCA ASSOCIADA À CARGA OU TRINCA DE FADIGA	116
6.1.1.	Etapa I - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento.....	116
6.1.2.	Etapa II - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego.....	117
6.1.3.	Etapa III - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos.	118
6.1.4.	Etapa IV - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.	119
6.1.5.	Etapa V - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento.....	120
6.2.	TRINCA NÃO ASSOCIADA À CARGA OU TRINCA DE BLOCO	123
6.2.1.	Etapa I - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento.....	123

6.2.2.	Etapa II - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego	124
6.2.3.	Etapa III - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Bloco em Anos Consecutivos.....	126
6.2.4.	Etapa IV - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.....	127
6.2.5.	Etapa V - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento.....	128
6.3.	REMENDOS	131
6.3.1.	Etapa I - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento.....	131
6.3.2.	Etapa II - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego	132
6.3.3.	Etapa III - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Remendo em Anos Consecutivos.....	134
6.3.4.	Etapa IV - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.....	135
6.3.5.	Etapa V- Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento.....	136
6.4.	AFUNDAMENTO	139
6.4.1.	Etapa I - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento.....	139
6.4.2.	Etapa II - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego	140
6.4.3.	Etapa III - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Afundamento em Anos Consecutivos.....	141
6.4.4.	Etapa IV - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.....	143
6.4.5.	Etapa V - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento.....	144
6.5.	DESGASTE.....	146
6.6.	TRINCAS - AGRUPAMENTO DAS TRINCAS DE FADIGA E BLOCO EM UM ÚNICO FATOR EQUIVALENTE.....	147
6.6.1.	Etapa I - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento.....	147
6.6.2.	Etapa II - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego	148
6.6.3.	Etapa III - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trincas em Anos Consecutivos.....	149

6.6.4.	Etapa IV - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.	150
6.6.5.	Etapa V - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento. 151	
6.7.	RESULTADO FINAL.....	154
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		159
7.1.	CONCLUSÕES	159
7.2.	RECOMENDAÇÕES.....	161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		162

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1: Exemplo de concepção de um banco de dados corporativo (BDC).....	11
Figura 2. 2: Esquema simplificado da estrutura SIGMA (DER, 2001).....	25
Figura 2. 3: Visão das informações e seu relacionamento com os módulos do SIGMA (DER, 2001)	26
Figura 2. 4: Interface do SIB-Pista para Rodovias e Trechos (DER, 2001).....	27
Figura 2. 5: Gerencia dos trechos (DER, 2001)	28
Figura 2. 6: Pontos Notáveis (DER, 2001).....	29
Figura 2. 7: Camadas do Pavimento (DER, 2001)	30
Figura 2. 8: Defeitos do Pavimento do SIGMA (DER, 2001)	31
Figura 2. 9: Irregularidade Longitudinal do SIGMA (DER, 2001).....	32
Figura 2. 10: Deflectométrico do SIGMA (DER, 2001).....	33
Figura 2. 11: Distribuição do Tráfego em Faixas de VMD (DER, 2001)	35
Figura 2. 12: Distribuição do Tráfego na Malha (DER, 2001).....	35
Figura 2. 13: Visão Esquemática do ARAN.....	40
Figura 2. 14: Visão Esquemática do GERPHO System	41
Figura 2.15: Fotografia do Dipstick (esq.); desenho esquemático do Dipstick em operação (centro); e fotografia do perfilômetro Walking Profiler (dir.) (BARELLA, 2008).....	46
Figura 2. 16: Desenho esquemático do perfilômetro CHLOE (BARELLA, 2008)	47
Figura 2. 17: Esquema do Perfilômetro CHLOE utilizado no AASHO Road Test (BENEVIDES, 2006)	47
Figura 2. 18: Desenho esquemático do equipamento MERLIN (BARELLA, 2008)...	48
Figura 2. 19: Esquema do Equipamento APL (HASS et al., 1994)	49
Figura 2. 20: Parte de um SMITR (DOMINGUES, 2003).....	50
Figura 2. 21: Parte de um Bump Integrator	50

Figura 2. 22: Exemplo de Perfilômetro a laser da Cibermética.....	51
Figura 2. 23: Exemplo de um Ensaio da Mancha de Areia	54
Figura 2. 24: Pêndulo Britânico.....	55
Figura 2. 25: Exemplo de FWD – Falling Weight Deflectometer da marca KUAB...	57
Figura 2. 26: Exemplo de FWD – Falling Weight Deflectometer da marca Dynaest..	58
Figura 2. 27: Exemplo de Sistema de aquisição de dados e controle de operação de um FWD – Falling Weight Deflectometer visão interna.....	58
Figura 2. 28: esquema de carga de um FWD – Falling Weight Deflectometer	59
Figura 2. 29: esquema de leitura de carga de um FWD – Falling Weight Deflectometer	59
Figura 3. 1: Mapa de Situação do Estado do Ceará (IPECE, 2007)	69
Figura 3. 2: Mapa de Densidade Demográfica do Estado do Ceará (IPECE, 2007)	70
Figura 3. 3: Mapa de Tipos Climáticos do Estado do Ceará (IPECE, 2007)	72
Figura 3. 4: Mapa de Precipitação Pluviométrica do Estado do Ceará (IPECE, 2007)	73
Figura 3. 5: Modelo Digital do Relevo do Estado do Ceará (IPECE, 2007).....	74
Figura 3. 6: Unidades Fitoecológicas do Estado do Ceará (IPECE, 2000)	78
Figura 4. 1: Fluxograma de vida das rodovias (DER, 2008).....	79
Figura 4. 2: Ciclo Otimizado de Manutenção (Conserva rotineira + Manutenção preventiva + Reabilitação) (DER, 2008)	80
Figura 4. 3: Ciclo de destruição perverso (DER, 2008)	80
Figura 4. 4: Fluxograma de vida útil das rodovias (DER, 2008)	80
Figura 4. 5: Condição da Malha Rodoviária Cearense de 2001 a 2007 (DER, 2008)..	84
Figura 4. 6: Exemplo de telas do SIGMA de conceito de condição de Irregularidade Longitudinal e Deflexão	86
Figura 4. 7: Exemplo de uma tela do SIGMA de Divisão em Segmentos Homogêneos	88
Figura 4. 8: Telas do SIGMA de Resultado de uma Análise	89

Figura 5. 1: Mapa temático de localização dos trechos analisados nesta pesquisa	92
Figura 5. 2: Exemplo de esquema de avaliação de severidades	94
Figura 5. 3: Exemplo de esquema de avaliação de defeitos coincidentes	95
Figura 5. 4: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2001).....	99
Figura 5. 5: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2002).....	100
Figura 5. 6: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2004).....	100
Figura 5. 7: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2005).....	101
Figura 5. 8: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2006).....	101
Figura 5. 9: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2007).....	102
Figura 5. 10: Exemplo 1 de determinação dos segmentos homogêneos	107
Figura 5. 11: Exemplo 2 de determinação dos segmentos homogêneos	108
Figura 5. 12: Exemplo 3 de determinação dos segmentos homogêneos neste estudo..	109
Figura 5. 13: Exemplo 4 de determinação dos segmentos homogêneos deste estudo para um segmento novo com problemas precoces	110
Figura 6. 1: Gráfico da Idade do Pavimento versus Fator Equivalente de Trinca de Fadiga	116
Figura 6. 2: Gráfico da Idade do Pavimento versus Fator Equivalente de Trinca de Fadiga por Patamar de Tráfego	117
Figura 6. 3: Gráfico de Evolução do Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos.....	119
Figura 6.4: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.	120
Figura 6.5: Gráfico do Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.....	121
Figura 6.6: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.....	122
Figura 6.7: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento	123

Figura 6.8: Gráfico de Idade do Pavimento versus Fator Equivalente de Trinca de Bloco	124
Figura 6.9: Gráfico de Idade do Pavimento versus Fator Equivalente de Trinca de Bloco por Patamar de Tráfego	125
Figura 6.10: Gráfico de Evolução do Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos.....	127
Figura 6.11: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego	128
Figura 6.12: Gráfico do Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.....	129
Figura 6.13: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.....	130
Figura 6.14: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento	131
Figura 6.15: Gráfico de Idade do Pavimento versus Fator Equivalente de Remendo..	132
Figura 6.16: Gráfico de Idade do Pavimento versus Fator Equivalente de Remendo por Patamar de Tráfego.....	133
Figura 6.17: Gráfico de Evolução do Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos.....	134
Figura 6.18: Gráfico de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.....	135
Figura 6.19: Gráfico do Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.	137
Figura 6.20: Gráfico de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.	138
Figura 6.21: Gráfico de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento Superficial.....	139
Figura 6.22: Gráfico de Idade do Pavimento versus Fator Equivalente de Afundamento	140

Figura 6.23: Gráfico de Idade do Pavimento versus Fator Equivalente de Afundamento por Patamar de Tráfego	141
Figura 6.24: Gráfico de Evolução do Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos.....	142
Figura 6.25: Gráfico de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.....	143
Figura 6.26: Gráfico do Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.	144
Figura 6.27: Gráfico de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.	145
Figura 6.28: Gráfico de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento	146
Figura 6.29: Gráfico de Idade do Pavimento versus Fator Equivalente de Trincas	147
Figura 6.30: Gráfico de Idade do Pavimento versus Fator Equivalente de Trincas por Patamar de Tráfego.....	148
Figura 6.31: Gráfico de Evolução do Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos.....	149
Figura 6.32: Gráfico de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.....	150
Figura 6.33: Gráfico do Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.	151
Figura 6.34: Gráfico de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.	152
Figura 6.35: Gráfico de Fator Equivalente das Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento Superficial.....	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Princípios básicos de um SGP	13
Tabela 2.2: Classificação da coleta de dados para SGP pelo Índice de Qualidade da Informação IQL (PATERSON <i>et al.</i> , 1990).....	18
Tabela 2.3: Fatores de ponderação para defeitos de superfície (DNIT, 006/2003).....	43
Tabela 2.4: Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG (DNIT, 006/2003).....	44
Tabela 2.5: Classificação da macro-textura (DNER, 1998)	55
Tabela 2.6: Valores mínimos sugeridos para a resistência à derrapagem medida com o Pêndulo Britânico (PEREIRA, 1998).....	56
Tabela 3.1: Pontos extremos do Ceará (IPECE, 2007).....	69
Tabela 4.1: Simulação de Custo (DER, 2008).....	83
Tabela 5.1: Resumo das extensões em km dos trechos analisados nesta pesquisa.	91
Tabela 5.2: Critérios de avaliação dos defeitos de pavimentos	94
Tabela 5.3: Pesos utilizados para o cálculo do Fator Equivalente	103
Tabela 5.4: Conceitos de Qualidade do Pavimento por Patamares de Tráfego em Relação a Trinca de Fadiga.	104
Tabela 5.5: Cálculo do conceito do segmento para trinca de fadiga associada à carga.....	105
Tabela 5.6: Cálculo do conceito do segmento para trinca de bloco não associada à carga	105
Tabela 5.7: Cálculo do conceito do segmento para remendo	106
Tabela 5.8: Cálculo do conceito do segmento para afundamento	106
Tabela 5.9: Cálculo do conceito do segmento para desgaste	106
Tabela 5.10: Conceito do segmento	106

Tabela 5.11: Correspondência tipo de pavimento <i>versus</i> camada do revestimento asfáltico.....	111
Tabela 5.12: Fragmento da tabela de segmentos homogêneos.....	111
Tabela 5.13: Fragmento das informações geradas por SH	112
Tabela 6.1: Estatística dos dados de Idade do Pavimento <i>versus</i> Fator Equivalente da Trinca de Fadiga.	117
Tabela 6.2: Estatística dos dados de Idade do Pavimento <i>versus</i> Fator Equivalente por Patamar de Tráfego.....	118
Tabela 6.3: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos.....	119
Tabela 6.4: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.....	120
Tabela 6.5: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.	121
Tabela 6.6: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.	122
Tabela 6.7: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento	123
Tabela 6.8: Estatística dos dados de Idade do Pavimento <i>versus</i> Fator Equivalente da Trinca de Bloco.	124
Tabela 6.9: Estatística dos dados de Idade do Pavimento <i>versus</i> Fator Equivalente por Patamar de Tráfego.....	125
Tabela 6.10: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos.....	127
Tabela 6.11: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.....	128
Tabela 6.12: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.	129

Tabela 6.13: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.	130
Tabela 6.14: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento	131
Tabela 6.15: Estatística dos dados de Idade do Pavimento <i>versus</i> Fator Equivalente do Remendo.....	132
Tabela 6.16: Estatística dos dados de Idade do Pavimento <i>versus</i> Fator Equivalente por Patamar de Tráfego.....	133
Tabela 6.17: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos.....	135
Tabela 6.18: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.....	136
Tabela 6.19: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.	137
Tabela 6.20: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.	138
Tabela 6.21: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento Superficial.....	139
Tabela 6.22: Estatística dos dados de Idade do Pavimento <i>versus</i> Fator Equivalente do Afundamento.	140
Tabela 6.23: Estatística dos dados de Idade do Pavimento <i>versus</i> Fator Equivalente por Patamar de Tráfego.....	141
Tabela 6.24: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos.....	142
Tabela 6.25: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.....	143
Tabela 6.26: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.	144
Tabela 6.27: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.	145

Tabela 6.28: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento Superficial.....	146
Tabela 6.29: Estatística dos dados de Idade do Pavimento <i>versus</i> Fator Equivalente das Trincas	148
Tabela 6.30: Estatística dos dados de Idade do Pavimento <i>versus</i> Fator Equivalente por Patamar de Tráfego.....	149
Tabela 6.31: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos.....	150
Tabela 6.32: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.....	151
Tabela 6.33: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.	152
Tabela 6.34: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.	152
Tabela 6.35: Estatística dos dados de Fator Equivalente das Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento Superficial.....	153
Tabela 6.36: Equação do Fator Equivalente da Trinca de Fadiga Determinado (%) ...	155
Tabela 6.37: Resultado - Equação do Fator Equivalente da Trinca de Fadiga.....	155
Tabela 6.38: Equação do Fator Equivalente da Trinca de Bloco Determinado (%)	156
Tabela 6.39: Resultado - Equação do Fator Equivalente da Trinca de Bloco.....	156
Tabela 6.40: Equação do Fator Equivalente de Remendo Determinado (%).....	157
Tabela 6.41: Resultado - Equação do Fator Equivalente da Trinca de Remendo	157
Tabela 6.42: Equação do Fator Equivalente de Afundamento Determinado (%)	158
Tabela 6.43: Resultado - Equação do Fator Equivalente de Afundamento.....	158
Tabela I.1: Lista dos Trechos Objeto da Pesquisa.....	167

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O sucesso e progresso da humanidade estão intrinsecamente ligados ao desenvolvimento e à qualidade da infra-estrutura disponibilizados à sociedade (HUDSON *et al.*, 1997). QUEIROZ (1992) *apud* HUDSON *et al.* (1997) correlaciona o desenvolvimento econômico com a infra-estrutura através da relação produto interno bruto por habitante *versus* a densidade de rodovias pavimentadas, utilizando séries históricas (1950 a 1988). Desta análise é possível identificar claramente uma relação biunívoca ($R^2 = 0,88$ para o Canadá e $R^2 = 0,93$ para os Estados Unidos da América). Neste mesmo estudo são apresentados dados que comprovam que, além da densidade, a qualidade das rodovias interfere diretamente na economia de um país.

O início do rodoviarismo no Brasil pode ser atribuído a criação do antigo DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER, atual DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte, em 1937. Em 1945 foi promulgado o Decreto-Lei n.º 8.463 de 27/12/1945, conhecido como “Lei Joppet” onde foram estabelecidas as bases jurídicas para a criação da estrutura técnico-administrativo dos órgãos rodoviários brasileiros e, principalmente, a criação do FRN - Fundo Rodoviário Nacional.

Para receber recursos deste fundo, os Estados foram obrigados a criarem seus próprios órgãos rodoviários, o que ocorreu em um intervalo pequeno de tempo. No Estado do Ceará foi criado, em outubro de 1946, o DER/CE - Departamento de Estradas de Rodagem. Em 1948 passou a se chamar DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem e, mais tarde, em 1990, torna-se DERT - Departamento de Estradas de Rodagem e Transportes. Recentemente, em 2007, passa a ser DER - Departamento de Edificações e Rodovias, como é conhecido atualmente.

O sistema rodoviário brasileiro, composto por rodovias federais, estaduais e municipais, conta com 1.751.862 km (DNIT, 2004) de estradas sendo 196.094 km de

rodovias pavimentadas. O grande desafio é como gerir esse valioso patrimônio garantindo sua operação, manutenção e crescimento.

O modal rodoviário consagrou-se como o principal meio de deslocamento de pessoas e cargas no Brasil. PORTO (1965) *apud* LEE (1996) descreve que em 1940 existiam apenas 775 km de rodovias pavimentadas, ou seja, 0,4% da rede atual, ou seja, o crescimento da rede aconteceu em seis décadas e ainda continua. O Estado do Ceará não foge a regra nacional na expansão de sua rede viária. A malha cearense conta com 42.623 km rodovias sendo 5.885 km de rodovias pavimentadas sob jurisdição estadual (DER, 2007) e objeto deste estudo.

O sistema rodoviário exige investimentos sistemáticos, coordenados e pensados a médio e longo prazo, garantindo ao usuário, além de conforto e segurança, a utilização racional do dinheiro público.

Historicamente os investimentos no setor são deficitários. Políticas públicas dissociadas e falta de continuidade agravam a situação de descaso. Por diversas vezes existiram recursos públicos vinculados como o Fundo Rodoviário e, atualmente a CIDE - Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico - que claramente melhorou a qualidade da rede e permitiu a gestão da malha com projetos de médio e longo prazo.

Uma rodovia, diferentemente da maioria das obras de engenharia, é construída ou reabilitada para uma vida útil relativamente pequena, exigindo ações periódicas de recuperação e/ou ampliação de sua capacidade. Ainda, ações preventivas e rotineiras exigem dos gestores ações diárias com dispêndio de recursos.

O estabelecimento de políticas adequadas envolve ações de planejamento no Brasil ainda pouco ou incorretamente utilizadas. Os principais projetos de fortalecimento destas áreas desenvolvidos pelos órgãos públicos, nos últimos vinte anos, são frutos de programa de financiamento de agentes externos (BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento e BIRD - Banco Internacional para a Reconstrução e o Desenvolvimento).

É notória a necessidade de se pensar a manutenção da malha em cenários de longo prazo e para isso existem várias ferramentas e metodologias à disposição das

equipes técnicas dos órgãos. Mas como planejar num cenário inóspito, sem garantias de continuidade e planos de desenvolvimento inexistentes ou ultrapassados?

QUEIROZ *et al.* (1992) resumem que uma malha viária bem conservada acelera o desenvolvimento da região, tanto para escoamento da safra quanto no crescimento da indústria e o comércio. Isso reflete significativamente na vida das pessoas com a geração de novas oportunidades.

Analisando os riscos e a capacidade de investimento do setor público e privado, bem como complexidade da rede rodoviária Federal e Estadual não se pode esperar grande crescimento, em curto prazo, no volume de obras de implantação e/ou pavimentação. Entretanto, é necessário garantir a manutenção do patrimônio existente, evitando-se a degradação do sistema com prejuízos imensos à sociedade, além de procurar alternativas para garantir a melhor utilização dos escassos recursos destinados ao setor.

Segundo HUDSON *et al.* (1997), tudo é possível na busca de alternativas para a manutenção de malhas viárias. Neste contexto o gestor deve considerar os diversos tipos de soluções, incluindo novas tecnologias, sempre buscando os melhores benefícios. A criação de alternativas visa encontrar economia, tecnologia, melhoramento do aspecto visual, satisfação do usuário e diminuição do impacto ambiental.

A distribuição dos recursos deve atender ao cenário mais vantajoso à sociedade. Soluções preventivas (ex. lama asfáltica, recapes esbeltos, microrresvestimentos), alternativas ao concreto asfalto (ex. concreto portland) e inovadoras (ex. asfalto borracha) que possuam melhor benefício/custo devem ser utilizadas e testadas. Cabe ao órgão o monitoramento sistemático para avaliar se as metas foram atingidas e estudos para a melhoria do processo de decisão.

PATERSON (1987) destaca que a não aplicação de recursos na época devida, para a execução dos serviços de manutenção e restauração em diversas rodovias localizadas em países desenvolvidos, segundo análise do Banco Mundial, acarretaram prejuízos a essas nações.

Para garantir o uso racional dos recursos e das soluções de pavimento foram criados os SGP's - Sistemas de Gerência de Pavimentos foram criados. Essa ferramenta

de apoio aos gestores tem por finalidade conhecer e caracterizar a malha rodoviária, bem como estudar soluções de intervenções segundo cenários de investimentos, definir prioridades e responder aos questionamentos dos tomadores de decisões.

Neste contexto, diversos projetos de desenvolvimento e implantação de Sistema de Gerência de Pavimentos - SGP - foram realizados no Brasil, onde foram adquiridos ou desenvolvidos aplicativos, banco de dados, aquisições de equipamentos, transferências de tecnologia (nacional e internacional), treinamentos e aquisições de informações.

Esses programas, em sua maioria, mantêm suas atividades e base de dados atualizados durante o período de financiamento. Poucas ações são realizadas por iniciativa direta das instituições.

MARCON (1996) descreve que não existe um modelo de Sistema de Gerência de Pavimentos único a ser aplicado. Vários são os fatores que colaboram para essa afirmação, dentre eles: a extensão da malha, a complexidade das estruturas, o tipo de carregamento aplicado aos pavimentos e principalmente, o nível de amadurecimento técnico e a capacidade de investimento em ações de planejamento da instituição representam os limites da complexidade e sofisticação necessárias e suficientes para cada caso.

Um SGP deve ser visto como uma ferramenta gerencial de apoio aos tomadores de decisão. Por mais preciso e eficaz que um sistema possa ser, ainda assim, inúmeras variáveis não serão utilizadas. Então, a equipe técnica responsável pelo planejamento é quem, por direito, é capaz de informar a melhor alternativa, inclusive, adicionando sua experiência, bom-senso, critérios políticos e sentimentos.

Os SGP's iniciaram-se no Brasil na década de 80 no DNER, atual DNIT. Desde então diversos órgãos rodoviários estaduais e alguns órgãos privados (concessionárias) implantaram ações similares, podendo ser destacados os Estados de Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Goiás, São Paulo e Ceará.

Desde 1990 o DER/CE vem sofrendo mudanças e adaptando sua estrutura à sua realidade. Em 2001, um salto qualitativo da maior relevância foi representado pelo desenvolvimento e implantação de uma ferramenta gerencial informatizada, o Sistema

Integrado de Gestão da Manutenção - SIGMA, inserido no Programa de Financiamento Externo (BID) denominado Ceará II.

O desenvolvimento desse instrumento gerencial pode ser considerado um marco de referência na busca de um modelo de gestão da manutenção rodoviária compatível com as atuais necessidades de infra-estrutura do Estado do Ceará.

Apesar de desenvolvido e implantado para as especificidades regionais, ainda, exigirá grande esforço para adaptar e validar os modelos. O sistema é acessível e permite as manipulações das formulações matemáticas e mesmo substituições de conceitos. O desafio é criar um modelo matemático que possa prever o desempenho futuro de um pavimento.

A definição de um modelo matemático eficiente exige a utilização de informações viáveis de serem adquiridas ou medidas pelo órgão. Dados, principalmente de campo, são relativamente caros e de vida útil limitada. A própria complexidade de aquisição ou uso de equipamentos não disponíveis na região pode prejudicar todo o projeto.

O DER/CE vem monitorando sua malha de forma sistemática há oito anos, através da inspeção visual dos defeitos dos pavimentos, medição de irregularidade longitudinal e deflexões. Existe um banco de dados organizado e com séries históricas, principalmente do Levantamento Visual Contínuo (LVC), que é a base utilizada nesta pesquisa.

Por isso é tão importante desenvolver um “bom modelo matemático” e conhecer suas limitações. Obter informações é uma tarefa muito simples, porém, o gerenciamento e a interpretação destas informações pode ser uma atividade complexa.

1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1. Objetivo Geral

Essa pesquisa tem o objetivo de determinar modelo de deterioração dos pavimentos para a malha rodoviária do Estado do Ceará, utilizando a série histórica de

Levantamentos Visuais Contínuos – LVC, realizados nos anos de 2001 a 2007 exceto 2003.

1.2.2. Objetivos Específicos

A pesquisa, ora proposta, tem a premissa de melhorar as análises e estudos realizados pelo DER/CE (Departamento de Edificações e Rodovias do Estado do Ceará); suprimindo os tomadores de decisões de respostas mais confiáveis e precisas da degradação da malha e, conseqüentemente, prever condições de estabelecer soluções, custos e momento adequado de investimento.

Para atingir o objetivo geral estabelecido, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o Sistema de Gerência de Pavimento – SGP, identificando os inter-relacionamentos entre o uso de modelo de desempenho e as demais atividades.
- Analisar os procedimentos de aquisição de informações de defeitos utilizados no Brasil e no Ceará.
- Consolidar um banco de dados de informações históricas dos pavimentos. Nesta pesquisa optou-se pelo uso de rodovias que sofreram intervenções nos programas de financiamento do DER/CE denominados Ceará I, II e Prodetur I, II.
- Atualizar esse banco de dados, identificando inconsistências, falta de informações, etc.
- Verificar a eficiência da idade do pavimento e do Fator Equivalente - FE (atualmente utilizado pelo DER) como variáveis do cálculo da deterioração dos pavimentos.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho de dissertação é apresentado em sete capítulos, referências bibliográficas e um apêndice que lista os trechos objeto desta pesquisa. Partindo de uma apresentação introdutória realizada no presente capítulo, esta dissertação contém, no Capítulo 2, uma revisão bibliográfica onde são apresentados os conceitos, classificações, dados necessários, metodologias, procedimentos, análises utilizadas em Sistemas de Gerência de Pavimentos, além de um histórico de evolução no mundo, no Brasil e no Ceará.

No Capítulo 3 são descritas as variáveis ambientais dos trechos estudados e alguns comentários sobre a sua influência nos dados da pesquisa. No Capítulo 4 é apresentada a política de gestão rodoviária do Estado do Ceará, o modelo de manutenção atualmente utilizado e a ferramenta de planejamento e monitoramento da conserva periódica que originou o interesse da pesquisa.

O Capítulo 5 descreve a metodologia utilizada para desenvolver o modelo matemático de deterioração dos pavimentos, o qual é apresentado no Capítulo 6. Neste capítulo são estabelecidas equações de desempenho para trincas não associadas à carga (Trincas de Bloco), trincas associadas à carga (Trincas de Fadiga), remendo, afundamento e desgaste. Finalmente, no Capítulo 7, relatam-se as conclusões e as recomendações de continuidade dessa dissertação.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Conforme citado pela AASHTO (1990), um Sistema de Gerência de Pavimentos - SGP é uma ferramenta de planejamento e tem como objetivo suprir de informações técnicas os tomadores de decisões. Antes de adentrar nas especificidades dos SGPs é preciso aprofundar o cenário onde são concebidos, desenvolvidos e utilizados.

No cenário nacional têm-se inúmeros casos de concepção, desenvolvimento e implantação de SGP, mas pouca utilização efetiva desta ferramenta. Então, surge a primeira indagação: Por que os SGPs não são utilizados? Retornando às origens brasileiras, verifica-se que nas décadas de 80 e 90 esses sistemas eram considerados, por muitos, uma “caixa preta” restrita a um seletivo grupo.

Neste período foram mistificadas as metodologias e procedimentos envolvidos, além de requererem custos significativos para sua manutenção. Isso inviabilizou sua utilização sistemática e manteve os sistemas boa parte do tempo desatualizados e inoperantes.

A tecnologia, também, contribuiu na criação dessas barreiras. Os sistemas eram desenvolvidos isoladamente, com banco de dados próprio e sem integração com outras áreas. Por muitas vezes o sistema era restrito a um único computador e não permitia acesso de rede de computadores da instituição.

Neste cenário o fluxo de informação era comprometido. Muitas vezes os dados existiam, mas não estavam atualizados no SGP. Como exemplo, pode-se citar casos de contagens de tráfego que eram realizadas pelas instituições ou informações das estruturas dos pavimentos contidas nos “*as built*” de construções e restaurações de rodovias que não eram cadastradas.

Por fim, a falta de uma cultura de **Planejamento** de longo prazo, políticas públicas que menosprezavam as técnicas de engenharia e a falta de ações de

transferência de tecnologia e sua popularização impediram o sucesso técnico e a utilização efetiva dos SGPs.

Analisando este contexto, não se pode conceber a existência de SGPs isolados. É preciso repensar as concepções existentes e rediscutir sua importância nas instituições públicas e privadas que mantêm as redes rodoviárias.

Como visto na definição da AASHTO (1990), temos que o SGP é uma ferramenta gerencial como outras disponibilizadas aos gestores do planejamento e aos tomadores de decisão. Também é necessário compartilhar informações e responsabilidades com outros sistemas.

A ABDER – Associação Brasileira dos Departamentos de Estaduais de Estradas de Rodagem criou um grupo de estudo denominado “Grupo de Gerência de Pavimentos” através do qual foram realizadas várias conferências e trocas de informações entre os órgãos. Recentemente este grupo foi re-estruturado e mudou de nome para “Grupo de Gestão da Conservação Rodoviária”, que tem como objetivo a gestão rodoviária. O SGP passa, agora, a ser uma dessas ferramentas. Neste mesmo conceito vem se estruturando no país os Planos Diretores Rodoviários e de Logística.

CAB (2000) relata que nas negociações de financiamentos, os agentes financiadores têm exigido das instituições rodoviárias instrumentos de fortalecimento institucional, incluindo o desenvolvimento e implantação de sistemas de gerenciamento de recursos destinados à manutenção de rodovias, dentre eles o SGP.

O SGP passa a ser uma ferramenta gerencial integrada com os demais sistemas e modelos da gestão rodoviária. Isso abre espaço para que o gerenciamento das informações e seu inter-relacionamento sejam compreendidos por um universo maior de técnicos.

PATERSON (1987) destaca que um SGP pode ter vários níveis de complexidade, podendo ser aplicado em qualquer lugar, melhorando o planejamento, a eficácia da manutenção e o uso racional dos recursos. Comenta, que é baseado em duas premissas: (1) sistema de informação e (2) sistema de decisão.

MARCON (1996) escreve que “não existe um modelo de Sistema de Gerência de Pavimentos único e adequado a qualquer organização rodoviária”. Os SGPs, além de

serem concebidos para as especificidades de cada instituição rodoviária, devem ser integrados às diversas ferramentas gerenciais existentes na instituição e ser de fácil manuseio.

Faz-se necessário, então, a implementação de um banco de dados corporativo capaz de armazenar, organizar e validar adequadamente as informações. Dentre os diversos sistemas que se inter-relacionam com o SGP, destacam-se:

- a. Sistema Rodoviário, baseado no Sistema Rodoviário Estadual (SER) ou no Plano Nacional de Viação (PNV);
- b. Sistema de Informações Básicas (SIB), que mantém os cadastros das rodovias, como: histórico e estrutura do pavimento, pontos notáveis etc;
- c. Sistema de Administração da Conservação (SAC) ou Sistema de Acompanhamento da Manutenção (SAM) referente às ações de manutenção rotineira nas estradas ou ruas;
- d. Sistema de Gerenciamento das Obras de Arte Especiais (SGO);
- e. Sistema de Acompanhamento do Tráfego (SAT), que mantém e monitora as informações de tráfego;
- f. Sistema de Informações Geográficas (SIG), onde se estabelecem a base cartográfica e as geo-informações;
- g. Plano Diretor Rodoviário, onde são traçadas as políticas macro de desenvolvimento da infra-estrutura, etc.

Neste contexto, o SGP deve buscar informações no Banco de Dados Corporativo (BDC) como mostra a Figura 2.1. O sistema se restringe às manipulações, processamentos e análises das informações. A responsabilidade pela atualização do sistema de dados é da instituição e não mais de um pequeno grupo.

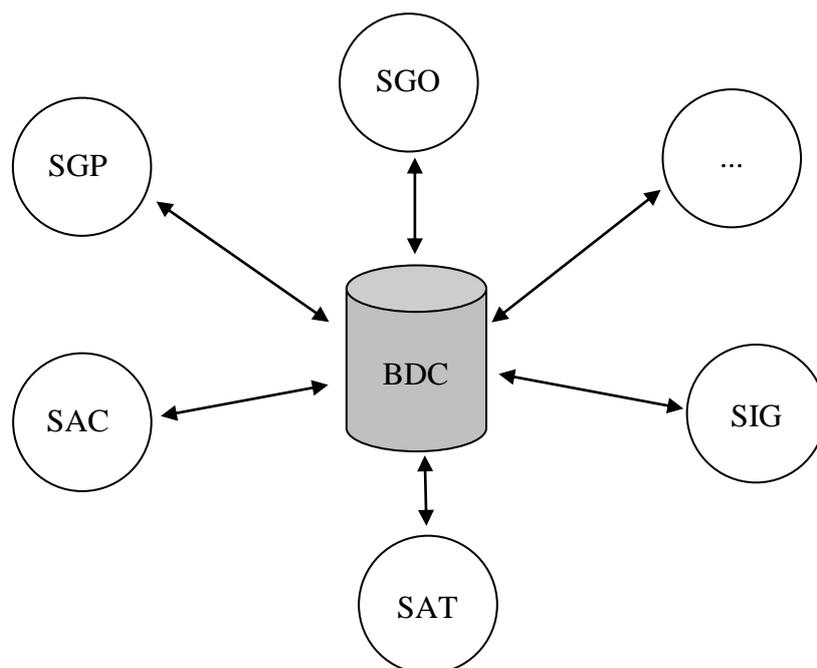


Figura 2. 1: Exemplo de concepção de um banco de dados corporativo (BDC)

A estrutura das informações que compõem o Banco de Dados deve atender todas as necessidades da instituição, por exemplo: no levantamento dos defeitos da superfície dos pavimentos é possível atender também as demandas de informações do sistema SAC ou SAM para que ele determine as quantidades de tapa-buraco do ano seguinte, evitando que dois levantamentos sejam realizados.

Com a otimização do levantamento de campo e a utilização compartilhada das informações cria-se, então, um contingente maior de pessoas que irão cotejar a atualização sistemática dos dados.

A FHWA (1990) *apud* HAAS (1994) define como necessário que as informações contidas no Banco de Dados tenham integridade, acurácia, segurança e documentação. Então, nesse modelo diversas pessoas estarão envolvidas no processo e perseguindo esse objetivo. O acesso deve ser restringido em determinadas atividades, principalmente a de inclusão e/ou exclusão de dados, em outros serão democratizados como o de consulta e de análise.

RTAC (1977) *apud* MARCON (1996) destaca que o maior objetivo do SGP é o atendimento aos tomadores de decisão, ou seja, as informações devem chegar de forma clara, concisa e personalizada. Os técnicos devem compreender a linguagem de seus

dirigentes e emitir relatórios com informações gerenciais palatáveis e suficientes para se tomar uma decisão.

2.2 CONCEITOS DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Na bibliografia existem várias conceituações sobre sistema de gerência de pavimentos onde as principais, em ordem cronológica, estão apresentadas a seguir:

- *“Um sistema de gerência de pavimentos consiste em um conjunto amplo e coordenado de atividades associadas com planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos” (HASS et al., 1978).*
- *“Um sistema de gerência de pavimentos é um conjunto de ferramentas ou métodos que ajudem os tomadores de decisão a encontrar estratégias ótimas para prover, avaliar e manter pavimentos em uma condição aceitável durante um determinado período de tempo” (AASHTO, 1993).*
- *“Sistema de gerência de pavimentos engloba um conjunto de atividades destinadas a ajudar a seleção de medidas mais adequadas para planejar, projetar, construir e manter pavimentos visando a melhor utilização de recursos disponíveis” (MARCON, 1996).*
- *“A Gerência Rodoviária constitui-se atualmente em importante ferramenta do Administrador para traçar a forma mais eficaz da aplicação dos recursos públicos disponíveis, nas rodovias que necessitam de recuperação em diversos níveis de intervenção, de sorte a responder às necessidades dos usuários dentro de um plano estratégico que garanta o alcance de um maior número de quilômetros recuperados” (DNIT, 2008).*

Pode-se observar que existem similaridades entre as definições, mas deve-se considerar que falta enfatizar que o SGP é uma das ferramentas de planejamento, como é definida pelo DNIT. Nesta mesma definição é afirmado que o SGP deve garantir a maior quilometragem de rodovias recuperadas, isso nem sempre é uma verdade. Também, se tem que compreender o contexto de cada conceito (época, instituição, experiência, etc.) e trazer para a realidade local.

Dentre os conceitos e comentários apresentados o autor da presente dissertação propõe com definição: O Sistema de Gerência de Pavimentos é uma importante ferramenta de planejamento rodoviário, composto por um conjunto de técnicas e métodos que ajudam os tomadores de decisão a encontrar a melhor estratégia para avaliar e manter a rede, considerando as restrições orçamentárias, além de monitorar as metas propostas.

2.3 PRINCÍPIOS DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

BINDER (1992) *apud* HUDSON *et al.* (1997) recomenda dois caminhos para garantir o projeto de planejamento: (1) Plano estratégico geralmente de longo-prazo e seus reflexos financeiros e (2) Plano Tático envolvendo aspectos técnicos e apoio ao corpo gerencial que irá facilitar sua operacionalização, manutenção e atualização.

A concepção, desenvolvimento, implantação e manutenção de um SGP devem ser norteadas por princípios básicos, apresentados na Tabela 2.1:

Tabela 2.1: Princípios básicos de um SGP

Princípios	Descrição
1	Alta tecnologia em informática e transmissão de dados
2	Banco de dados corporativo
3	Integração com as demais ferramentas e sistemas da instituição
4	Desenvolvido para as condições e necessidades da instituição
5	Amigável e transparente, podendo ser aplicado de forma ágil e eficiente
6	Flexibilidade nas ações ligadas à coleta de dados e correlações entre medidas objetivas
7	Métodos e procedimentos públicos com transferência total da tecnologia
8	Manutenção, atualização e pesquisas constantes
9	Devidamente documentado
10	Apoio do corpo diretivo

Os responsáveis pelo planejamento da rede rodoviária deverão perseguir esses princípios. Quando o sistema estiver operacional, as tomadas de decisão intuitivas irão diminuir. Ficarão, entretanto, as soluções baseadas nas experiências de técnicos que inclusive ajudam a validar ou corrigir erros e inconsistências.

O treinamento, a troca de informações e transparência da ferramenta, incluído sua documentação são ações multiplicadoras de conhecimento essencial para garantir que o SGP seja incorporado na cultura do órgão, servindo de recurso educacional e de pesquisa para o órgão e instituições de ensino como as universidades.

2.4 OBJETIVOS DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

O SGP tem por objetivo pensar na malha viária em longo tempo e encontrar as ações que melhor resultem em benefícios a sociedade levando em consideração os recursos disponíveis. As decisões são frutos de informações objetivas, técnicas e economicamente eficazes, além de descrever o cenário futuro e o impacto gerado na malha.

PINARD (1987) *apud* MARCON (1996) resume que a função de um SGP é colaborar com os tomadores de decisão na escolha da melhor estratégia para manter pavimentos em um nível aceitável de serventia em um determinado tempo e a um custo mínimo.

HASS *et al.* (1994) descrevem que um SGP ideal busca o melhor rendimento possível para os recursos disponíveis e ao mesmo tempo proporciona o funcionamento harmonioso, seguro e econômico dos pavimentos. Os requisitos mínimos incluem adaptabilidade, operação eficiente, praticidade, e boa capacidade de se retro-alimentar.

QUEIROZ *et al.* (1992) *apud* MARCON (1996) comentam que o desenvolvimento de programa de investimento viável passa por informações confiáveis e critérios de decisão.

MARCON (1996) resume os principais objetivos em três grupos: (1) auxílio aos gestores em suas ações, (2) uso efetivo do sistema por parte dos técnicos do órgão e (3) garantia ao usuário de seus direitos.

BENEVIDES (2006) reafirma que é necessário o uso de informações confiáveis e critérios de decisão que busquem comparar, priorizar e alocar os recursos disponíveis e encontrar o melhor retorno em programas de investimentos.

Em 2000, o autor da presente dissertação foi o coordenador dos trabalhos de implantação e desenvolvimento de um SGP no Estado do Ceará, o qual será descrito mais adiante. No seminário de abertura do projeto foram explanados pelos consultores o sistema deveria informar no mínimo:

- O conhecimento da condição atualizada dos pavimentos, por segmento homogêneo;
- A estimativa dos recursos necessários para atender ao desempenho futuro objetivado;
- A estimativa das condições dos pavimentos como uma função dos níveis de recursos a serem alocados;
- A determinação das intervenções necessárias;
- Responder ao questionamento "O que sucederá se ...?" ;
- A priorização de segmentos para alocação de recursos;
- A estimativa dos custos prováveis de intervenção;
- A minimização do custo requerido pelas ações de manutenção selecionadas;
- A alocação de recursos de forma justa e lógica;
- A definição de procedimentos consistentes para a avaliação das condições dos pavimentos da rede;
- O planejamento oportuno das ações requeridas;
- A elaboração de programas anuais e plurianuais de trabalho, com indicação do investimento ótimo.

2.5 CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Vários autores adotaram a classificação do processo de tomada de decisão do sistema de gerência de pavimentos definida por HASS *et al.* (1994), em dois níveis: de rede e de projeto. Os mesmos autores subdividem o nível de rede em nível de programa e nível de seleção de projeto.

Os itens necessários aos estudos nos dois níveis são basicamente os mesmos, a diferenciação é dada pelo nível de detalhes, frequência e precisão das informações. Essa linha é variável de acordo com a instituição que está utilizando, por exemplo: para dois órgãos rodoviários estaduais, um com uma malha de 1.000 km e outro com uma malha de 10.000 km, é natural que o nível de detalhamento das informações seja distinto. Na malha menor, seria possível obter informações sobre defeitos de pavimentos em todas as faixas de tráfego e a cada 20 m. Já na malha de maior extensão esse levantamento torna-se oneroso e demorado, então é necessário buscar alternativas, como uso de equipamentos automatizados e critérios estatísticos, neste caso, o levantamento poderia ser realizado em uma das faixas (a mais deteriorada) com totalização a cada 200 m.

No exemplo anterior a instituição rodoviária de malha mais extensa irá sentir mais a diferenciação entre os dois níveis ao contrário da de menor malha. Apesar de considerar correta a classificação, ela pode causar alguma confusão, pois, mesmo uma decisão sendo realizada em nível de projeto, não tira a obrigatoriedade da realização de projeto rodoviário. O autor da presente pesquisa prefere a classificação em nível de (i) rede e (ii) de trecho. Entre as componentes comumente utilizadas, estão:

- Aquisição de informações básicas: corresponde a definição do sistema de referência viária, inventário histórico do pavimento, estrutura, etc.
- Tráfego: indicando a caracterização do tráfego com informações sobre o VMD (Volume Médio Diário), sempre que possível classificatório.
- Condição do pavimento: corresponde a informações sistemáticas estruturais e funcionais que, normalmente, são uma fotografia do momento e devem ser analisadas, sempre que possível, em séries históricas. Os mais comuns são: Levantamento Visual Contínuo (Levantamento de Defeitos), Levantamento Deflectométrico, Levantamento de Irregularidade Longitudinal. É necessário atentar para a afirmação conveniente de HASS *et al.* (1994) de que a qualidade e a quantidade dos dados que são coletados e usados determinam o valor de um sistema de gerência.
- Custos: são divididos em dois: (1) custo da rodovia: são custos relacionados à construção, reabilitação, manutenção e operação da via, (2) custo do usuário: relativo à operação de veículos, tempo de viagem e acidentes.

- **Estrutura da Base de Dados:** a estruturação do banco de dados conta hoje com modernos sistemas informatizados, capazes de armazenar, organizar e disponibilizar grandes quantidades de informações. Esse já foi um dos gargalos para implementar um SGP, hoje totalmente superado. Apesar disso, o autor ao coordenar a implantação do SGP-CE, constatou que este item ainda continua sendo um dos mais importantes e dispendiosos tanto em tempo quanto em recursos. Apesar dos sistemas modernos serem eficientes, a estruturas das tabelas e a validação dos dados exigem vasta programação e conhecimento sobre todas as etapas do negócio.
- **Modelo de Desempenho ou de Previsão:** é o modelo matemático que irá depreciar os indicadores utilizados no SGP e irá ajudar aos tomadores de decisão a conhecer o futuro se uma determinada ação for executada. Essa previsão, em sua maioria, é baseada em séries históricas, conhecimento técnico e regional, etc., e depende muito da qualidade dos dados e da forma em que eles estão organizados.
- **Crítérios de Decisão, Gatilhos ou Patamares:** são valores limites (mínimos e máximos) que definem quando uma situação foi alterada. O exemplo mais simples é relativo aos conceitos do estado dos pavimentos, normalmente classificados em “bom”, “regular” e “mau”. Estes critérios podem incidir diretamente sobre um dado ou informações manipuladas. Na prática a definição desses parâmetros é uma atividade que depende muito de técnicos experientes e da complexidade do sistema.
- **Identificação de alternativas, otimização e evolução:** é a análise que identifica as possíveis soluções e estabelece a melhor, considerando um cenário de restrição orçamentária e o período de análise. O sistema deve indicar a solução, o ano e o custo aproximado para cada seguimento em estudo e, além disso, deve priorizá-lo e prever a situação futura da malha.
- **Atualização:** deverá ser desenvolvido um programa criterioso de atualização do banco de dados a fim de manter os estudos sempre atualizados. Este é ponto mais fraco de todos, pois o histórico nacional demonstra que os casos de insucessos sempre passam pela falta de atualização do sistema. Por isso, os

princípios, já mencionados, devem nortear os trabalhos buscando o compromisso da direção da instituição, distribuição de responsabilidades com uso de informações compartilhadas e racionalidade na definição das informações necessárias.

- Pesquisa e Treinamento: a pesquisa e o treinamento são atividades permanentes e não restritas à implantação de um sistema, neles são possíveis agrupar pessoas de diversas áreas, incorporar na instituição novas técnicas e produtos e disseminar o trabalho.

Na Tabela 2.2 é apresentada uma classificação realizada por PATERSON *et al.* (1990) do IQL (*Information Quality Level*) ou Índice de Qualidade da Informação que pode ser utilizada na definição de um modelo específico de SGP.

Tabela 2.2: Classificação da coleta de dados para SGP pelo Índice de Qualidade da Informação IQL (PATERSON *et al.*, 1990)

NÍVEL DE QUALIDADE DE INFORMAÇÃO	DESCRIÇÃO RESUMIDA	APLICAÇÃO	COLETA DE DADOS
IQL – I	Rica em detalhes; Abrangente	Pesquisa; Operações; Projetos avançados; Diagnósticos	Pequena, para extensões limitadas ou em únicas amostras com equipamentos especiais; Lenta, a exceção é para automação avançada
IQL – II	Detalhada	Projetos (Preparação) Programação Planejamento avançado	Limitadas extensões com o uso de métodos semi-automáticos; ou total cobertura com equipamento automático de alta velocidade
IQL – III	Resumo de detalhes e categorização dos valores	Programação; Planejamento; Projeto básico	Completa amostra para alta velocidade e métodos semi-automáticos de baixa precisão; amostras com baixa velocidade ou colhidas de outros dados
IQL – IV	Muito resumida	Estatística; Projeto de rodovias de baixo volume de tráfego; Planejamento e programação linear simples	Métodos manuais ou semi-automáticos, estimados ou processados

2.6 IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

2.6.1 Generalidades

Como mencionado no Capítulo 1, a evolução da infra-estrutura tem correlação direta com o desenvolvimento econômico. A implantação de estradas foi impulsionada pelo avanço tecnológico, principalmente com as usinas de asfalto e concreto conforme descrevem HUDSON *et al.* (1997). BENEVIDES (2006) destaca que os sistemas de gerência de pavimentos tiveram seu início na década de 1960, fundamentados pelos conceitos de serventia, de desempenho, da modelagem de irregularidade longitudinal, do conceito de carga por eixo equivalente e da análise de materiais e estruturas, estabelecidos pela AASHTO *Road Test*.

Um estudo sobre a deterioração do sistema de infra-estrutura de rodovias e pontes foi realizado pelo *Transportation Research Board* (TRB), do *Federal Highway Administration* (FHWA) e com a cooperação da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) na década de 80. Denominado *Strategic Transportation Research Study* (STRS), foi publicado em 1984 e recomendava a pesquisa em seis áreas estratégicas, destacando-se como uma dessas o programa *Long-Term Pavement Performance* (LTPP).

Três anos depois foi iniciado o LTPP como parte do *Strategic Highway Research Program* (SHRP). Esse estudo compreende a monitoração de seções de pavimentos em serviço por 20 anos, com a avaliação de mais de 2.400 seções de pavimentos flexíveis e rígidos, constituindo a maior pesquisa sobre desempenho de pavimentos, ainda em desenvolvimento.

Esse programa teve como objetivo obter informações sobre o comportamento dos pavimentos rodoviários a fim de realizar análises para: determinar modelos de previsão de desempenho para utilização nos projetos e na gerência de pavimentos; analisar os efeitos específicos sobre os pavimentos das ações do tráfego, do meio ambiente, dos tipos de materiais, da qualidade da construção e das práticas de manutenção; desenvolver novas técnicas de projeto, construção e reabilitação de pavimentos, dentre outros.

No cenário nacional o setor rodoviário teve sua formalização com a criação do antigo DNER, atual DNIT. Atendendo às recomendações da Missão de Avaliação do BIRD, o governo federal criou em novembro de 1965 o grupo interministerial denominado GEIPOT – Grupo Executivo de Integração da Política de Transporte que, posteriormente, foi transformado em órgão vinculado ao Ministério do Transportes e com denominação de Grupo de Estudos para Integração da Política de Transportes e, em 1973 foi transformado em empresa pública. No processo de extinção do DNER e criação do DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes em 2002 o GEIPOT foi liquidado.

O GEIPOT teve grande importância nacional na formação do mercado de transporte com influência decisiva na criação das empresas de consultoria e empreiteiras. No campo da pesquisa realizou diversas pesquisas de grande relevância nacional e internacional. Nos acervos do GEIPOT, conforme descrevem artigos de imprensas disponível no *site* do DNIT podem ser encontrados estudos dos anos 80 que já previam os núcleos de plantio de soja (e a necessidade de escoamento) que só passaram a existir no início dos anos 90.

Os estudos (1975 a 1981) sobre o Inter-relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias (PICR), desenvolvida pela Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, foram conduzidos pelo GEIPOT. Essa pesquisa tinha como objetivo produzir parâmetros, métodos e modelos que permitissem a otimização de investimentos em construção e conservação rodoviárias, a fim de minimizar o custo total do transporte rodoviário.

QUEIROZ (1981) estabeleceu modelos de previsão de desempenho a partir da base de dados da PICR, obtendo modelos para a previsão da irregularidade longitudinal e do trincamento de pavimentos no Brasil. PATERSON (1987) desenvolveu equações de previsão da deterioração de pavimentos através da análise estatística dos dados coletados para a PICR.

Como já comentado, o DNER atual DNIT foi o pioneiro no Brasil em Sistema de Gerência de Pavimentos. Os estudos iniciaram na década de 80 e contam com diversos inventários de dados desde então. No âmbito estadual, também na década de 80, o Estado de Minas Gerais foi um dos primeiros a absorver as técnicas de um SGP

com monitoramentos descontínuos e uso do HDM - *Highway Design and Maintenance* como ferramenta de análise.

O DER do Estado Paraná implantou, com financiamento do BID, em 1994 um SGP atualizado até 1998. Este sistema foi desenvolvido por uma consultora americana com a participação do Prof. Hudson e com suporte de uma consultora nacional no qual o autor da presente dissertação teve seu primeiro contato com a ferramenta SGP. Na mesma época (1995) o DER do Estado de Santa Catarina implantou um SGP o que tem tido várias atualizações e é utilizado para verificações em projetos. O modelo é francês e usa o HDM como base de suas análises. Estes dois SGPs apesar de desatualizados quanto à tecnologia de informática, continuam atuais em metodologias e procedimentos.

Na década de 90 os Estados da Bahia, Alagoas, Pernambuco e Espírito Santo também desenvolveram seus SGPs, através de financiamento com o BID. Foram realizadas algumas atualizações, mas os sistemas não prosperaram.

PINTO et al (2005) informa que o DAER do Estado do Rio Grande de Sul adotou a mesma metodologia utilizada para os Contratos de Restauração e Manutenção (Contrato CREMA, financiados pelo Banco Mundial). A serventia dos pavimentos foi avaliada segundo o conceito da AASHTO e adotou-se um modelo de deterioração dos pavimentos desenvolvido para prever o desempenho das soluções ao longo do tempo. Utilizou uma seqüência de árvores de decisão para selecionar os tipos e estimativas de custos para as diversas intervenções requeridas por cada um dos segmentos rodoviários (conservação de rotina, lama asfáltica, tratamentos, reperfilagem, recapeamentos, fresagem e recomposição, reconstrução parcial e total dos pavimentos), e as equações do *Vehicle Operation Costs* (VOC) integrantes do *Highway Design and Maintenance* (HDM-III).

Em 2005 a agência rodoviária de Goiás, AGETOP-GO, adquiriu o mesmo sistema informatizado implantado no Ceará. Em seu acervo existem levantamentos de defeitos, irregularidade, deflectométrico e contagem de tráfego realizada esporadicamente nos últimos 15 anos.

RAMOS et al (2005) descreve que o DER do Estado de São Paulo implementou em 1995 um banco de dados. Em 1998, atualizou as informações com a execução do Levantamento Visual Contínuo (LVC) dos defeitos da superfície em toda a rede além

do levantamento da irregularidade, afundamento das trilhas de roda e deflectometria em 4.000 km desta rede. Com o Programa de Recuperação de Rodovias, o DER-SP implantou em 2006 um SGP com atualização das informações e para isso optou pela adaptação da metodologia DNIT 008/03-PRO para o inventário dos tipos, frequência e severidades de defeitos na superfície do pavimento e conseqüente cálculo do índice de degradação.

Além das ações em âmbito estadual, existem alguns trabalhos em prefeituras como: Porto Alegre, Curitiba, Brasília e São Bernardo dos Campos.

No Ceará os estudos para implantação de um sistema de gerência de pavimentos remontam à década de 80, mas tomou forma em 1993 com a implementação de uma interface amigável no ambiente *Windows* do HDM-III. No ano seguinte foi realizada a amostragem volumétrica classificatória pela localização de postos permanentes, com metodologia de expansão de coleta de dados, sendo essas atividades realizadas pelo Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará (DET-UFC).

Entre 1994 e 1996, com apoio de empresas de consultoria foi realizada a primeira tentativa de se implantar um SGP com levantamento de campo e análise através do *software* HDM-III em duas residências piloto: a extinta Aracati e Aracoiaba.

Em 1998, com o apoio de uma empresa de consultoria foi realizada mais uma contagem volumétrica classificatória. Na mesma época foram realizados levantamentos de irregularidade longitudinal, deflexões e de defeitos de superfície. No ano seguinte, 1999, foram implantados postos permanentes e pontuais de contagens.

Em 2000, seis anos após a implantação do plano de pesagem, o DET-UFC realiza uma revisão e aperfeiçoa os estudos. Neste mesmo ano foi realizada nova coleta de informação de tráfego.

O DER/CE, então, intensifica os estudos e o aperfeiçoamento de seus técnicos. Nesta época estava em andamento um projeto de financiamento para ampliação, recuperação, melhoramento da malha viária cearense, denominado Ceará II, onde se previa implantar um sistema de manutenção da conservação – SAC. Então, a instituição convence o BID a reestruturar o projeto. Nasce daí a idéia de um sistema que integrasse

duas ferramentas de gestão da manutenção: SAC e SGP, culminado com uma licitação internacional onde participaram diversos consórcios. Deste processo é contratada uma consultoria, da qual o autor da presente dissertação coordenou os trabalhos entre 1999 e 2001 para a implantação do Sistema Integrado de Gestão da Manutenção – SIGMA.

Os trabalhos foram intensificados com a criação de uma célula para acompanhar o projeto e ao mesmo tempo receber toda a tecnologia disponibilizada. O SIGMA foi concebido a várias mãos, fruto do trabalho dos técnicos da casa e consultores brasileiros. Esta ferramenta será detalhada adiante.

Desde então o DER/CE vem atualizando o seu banco de dados, realizando estudos e disponibilizando informações para os gestores. Foi realizado Levantamento Visual Contínuo – LVC nos anos de 2001 a 2007, exceto em 2003.

Estão previstos para 2008 e 2009, levantamento visual contínuo, levantamento de irregularidade longitudinal, levantamento parcial dos elementos rodoviários, contagem classificatória e, com apoio de um novo programa de financiamento BID, estão previstas a atualização do SIGMA e a elaboração do Plano Diretor Rodoviário Estadual. Apesar de a ferramenta estar disponível e relativamente atualizada, ainda há muito modelos a se fazer, principalmente na geração de cultura de planejamento no órgão.

2.6.2 HDM - *Highway Design and Maitenance Standard Model*

Em 1969 o Banco Mundial, com apoio do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) e do TRRL (*Transport and Road Research Laboratory*), lançou um importante programa de investigação com o objetivo de facilitar e substanciar decisões administrativas através de variantes e concepção e/ou manutenção de estradas com tráfego reduzido.

Terminada a primeira fase foi realizado um estudo experimental no Quênia, que se iniciou em 1971 e foi concluído em 1979. Nesse estudo, que permitiu elaborar as principais equações que compõem o HDM (*Highway Design and Maitenance Standard Model*), foram definidas as prioridades acordadas pelo Banco Mundial para projetos rodoviários na África.

A partir dos resultados da experiência do Quênia, entre 1976 e 1977, foi desenvolvida a primeira versão do HDM, ensaiada de maneira pontual.

A utilização dessa primeira versão permitiu o desenvolvimento da segunda versão pelo Banco Mundial, de forma a generalizar sua aplicação, através da análise das críticas ao sistema, estabelecendo novas equações (em particular de degradação) e propondo a realização de outras experiências.

A partir desta proposição nascem as experiências no Brasil e na Índia realizadas até 1981, fornecendo novos resultados experimentais. Nesta oportunidade, novos equipamentos de medida de irregularidade longitudinal foram testados, com vistas a se obter uma eventual generalidade.

Os resultados dessas experiências (juntamente com a segunda versão) permitiram em 1984 a elaboração da versão do HDM-III. A atual versão, HDM-IV, foi atualizada e disponibilizada em ambiente *Windows*. Nessa versão foram incluídos diversos tipos de pavimentos, inclusive pavimento rígido. Também foram introduzidos os efeitos de congestionamentos, análise dos pavimentos em climas frios e congelados, segurança das rodovias e efeitos ambientais.

O HDM é um modelo computacional para análise técnico-econômica de estratégias de concepção, de reforço e de manutenção de estradas. Aplica-se em geral aos estudos de viabilidade e planejamento.

O HDM realiza análises técnico-econômicas em função de diferentes concepções de manutenções e custos. Sua programação permite avaliar uma estrada pertencente a um dado itinerário ou um grupo de itinerários pertencentes à uma rede. Fundamentalmente, permite avaliar rapidamente em função do custo total, um grande número de projetos e de políticas de manutenção, definidas ano a ano para um período de análise de até 30 anos, assim como encontrar a solução com melhor viabilidade econômica.

SILVA (1981) relata que o uso de análises de investimentos rodoviários com o sistema HDM-III podem ser traduzidos em economia ao usuário através do custo operacional e tempo de viagem. Destaca, também, que o custo do usuário é muito mais importante que os valores de sua construção.

As avaliações econômicas são realizadas comparando alternativas e soluções com a possibilidade de se manter a situação atual. Desta análise é possível conhecer os custos anuais de manutenção e a economia ou benefício do usuário, além dos parâmetros de TIR – Taxa Interna de Retorno, VLP – Valor Líquido Presente, B/C – relação benefício/custo e benefício do primeiro ano.

2.6.3 SIGMA – Sistema Integrado de Gestão da Manutenção

O SIGMA – Sistema Integrado de Gestão da Manutenção é uma ferramenta de gestão rodoviária que inclui, dentre outras coisas, um sistema de gerência de pavimentos e um banco de dados organizado.

Conforme mencionado anteriormente, o sistema foi desenvolvido e implantado entre os anos de 1999 a 2001 no DER do Estado do Ceará. As informações são únicas e referenciadas, e contemplam três módulos de gerenciamento amigável, a saber: (i) Sistema de Administração da Conservação, para ações ligadas à conserva rotineira, (ii) Sistema de Gerência de Pavimentos, para avaliação de investimentos periódicos na malha e (iii) Sistema de Informações Básicas para o tratamento das informações. A Figura 2.2 apresenta uma visão simplificada do SIGMA.

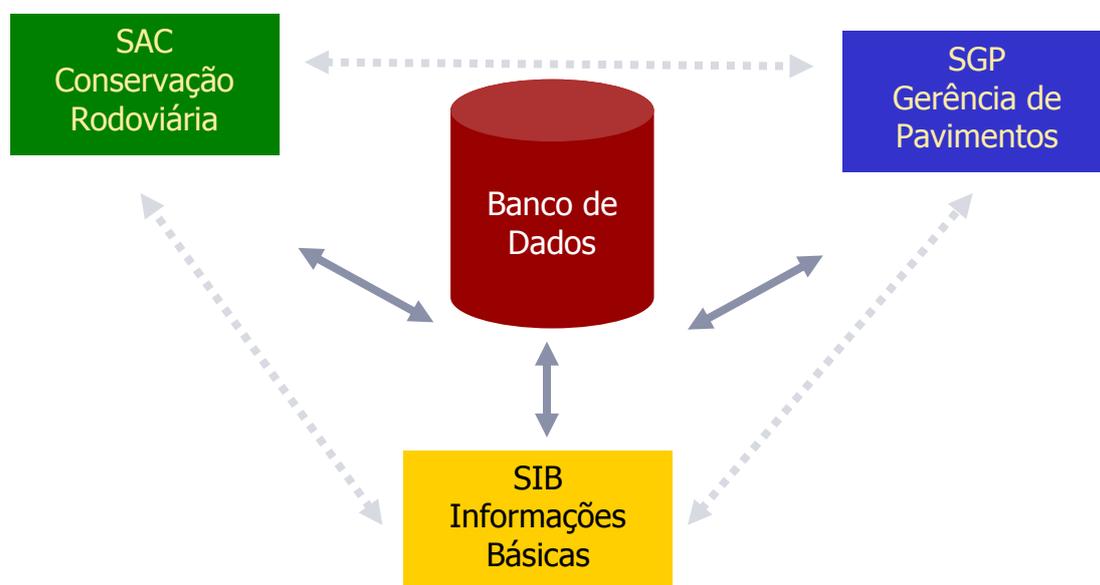


Figura 2. 2: Esquema simplificado da estrutura SIGMA (DER, 2001)

O SIB – Sistema de Informações Básicas viabiliza a utilização coordenada dos dados comuns aos demais Módulos do SIGMA e tem, na sua concepção inicial, o papel

de se tornar o Banco de Dados Técnico-Institucional. Assim, o SIB foi modelado para possibilitar que, no futuro, sejam agregadas novas informações relacionadas à Malha Rodoviária. As informações administradas pelo SIB, para fins de utilização estão apresentadas na Figura 2.3.



Figura 2. 3: Visão das informações e seu relacionamento com os módulos do SIGMA (DER, 2001)

O SIB é composto por duas componentes: (1) cadastro da rodovia e pista de rolamento denominado SIB-P e (2) elementos extra-pista conhecido com SIB-E. Neste item serão apenas mencionadas as informações do SIB-P as quais foram utilizadas no presente estudo.

O SIB-P propicia a geração de um banco de dados comum aos demais subsistemas do SIGMA, através de funções de visualização, manutenção e consultas de informações para fim de codificação e caracterização da Malha Rodoviária Estadual. A seguir, serão explicados os grupos que compõem a Base de Dados. Para cada um deles, é feita uma breve conceituação e apresentada a interface de visualização das suas informações a seguir.

a) Na Figura 2.4 é apresentada a tela de interface dos dados dos trechos. Na área de dados tabulares, é listado o “Início Hodométrico” da rodovia selecionada. Nesta tabela estão as informações de: Jurisdição do Trecho, Situação, Distrito Operacional e Região Climática.

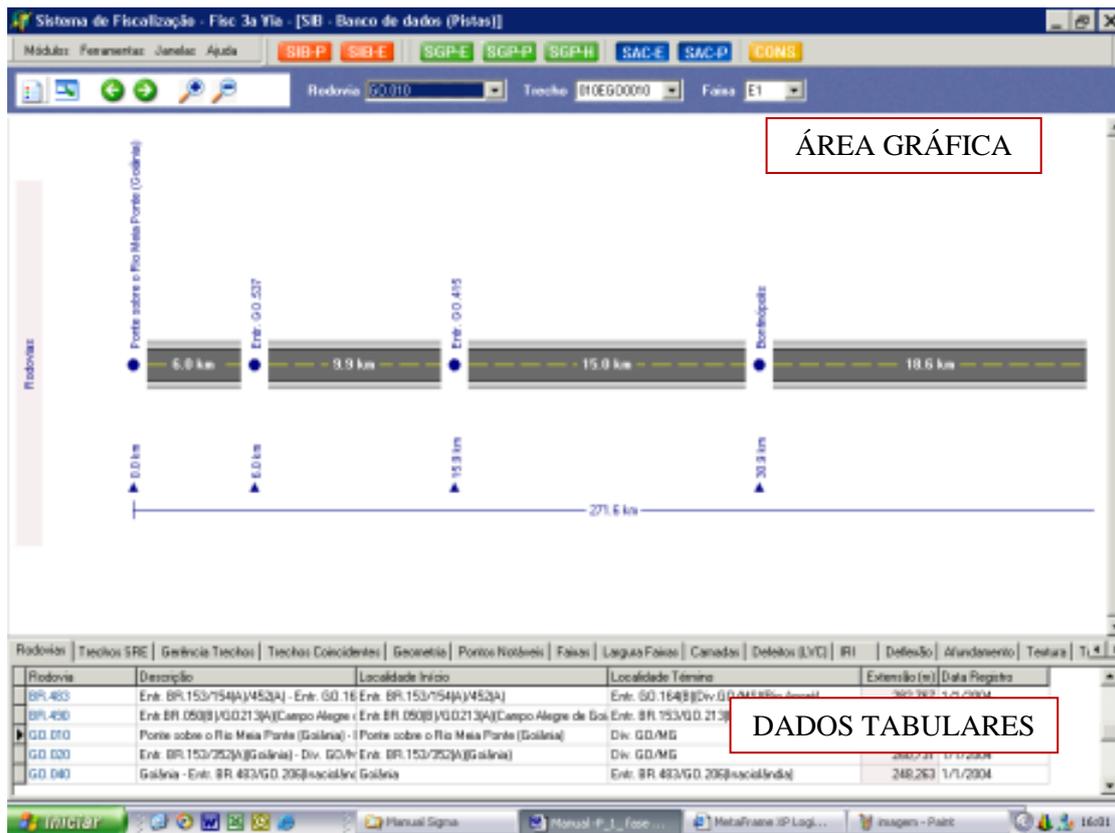


Figura 2. 4: Interface do SIB-Pista para Rodovias e Trechos (DER, 2001)

b) Outro grupo refere-se à Gerência de Trechos (Figura 2.5): é definido o tipo de gestão que será atribuído a cada trecho do SRE. Este grupo de informações é bastante utilizado para filtragem dos planos e programas rodoviários gerados pelos demais Módulos do SIGMA, dentre aqueles trechos sob Administração Municipal.

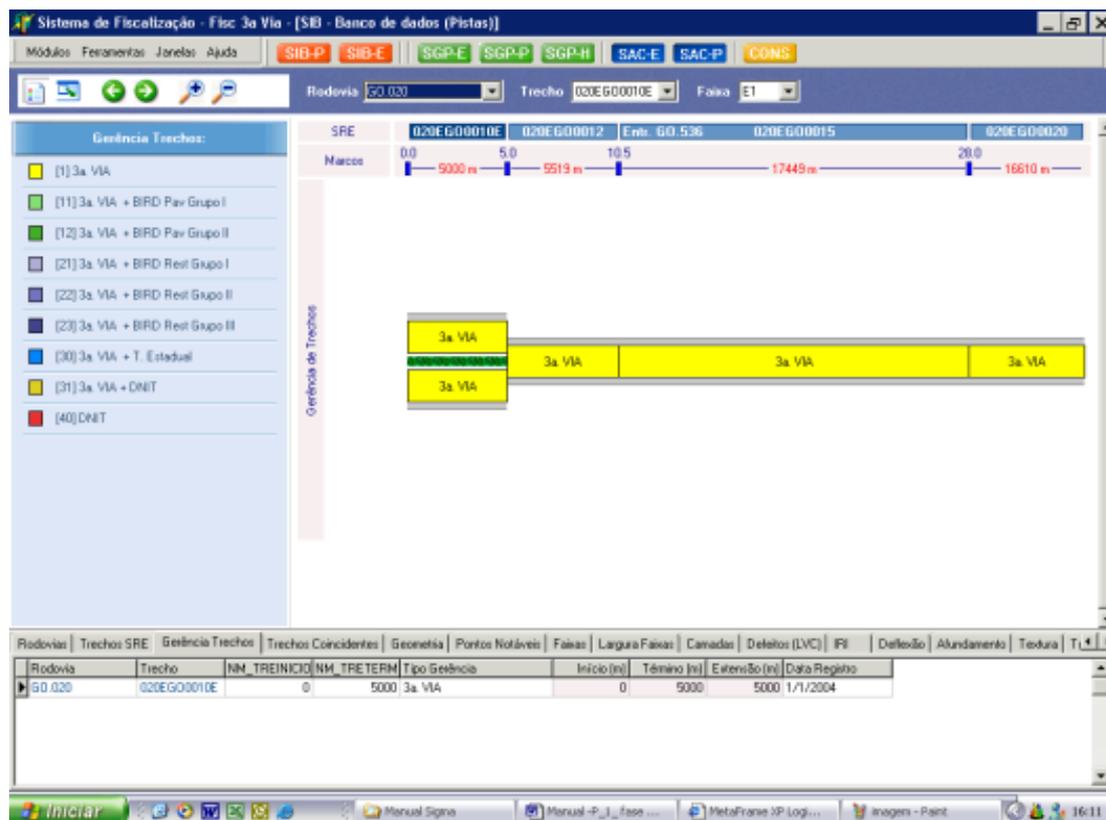


Figura 2. 5: Gerencia dos trechos (DER, 2001)

Na malha rodoviária estadual é comum encontrar trechos de rodovias distintas que, fisicamente, são um só trecho. Tais hiatos podem ocorrer na totalidade ou em uma parte de um trecho, bem como entre rodovias de jurisdições distintas (ex.: Estaduais e Federais). As referências quilométricas de uma rodovia são sempre contínuas, mesmo quando existir trechos planejados ou coincidentes. No caso de trechos coincidentes, sempre é adotado como oficial o código daquele que possuir o menor valor, exceto quando a coincidência incidir sobre uma rodovia de jurisdição federal, a qual possui prioridade, ou quando a rodovia de maior número de código possuir características muito marcantes para a sua diretriz.

c) Pontos Notáveis (Figura 2.6): os pontos notáveis têm como finalidade representar as principais interferências das rodovias pertencentes à malha estadual. O objetivo desse cadastro é estabelecer referências fixas para orientação dos demais levantamentos do SIGMA, bem como servir de informação para uma futura implantação de um Sistema de Informações Geográficas ou sistema de informações ao usuário.

Este grupo de dados fornece grande riqueza de detalhes para o posicionamento das ocorrências de campo, pois, a partir dele, se registram: início e final de travessias urbanas, acessos ou entroncamentos secundários, travessias de vias férreas, travessias aéreas, viadutos, passagens molhadas, pontes, edificações industriais, edificações públicas, monumentos, atrações turísticas, acessos a terminais de transportes (rodoviários, portuários, aeroportuários, etc.), áreas de preservação ambiental, início e final de terceira faixa e outros eventos que se considerarem relevantes no momento do levantamento.

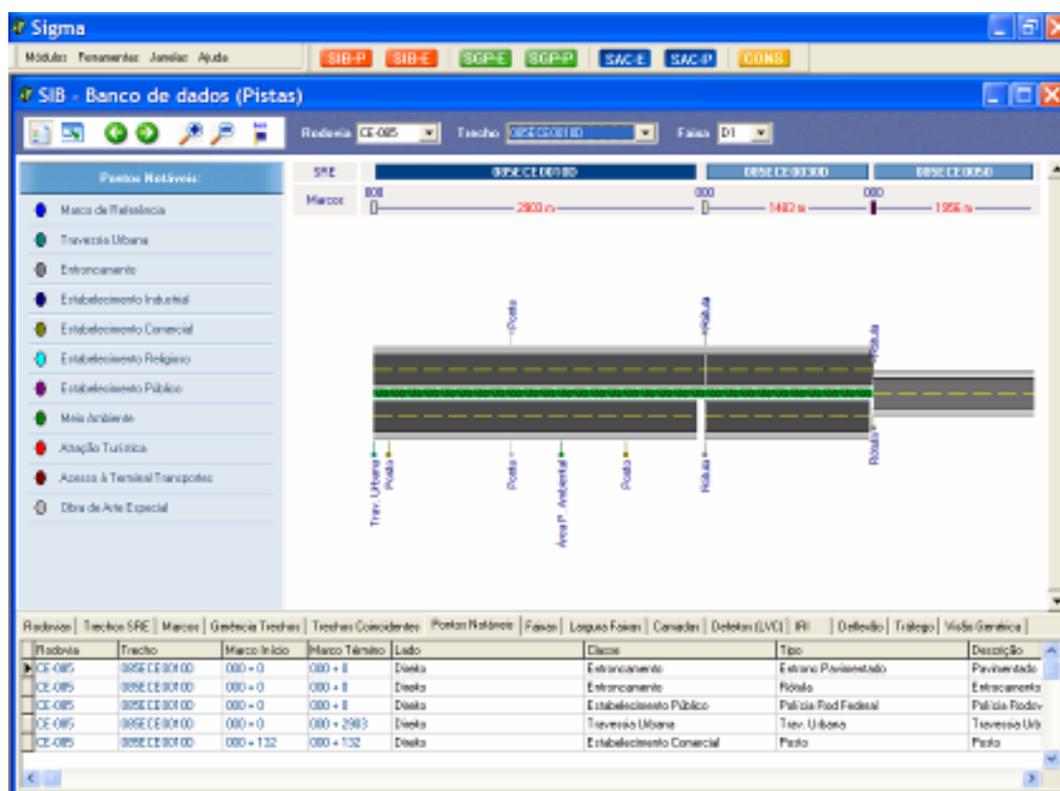


Figura 2. 6: Pontos Notáveis (DER, 2001)

d) Faixas de Pistas: A codificação dos trechos está subdividida (de forma longitudinal ao trecho) em faixas de pistas. Alguns dados no SIB são atribuídos diretamente a uma faixa de pista (ex.: visual contínuo, deflexões, tráfego, etc.), outros são atribuídos ao trecho como um todo (ex.: gerência do trecho, pontos notáveis, etc.). Para as pistas simples pavimentadas, em geral, existem quatro faixas, duas de tráfego (D1 – faixa direita e E1 – faixa esquerda) e duas faixas externas para os acostamentos (AD – acostamento direito e AE – acostamento esquerdo). Nas pistas duplas, o sentido de codificação das faixas de tráfego é do centro para as extremidades, tomando a letra

“D” e “E” seguida do número da faixa (ex.: D1, D2 e D3 caracterizam uma pista com três faixas de tráfego no lado direito).

e) Larguras de Faixas: o SIB armazena toda a caracterização física dos trechos rodoviários. Uma das informações necessárias para isso é a variação das larguras de faixas de tráfego e acostamento ao longo do trecho. Este grupo de dados registra tais informações e representa graficamente sua variação.

f) Camadas da Pista (Figura 2.7): as camadas da pista representam a estrutura vertical. Cada camada é registrada considerando os dados históricos desde a construção até as últimas reabilitações dos trechos. As camadas podem ser adicionadas ou retiradas através de fresagem, dentro de uma cronologia, de forma a permitir ao usuário a visualização em corte da estrutura atual de cada faixa. Num mesmo trecho, as faixas podem ter estruturas distintas.

Rodovias	Trechos SRE	Gerência Trechos	Trechos Coincidentes	Geometria	Pontos Notáveis	Faixas	Largura Faixas	Camadas	Defeitos (LVC)	IRI	Deflexão	Afundamento	Textura	T _r
GO.050	050EG00010E	E1	0	16144	Reabilitação	Concreto Betuminoso Usinado a Quente			5,0					
GO.050	050EG00010E	E1	0	16144	Rev. Original	Dado desconhecido								
GO.050	050EG00010E	E1	0	16144	Base	Solo Estabilizado Granulometricamente			20,0				60	
GO.050	050EG00010E	E1	0	16144	Sub-Base	Solo Estabilizado Granulometricamente			20,0				60	

Figura 2. 7: Camadas do Pavimento (DER, 2001)

g) Defeitos da Superfície de Rolamento (LVC) (Figura 2.8): os defeitos da superfície de rolamento são coletados através de Levantamento Visual Contínuo (LVC),

que consiste em uma avaliação da condição da superfície do pavimento, por engenheiros treinados, a bordo de veículos equipados com instrumentos específicos.

O objetivo do LVC é a coleta de informações para verificar o grau de deterioração do pavimento, de maneira a: servir de base para indicar a intervenção apropriada, ser um dos fatores para análise da priorização para investimentos, fornecer subsídio para elaboração de equações de comportamento dos defeitos, indicar níveis de esforços para a conservação rodoviária, entre outros.

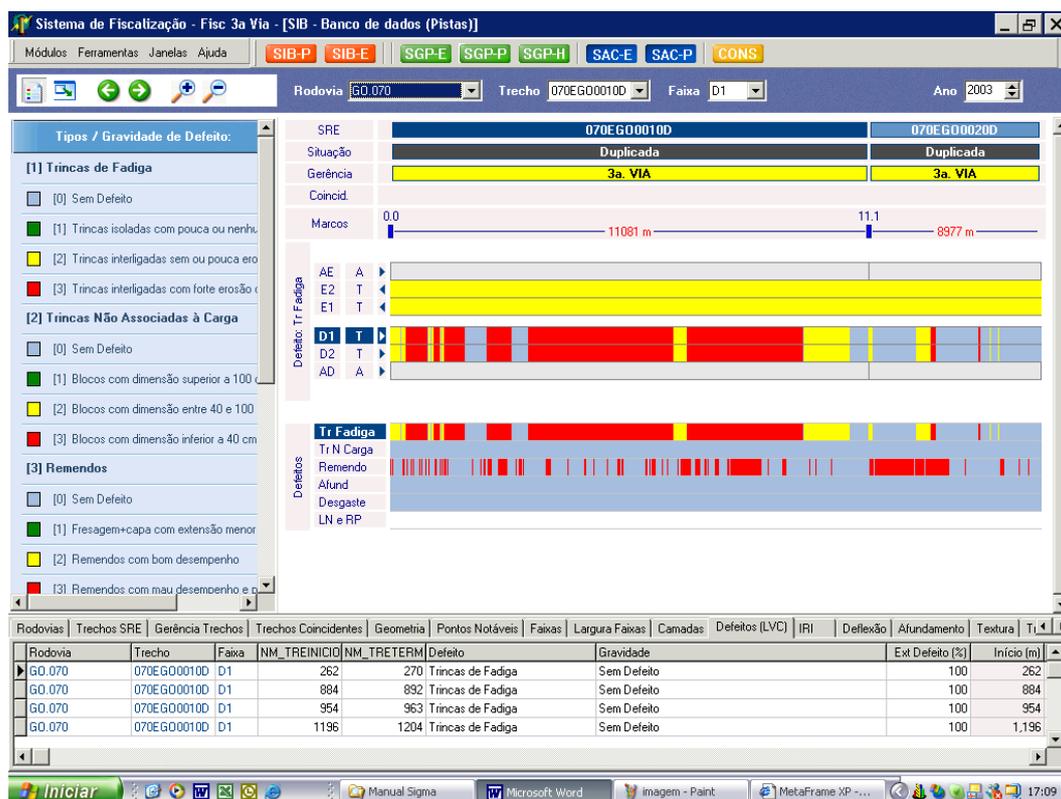


Figura 2. 8: Defeitos do Pavimento do SIGMA (DER, 2001)

h) Irregularidade Longitudinal (IRI / QI) (Figura 2.9): neste Grupo de Dados são registradas as medidas do IRI ou do Coeficiente de Irregularidade (QI). As medidas são associadas a um Ano de Referência. O objetivo do levantamento de irregularidade é avaliar o grau de conforto oferecido pelas rodovias aos usuários, através da medição do somatório das oscilações ascendentes e descendentes, percebidas quando os veículos trafegam pelas rodovias.

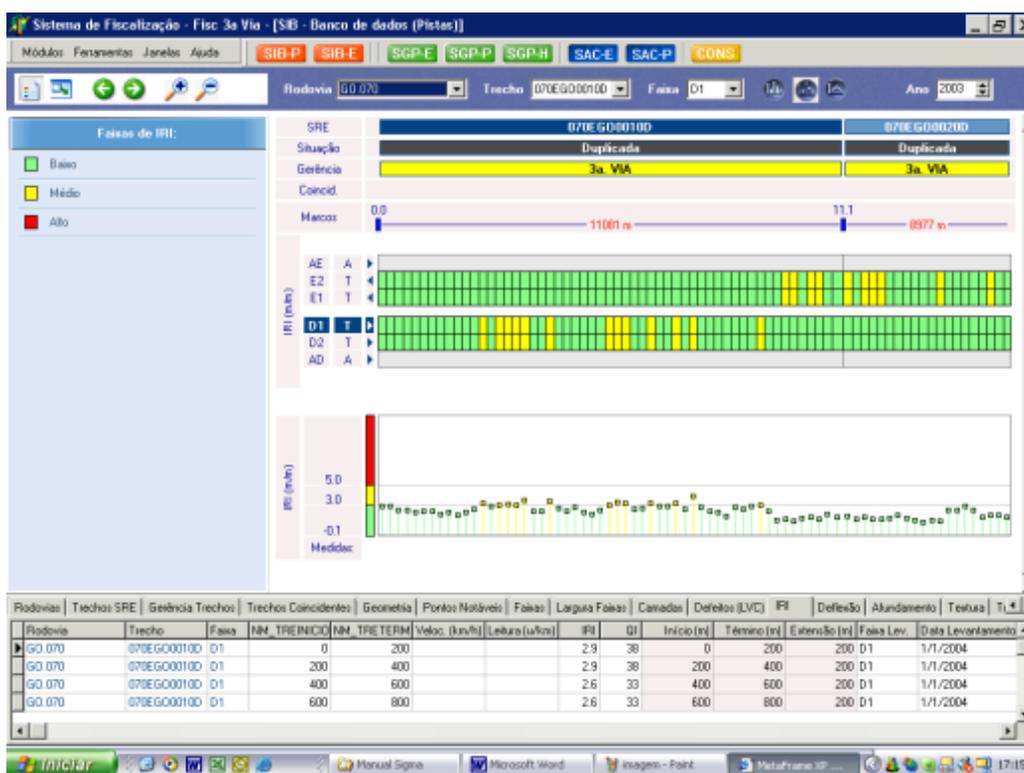


Figura 2. 9: Irregularidade Longitudinal do SIGMA (DER, 2001)

i) Deflexões (Figura 2.10): Neste Grupo de Dados são registradas tanto as medidas de deflexão provenientes de levantamentos com FWD, quanto de levantamentos com Viga Benkelman. As medidas são registradas para cada faixa de tráfego.

Os dados alimentados no SIB ficam armazenados em um Banco de Dados ORACLE, modelado para evitar redundâncias de dados, oferecendo maior grau de confiabilidade e permitir grande agilidade no processamento de informações, com mais facilidade no controle e segurança das informações gerenciadas. A seguir é apresentada a formatação da tabela de importação dos dados do Levantamento Visual Contínuo, com as tabelas relacionadas e tipos de campos do SIGMA.

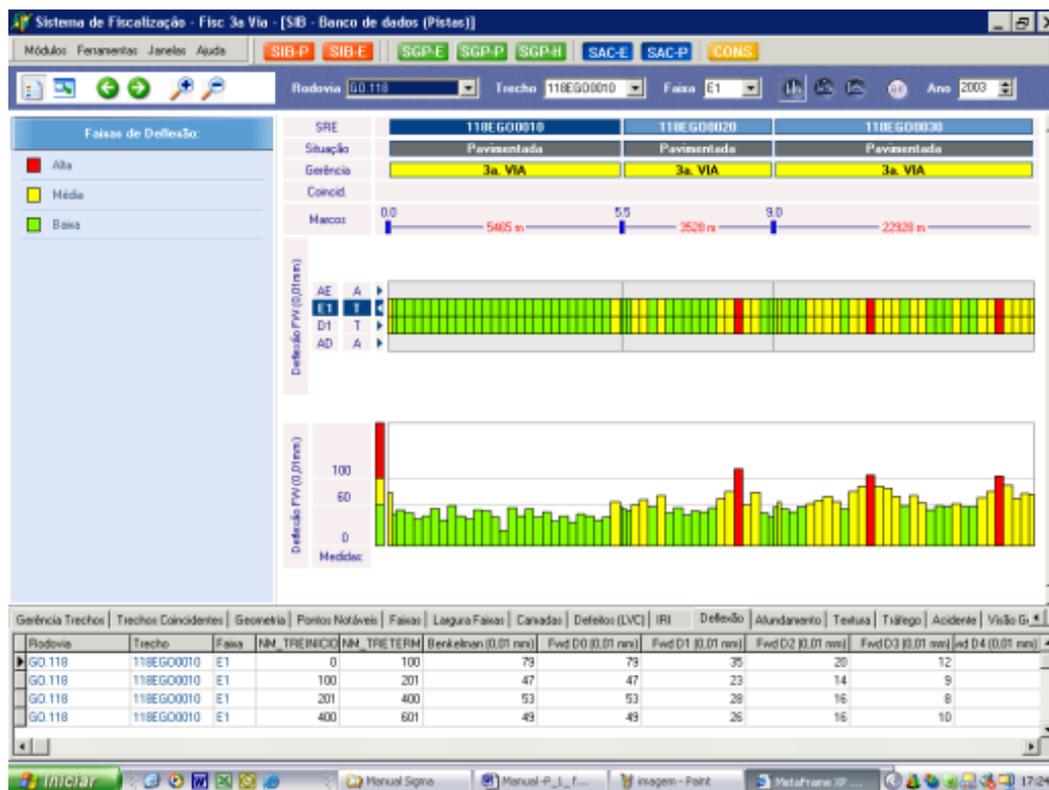


Figura 2. 10: Deflectométrico do SIGMA (DER, 2001)

2.7 INFORMAÇÕES BÁSICAS

2.7.1 Tráfego

O volume de tráfego é definido como o número de veículos que passa por uma seção de uma via, em um determinado intervalo de tempo (MCSHANE e ROESS, 1990). É o parâmetro de tráfego mais elementar e amplamente utilizado na elaboração de planos diretores rodoviários, estudos de viabilidade técnico-econômica, projetos geométricos, projetos de pavimentos, programas de conservação, análise de segurança de tráfego, capacidade das vias, e outros.

Para a obtenção desse parâmetro é necessário realizar contagens de tráfego nos trechos rodoviários, identificando a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos. Segundo o DNIT (2006) e a CET (1982), na contagem de tráfego, usualmente utilizam-se dois métodos básicos de coleta:

- Contagens volumétricas manuais: utilizam-se pesquisadores, com auxílio de fichas e contadores manuais, podendo neste método obter informações mais detalhadas do volume de tráfego, tais como a classificação dos veículos, por

tipo, tamanho e informações sobre os movimentos desses veículos. A desvantagem é não permitir contagens prolongadas, uma vez que é economicamente e operacionalmente inviável.

- Contagens automáticas: realizadas através de contadores automáticos de diversos tipos, em que os veículos são detectados através de tubos pneumáticos ou dispositivos magnéticos, sonoros, radar, células fotoelétricas, etc. Tem como vantagem coletar informações por longos períodos de tempo e como desvantagem o custo elevado além da sua exposição a roubos/vandalismo e de não conseguir realizar uma detalhada classificação de veículos. Entretanto, o constante aperfeiçoamento tecnológico dos equipamentos utilizados para este tipo de serviço tem reduzido continuamente os custos e dimensões dos equipamentos, tornando-os cada vez mais eficientes nas coletas de dados.

A falta dessas informações de tráfego ou a incerteza quanto à representatividade dos dados que porventura existam, geram distorções nos estudos rodoviários. Assim, para suprir a necessidade de conhecimento desse parâmetro na maior quantidade de trechos da malha rodoviária, muitos órgãos criaram programas de monitoramento do volume de tráfego. Essa atividade que consiste na aplicação e desenvolvimento de procedimentos eficientes, baseados em amostras de contagem e que permitem a obtenção de estimativas precisas do Volume Médio Diário Anual - VMDA nos vários trechos rodoviários.

Esses programas de monitoramento de tráfego, segundo ALBRIGHT (1993), não devem ser desenvolvidos separadamente nos vários setores de um mesmo órgão rodoviário. Isso porque os dados de tráfego não devem ser coletados para finalidades específicas, mas para os vários objetivos e com a integração desses dados em um banco comum, reduz-se a possibilidade de duplicação da coleta de dados em um mesmo local.

Neste contexto, o Sistema de Gerência de Pavimentos deve possuir uma integração eficiente com os programas de monitoramento de tráfego, tirando o máximo proveito das informações coletadas. Na Figura 2.11 como exemplo é mostrada a distribuição do tráfego por faixa de VMD com contagens realizadas em 2004 no Estado

do Ceará, já na Figura 2.12 são apresentadas as percentagens de extensão dividida nos seguintes patamares.

- Tráfego Baixo: de 0 a 400 veículos dia;
- Tráfego Médio: de 401 a 1500 veículos dia;
- Tráfego Alto: acima de 1500 veículos dia.

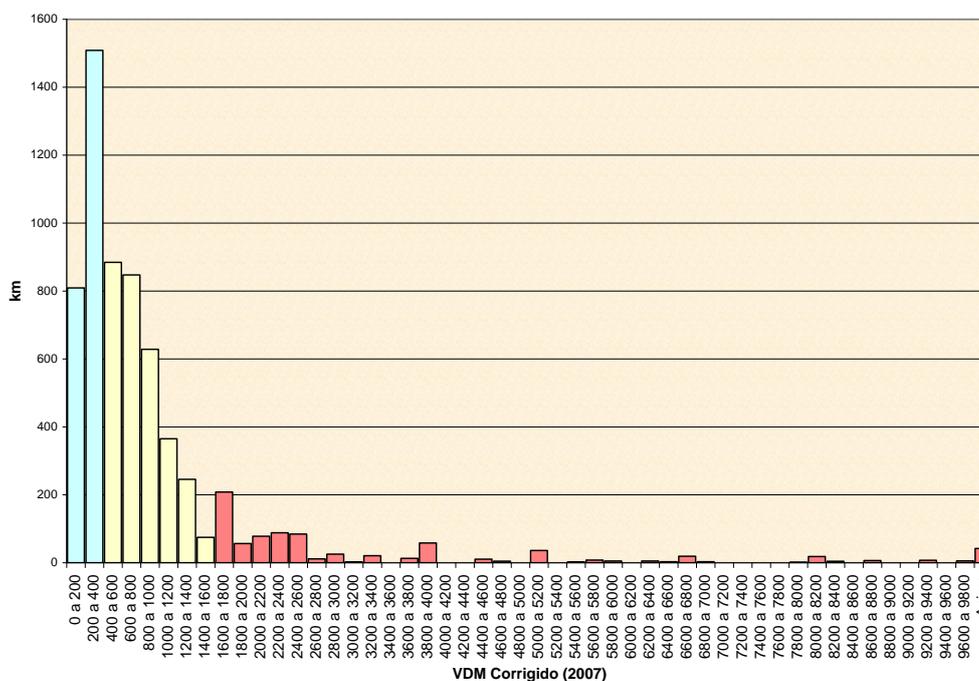


Figura 2. 11: Distribuição do Tráfego em Faixas de VMD (DER, 2001)

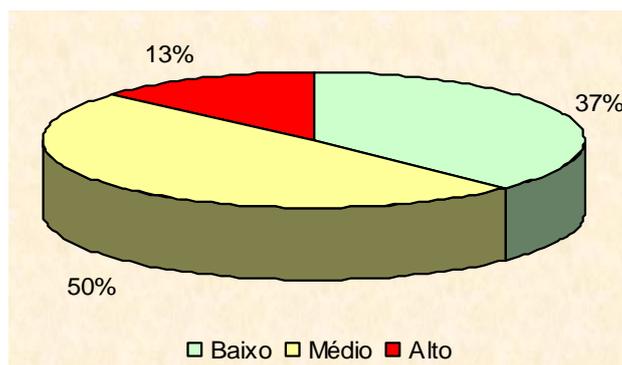


Figura 2. 12: Distribuição do Tráfego na Malha (DER, 2001)

Considerando as faixas de tráfego apresentadas acima, a malha pavimentada estadual era composta por 13% de rodovias de tráfego alto, 50% de rodovias de tráfego médio e 37% de rodovias de tráfego baixo.

2.7.2 Avaliação do Estado da Superfície ou Levantamento de Defeitos

A avaliação da superfície tem como objetivo determinar a condição funcional e estrutural do pavimento através de observações objetivas e/ou subjetivas dos defeitos. Diversos fatores contribuem para o aparecimento de falhas na camada superior, como: aspectos de projeto, aspectos construtivos, tráfego, clima, características dos materiais, estrutura das camadas, etc., ou seja, um defeito pode ter uma ou várias causas.

MARCON (2005) descreve que para o Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) as avaliações de superfície são utilizadas como ferramentas decisórias ou auxiliares.

Para identificar os defeitos são realizados levantamentos que identificam sua ocorrência segundo uma determinada metodologia que normalmente segue critérios estatísticos e avaliações amostrais.

Existem diversos métodos já concebidos e com objetivos diferentes. Para cadastro de defeitos a fim de subsidiar um SGP é necessário avaliar custos, precisão, repetibilidade e velocidade média de levantamento. Um levantamento muito caro normalmente compromete a atualizações das informações de forma sistemática. Já a extensão da malha inventariada também é decisiva na escolha de uma metodologia.

A escolha de uma metodologia conhecida não exclui a necessidade de se fazer adequações. Por exemplo, se a metodologia indica o cadastro do defeito exsudação e ele não tem representatividade na malha e nem contribui para a geração de solução, deterioração e priorização, então, essa falha não deve ser avaliada.

MARCON (1996) faz uma coletânea de objetivos para a realização de levantamentos de defeitos para um SGP. Estas, acrescidas pelo autor da presente dissertação, são agrupadas em:

- a. Avaliar a situação do trecho ou segmento.
- b. Definir a qualidade da rede viária.
- c. Definir segmentos homogêneos.
- d. Manter séries históricas.

- e. Definir as causas dos defeitos, bem como sua frequência e distribuição.
- f. Definir modelos matemáticos de deterioração do pavimento, quando da existência de séries históricas.
- g. Ser um dos parâmetros para identificar as necessidades de intervenções rotineira, preventiva e periódica e conseqüentemente definir custos.
- h. Ser utilizado juntamente com outros parâmetros para definir a priorização dos trechos quando submetido a uma restrição orçamentária.
- i. Monitorar as intervenções realizadas.
- j. Monitorar a deterioração da malha.

A caracterização de um defeito é obtida através de três requisitos principais (SHAHIN e KOHN, 1979, AASHTO, 1993):

- a) **Tipo:** identificação do defeito, procurando classificá-lo pelo mecanismo causador;
- b) **Severidade:** anotação da progressão do defeito a fim de determinar o grau de deterioração;
- c) **Extensão ou densidade:** avaliação da extensão ou área do pavimento atingida em cada defeito por severidade.

BENEVIDES (2006) descreve que existem vários manuais, catálogos e publicações que sumarizam os tipos de defeitos nos revestimentos asfálticos.

- a) O Manual da AASHTO (1986) apresenta 17 (dezessete) tipos de defeitos em pavimentos flexíveis.
- b) Catálogo dos defeitos dos revestimentos dos Pavimentos (ABPv, 1978) com 64 (sessenta e quatro) defeitos, sendo 32 (trinta e dois) em pavimentos flexíveis.
- c) DOMINGUES (1993b) com 23 (vinte e três) tipos de defeitos em pavimentos flexíveis.

- d) SHAHIN e KHON (1979) apresentam o PAVER, com 19 (dezenove) tipos de defeitos em pavimentos asfálticos e 19 (dezenove) tipos de defeitos em pavimentos rígidos.
- e) SHRP (1993, 2003) com 15 (quinze) tipos de defeitos em pavimentos flexíveis.
- f) DNER (1998) mostra 17 (dezesete) tipos de defeitos em pavimentos flexíveis.

BENEVIDES (2006) salienta que os manuais detalham tipos de defeitos, causas prováveis, localização e mecanismos de ocorrência. Com essas informações é possível fazer um diagnóstico da patologia e indicar a solução mais adequada. Na realidade em uma inspeção de campo pode ser difícil a caracterização do defeito individualizado principalmente quando se tem grande quantidade de defeitos e severidades a serem avaliadas.

Os defeitos variam de acordo com os tipos de revestimentos (concreto asfáltico, tratamento superficial, concreto portland, etc.) e o uso do pavimento (rodovia, aeroporto, via urbana, etc.). MARCON (1995) realizou uma pesquisa em diversos catálogos de defeitos e definiu que os defeitos podem ser agrupados:

- Fissuras;
- Trincas: transversal, longitudinal, bloco, de reflexão, de borda, parabólico, couro de jacaré e irregular;
- Afundamentos;
- Afundamentos de trilha de roda;
- Corrugação;
- Deslocamento do revestimento;
- Empolamento;
- Ondulação;
- Arrancamento;
- Agregado polido;
- Exsudação;
- Falha de bico;

- Desnível faixa de tráfego-acostamento;
- Panelas;
- Remendos;
- Erosão de borda;
- Descamamento;
- Bombeamento de água e finos;
- Afloramento de água.

Na presente pesquisa observou-se que poucos catálogos utilizam todos os tipos de defeitos e, que os defeitos geralmente são agrupados com base nas causas dos mesmos. O agrupamento dos defeitos facilita a interpretação do desempenho dos pavimentos e seleção da medida de intervenção mais adequada.

O levantamento dos defeitos de um pavimento pode ser realizado de três modos diferentes: manual, semi-automático e automático.

A avaliação de superfície de um pavimento pode ser feita de forma contínua, quando toda a área do pavimento considerada é avaliada, ou por amostragem, pela qual somente parte (amostras) da área pavimentada é avaliada. HAAS *et al.* (1994) citam que a amostra pode variar entre 10 a 25% da área da rede onde os tipos de defeitos e recursos disponíveis determinam o tamanho da amostra. No levantamento manual, os segmentos são selecionados por amostragem em intervalos predeterminados utilizando-se procedimentos estatísticos ou pré-definição (não aleatório).

O levantamento manual pode ser realizado a pé ou dentro de um veículo em baixa velocidade (5 a 30 km/h). Os métodos que utilizam veículos normalmente recomendam que a equipe de campo desça do veículo em intervalos constantes e/ou quando a condição do pavimento sofra alteração.

A equipe de cadastro pode registrar as informações em planilha de papel ou eletrônica padronizada. Na planilha o avaliador registra as características dos defeitos e a referência, tendo como exemplo o método DNIT 006/2003 PRO (antiga DNER-PRO 08/78).

Nos equipamentos semi-automáticos em computador, o operador registra os defeitos e a severidade utilizando um teclado especial e a informação de referência

(hodômetro ou coordenadas geográficas) é obtida diretamente dos aparelhos periféricos, como é realizada nas rodovias do Estado do Ceará, objeto deste estudo.

Nos levantamentos automatizados o veículo é equipado com câmeras de vídeo-filmagem e também fotográfica. O deslocamento na rodovia varia entre a velocidade de 30 km/h e 110 km/h. Este levantamento permite que por meio de sensores computadorizados sejam separados e codificados os defeitos quanto aos tipos, severidade e integridade assim como a integração destas imagens com dados de construção dos pavimentos. Os filmes são analisados posteriormente em escritório com equipamento especialmente projetado.

Dentre os diversos equipamentos existentes para levantamentos automáticos, destacam-se:

ARAN – *Roadware's Road Automatic Analyzer* (ARAN) (Figura 2.13). É um veículo modificado que possui um extenso conjunto de sensores (incluindo laser, sensores ultra-sônicos, acelerômetros, sistemas de posicionamento global, giroscópio, vídeo e máquina visão sistemas) e computadores, juntamente com outros subsistemas de tecnologia altamente avançada. Ele é capaz de medir até 15 diferentes itens de dados em uma única passagem, com alta precisão.



Figura 2. 13: Visão Esquemática do ARAN

GERPHO System (Figura 2.14) – o sistema GERPHO registra as condições da superfície do pavimento através de fotografias em filme de 35 mm. O equipamento é instalado em uma camioneta.

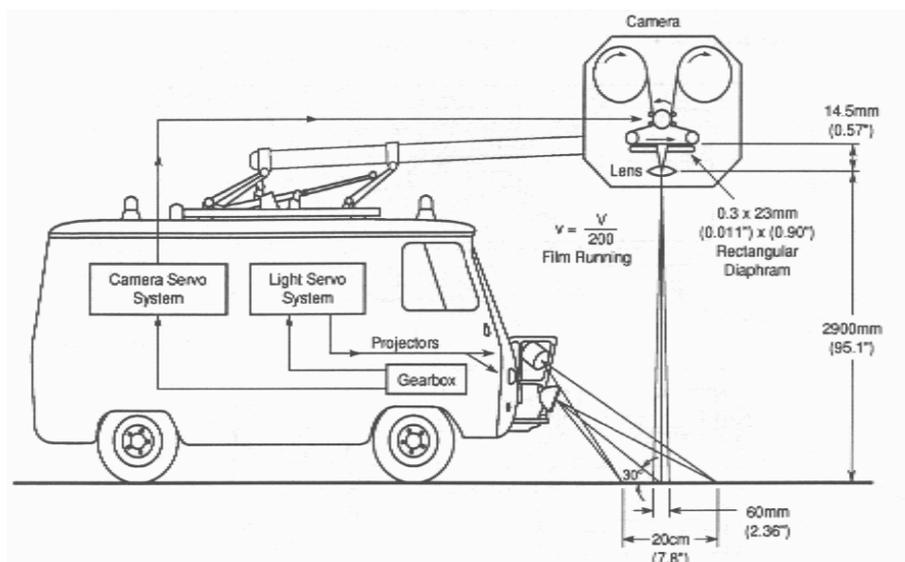


Figura 2. 14: Visão Esquemática do GERPHO System

Com os dados dos levantamentos é possível a obtenção de índices de degradação (números calculados de forma sistemática através da atribuição de escala de valores e fatores de ponderação para cada tipo de defeito avaliado). Exemplos de índices: Índice de Condição do Pavimento (ICP) ou *Pavement Condition Index*, e o Índice de Gravidade Global (IGG).

O Índice de Condição do Pavimento (ICP) é dado pela equação 2.1. Este índice é similar ao utilizado pelo SIGMA e foco desta dissertação.

$$ICP = 100 - \sum \sum_{ik} D_{ij} \times f_{ij} \quad (2.1)$$

onde:

D_{ij} - extensão do defeito i com o nível de severidade j ;

f_{ij} - fator de ponderação do defeito i com o nível de severidade j .

Para a avaliação objetiva das condições de superfície dos pavimentos, o DNER normaliza dois procedimentos: DNIT 006/2003 PRO (antiga DNER - PRO 008/94) e DNIT 007/2003 PRO (antiga DNER-ES 128/83). A aplicação destes dois procedimentos pode ser tanto em programa em nível de rede como em nível de projeto.

O procedimento DNIT 007/2003 PRO tem atualmente sua concepção original dirigida para Sistemas de Gerência de Pavimentos como também para projetos de reforço. Os levantamentos são efetuados por caminhamento e por amostragem. O

objetivo é possibilitar o cálculo da percentagem de área afetada por cada tipo de defeito de segmentos homogêneos pré-estabelecidos.

O levantamento dos defeitos é executado apenas em seis superfícies de avaliação com seis metros de comprimento, sendo que duas destas superfícies são retiradas de cada um dos três segmentos-testemunha de 100 m selecionados de um subtrecho homogêneo.

Todos os defeitos encontrados nas seis superfícies de avaliação são levantados, tendo cada defeito demarcado pelo retângulo que o circunscreve. A área desse retângulo é anotada numa ficha constante da Norma. Para as trincas isoladas, convencionou-se adotar 0,15 m como largura do retângulo.

De acordo com a referida Norma, os defeitos são classificados e codificados através da norma DNIT 005/2003-TER.

Ainda de acordo com a Norma DNIT, 007/2003 PRO, as medições da flecha na trilha de roda são realizadas na seção transversal média de cada superfície de avaliação, nas trilhas de roda interna e externa de ambas as faixas de tráfego.

Já a norma DNIT 006/2003 - PRO (antiga DNER - PRO 008/94) Tem como objetivo a obtenção do Índice de Gravidade Global – IGG. Ela fixa as condições exigíveis na avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos e estabelece um cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG), parâmetro numérico que representa uma qualificação geral do estado do pavimento, em função de uma combinação de defeitos que o mesmo apresenta.

O IGG é uma adaptação para as condições brasileiras desenvolvida pelo Engº Armando Martins Pereira do “*Severity Index*”, proveniente de estudos experimentais americanos e canadenses.

O IGG é bastante utilizado em projetos rodoviários pelas empresas de consultoria brasileiras. Entretanto, não é aconselhável que seja empregado em pavimentos com revestimento por penetração devido a não adequação de classificação de falhas e dos próprios fatores de ponderação a este tipo de revestimento.

Para o cálculo do IGG primeiro são levantados os defeitos de acordo com a codificação da Norma DNIT 005/2003-TER.

O levantamento dos defeitos é executado a cada 20,00 m, alternados em relação ao eixo da pista do rolamento. As superfícies de avaliação são demarcadas sobre o pavimento recebendo um número correspondente à estaca ou distância ao marco quilométrico.

Assim são avaliados três metros avante da estaca demarcada e três metros à ré. Depois são calculadas as frequências absolutas e relativas das ocorrências inventariadas.

A frequência absoluta (fa) corresponde ao número de vezes em que a ocorrência foi verificada. A frequência relativa (fr) é obtida através da equação 2.2:

$$fr = \frac{fa \times 100}{n} \quad (2.2)$$

onde:

fr é a frequência relativa;

fa é a frequência absoluta;

n é o número de estações inventariadas.

A seguir, multiplicam-se as frequências relativas pelos fatores de ponderação apresentados na Tabela 2.3 (DNIT, 006/2003 - PRO) para os oito tipos de defeitos levantados. Em função destes fatores é calculado o Índice de Gravidade Individual (IGI), usando a equação 2.3. O Índice de Gravidade Global (IGG) é obtido pela equação 2.4.

Tabela 2.3: Fatores de ponderação para defeitos de superfície (DNIT, 006/2003).

GRUPO	SÍMBOLO	FP
1	FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR (FC-1)	0,2
2	J (Couro de jacaré), TB (Trincas em bloco) (FC-2)	0,5
3	JE, TBE (FC-3)	0,8
4	ALP (Afundamento Plástico Local), ATP (trilha de roda)	0,9
5	O (Corrugação), P (Panela)	1,0

6	EX (Exsudação)	0,5
7	D (Desgaste)	0,3
8	R (Superficial ou Profundo)	0,6

$$IGI = \sum(fr \times fp) \quad (2.3)$$

$$IGG = \sum IGI \quad (2.4)$$

onde:

fr é a frequência relativa obtida pela razão entre a frequência absoluta (número de incidência dos defeitos) e o número de estações levantadas;
 fp é o fator de ponderação.

A Tabela 2.4 mostra as condições do pavimento em função do IGG definindo a correspondência entre conceitos e limites.

Tabela 2.4: Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG (DNIT, 006/2003).

CONCEITOS	LIMITES
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

2.7.3 Levantamento de Irregularidade Longitudinal

A irregularidade dos pavimentos pode ser definida como o desvio da superfície da rodovia, em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via (DNER PRO 164/94, 1994). Também é determinante na avaliação da eficiência de uma rodovia, por isso uma série de métodos e equipamentos tem sido desenvolvidos para medir esta variável.

A causa da irregularidade da via tem motivos variados. Podem ser causadas por falhas construtivas ou estruturais, pela concepção do pavimento, pelos defeitos causados

pelo tráfego, etc. A velocidade do veículo interfere na sensação de conforto dos usuários e por isso deve ser considerada na parametrização da medida.

Afeta, também, diretamente o custo dos usuários. Quanto maior for a irregularidade maiores são os gastos com manutenção e operação dos veículos, além de aumentar o tempo de viagem.

A segurança da via e o conforto é afetado pela irregularidade que engloba as distorções de diversos tipos de defeito, apesar de que alguns contribuem mais do que outros e não obedecem a uma ordem de importância. O deslocamento lateral é gerado pelas curvas horizontais e pelas elevações transversais diferenciadas do pavimento (HASS *et al.*, 1994).

Outros fatores que, também, interferem na definição da irregularidade é o comprimento e a amplitude das ondas. BENEVIDES (2006) apresenta a classificação seguinte:

- Ondas curtas, possuem $0,50 \text{ m} \leq \lambda \leq 5 \text{ m}$ e $1 \text{ mm} \leq A1 \leq 20 \text{ mm}$
- Ondas médias, possuem $5 \text{ m} \leq \lambda \leq 15 \text{ m}$ e $5 \text{ mm} \leq A1 \leq 50 \text{ mm}$
- Ondas longas, possuem $15 \text{ m} \leq \lambda \leq 50 \text{ m}$ e $10 \text{ mm} \leq A1 \leq 200 \text{ mm}$

Ondas com dimensões superiores aos intervalos apresentados não são consideradas como irregularidade longitudinal e as ondas com dimensões inferiores são consideradas somente na avaliação de microtextura, macrotextura e megatextura.

Diversos autores citam e classificam os equipamentos de medição de irregularidade, dentre eles, MARCON (1996), HAAS *et al.* (1994), BENEVIDES (2006), BARELLA (2008). Os equipamentos podem ser divididos em:

- a) **Sistemas de medidas diretas do perfil** – são procedimentos que utilizam medidas diretas da geometria vertical. A irregularidade é obtida por processamentos estatísticos.
- Método estático nível e mira – são utilizados para calibração dos medidores de irregularidade do tipo resposta ou em trechos de estudo. Consiste no

nivelamento da trilha de roda (interna e externa) obtido com espaçamento regular (0,50 m).

- Método estático com uso do Dipstick (Figura 2.15) - consiste de uma base com dois suportes (pés) afastados de 30 cm, um inclinômetro e um computador interno alimentado por bateria, tem como objetivo verificar os resultados dos perfilômetros inerciais.



Figura 2.15: Fotografia do Dipstick (esq.); desenho esquemático do Dipstick em operação (centro); e fotografia do perfilômetro Walking Profiler (dir.) (BARELLA, 2008)

- b) **Sistemas de medidas indiretas do perfil** são equipamentos mecanizados que medem o coeficiente de irregularidade, amplitude e comprimento de onda.
- Perfilômetro dinâmico de superfície – GMR possui um sistema inercial, sensores de medição sem contato, geralmente via laser, O equipamento GMR possui uma roda apalpadora, independente das rodas do veículo, que era mantida em contato com o pavimento e suportada por uma haste inclinada. Toda a movimentação desta haste era registrada, assim como todo o movimento inercial do veículo (aceleração vertical) para que depois fosse possível calcular o perfil longitudinal.
 - Perfilômetro CHLOE – Foi utilizado na pista da AASHO para avaliação objetiva da irregularidade. O CHLOE, mostrado nas Figuras 2.16 e 2.17,

registra o ângulo θ , em intervalos de 30,5 cm (1 *foot* = 1 pé), nas seções dos pavimentos, enquanto está sendo rebocado com uma velocidade de 8 km/h, sendo θ , o ângulo entre a linha que liga o centro de suporte das rodas do perfilômetro e o veículo, e a linha que conecta o centro de duas pequenas rodas do perfilômetro. Devido à variação do ângulo θ raramente exceder 3° , o seu valor é registrado em radianos. É um equipamento de boa repetibilidade, entretanto, não tem capacidade de medir comprimentos de onda maiores do que 3,66 m (12 ft) (BENEVIDES, 2006).

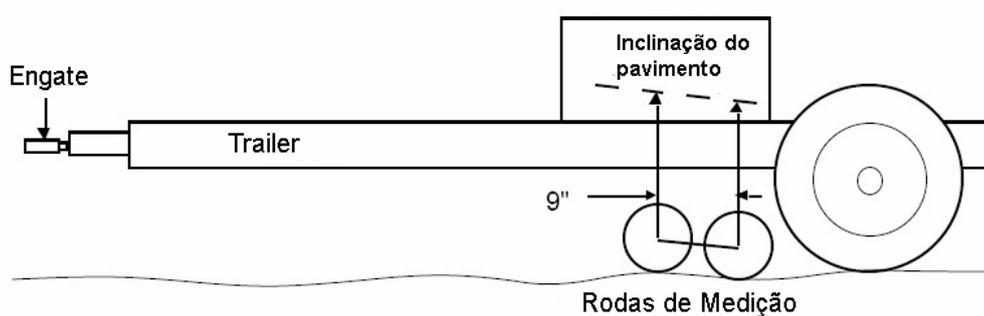


Figura 2. 16: Desenho esquemático do perfilômetro CHLOE (BARELLA, 2008)

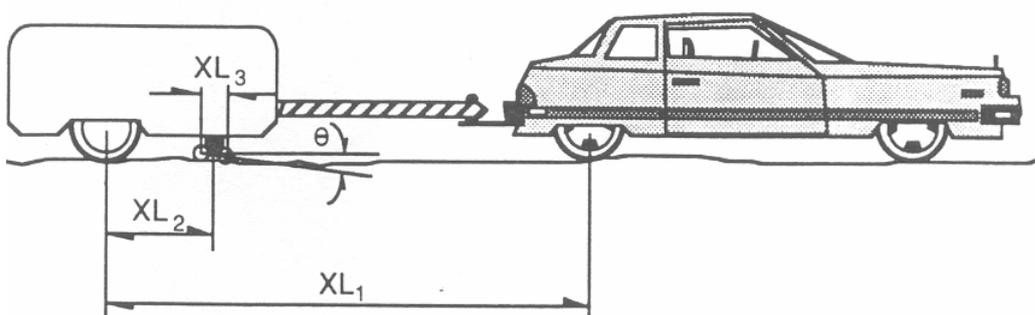


Figura 2. 17: Esquema do Perfilômetro CHLOE utilizado no AASHO Road Test (BENEVIDES, 2006)

- MERLIN (Figura 2.18) (*Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation*) desenvolvido na Inglaterra pelo TRRL, *Transport and Road Research Laboratory* tem a vantagem de ser um equipamento de baixo custo e serve tanto para verificação de base de calibração para os equipamentos tipo resposta quanto para levantamento de trechos de pequena extensão. Trata-se de um instrumento formado por três pontos de apoio, sendo dois fixos externos distanciados de 180 cm e o terceiro, um ponto médio, móvel, além de uma roda e de um pé. O terceiro ponto movimenta um braço mecânico, que se desloca sobre uma folha de papel quadriculada de 5 * 5 mm, onde são registrados os deslocamentos, reproduzindo assim o desnível entre os dois apoios do equipamento. O aparelho é conduzido manualmente pelo operador.

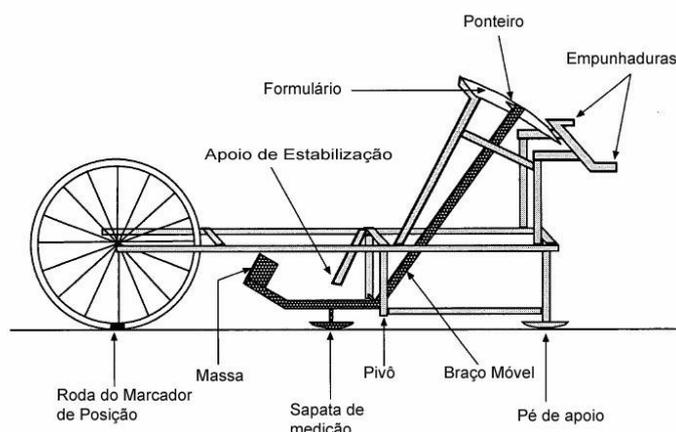


Figura 2. 18: Desenho esquemático do equipamento MERLIN (BARELLA, 2008)

- Analisador de perfil longitudinal – APL (Figura 2.19), foi criado pelo *Laboratoire Central des Ponts de Chaussées – LCPC*, é um equipamento rebocável de uma roda só, capaz de gerar como resultado a influência do perfil longitudinal do pavimento sobre o equipamento.

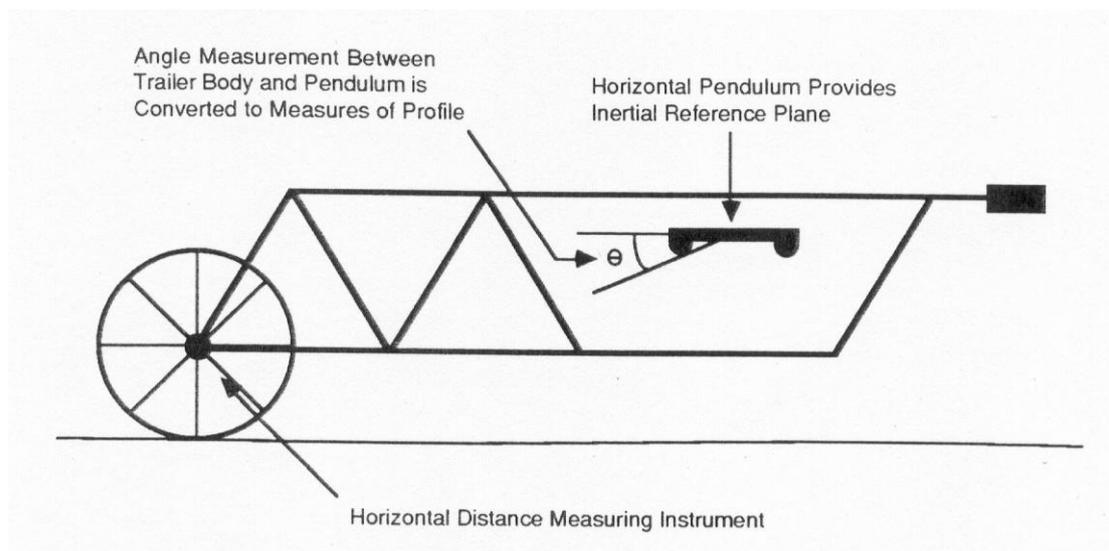


Figura 2. 19: Esquema do equipamento APL (HASS et al., 1994)

c) **Sistemas baseados na reação do veículo ou tipo resposta (SMITR)** é um sistema que determina a irregularidade de forma indireta. Um veículo é equipado com um equipamento que mede acumulativamente o deslocamento entre a carroceria e seus eixos traseiro ou dianteiro do veículo. Esse levantamento necessita de bases de calibração que, no Brasil, obedece a Norma DNER-ES 173/86 - Método de Nível e Mira para Determinação de Irregularidade de Rodovias. Essas bases também podem ser realizadas com outros instrumentos como o Dipstick e o Merlin. Para cada base são determinados os valores do IRI ou QI e a leitura do equipamento. Então, pode ser estabelecida uma correlação pela aplicação do método dos mínimos quadrados a um conjunto de pares (IRI) e $(L)_i$, obtidos dos diversos trechos de referência de distintas irregularidades. Dependendo da qualidade das bases, as irregularidades muito baixas e muito altas podem ser de difícil mensuração. Os mais citados são: Rugosímetro BPR - *Bureau of Public Road*, Sistema integrador IPR/USP, desenvolvido pelo Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico de Transporte UNTT/USP em convênio com o IPR/DNER, *Bump Integrator* (Figura 2.20), desenvolvido pelo TRRL, na Inglaterra e *Mays Ride Meter* ou *Maysmeter* (Figura 2.21) que foi desenvolvido nos anos 1960 para o *Texas Highway Department*.



Figura 2. 20: Parte de um SMITR (DOMINGUES, 2003)

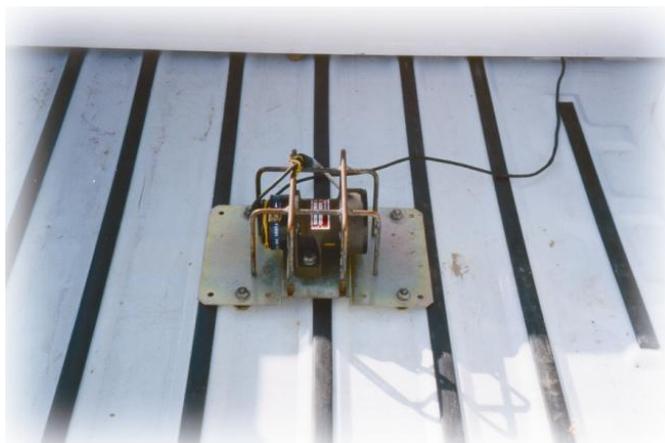


Figura 2. 21: Parte de um *Bump Integrator*

d) Sistema de medida com equipamentos com sensores sem contato dos tipos óptico, ultra-sônico ou a laser são aparelhos automatizados que coletam dados do perfil da rodovia em pontos discretos através de onda sonora ou raio laser emitidos de dispositivos instalados no veículo. Após os levantamentos, com auxílio de um software específico para cada aparelho, são calculadas as elevações, distâncias e índices de irregularidade. Os mais citados são:

- Perfilômetro Laser do TRRL, *Transport and Road Research Laboratory of England* - é do tipo não inercial, desenvolvido nos anos 1970, sendo equipado com quatro medidores a laser, adaptados em seqüência.
- ARAN – *Automatic Road Analyser* - este equipamento, analisador automático da superfície do pavimento, mede afundamento de trilha de roda, perfil transversal e irregularidade.
- DYNATEST MARK II RSP - *ROAD SURFACE PROFILER* - este equipamento automatizado é capaz de medir continuamente e em altas velocidades os perfis

longitudinais, IRI e o “número de rolamento”, *Ride Number*, RN, perfil transversal, afundamento de trilha de roda, macrotextura e curvatura. Além disso, o equipamento permite uma fácil integração com o Sistema de Informações Geográficas – SIG.

- *Laser Road Surface Test (RST)* - desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa de Rodovias e Tráfego da Suécia.
- Perfilômetro a *laser* da Cibernétrica - desenvolvido pela Cibernétrica/Solotest e muito usado no Brasil, Figura 2.22.



Figura 2. 22: Exemplo de Perfilômetro a *laser* da Cibernétrica

Após o levantamento de campo os dados devem ser processados para a determinação do IRI. É importante lembrar que tal índice representa a passagem de um modelo de quarto de carro com parâmetros preconcebidos por um perfil longitudinal. Pode-se dizer que tal modelo mecânico funciona como filtro passa-banda, ou seja, um filtro que retira do “sinal” determinados comprimentos de onda menores que um determinado valor e maiores que outro valor.

Portanto, existe mais de uma maneira de se calcular o IRI de um determinado perfil: usando-se um computador analógico e um perfil contínuo; por integração numérica computacional; por correlação com outros índices e por fim, através do uso de uma matriz de transição de estado.

A maneira mais comum de cálculo, que é aquela prevista nos algoritmos das normas norte-americanas mencionadas, faz o uso do último método citado: a matriz de transição de estado.

O cálculo por este método é realizado através de 4 variáveis que são função do perfil medido (equações 2.5 e 2.6). Tais variáveis simulam a resposta dinâmica do veículo de referência, simulando seu tráfego sobre o perfil. As equações das quatro variáveis são resolvidas para cada ponto do perfil, com exceção do primeiro ponto. A inclinação média dos primeiros 11 metros do perfil é usada para iniciar as variáveis conforme a equação 2.7.

$$Z1' = z3' = \frac{(Ya - Y1)}{11} \quad (2.5)$$

$$Z2' = Z4' = 0 \quad (2.6)$$

$$a = \frac{11}{dx + 1} \quad (2.7)$$

onde:

Ya é a elevação do ponto a do perfil (mm);

$Y1$ é a elevação do primeiro ponto do perfil (mm);

dx é o intervalo entre os pontos do perfil (m).

Sendo assim, para o caso de $dx = 0,50$ m, $a = 23$. O próximo passo é resolver as equações 2.8 a 2.11 para cada ponto do perfil, partindo do segundo ponto até o último.

$$Z1 = S11 \times Z1' + S12 \times Z2' + S13 \times Z3' + S14 \times Z4' + P1 \times Y' \quad (2.8)$$

$$Z2 = S21 \times Z1' + S22 \times Z2' + S23 \times Z3' + S24 \times Z4' + P2 \times Y' \quad (2.9)$$

$$Z3 = S31 \times Z1' + S32 \times Z2' + S33 \times Z3' + S34 \times Z4' + P3 \times Y' \quad (2.10)$$

$$Z4 = S41 \times Z1' + S42 \times Z2' + S43 \times Z3' + S44 \times Z4' + P4 \times Y' \quad (2.11)$$

onde:

$$Y' = \frac{(Y_i - Y_{i-1})}{dx} \quad (2.12)$$

$Zj' = Zj$ da posição anterior $j = 1$ a 4.

S_{ij} e P_j são coeficientes fixados para um determinado intervalo dx .

Tais coeficientes estão disponíveis em Sayers *et al.* (1986) na forma de matrizes para os espaçamentos mais comuns e podem também ser calculados para outros espaçamentos.

A conversão do IRI - *International Roughness Index* para QI - Quociente de Irregularidade muito usado no Brasil foi alvo de vários estudos com o objetivo de padronização de uma referência internacional para a irregularidade longitudinal. O *International Road Roughness Experiment* (IRRE) fixou a conversão pela equação 2.13, que se sugere seja adotada:

$$IRI = \frac{QI + 10}{14} \quad (2.13)$$

SAYERS *et al.* (1986) estabeleceu a relação (equação 2.14):

$$IRI = \frac{QI}{13} \quad (2.14)$$

sendo:

IRI em m/km e QI em cont/km.

2.7.4 Mancha de Areia

O ensaio da mancha de areia (Figura 2.23) ainda é pouco usado no Brasil para definir a textura do pavimento. Devido a regras contratuais algumas concessionárias estão realizando sistematicamente esse ensaio. O autor da presente dissertação entende que em um sistema de gerência de pavimentos deveriam constar essas informações, pois é um levantamento rápido e de custo baixo.



Figura 2. 23: Exemplo de um Ensaio da Mancha de Areia

O processo de mensuração da macrotextura, pelo método da altura de areia (ASTM E965-96), consiste em espalhar, com movimentos circulares de um dispositivo apropriado (espalhador de madeira com revestimento de borracha) na superfície do pavimento, um volume conhecido de areia ou microesferas de vidro ($25000\text{mm}^3 \pm 150\text{mm}^3$). Mede-se o tamanho da mancha em 4 direções, e então, com a média, calcula-se a altura da macrotextura, ou altura de areia, pela equação 2.15:

$$HS_m = \frac{4 \times V}{\pi \times D_m^2} \quad (2.15)$$

onde:

HS_m é a altura média da mancha de areia, cm;

V é o volume padrão de areia = 25 cm^3 ;

D_m é o diâmetro médio da mancha obtida do espalhamento da areia.

A classificação da macrotextura do revestimento do pavimento em função da resistência à derrapagem, segundo o Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos (DNER, 1998), mostrada na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Classificação da macro-textura (DNER, 1998)

PROFUNDIDADE MÉDIA	TEXTURA SUPERFICIAL
HS < 0,02 cm	Muito fina ou muito fechada
0,02 cm < HS < 0,04 cm	Fina ou fechada
0,04 cm < HS < 0,08 cm	Média
0,08 cm < HS < 0,12 cm	Grosseira ou aberta
HS < 0,12 cm	Muito grosseira ou muito aberta

2.7.5 Pêndulo Britânico

Como o ensaio da mancha de areia, o ensaio que determina a resistência à derrapagem, conhecido como Pêndulo Britânico (Figura 2.24), também é pouco usado, sendo seu uso restrito a trechos de concessionárias, aeroportos e levantamentos pontuais.

**Figura 2. 24:** Pêndulo Britânico

O Pêndulo Britânico é um equipamento de fácil trabalhabilidade, que mede a resistência ao atrito entre a tira de borracha localizada no final do braço do pêndulo e a superfície da via simulando um veículo a 50 km/h. PEREIRA (1998) apresenta valores

mínimos sugeridos da resistência à derrapagem medida com o Pêndulo Britânico, conforme Tabela 2.6.

Tabela 2.6: Valores mínimos sugeridos para a resistência à derrapagem medida com o Pêndulo Britânico (PEREIRA, 1998)

CATEGORIA	TIPO DE LOCAL	VALOR MÍNIMO (SUPERFÍCIE MOLHADA)
A	Pistas Circulares Curvas com raio maior que 1,5 m em qualquer via Rampas com 1:20 ou inclinações > 100 m de comprimento Acesso para tráfego leve qualquer rodovia	0,65mm
B	Rodovias Nacionais, Classe 1, vias urbanas de tráfego intenso > 20.000 veículos por dia	0,55mm
C	Todos os demais locais	0,45mm

2.7.6 Levantamento Deflectométrico

Dentre os levantamentos de campo para a avaliação técnica dos sistemas de gerência de pavimentos situa-se a aquisição de informações deflectométricas. Com essa informação é possível verificar as condições estruturais e o grau de deterioração do pavimento.

Dentre os aparelhos existentes destacam-se: a viga Benkelman automatizada ou não e os deflectômetros de impacto FWD (*Falling Weight Deflectometer*). A avaliação estrutural de pavimentos flexíveis por processos não-destrutivos teve grande impulso com o advento da viga Benkelman, idealizada por ocasião dos estudos relacionados à pistas experimentais da AASHTO. De grande simplicidade e robustez, este equipamento manteve larga utilização no meio rodoviário internacional e nacional, até que outras gerações de equipamentos, mais sofisticados e adequados, passaram gradualmente a ganhar espaço. Em relação à viga Benkelman convencional, os seguintes aspectos conduziram à limitação de seu uso:

- Necessidade de mobilização de um caminhão basculante lastreado, com os inevitáveis percalços para a logística e operacionalização dos trabalhos;

- Limitada possibilidade de obtenção de dados completos da deformada (o procedimento é possível, porém lento, oneroso e pouco preciso);
- Obtenção de deflexão em condição de tempo de aplicação de carga irreal (muito longo), em relação às cargas rodoviárias transientes.

Mesmo os equipamentos automatizados baseados no mesmo princípio da viga Benkelman (vigas eletrônicas e o deflectógrafo Lacroix, por exemplo) não conseguem superar por completo as dificuldades retro-citadas.

Os equipamentos de impulso ou de impacto (FWD – *Falling Weight Deflectometer*), visualizados nas Figuras 2.25 e 2.26, apresentaram-se como a solução mais moderna e adequada, permitindo simular com boa aproximação a ação de uma carga dinâmica rodoviária, inclusive no que diz respeito à sua magnitude.



Figura 2. 25: Exemplo de FWD – *Falling Weight Deflectometer* da marca KUAB



Figura 2. 26: Exemplo de FWD – *Falling Weight Deflectometer* da marca Dynaest

A operação do FWD é totalmente automatizada, sendo comandada a partir de um microcomputador instalado na cabine do veículo trator como mostra a Figura 2.27.



Figura 2. 27: Exemplo de sistema de aquisição de dados e controle de operação de um FWD – *Falling Weight Deflectometer* visão interna

No instante da medição de uma deformada, o equipamento é estacionado e um comando do operador faz com que um par de pernas metálicas rígidas seja abaixado, aliviando o peso sobre as rodas pneumáticas do equipamento e assegurando firmeza na sua posição durante o ensaio. A carenagem inferior é aberta e o sistema composto pela placa circular e pela barra que sustenta os sensores é apoiado sobre o pavimento.

A carga de impulso é gerada por um sistema de “peso batente” composto, na maioria dos casos, por duas massas conforme indicado na Figura 2.28 a seguir apresentado.

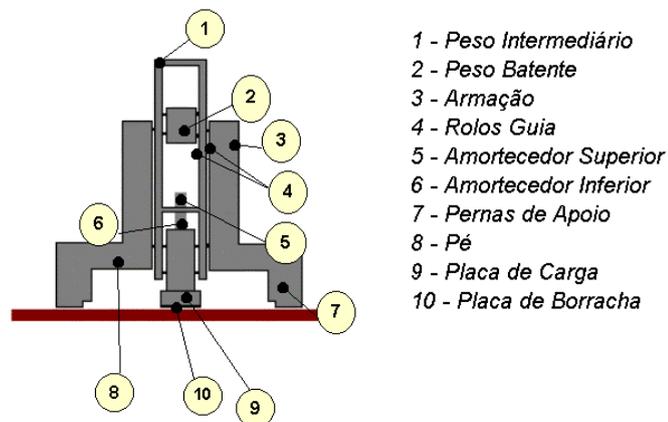


Figura 2. 28: esquema de carga de um FWD – *Falling Weight Deflectometer*

A armação ou estrutura principal direciona a unidade de impacto de forma perpendicular à superfície do pavimento. O sistema de peso batente é programado para cair a partir de uma altura compatível com a carga desejada conforme exemplo apresentado na Figura 2.29.

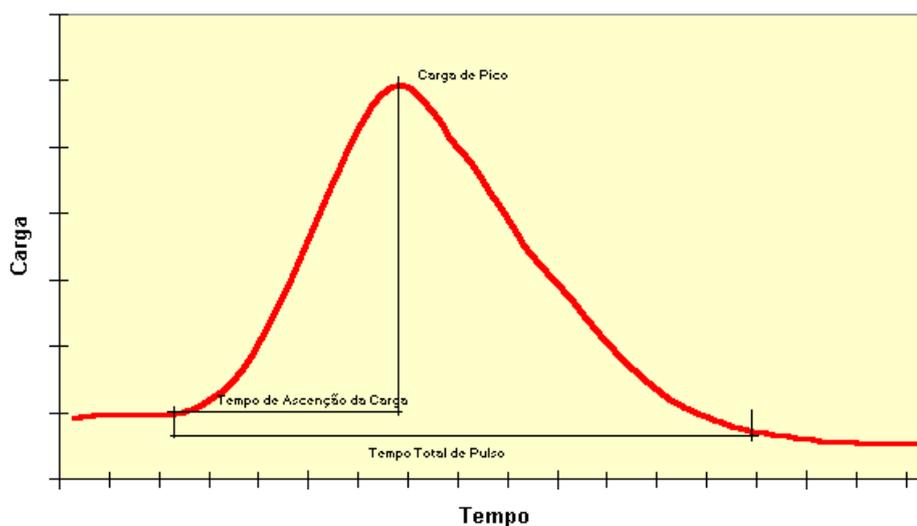


Figura 2. 29: esquema de leitura de carga de um FWD – *Falling Weight Deflectometer*

O KUAB 2m 50 FWD trabalha com um tempo total de pulso de 0,060 s e com tempo de ascensão da carga de 0,024 s. A carga de pico pode ser obtida, para este tempo de ascensão, no intervalo de 12 a 50 kN. O equipamento possui uma célula de carga, que permite registrar a carga de pico efetivamente aplicada em cada ensaio.

É equipado ainda com 7 (sete) transdutores de deflexão (sismômetros), que utilizam um sistema de massa inercial como referência e LVDT's como elementos de medição. É possível alterar a disposição dos sensores ao longo da barra de suporte, dentro de certos limites, para ajuste a estudos específicos. Os sismômetros são equipados com parafusos micrométricos, que permitem a sua adequada calibração estática, o que pode ser feito no próprio campo.

Um termômetro com princípio em raios infravermelhos registra, a cada determinação, a temperatura da superfície do pavimento. Simultaneamente, é também registrada a temperatura do ar.

Todos os dados do ensaio (carga de pico, deflexões, temperaturas, leituras do DMI) são automaticamente transferidos para o microcomputador, sendo registrados, por segurança, tanto em disquete como no disco rígido.

Considerando-se o FWD posicionado na estação de ensaio, a seqüência completa de operações para uma medição envolve as seguintes atividades:

- Abaixamento das pernas rígidas de suporte;
- Posicionamento da placa e sensores sobre o pavimento;
- Aplicação das duas cargas de impacto e registro da carga de pico e deflexões;
- Levantamento da placa e sensores;
- Levantamento das pernas rígidas.

Todo o processo descrito decorre em um tempo total da ordem de 35 s.

É utilizado como referência o procedimento normatizado pelo DNER: PRO-273/96 – Determinação de deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

2.8 MODELO DE DESEMPENHO

Os sistemas SGP utilizam modelos de desempenho para prever as condições futuras das estradas, a necessidade de intervenção com seu respectivo momento e as conseqüências de seu adiamento (PATERSON, 1987).

O modelo de desempenho é um processo adotado nos SGPs para depreciar índices ou medições que representam a condição funcional ou estrutural do pavimento dentro de um período de tempo, além de estimar sua condição futura. Essa estimativa é obtida por uma relação de causa e efeito (YSHIBA, 2003).

HASS *et al.* (1994) afirma que é necessário calcular a condição futura em anos de uma seção de pavimento ou rede viária. Devem ser conhecidas as taxas e projeções estimadas de depreciação e suas principais variáveis. Os autores apresentam como exemplo a evolução do defeito de trincas.

WATANATADA *et al.* (1987) *apud* MARCON (1996) relatam que seguimentos de rodovias com as mesmas características (número estrutural corrigido, tráfego, estrutura do pavimento etc.) apresentam comportamentos variados ao longo de sua extensão e debita o fato às condições de drenagem e da qualidade de construção. Esse comportamento já foi observado em diversos trechos pelo autor da presente dissertação, que considera que essa variação de comportamento também é visualizada no espaço e no tempo, onde por vários anos o desempenho é o mesmo e posteriormente a evolução torna-se heterogênea. Nas rodovias cearenses é possível verificar vários casos onde problemas de drenagem, principalmente em “greides colados” interferem significativamente na condição do trecho.

Os modelos tentam descrever a realidade, mas essa possui inúmeras variáveis, algumas de difícil mensuração. Então surgem as imprecisões ou erros nas estimativas. Estes erros podem ser maiores quando o pavimento estiver no início de sua vida útil e podem ser menores quanto mais próximos do fim (HAAS, 1994; MARCON 1996; BENEVIDES, 2006).

Deve-se considerar que esses erros são frutos de falhas nas informações que geraram o modelo ou mesmo falta de dados. Na prática é possível observar que alguns modelos matemáticos possuem maior precisão em determinadas condições. Como exemplo, pode-se citar a curva de correlação utilizada nos equipamentos de medição de irregularidade longitudinal tipo resposta (leituras *versus* IRI), onde se tem mais confiança nos IRI entre 2 m/km a 6 m/km do que nos valores de sua extremidade (IRI = 0 a 2 m/km e maior que 6 m/km).

YSHIBA (2003) comenta que a escolha do modelo de previsão de desempenho é crucial para a implementação de um SGP. MAHONEY (1990) *apud* HAAS (1994) classifica os modelos de desempenho de duas maneiras: probabilista e determinística. HASS (1994) propõe quatro divisões que são aceitas por vários autores e são apresentadas na seqüência.

- Puramente Mecanísticos – são baseados em parâmetros de respostas estruturais, possuem base teórica e não é necessária série histórica, tais como: tensão, deformação ou deflexão.
- Empírico-mecanístico – são modelos que usam parâmetros de resposta relacionados com a deterioração funcional ou estrutural com variáveis independentes, como suporte do subleito, solicitações do tráfego, espessuras e propriedades do pavimento etc., por meio de equações de regressão.
- Regressão Direta – são modelos desenvolvidos através de análises estatísticas de séries históricas e devem ser utilizados na região das informações. São relacionadas variáveis dependentes, tais como: trincamentos, panelas ou remendos, irregularidade longitudinal, etc., com as independentes, tais como: resistência do subleito, número de aplicações de carga, espessuras e propriedades das camadas, fatores ambientais, etc.
- Subjetivos – são modelos empíricos de fácil aplicação que utilizam as experiências do pessoal técnico através de informações adquiridas por entrevistas ou através do uso de processos de transição de Markov para gerar a condição futura, geralmente em termos de um índice de defeitos combinado (como o ICP, Índice de Condição dos Pavimentos).

Baseado na pesquisa ICR (PICR), QUEIROZ (1981) desenvolveu um modelo matemático de regressão múltipla pelo método dos mínimos quadrados e análise de cumeieira. As equações têm os seguintes objetivos:

- Cinco equações (2.16 a 2.20) para determinar a irregularidade longitudinal,
- Três equações para determinar a evolução dos trincamentos, e
- Uma para a estimativa da idade do pavimento.

a) Irregularidade longitudinal

$$\begin{aligned}
 QI &= 12,63 - 5,16ER + 3,31TS + 0,393A + 8,66 \left(\log \frac{NA}{NEC} \right) + 7,17 \times 10^{-5} + \\
 &+ (D_{VB} \times \log NA)^2 \\
 R^2 &= 0,52 \quad EP = 10,22
 \end{aligned} \tag{2.16}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Log}QI &= 1,487 - 0,1383ER + 0,000795A + 0,0224 \left(\log \frac{NA}{NEC} \right)^2 \\
 R^2 &= 0,26 \quad EP = 0,13
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

$$\begin{aligned}
 QI &= 21,8 - 7,52ER + 5,16TS + 0,515A + 7,22 \times 10^{-5} (D_{VB} \times \log NA)^2 \\
 R^2 &= 0,48 \quad EP = 10,58
 \end{aligned} \tag{2.18}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Log}QI &= 1,299 - 0,1072ER + 0,0415R + 0,0623A + 0,0856 \left(\log \frac{NA}{NEC} \right) + \\
 &+ 0,023(D_D \times \log NA) \\
 R^2 &= 0,36 \quad EP = 0,13
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Log}QI &= 1,391 + 0,1315ER + 0,0414R + 0,0751A + 0,0248D_D \times LN \\
 R^2 &= 0,32 \quad EP = 0,130
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

b) Equação para evolução das trincas representadas pelas equações 2.22 e 2.23. A equação 2.21 calcula a estimativa do valor de N necessário para alimentar as equações 2.22 e 2.23 até o surgimento da primeira trinca.

$$\text{Log}N = 1,205 + 5,96 \log NEC \tag{2.21}$$

$$R^2 = 0,52 \quad EP = 0,44$$

$$CR = -18,53 + 0,0456(D_{VB} \times \log NA) + 0,00501(D_{VB} \times A \times \log NA) \quad (2.22)$$

$$R^2 = 0,64 \quad EP = 12,62.$$

$$CR = -57,7 + 53,5 \left(\log \frac{NA}{NEC} \right) + 0,0313(A \times \log NA) \quad (2.23)$$

$$R^2 = 0,34 \quad EP = 17,12.$$

c) Determinação da idade estimada do pavimento.

$$IDADE = 11,46 - 0,0974D_{VB} + 0,1454CR + 2,51 \times 105 \left(\frac{CR}{TAC \times D_{VB}} \right) \quad (2.24)$$

$$R^2 = 0,42 \quad EP = 3,75.$$

onde:

QI é o quociente de irregularidade;

ER é a variável indicadora do estado de restauração (0 = construído e 1 = recapeado);

IDADE é a idade do pavimento desde a construção ou reabilitação, em anos;

NA é o número equivalente de operações de eixo padrão 8,2 ton, calculado pelo método da AASHTO;

NEC é o número estrutural corrigido;

TS é a variável indicadora do tipo de pavimento (0 = concreto asfáltico e 1 tratamento superficial duplo);

P é a percentagem da área do pavimento que recebeu reparos de remendos profundos;

D_{VB} é a deflexão máxima medida pela viga Benkelman, em 0,01 mm;

D_D é a deflexão máxima medida com o FWD.

$$\log NA = 1,205 + 5,96 \log SNC \quad (2.25)$$

$$R^2 = 0,52 \text{ (coeficiente de determinação)}$$

$$EP = 0,44 \text{ (erro padrão)}$$

em que:

CR = percentagem de área do pavimento com trincas tipo 2 e 3, e panelas.

TAC = taxa de aplicação de carga, isto é, número médio de eixos equivalentes por ano.

Os modelos de desempenhos desenvolvidos por MARCON (1996) basearam-se em informações de pavimentos de três regiões geológicas do Estado de Santa Catarina. Foram estudados cinco tipos de equações (linear, logarítmica, polinomial, exponencial e potencial) e adotada a que apresentou maior coeficiente de determinação R^2 . As equações relacionam idade ou o número equivalente de operações do eixo padrão com deflexão, índices de gravidade global, quociente de irregularidade longitudinal, trincamentos e profundidades médias das trilhas. A seguir são apresentadas algumas dessas equações referentes à região 1, a título ilustrativo.

a) Com a deflexão máxima (DEF_M) (equações 2.26 e 2.27):

$$DEF_M = 60,235 \times IDADE^{0,2002} \quad (2.26)$$

$$R^2 = 0,14$$

$$DEF_M = 26,097 \times NA^{0,0954} \quad (2.27)$$

$$R^2 = 0,19$$

b) Com o Índice de Gravidade Global (IGG) (equações 2.28 e 2.29):

$$IGG = 0,51 \times IDADE^2 - 3,24 \times IDADE + 16,86 \quad (2.28)$$

$$R^2 = 0,54$$

$$IGG = 0,0082 \times NA^{0,6011} \quad (2.29)$$

$$R^2 = 0,44$$

c) Com o Quociente de Irregularidade (QI) (equações 2.30 e 2.31):

$$QI = 21,891 \times e^{0,0339 \times IDADE} \quad (2.30)$$

$$R^2 = 0,43 \quad e = 2,7183$$

$$QI = 25,789 + 6,0 \times 10^{-6} \times NA - 3,0 \times 10^{-13} \times NA \quad (2.31)$$

$$R^2 = 0,32$$

d) Percentual da área do pavimento com trincamento total (ATR) (equações 2.32 e 2.33):

$$ATR = 0,039 \times IDADE^{3,1215} \quad (2.32)$$

$$R^2 = 0,48$$

$$ATR = 3,0 \times 10^{-8} \times NA^{1,3981} \quad (2.33)$$

$$R^2 = 0,53$$

e) Com a profundidade da trilha de roda, TRI em mm (equações 2.34 e 2.35):

$$TRI = 1,5739 + 0,1766 \times IDADE \quad (2.34)$$

$$R^2 = 0,24$$

$$TRI = 0,1262 \times NA^{0,2397} \quad (2.35)$$

$$R^2 = 0,28$$

onde:

DEF_M é a deflexão máxima média medida com a viga Benkelman, em mm;

IDADE é a idade do pavimento desde a abertura do tráfego, em anos;

NA é o número equivalente de solicitações do eixo padrão de 80 kN, calculado pelo método da AASHTO ou GEIPOT;

IGG é o Índice de Gravidade Global;

QI é o Quociente de Irregularidade, obtido com o Integrador de Irregularidade Longitudinal IPR/USP, em contagens/km;

ATR é o trincamento total de área do pavimento, em %;

TRI é a profundidade média de trilha de roda, em mm.

YSHIBA (2003) determinou um modelo de desempenho, através da análise de variância (ANOVA), utilizando dados do Estado do Paraná na região de basalto com levantamento realizados entre 1995 a 1998, escolhida, segundo o autor, pela sua importância. Estabeleceram, neste estudo, equações que representam os efeitos dos fatores expressos: idade, tráfego e número estrutural, sobre o desempenho dos pavimentos através da Irregularidade Longitudinal (IRI, em m/km) e Deflexão dos pavimentos (DEF, deflexão Benkelman, $\text{mm}10^{-2}$), com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), apresentadas nas expressões 2.36 a 2.39.

a) Irregularidade longitudinal de pavimentos não reabilitados e avaliados em 1995:

$$\begin{aligned} IRI &= 2,8 + 0,38 \times P(I) + 0,31 \times P(N) - 0,16 \times P(S) + 0,09 \times P(I) \times P(N) - \\ &\quad - 0,08 \times P(I) \times P(S) \\ R^2 &= 0,75 \end{aligned} \quad (2.36)$$

b) Deflexão máxima recuperável de pavimentos não reabilitados e avaliados em 1995:

$$\begin{aligned} DEF &= 56,0 + 8,7 \times P(I) + 4,25 \times P(N) - 4,75 \times P(S) + 1,81 \times P(I) \times P(S) \\ R^2 &= 0,62 \end{aligned} \quad (2.37)$$

c) Irregularidade longitudinal de pavimentos reabilitados e avaliados em 1995:

$$\begin{aligned} IRI &= 2,37 + 0,12 \times P(I) + 0,22 \times P(N) - 0,14 \times P(S) \\ R^2 &= 0,81 \end{aligned} \quad (2.38)$$

d) Deflexão máxima recuperável de pavimentos reabilitados e avaliados em 1995:

$$\begin{aligned} DEF &= 47,2 + 2,2 \times P(I) + 3,81 \times P(N) - 2,7 \times P(S) + 1,44 \times P(N) \times P(S) \\ R^2 &= 0,83 \end{aligned} \quad (2.39)$$

em que:

$$P(I) = \frac{(I-13)}{8}$$

$$P(N) = \frac{(N-5) \times (10-4)}{10-5}$$

$$P(S) = \frac{S-5,5}{2}$$

I é a idade em anos;

N é o número de solicitações do tráfego;

S é o número estrutural corrigido.

CAPÍTULO 3

ASPECTOS AMBIENTAIS DO LOCAL DO ESTUDO

O estado do Ceará, situado na região Nordeste do Brasil (Figura 3.1) tem 148.825,602 km² conforme informação do Instituto de Pesquisas Econômica do Ceará – IPECE (2007) e 573 km de extensão da linha de costa. A Tabela 3.1 apresenta as coordenadas geográficas limites do estado.

Tabela 3.1: Pontos extremos do Ceará (IPECE, 2007)

SITUAÇÃO GEOGRÁFICA	LATITUDE	LONGITUDE
Norte	- 02°47'00"	- 40°29'54"
Sul	- 07°51'30"	- 39°05'28"
Leste	- 04°49'53"	- 37°15'11"
Oeste	- 03°22'11"	- 41°26'10"

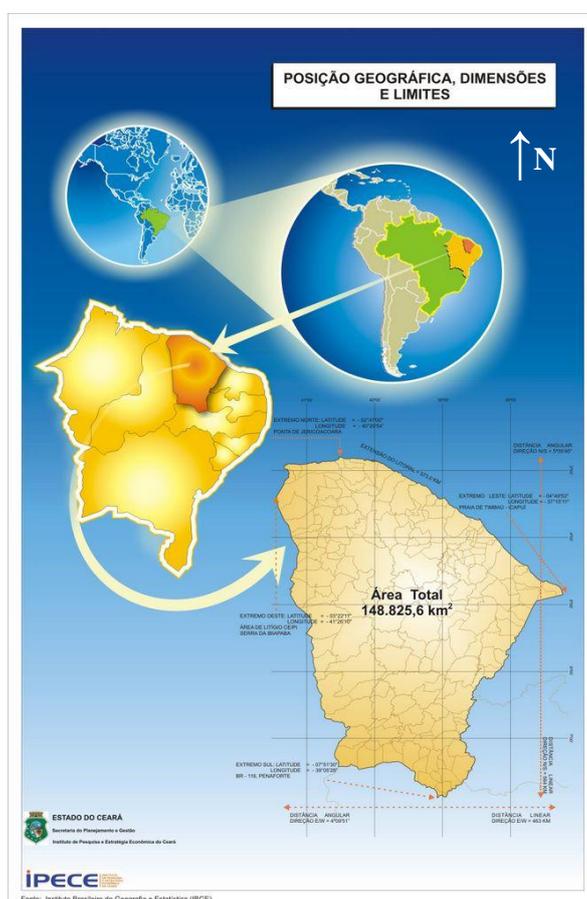


Figura 3. 1: Mapa de Situação do Estado do Ceará (IPECE, 2007)

De acordo com dados do IPECE (2007) o estado do Ceará possui de 8,1 milhões pessoas. O comportamento da taxa de urbanização merece destaque, o qual apresenta uma tendência ascendente bastante acentuada. Essa taxa, que em 1940 estava em torno de 22,7%, alcança 71,5% em 2000 e 76,52% em 2004. Entretanto, vale ressaltar o fato de que a taxa de crescimento da população urbana tem apresentado desde a década de oitenta, comportamento descendente. Fenômeno este ratificado pela queda de aceleração do despovoamento do interior cearense. A Figura 3.2 apresenta o mapa de densidade demográfica do Estado do Ceará (IPECE, 2007).

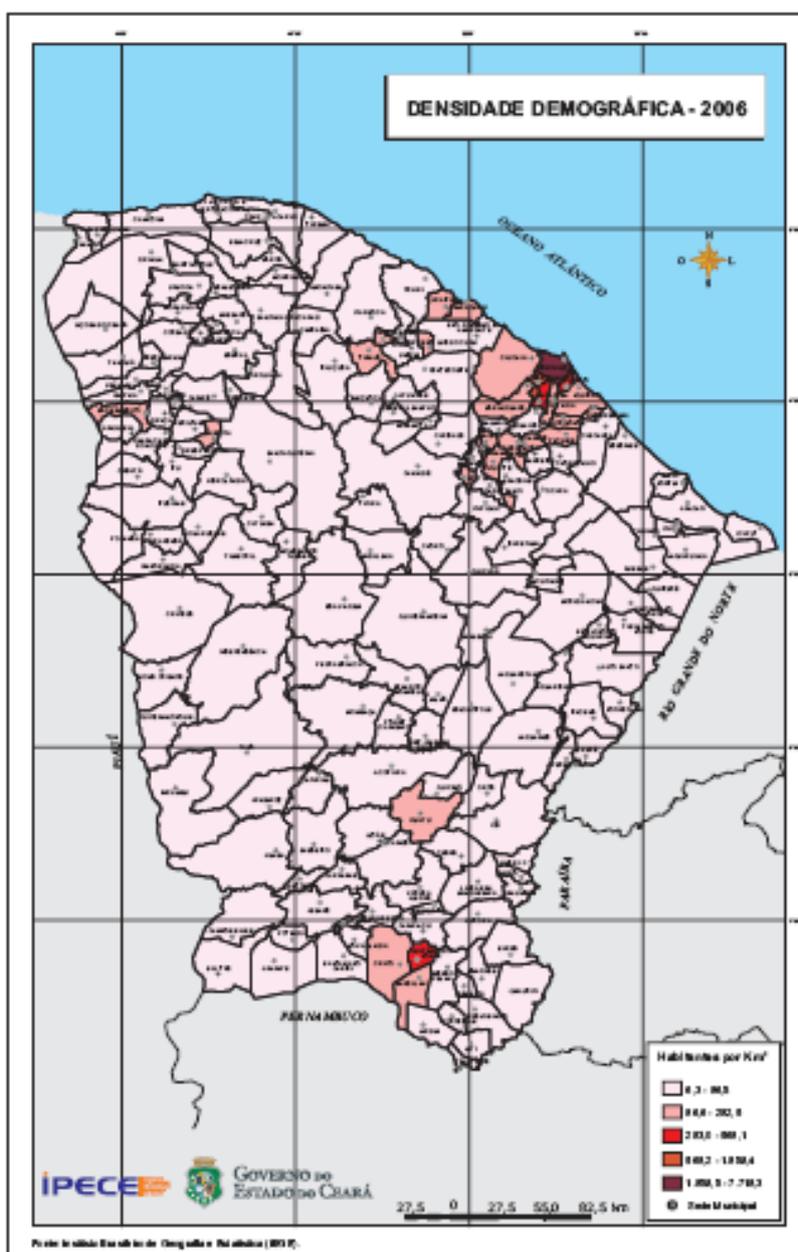


Figura 3. 2: Mapa de Densidade Demográfica do Estado do Ceará (IPECE, 2007)

O estado do Ceará tem as chuvas concentradas em um período de 3 a 5 meses do ano (janeiro a maio), com um média de precipitação de 775 mm e um coeficiente de variação de 30%. Isso motiva que o Levantamento Visual Contínuo seja realizado anualmente entre os meses de setembro a outubro, evitando os períodos chuvosos.

As médias térmicas são elevadas, variando de 23° a 27°C com forte insolação, numa média de 2.800 horas/ano. A umidade relativa do ar é de 82% no litoral e inferior a 70% no sertão.

Tratando-se do clima no espaço estadual, constata-se que a presença de fatores como a altitude (que chega até 1.100 m) e a proximidade do mar cria as condições climáticas mais favoráveis, com temperatura amena e regime pluviométrico mais regular. Assim, as temperaturas médias observadas, por região, são:

- Litoral: com clima quente e úmido, suas médias térmicas são de 26°C a 27°C, com máximas de 30°C e mínimas de 19°C;
- Serras: com clima frio e úmido, têm médias térmicas em torno de 22°C, com máximas de 27° e mínimas de 17°C;
- Sertão: de clima semi-árido, têm médias térmicas máximas entre 32°C e 33°C, e média das mínimas de 23°C (nas noites).

A temperatura média da água do Atlântico está entre 25° e 28°C, com salinidade entre 36% e 37%. Os ventos são alísios, permanentes, com constantes correntes vindas do sudeste com velocidade entre 5,6 e 8,0 km/h.

As características de Clima e Temperatura interferem diretamente na curva de evolução da deterioração dos pavimentos, onde o período chuvoso é determinante. As Figuras 3.3 e 3.4 apresentam os mapas de tipos climáticos e precipitação pluviométrica, respectivamente do estado.

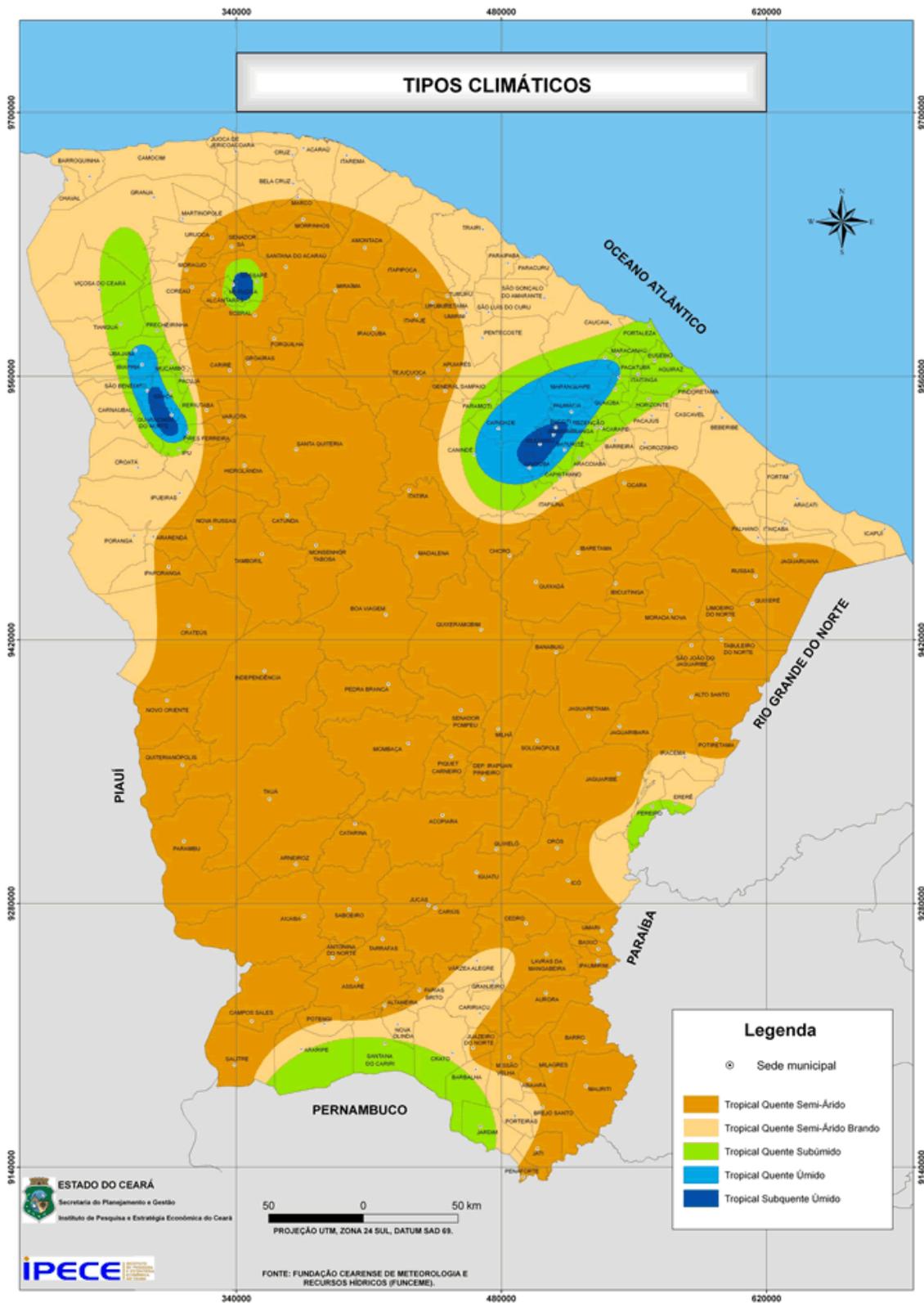


Figura 3. 3: Mapa de Tipos Climáticos do Estado do Ceará (IPECE, 2007)

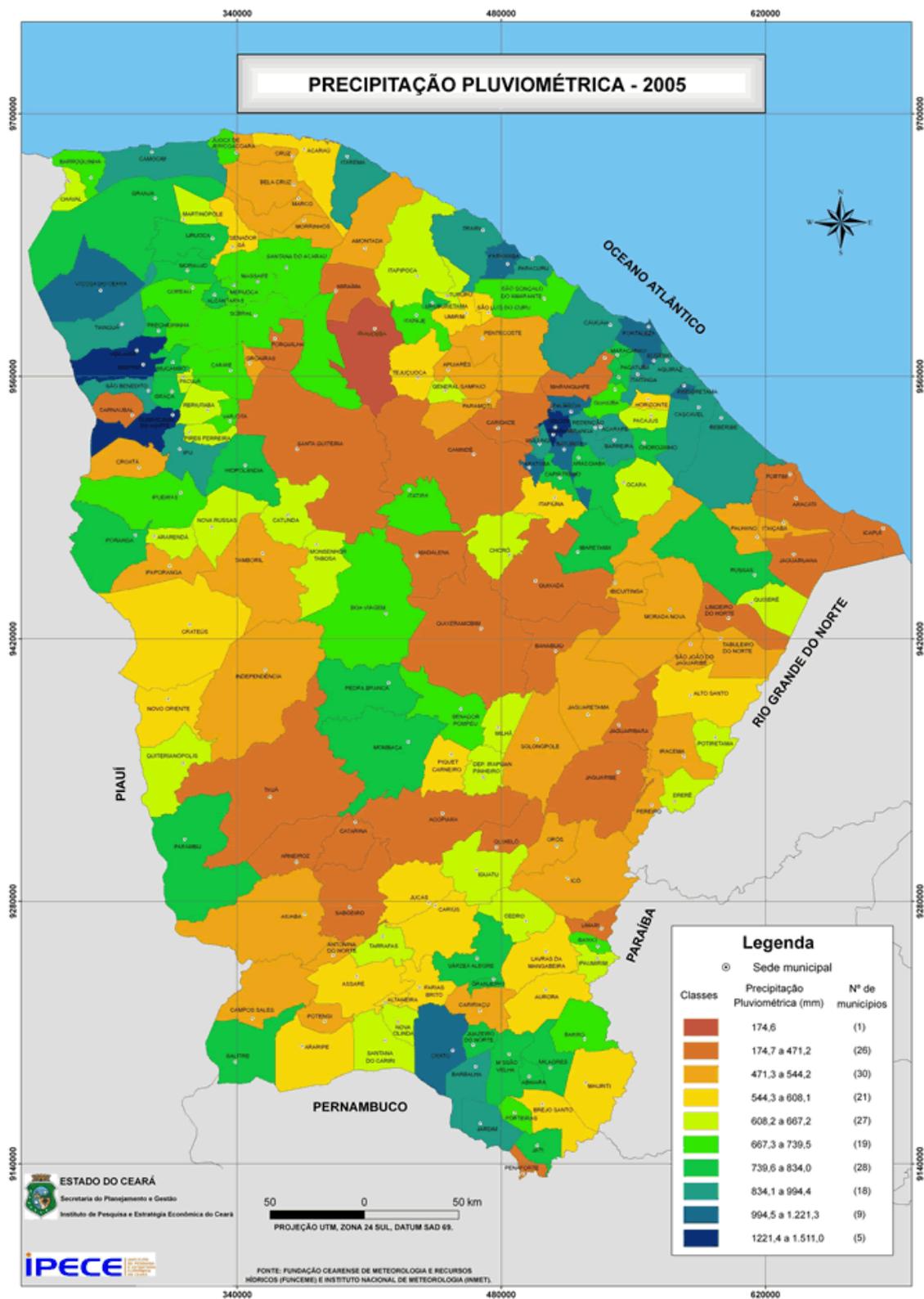


Figura 3. 4: Mapa de Precipitação Pluviométrica do Estado do Ceará (IPECE, 2007)

Na configuração do relevo do Ceará, a progressão topográfica evolui de 0 (zero) a 1.100 m de altitude, e podem se distinguir nitidamente as planícies litorâneas, as depressões sertanejas de altitudes inferiores a 200 m, os pés-de-serra que ficam entre

200 e 400 m, e as serras, serrotes e planaltos, que chegam a alcançar uma altitude de 400 a 1.100 m acima do nível do mar.

O ponto culminante do Ceará é o Pico do Oeste, com 1.134 m de altura, localizado na Serra das Matas, no limite Santa Quitéria/Mosenhor Tabosa. Seguido dele, vem o famoso Pico Alto, situado em Guaramiranga, com 1.114 m, grande atração turística devido à bela paisagem unindo serra-sertão que é observada do alto da serra de Guaramiranga.

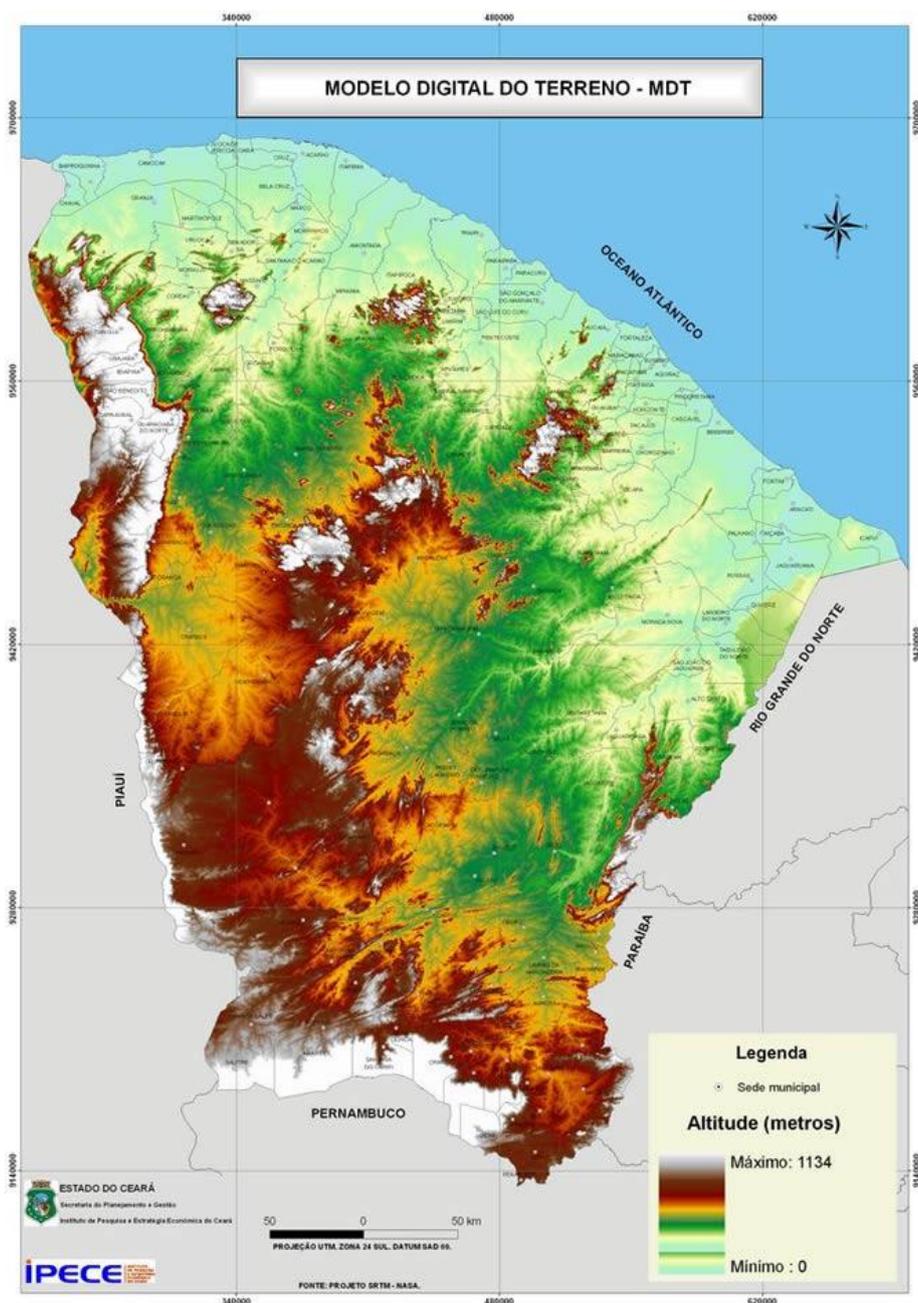


Figura 3. 5: Modelo Digital do Relevo do Estado do Ceará (IPECE, 2007)

De modo geral, a geologia do Ceará pode ser dividida em duas grandes unidades distintas: o cristalino (embasamento), composto por rochas antigas e que ocupam cerca de 74% do seu território, e o sedimentar. A seguir são apresentadas as unidades geológicas do Estado do Ceará.

- **Pré-Cambriano:** São compostas essencialmente por quartzitos e gnaisses. O Pré-Cambriano engloba no estado do Ceará diversas unidades litoestratigráficas, composta por rochas do embasamento cristalino, a saber: gnaisses, xistos, filitos, anfíbolitos, etc. A localização destas rochas distribui-se fisiograficamente em zonas emersa e submersa.
- **Pré-Cambriano Superior:** A litologia predominante está representada por diversas amostras que constituem um granito com granulação que oscila de média a grosseira, com tons variando de róseo-claro a avermelhado. Na Figura 3.2 é mostrado o mapa geológico do Estado do Ceará (IPLANCE, 1997).
- **Paleozóico:** A bacia do Parnaíba é paleozóica, apesar de que depósitos mesozóicos, pouco espessos, cobrem grandes áreas. A formação Serra Grande ocupa uma faixa com direção geral Norte-Sul, apresentando exposições de arenitos, formando escarpas abruptas em discordância angular, sobre o embasamento cristalino aplainado.
- **Mesozóico:** A Bacia do Araripe abrange parte dos Estados do Piauí, Pernambuco e Ceará, tendo sua maior extensão neste último. Morfológicamente apresenta-se como uma mesa alongada, sustentada pela Formação Exu. As camadas superiores apresentam-se subhorizontais e suavemente inclinadas para o norte e nordeste.

A Bacia Sedimentar Potiguar situa-se no Nordeste brasileiro, ocupando parte do estado do Ceará e Rio Grande do Norte. A forma geométrica geral da seqüência sedimentar é a de uma cunha que se espessa para o norte em direção ao mar, atingindo espessuras superiores a 1.000 metros. No continente, seu eixo maior segue uma direção leste-oeste, com aproximadamente 320 km e largura variando entre 45 e 140 km, perfazendo cerca de 21.500 km².

A Formação Açú é constituída por um pacote sedimentar basal da Bacia Potiguar, ocorrendo numa faixa circundando a bacia entre o embasamento cristalino e a base

da escarpa que delimita seu contato com a Formação Jandaíra. A parte aflorante é caracterizada por arenitos brancos e avermelhados, de granulação média a grosseira.

A Formação Jandaíra ocorre em uma vasta área com direção geral leste-oeste. Em sua porção ocidental, forma uma extensa chapada com mergulho para o norte e para o nordeste. A seqüência sedimentar é discordantemente recoberta por sedimentação do Grupo Barreira ou por sedimentação mais recente, formando no conjunto, um extenso platô. Litologicamente é composta por calcários bioclásticos, calcarenitos e calcários dolomíticos.

A Bacia do Iguatú-Icó apresenta um comportamento estrutural análogo às demais pequenas bacias cretáceas do Nordeste brasileiro. Originaram-se em depressões tectônicas preexistentes do embasamento, seguido de subsidência durante a fase de sedimentação.

- **Cenozóico:** A Formação Barreiras é litologicamente constituída por sedimentos areno-argilosos, algumas vezes litificados, com uma coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes com horizontes de aspecto mosqueado. Possui geralmente grãos mal selecionados e subarredondados, com granulação variando de fina a média. Normalmente ocorre formando tabuleiros ao longo do litoral, apresentando suaves inclinações para o mar. O Grupo Barreira expõe-se por toda a faixa costeira recobrendo até 50 km no continente. As coberturas têm espessuras variadas, podendo atingir até 25 metros, e, morfologicamente, apresentam-se como capeamento de platô, sendo encontrado nos mais diferentes níveis altimétricos (CHAVES, 2000).

As Paleodunas são sedimentos quaternários formados pela ação dos ventos alísios e atualmente fixados por vegetação. A drenagem é geralmente concordante e controlada pelas reentrâncias e cristas alongadas, sendo comuns as lagoas de saturação e lagunas contendo depósitos de diatomitas.

As dunas móveis são sedimentos eólicos bem distintos em imagem de radar, fotografias aéreas, etc., devido à tonalidade clara causada pela ausência de vegetação e carência de umidade. Estão intimamente relacionadas com a linha de costa atual, formando extensos cordões paralelos à praia. Do ponto de vista ambiental, essas regiões são bastante vulneráveis à ação do homem.

A cobertura vegetal (Figura 3.6) do estado do Ceará, a flora, compõe-se predominantemente das seguintes formações:

- **Caatinga:** do tupi, mata branca, espalha-se por todo o espaço ocupando cerca de 70% de sua área. Suas características são de porte arbustivos, troncos retorcidos, folhas pequenas e caducifólias, xerófila (adaptada à escassez d'água) e raízes profundas. Acaatinga hipoxerófila, que tem maior porte e densidade, aparece nas faixas de menos rigor climático, tais como a baixada litorânea e o sopé da Ibiapaba. A caatinga hiperxerófila é a vegetação das regiões mais áridas, apresentando-se mais baixas e rala, bem como com maior quantidade de espécies espinhosas; Tem como algumas de suas espécies: algaroba, mulungu, aroeira, marmeleiro, juazeiro, pau-branco, sabiá e predeiro. As espécies cactáceas são: xique-xique, palma, facheiro e mandacaru. Seu desequilíbrio está nas queimadas e desmatamentos (retirante de lenha).
- **Formações Florestais:** em meio a aridez predominante, destacam-se as manchas verdes das florestas que cobrem as serras e os vales úmidos;
- **Vegetação de dunas, mangues e tabuleiros:** ocupam espaços pouco representativos na área total do Estado. São predominantemente litorâneos.
 - A vegetação de dunas são caracterizadas pelo predominância de coqueiros nas praias e pelas espécies como murici, salsa-de-praia, capim-da-praia, grama-da-areia, etc.
 - Os tabuleiros são planaltos pouco elevados, arenosos e de vegetação rala.
 - A vegetação de mangue é encontrada em áreas sob influência das marés, tendo como características porte arbóreo/arbustivo, pobre em variedade (mangue preto, mangue branco e mangue vermelho), higráfila (adaptada à umidade) , halófito (adaptada a salinidade) e raízes suspensas. Sua importância está na manutenção do clima, evita o alagamento das áreas adjacentes, alimentação e reprodução da fauna marinha, pesca de peixe, caranguejo, camarão, e matérias-primas como madeira (construção de moradias, produção de carvão artesanato) e cipós (artesanato). As espécie animais encontradas são: garças, galinha d'água, martim-pescador, beija-flor, lavandeira, gaivotas, etc. Seus desequilíbrios estão na especulação imobiliária, desmatamentos, queimadas e despejos de esgotos e lixo;

- **Vegetação ciliar ou mata de galeria:** são ocorrências dispersas em todo o Estado, ocupando os vales úmidos dos rios e riachos, formando densos povoamentos, nos quais a carnaúba, a oiticica, o juazeiro e o mulungu são espécies dominantes.

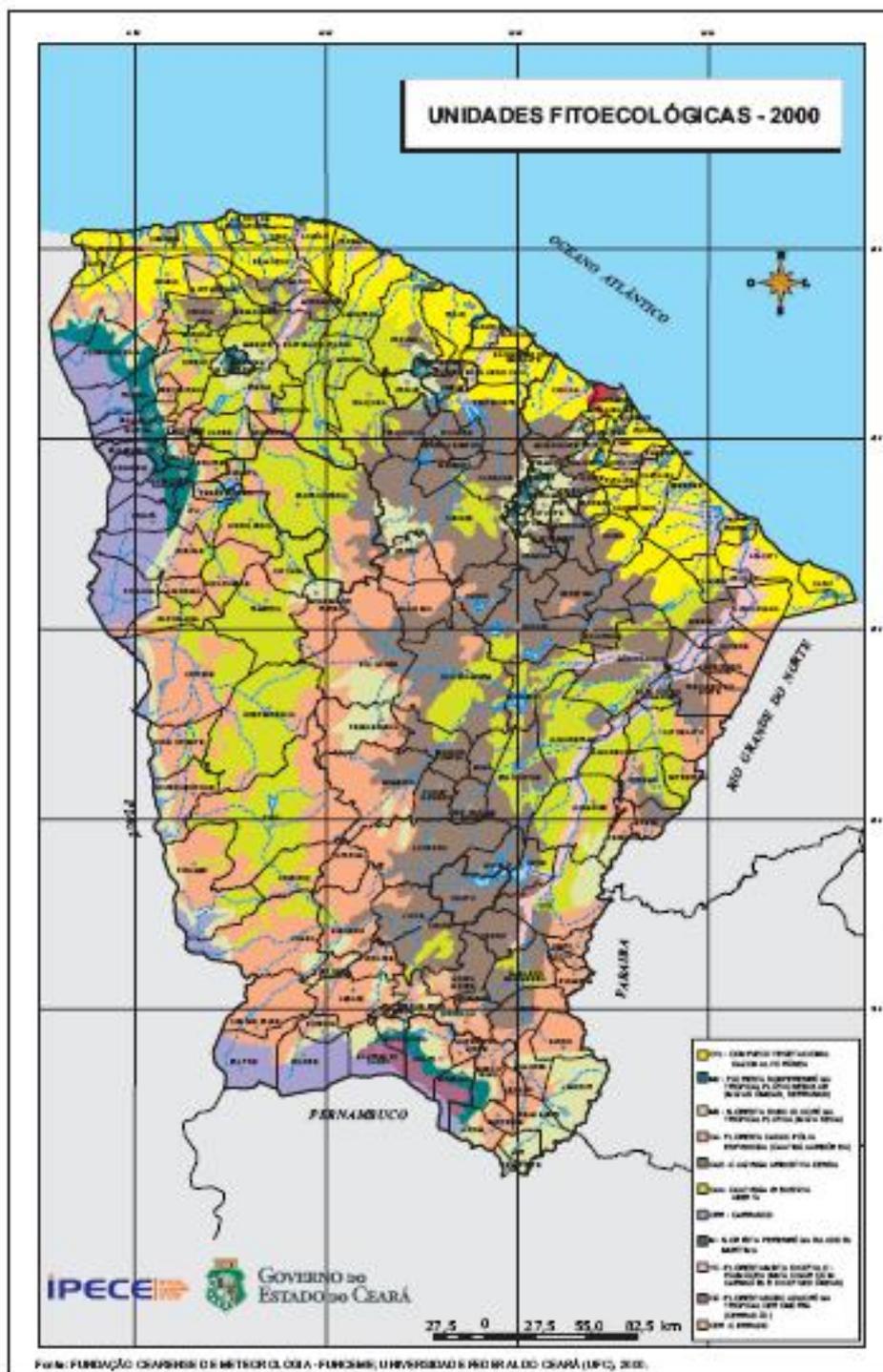


Figura 3. 6: Unidades Fitoecológicas do Estado do Ceará (IPECE, 2000)

CAPÍTULO 4

POLÍTICAS DE GESTÃO RODOVIÁRIA

4.1. O CICLO DE VIDA ÚTIL DOS PAVIMENTOS BETUMINOSOS RODOVIÁRIOS

O processo de desenvolvimento das rodovias deve obedecer ao fluxograma apresentado na Figura 4.1.

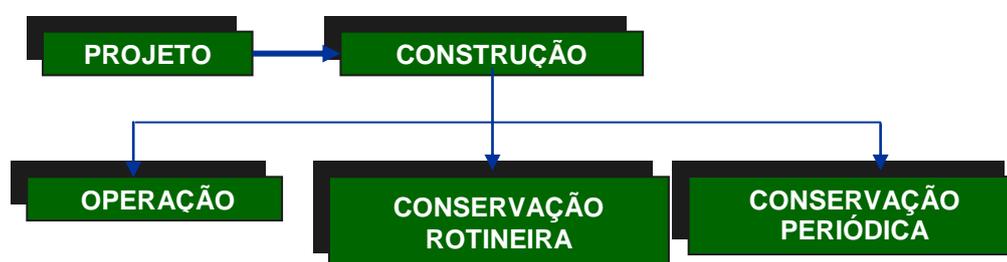


Figura 4. 1: Fluxograma de vida das rodovias (DER, 2008)

Se essa prática for adotada, a tendência é que os pavimentos das rodovias tenham ao longo da sua vida útil o comportamento mostrado na Figura 4.2, ou seja, as ações de conservação rotineira e de manutenção periódica são implementadas tempestivamente, evitando-se, dessa maneira, onerosas repercussões para o custo operacional dos veículos e para a reabilitação da rodovia.

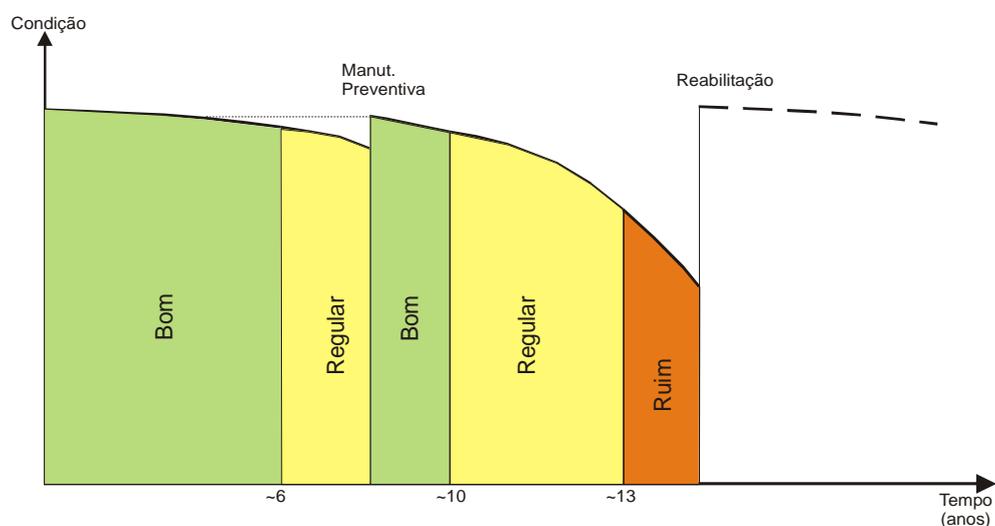


Figura 4. 2: Ciclo Otimizado de Manutenção (Conserva rotineira + Manutenção preventiva + Reabilitação) (DER, 2008)

O mais comum, lamentavelmente, é a opção pelo perverso ciclo da destruição, pelo qual se sucedem as etapas apresentadas na Figura 4.3:



Figura 4. 3: Ciclo de destruição perverso (DER, 2008)

Neste caso, o comportamento do pavimento é o apresentado na Figura 4.4, segundo o qual a reabilitação somente é executada após a exaustão completa da sua vida útil. Neste caso, a falta de conservação rotineira contribui para a aceleração do processo de degradação e, de forma significativa, para o aumento do custo operacional dos veículos. Ressalte-se, ainda, que algumas vezes sequer a reabilitação é executada quando o pavimento encontra-se em mau estado (ruim), sendo necessária, então, uma operação de completa reconstrução.

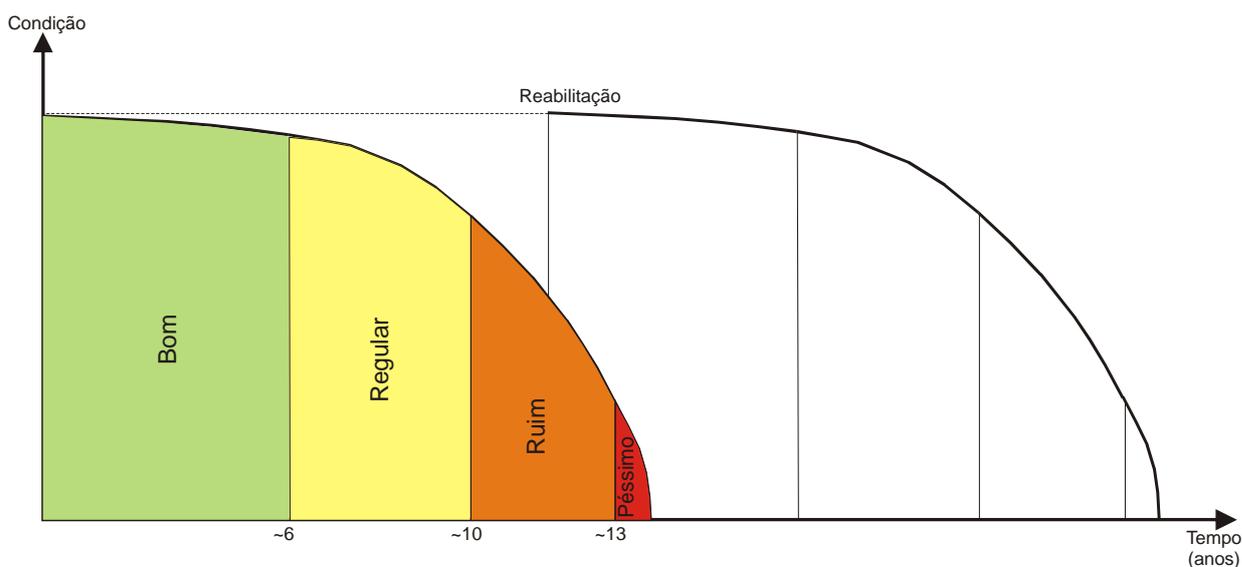


Figura 4. 4: Fluxograma de vida útil das rodovias (DER, 2008)

4.2. CUSTOS ASSOCIADOS ÀS BOAS/MÁS PRÁTICAS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA

Segundo DER (2008), estima-se que um quilômetro de rodovia em péssimo estado de conservação, com Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) de 2.500 veículos, sendo 56% leves, 39% de caminhões e 5% de ônibus, gera um adicional de custo operacional da ordem de US\$ 155 mil/ano. Ou seja, a reabilitação de um quilômetro de rodovia corresponde um benefício anual praticamente igual ao seu custo. Em outras palavras, a taxa de retorno de um programa de reabilitação é de quase 100% ao ano e o tempo de recuperação do investimento, de pouco mais de um ano.

Ressalta-se que o Custo do Sistema de Transporte é dividido entre: o Custo do Veículo (Custo de Operação) e o Custo da Via (Custos de Construção + Manutenção). Desse modo, quanto maior o volume de tráfego da rodovia, maior é a participação percentual do custo operacional no custo total de transporte.

Para uma rodovia com baixo volume tráfego - TMDA menor que 50 veículos/dia – o custo operacional corresponde a 40% e o custo da via, em situação ótima, a 60% do custo total do sistema. Já se a rodovia tiver TMDA de 800 veículos/dia, o custo operacional representa 86% e o custo da via, 14% do custo total (DER, 2008).

Como o estado de conservação da rodovia influi direta e significativamente sobre o custo operacional dos veículos, pode-se concluir que é extremamente danoso, não somente para o setor transportes, mas para toda a economia, a existência de estradas em mau estado de conservação.

Por outro lado, outros estudos apontam para significativas vantagens econômicas da manutenção rodoviária em relação a outros investimentos na mesma área. Segundo esses estudos, a taxa de retorno desse item varia de 30 a 70%, a da reabilitação, de 20 a 35% e a da construção rodoviária, de 10 a 20%.

4.3. ANÁLISE COMPARATIVA SIMULADA DE CUSTOS NO CASO DO DER/CE

O que aconteceria aos cerca de 6.000 km da malha rodoviária estadual pavimentada, administrada pelo DER/CE, se não se fizesse nenhum tipo de investimento, nem em conservação rotineira, nem em manutenção preventiva, ao longo da sua vida útil?

Estima-se que a duração média dos pavimentos das estradas estaduais seja de doze anos. Obviamente, isso só ocorrerá se forem executadas ações de conservação ao longo do período, sob pena de se ter a partir do quinto ou sexto ano um índice de serventia a cada ano pior, até a completa deterioração do pavimento, ao final.

A título ilustrativo, faz-se uma comparação entre duas situações de um quilômetro de uma rodovia submetida a tratamentos totalmente diferentes ao longo dos seus doze anos de vida útil. No primeiro caso, não se fez qualquer tipo de conservação, já no segundo caso, fez-se a conservação rotineira ao longo de todo o período e no sexto ano executa-se uma intervenção de natureza preventiva.

Na simulação apresentada na Tabela 4.1, foram considerados os seguintes elementos, referidos a um quilômetro de rodovia:

- Custo inicial de pavimentação: R\$ 500 mil;
- Vida útil: 12 anos;
- Custo anual de conservação: R\$ 3,6 mil;
- Custo da manutenção preventiva: R\$ 60 mil;
- Custo da restauração: R\$ 360 mil na situação 1 e R\$ 120 mil na situação 2;
- Custo da via: 40% do custo total do sistema de transporte;
- Custo da operação dos veículos: 60% do mesmo custo total.

Tabela 4.1: Simulação de Custo (DER, 2008)

INVESTIMENTOS / CUSTOS	CUSTOS SIT. 1 (R\$ x 10 ³)	CUSTOS SIT. 2 (R\$ x 10 ³)
Pavimentação	500	500
Conserva rotineira	-	43
Manutenção preventiva	-	60
Restauração	360	120
Custo da Via	860	723
Custo de Operacional	1.290	1.085
Custo Total	2.150	1.808

Observe-se que essa é uma situação hipotética, na qual se admitiu a inexistência de conservação rotineira. Estudos indicam que nesse caso o custo operacional dos veículos é multiplicado por três. Entretanto, mesmo sem se considerar o efeito extremamente danoso devido à falta de conservação, estendendo-se o resultado da simulação para toda a malha pavimentada, o prejuízo direto seria da ordem de dois bilhões de reais, ao fim dos doze anos. Isto, dito de outra maneira, significa que a manutenção correta da malha rodoviária do estado do Ceará, administrada pelo DER, pode significar uma economia de cerca de dois bilhões de reais ao erário estadual, durante o período referido. E mais, esse recurso representa aproximadamente o dobro do valor necessário para se dar um tratamento de boa qualidade a toda a rede de rodovias do Estado, incluindo-se as não pavimentadas, ao longo dos doze anos (DER, 2008).

4.4. A MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA ATUAL NO DER/CE

O DER/CE vem, nos últimos anos, obtendo bons resultados na sua política de gestão rodoviária, graças aos investimentos feitos em restauração, até mesmo em conservação rotineira e, embora em valores relativamente baixos, em manutenção preventiva, mormente em tratamentos do tipo rejuvenescimento (*fog seal*, capa selante, lama asfáltica, etc).

O SIGMA, já apresentado, é uma ferramenta de planejamento de grande versatilidade e tem permitido o planejamento das ações de conservação anuais e uma indicação das intervenções plurianuais, bem como, anualmente, a avaliação da condição da malha. Na Figura 4.5 pode-se ver o comportamento dessa condição, com base nos

dados do levantamento dos defeitos de superfície (LVC), que vem sendo feito a cada ano, desde 2001, com exceção do ano de 2003.

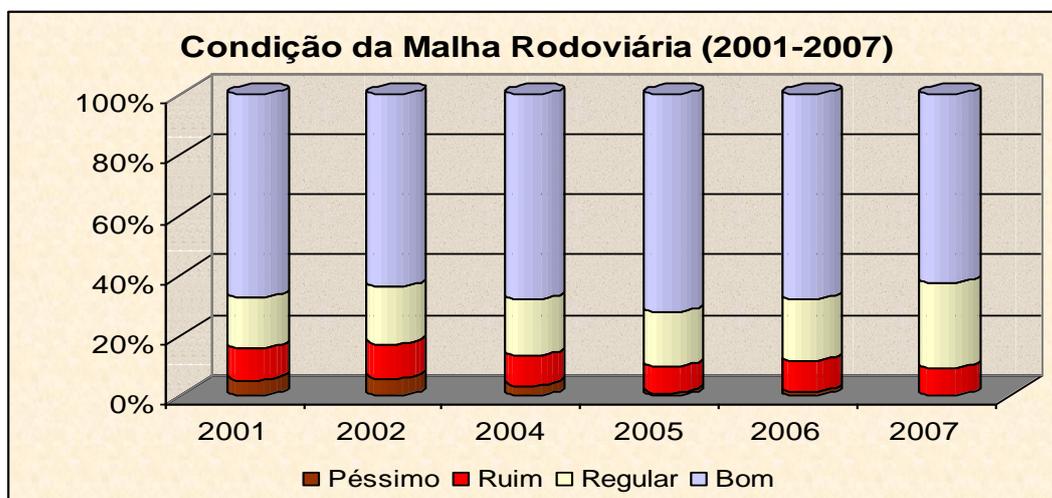


Figura 4. 5: Condição da Malha Rodoviária Cearense de 2001 a 2007 (DER, 2008)

Da análise da Figura 4.5 observa-se que o conceito “péssimo” decresceu, de forma relativamente rápida, até a sua completa eliminação no ano de 2007, a condição “regular” cresceu em números significativos, atingindo, também no ano passado, a casa dos 28%, enquanto o conceito “bom” teve, no período 2001-2007, uma queda de cinco pontos percentuais.

Tais observações conduzem às seguintes deduções:

- a) A conservação rotineira teve uma boa efetividade, representada pelo índice “zero” no conceito “péssimo” e redução, embora pequena, na condição “ruim”;
- b) Houve deficiência na manutenção preventiva, o que explica a migração de cinco pontos percentuais do conceito “bom” para o regular.

4.5. SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS – SIGMA – DER/CE

A definição do investimento em manutenção, por parte de um órgão rodoviário, passa por um processo decisório de elevada complexidade. Características inerentes ao tráfego, ao desempenho funcional e estrutural dos pavimentos existentes e a própria disponibilidade de recursos condicionam a seleção da estratégia mais apropriada.

A concepção adotada pelo SIGMA, no que se refere à manutenção periódica, busca prover as seguintes capacidades (DER, 2001):

- Fornecer os meios necessários à montagem de programas anuais e plurianuais de investimentos em manutenção periódica, concebidos em bases lógicas e que busquem a otimização dos normalmente escassos recursos disponíveis;
- Montar programas de trabalho sob cenários de restrições orçamentárias, com estimativa das condições futuras da rede pavimentada, e;
- Em última instância, dotar o órgão de uma ferramenta de planejamento de manutenção periódica eficiente, dinâmica e adaptada às peculiaridades da rede rodoviária local.

Um dos pontos chaves do SIGMA-SGP é a concepção do sistema de gerenciamento de banco de dados relacional, capaz de armazenar a informação sobre cada trecho de responsabilidade da instituição, como: localização, tráfego, estrutura, histórico de manutenção, condição estrutural, condição funcional dentre outros. O banco de dados é uma entidade quadridimensional, pois além de dados relacionados à extensão, largura e espessura existe a variável tempo que posiciona as informações cronologicamente.

Ao iniciar o SIGMA-SGP, primeiramente se define a Rede de Estudo adotada para análise em seguida o sistema é parametrizado, conforme breve resumo apresentado na seqüência:

- a) Conceito de Tráfego: O tráfego é o fator de maior relevância dentro do sistema. Todos os outros parâmetros serão referenciados a ele. O conceito de tráfego busca agrupar as rodovias que possuem VMD semelhantes.
- b) Conceito de IRI (Irregularidade Longitudinal): Como dito anteriormente, os demais conceitos sempre estarão ligados ao tráfego. Os dados de IRI são agrupados em patamares de diferentes condições de conforto por conceito de tráfego (Figura 4.6)

c) Conceito de Deflexão: Os dados de deflexão são agrupados em patamares de forma a agrupar as rodovias em diferentes condições de comportamento estrutural por conceito de tráfego (Figura 4.6).

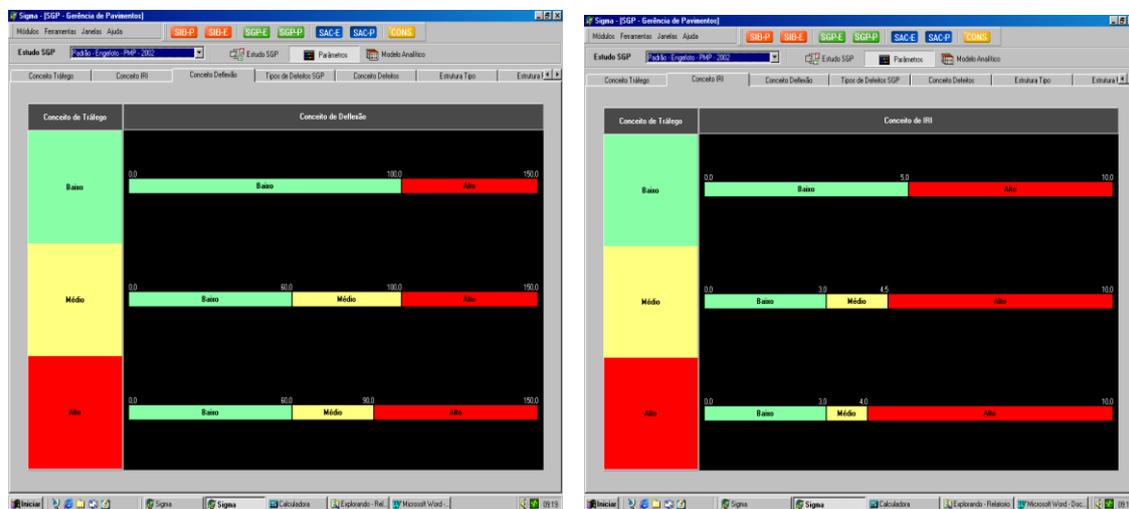


Figura 4. 6: Exemplo de telas do SIGMA de conceito de condição de Irregularidade Longitudinal e Deflexão

d) Tipo de Defeito: O SIGMA utiliza o levantamento visual contínuo da superfície do pavimento como forma de agrupar as rodovias em diferentes estados de condições de superfície, de maneira a diferenciar as intervenções, otimizar, priorizar os investimentos e qualificar o estado de conservação das rodovias.

O SIGMA utiliza a concepção de Fator Equivalente de Defeitos, que será mais bem explicado no Capítulo 6, para transformar as várias severidades de um mesmo defeito em um único defeito equivalente, ou seja, cada percentual de extensão de um mesmo defeito, conforme a gravidade de sua classificação, será ponderado por um fator correspondente arbitrado, chamado de Fator Equivalente de Defeito.

e) Conceito de Defeito: Os fatores de defeitos equivalentes encontrados são agrupados em patamares por conceito de tráfego, de forma a unir os trechos em diferentes condições de superfície, de maneira a diferenciar as intervenções, otimizar, priorizar os investimentos e classificar a condição das rodovias.

f) Estrutura Tipo: Estrutura tipo é definida como a simplificação das estruturas que compõem os pavimentos. O SIGMA permite que esta composição possa ser da mais simples à mais complexa. Por exemplo, em um primeiro momento, poderá ser

considerada apenas a camada superficial, criando as seguintes estruturas tipo: Mistura a quente, Mistura a frio e Tratamento, como é usado atualmente. Em uma segunda aproximação, quando houver vários levantamentos, poderão ser criadas estruturas tipo como: CBUQ sobre base granular, CBUQ sobre base estabilizada, Tratamento sobre base granular, etc.

g) Estrutura Padrão: Estrutura padrão reflete os tipos de pavimento, com suas respectivas camadas, encontrados nos trechos pertencentes à rede em estudo. Estas estruturas são correlacionadas às estruturas tipo correspondentes.

h) Solução Tipo: Cada tipo de condição de um trecho da rede em estudo requer um tipo de intervenção. Define-se a política de intervenção que irá ser adotada no estudo. Em alguns casos, poderá ser adotada a política utilizada pelo órgão ou poderão ser definidas políticas alternativas que busquem o desenvolvimento de novas técnicas e/ou a maximização dos recursos.

i) Parâmetros Resultantes: As intervenções realizadas em um pavimento visam a correção dos defeitos e a melhoria estrutural dos mesmos. Os parâmetros resultantes são os novos valores de IRI, deflexão e defeitos, que um trecho que sofreu intervenção indicada pelo sistema, passa então, a assumir.

j) Equação de Evolução: Todo pavimento, ao longo dos anos, sofre deterioração provocada pelo tráfego e pelo meio ambiente. A estimativa desta deterioração é fornecida pelas equações de evolução. É através deste modelo matemático que o SIGMA define o comportamento da malha. O SIGMA possibilita a utilização de equações de evolução para o IRI, deflexão e para os defeitos relacionando-as para cada tipo de estrutura padrão e a cada conceito de tráfego.

k) Árvore de decisão: A árvore de decisão é o coração do sistema. Nela o tomador de decisão configura as soluções de intervenções resultantes. É possível calibrar a solução da forma mais específica ou mais genérica.

l) Matriz de Prioridade: A matriz de priorização é utilizada para classificar os trechos homogêneos em ordem de prioridade. De uma forma simplificada, a seqüência considera a qualidade do pavimento, conforto de rolamento (IRI), tráfego e deflexão.

O sistema permite a separação dos trechos em subtrechos que resultam em uma Segmentação Homogênea que pode ser:

a) geração automática - em uma primeira aproximação, segmentos homogêneos são gerados fazendo a quebra da rede de estudo, de forma sequencial, sempre que houver alteração nas seguintes condições: Mudança de trecho no Sistema Rodoviário Estadual, mudança de tráfego e de jurisdição.

b) definições complementares - é calculada para cada segmento homogêneo as percentagens dos defeitos característicos para cada 200 m do segmento (Figura 4.7). O Sistema assume que a condição do trecho é igual a pior condição dos defeitos existentes. Após a geração automática, os resultados passam por uma análise visual do engenheiro buscando identificar quais segmentos homogêneos merecem sofrer nova divisão levando em conta a condição da superfície do pavimento traduzida pelo levantamento visual dos defeitos, o IRI e a deflexão.

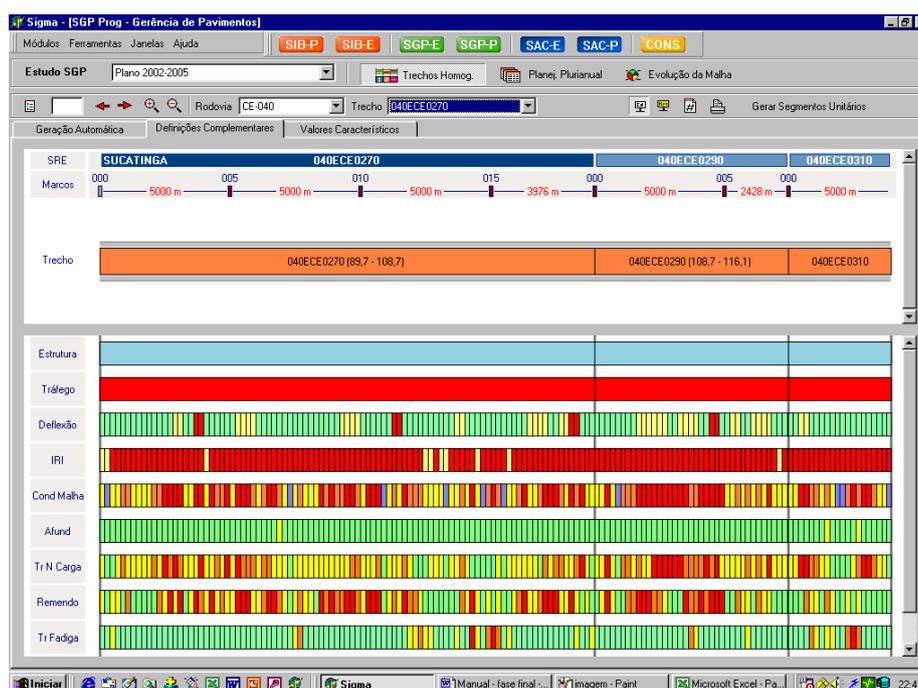


Figura 4. 7: Exemplo de uma tela do SIGMA de Divisão em Segmentos Homogêneos

c) valores característicos: Definidos os segmentos homogêneos o Sistema calcula os valores característicos médios para a deflexão, para o IRI e para cada um dos defeitos, assumindo que a condição do trecho é igual à condição do pior defeito.

O Sistema, então, gera o plano plurianual (Figura 4.8) atendendo a seguinte sistemática: para cada ano, é verificada a existência ou não de trechos comprometidos, caso eles existam são retirados da rede de estudo apenas até a data prevista para a sua intervenção. Em seguida o sistema determina, para todos os trechos da rede, a nova condição (bom, regular, ruim ou péssimo) e a priorização através da aplicação das equações de deterioração e da Matriz de Priorização. Para cada trecho, na seqüência da prioridade, é encontrada a melhor intervenção com seu respectivo custo e com os parâmetros resultantes, através da aplicação da árvore de decisão, até que o orçamento anual seja gasto. No ano em que estiver prevista intervenção para trecho comprometido o mesmo será considerado como prioridade 0 sendo o seu custo o real indicado.

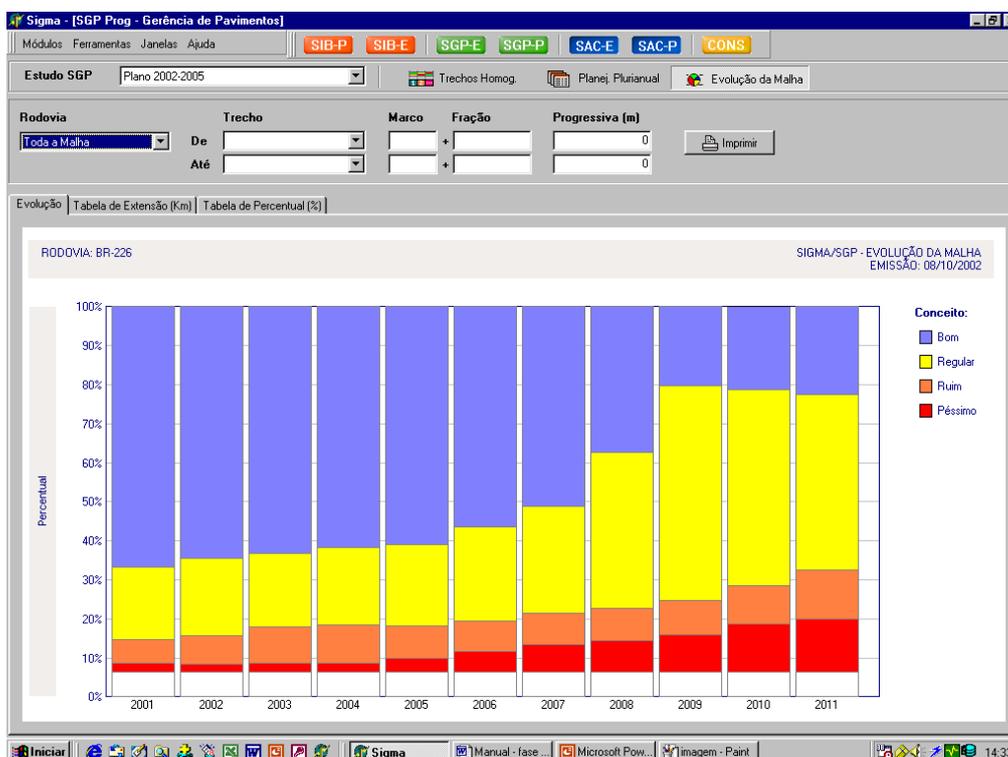


Figura 4. 8: Telas do SIGMA de Resultado de uma Análise

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA DA PRESENTE PESQUISA

5.1. LOCALIZAÇÃO DOS TRECHOS ANALISADOS

Os trechos utilizados no desenvolvimento e calibração dos modelos matemáticos de evolução dos defeitos desenvolvidos nesta pesquisa estão distribuídos por toda área geográfica do estado do Ceará cujas características foram apresentadas no Capítulo 3. Representam 4.320,20 km de rodovias que podem ser visualizadas na Figura 5.1 – Mapa de Situação. A relação dos trechos é apresentada no apêndice I desta dissertação. Estes trechos fizeram parte de quatro programas de financiamento para recuperação ou implantação de rodovias administradas pelo DER/CE, que são:

- Ceará I – O DER, em 1990, estava diante de um quadro caótico onde o estado de conservação e operacional da maioria das rodovias estava na condição péssima: 16,4% da rede pavimentada se encontravam em boas condições, enquanto 42,8% se apresentavam em estado regular e 40,8% em estado precário. Em julho de 90, foi firmado entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID e o Estado do Ceará, contrato de empréstimos no valor total de US\$ 138.000.000,00 (cento trinta e oito milhões de dólares), visando a recuperação de 1.400 km da Malha Rodoviária Estadual. Esta meta foi superada, sendo realizada a reabilitação de 1.899,60 km de rodovias. O Programa foi finalizado em 1996.
- Ceará II – O segundo programa de financiamento, também com o BID, foi realizado entre 1998 e 2005. Nesta época as rodovias estavam em melhores condições e foi possível ampliar sua abrangência. Além da restauração de 875 km foram incluídas duplicações (51 km), pavimentação de vias principais (715 km), pavimentação de acessos municipais (434 km) e selagem asfáltica (93 km).

- Prodetur I – Este programa, também de financiamento do BID, realizado entre 1996 e 2000, priorizou os investimentos na Costa Sol Poente com a construção de 254 km de rodovias (124 km na rodovia CE-085 e 130 km de acessos a praias).
- Prodetur II – Foi a continuação do programa Prodetur I ainda em andamento e tem como metas a construção de 337 km de rodovias (197 km na CE-085 e 140 km em 6 acessos a praias).

A Tabela 5.1 apresenta um resumo dos trechos analisados nesta dissertação, em extensão (km) por programa de financiamento, além de dividido por patamar de tráfego (VMD < 700 como tráfego baixo, VMD entre 701 a 1500 como tráfego médio e VMD acima de 1500 como tráfego alto). A opção de escolher trechos objetos de programas de financiamento foi motivada por estes possuírem projetos, acompanhamento, *As Built* e relatórios de conclusão do programa onde é possível corrigir erros no cadastro ou buscar respostas a resultados inconscientes.

Tabela 5.1: Resumo das extensões em km dos trechos analisados nesta pesquisa.

PROGRAMA	TOTAL	PATAMAR DE TRÁFEGO		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
CEARÁ I	1.884,9	1.035,5	573,9	275,5
CEARÁ II	2.133,9	1.447,6	393,3	293,1
PRODETUR I	291,0	144,6	87,4	59,0
PRODETUR II	10,4	10,4	-	-
TOTAL (km)	4.320,2	2.638,1	1.054,6	627,6



Figura 5. 1: Mapa temático de localização dos trechos analisados nesta pesquisa

5.2. DESCRIÇÃO DOS LEVANTAMENTOS UTILIZADOS NA ANÁLISE

Conforme DER (2002), o Levantamento Visual Contínuo (LVC) consiste em uma avaliação da condição da superfície do pavimento, por um engenheiro treinado, a bordo de um veículo equipado com instrumentos adequados.

O objetivo deste levantamento é a coleta de informações para:

- a) Verificar o grau de deterioração do pavimento;
- b) Servir de base para indicar a intervenção apropriada;
- c) Ser um dos fatores para análise da priorização para investimentos;
- d) Fornecer subsídio para elaboração de equações de comportamento dos defeitos;
- e) Indicar níveis de esforços para o sub-sistema SAC;
- f) Calibrar os níveis de esforços.

5.1.1. Metodologia

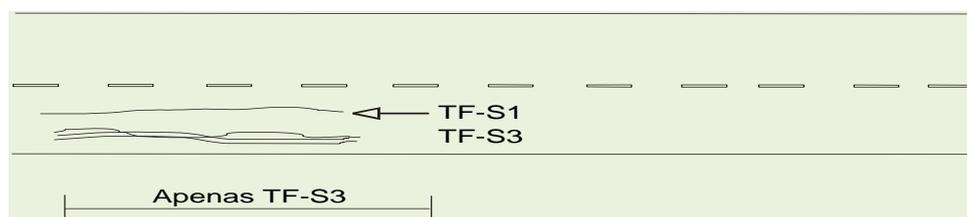
Para esta pesquisa foi utilizado o Banco de Dados existentes no DER/CE. Para a realização de cada levantamento ano a ano é necessário, por equipe de inventário, um engenheiro treinado, um motorista, um carro equipado com dispositivos de segurança, hardware e softwares compatíveis com a metodologia.

A metodologia usada nos vários levantamentos passa a ser descrita com detalhes, em um levantamento visual da superfície do pavimento, onde o engenheiro registra o quilômetro de início e de final de cada defeito e a severidade observada. Na Tabela 5.2 estão descritos os critérios de avaliação dos defeitos de pavimentos.

Tabela 5.2: Critérios de avaliação dos defeitos de pavimentos

Nº	DESIGNAÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	SEVERIDADE
1	Trincas não associadas à carga ou trincas de bloco	Extensão (m)	1- Blocos superiores a 1 m. 2- Blocos entre 40 cm e 1 m. 3- Blocos menores que 40 cm.
2	Trincas associadas à carga ou trincas de fadiga	Extensão (m)	1- Trincas isoladas com pouca ou nenhuma interligação. 2- Trincas interligadas sem ou com pouca erosão de bordos. 3- Trincas interligadas com forte erosão de bordos.
3	Remendos e buracos	Extensão (m)	1- Reparos com fresagem + capa em bom estado com extensão menor que 160 m. 2- Remendos com pá e picareta com bom desempenho. 3- Remendos com mau desempenho ou buracos.
4	Desgaste	Extensão (m)	1- Sem exposição da base. 2- Com exposição da base ou quando o desgaste está muito acentuado.
5	Afundamento	Extensão (m)	1- Flechas entre 15 e 25 mm. 2- Flechas acima de 25 mm, com pouca ou nenhuma fissura. 3- Flechas com rupturas (sem limite de espessura).

Quando, na mesma posição transversal, ocorre o mesmo defeito, com severidades diferentes, o engenheiro avaliador registra apenas a maior delas, conforme Figura 5.2.

**Figura 5. 2:** Exemplo de esquema de avaliação de severidades

Na ocorrência de dois defeitos diferentes, na mesma posição, é realizado o levantamento de ambos os defeitos, conforme Figura 5.3.

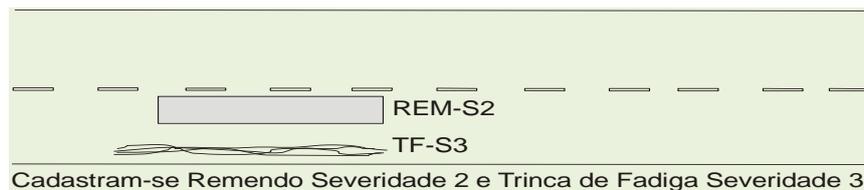


Figura 5. 3: Exemplo de esquema de avaliação de defeitos coincidentes

O levantamento é realizado em apenas uma das faixas de tráfego. A faixa de tráfego escolhida para ser inventariada é a de pior condição, que é indicada pelo engenheiro chefe no levantamento dos pontos notáveis, levantamento esse que antecede o LVC. No caso de não existir diferença entre as faixas, é dada prioridade a mesma faixa de tráfego do levantamento do ano anterior ou ao sentido oficial do trecho. Em se tratando de pista dupla, é levantada cada pista independentemente.

5.1.2. Descrição Individual dos Defeitos

a) Trincas não Associada à carga ou Trinca de Blocos

Descrição: As trincas não associadas à carga são um conjunto de trincas que dividem a superfície do asfalto em peças aproximadamente retangulares, de 0,1 m² (lados com aproximadamente 30 cm) até 10 m² (lados com aproximadamente 3 m) de área. O trincamento da superfície em blocos maiores, normalmente, é classificado como trincamento longitudinal ou transversal.

Causas prováveis: As trincas não associadas à carga são causadas, principalmente, pela contração da capa asfáltica, em função da alternância diária entre altas e baixas temperaturas. A ocorrência, geralmente, indica que o asfalto endureceu significativamente. Não é um defeito associado à carga, embora esta possa aumentar sua severidade.

Mecanismo de ocorrência: A contração da capa asfáltica provoca o trincamento do revestimento na direção da sua menor dimensão de superfície (largura). A alternância diária entre altas e baixas temperaturas causa, portanto, trincamentos transversais no revestimento asfáltico. O asfalto endurece e novas trincas transversais são formadas. Quando a distância entre as trincas transversais é quase a mesma que a largura da faixa, o pavimento pode, então, trincar na sua direção longitudinal, ocasião

em que trincas adjacentes transversais são conectadas, formando blocos. O processo prossegue enquanto o asfalto continuar a endurecer.

Localização: O Trincamento em blocos ocorre, normalmente, sobre uma grande parte da área do pavimento.

b) Trincas associadas à carga ou Trincas de Fadiga

Descrição: O trincamento por fadiga é um conjunto de trincas interconectadas causadas pelo fenômeno da fadiga do revestimento asfáltico ou de uma base estabilizada sob a ação repetida das cargas de tráfego.

Causas: As trincas de fadiga são defeitos ocasionados pela ação das cargas do tráfego.

Mecanismo de Ocorrência: As trincas de fadiga iniciam-se no fundo da camada do revestimento ou de base estabilizada, onde se concentram as maiores tensões e deformações geradas pelas cargas rodoviárias.

Essas trincas se propagam para a superfície, inicialmente como uma ou mais trincas longitudinais paralelas. As trincas se conectam, depois de repetida ação das cargas do tráfego, formando peças que lembram a pele de um jacaré.

Localização: O Trincamento por Fadiga ocorre quase que exclusivamente em áreas sujeitas a carga repetida de tráfego (principalmente nas trilhas de roda); geralmente, o Trincamento por Fadiga não ocorre sobre uma área inteira do pavimento, a não ser que a totalidade dessa área esteja sujeita à carga de tráfego. Se a área não está sujeita a carregamento, o trincamento é classificado como trincamento em bloco (que não é um defeito associado à carga).

c) Remendos e Buracos

Descrição: Buracos são cavidades de tamanhos variados no revestimento do pavimento e os remendos são estas cavidades sob efeito de um tapa buraco ou uma fresagem + capa asfáltica.

Causas prováveis: Os Buracos podem ser causados por danos no revestimento do pavimento, devido a Trincas de Fadiga, Desintegração localizada na superfície do pavimento, etc. Tanto a formação quanto a progressão dos buracos, motivadas por quaisquer dessas causas, são aceleradas pela ação do tráfego.

Os remendos também podem ser correções de defeitos como trincas, afundamentos, desgastes, buracos etc.

Mecanismo de ocorrência: Os Buracos ocorrem pela fragmentação do revestimento em pequenas peças devido às trincas de fadiga ou desintegração localizada da mistura. Essas peças são removidas pelo tráfego, que força o material interno para fora do buraco, aumentando a sua profundidade. Os remendos ocorrem por interferência humana, onde, através de uma conservação rotineira, se tenta minimizar os efeitos dos demais defeitos, bem como melhorar a segurança da via.

Localização: Os Buracos ou Remendos podem ocorrer em qualquer porção do revestimento, principalmente nas trilhas de roda.

d) Desgaste

Descrição: O Desgaste ou Desagregação é caracterizado pela corrosão do revestimento do pavimento em virtude da perda da adesão asfalto-agregado, isto é, pela não colagem do cimento asfáltico ao agregado.

Causas Prováveis: A desagregação é motivada por quebra ou inexistência do vínculo entre o agregado e o cimento asfáltico; devido à presença de poeira ou de agregado sujo; execução da obra em condições meteorológicas desfavoráveis; permanência de água na superfície do pavimento, o que provoca a remoção do asfalto pela água e pelo vapor d'água; deficiência construtiva em tratamentos superficiais, seja pelo entupimento de bicos ou regulagem inadequada de altura da barra de espargimento (“falha de bico”).

Mecanismo de ocorrência: O desgaste provocado pela perda do vínculo asfalto-agregado induz ao desprendimento das partículas de agregado e atuam como material granular desvinculado.

Localização: O desgaste pode ocorrer ao longo ou imediatamente abaixo da superfície do pavimento.

e) Afundamento

Descrição: O Afundamento de Trilha de Roda é uma depressão nas trilhas de roda, podendo ocorrer elevação ao longo das bordas dessa depressão. Nos casos incipientes, esse tipo de defeito somente é percebido após as chuvas, quando o sulco fica cheio d'água.

Causas prováveis: Os Afundamentos podem ser causados por: compactação inadequada de uma ou mais camadas durante a construção; mistura asfáltica de baixa estabilidade; enfraquecimento dos materiais abaixo do pavimento devido à infiltração d'água.

Mecanismo de ocorrência: Os Afundamentos aparecem quando ocorre: consolidação sobre compactação ou movimento lateral das camadas abaixo do revestimento do pavimento devido às cargas de tráfego; sobre compactação do revestimento asfáltico devido às cargas de tráfego; fluidez plástica do material asfáltico do revestimento, das cargas de tráfego associadas a altas temperaturas.

Localização: Os afundamentos ocorrem, principalmente, nas trilhas de roda.

5.3. ESTRUTURA DOS DADOS UTILIZADOS NESTA PESQUISA

Após cada levantamento em campo os dados foram arquivados no banco de dados do Sigma do DER/CE. Esses dados fornecidos pelo DER/CE serão visualizados e analisados em séries históricas, agrupados por alguns critérios que serão definidos a seguir.

Os levantamentos (LVC) dos anos 2001, 2002, 2004, 2005, 2006 e 2007 foram realizados sob a coordenação ou pelo próprio autor desta dissertação. A metodologia utilizada foi a descrita no item 5.2 desse capítulo. Destas informações foi possível desenvolver um banco de dados com séries históricas de mais de 4,8 milhões de registros. Estes dados podem ser visualizados na forma de levantamento, nas Figuras

5.4 a 5.9 a título de exemplo são apresentados os resultados do trecho 187ECE0470 entre os anos de 2001 a 2007, com exceção de 2003.

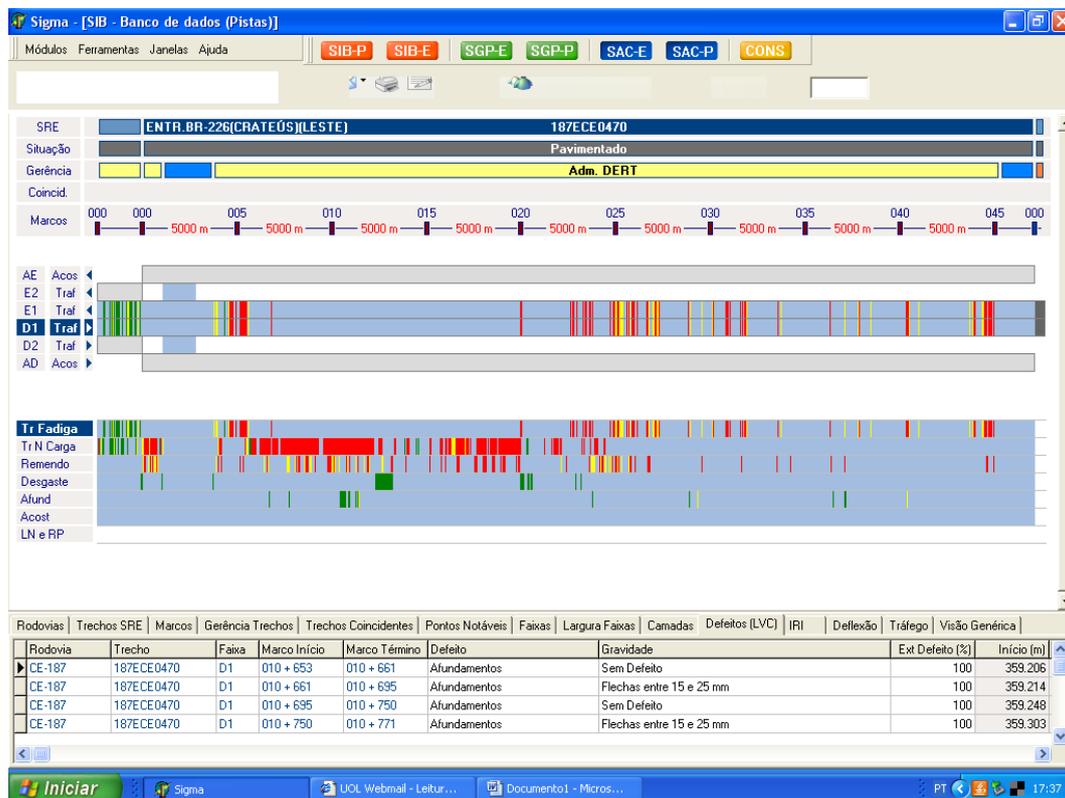


Figura 5. 4: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2001)

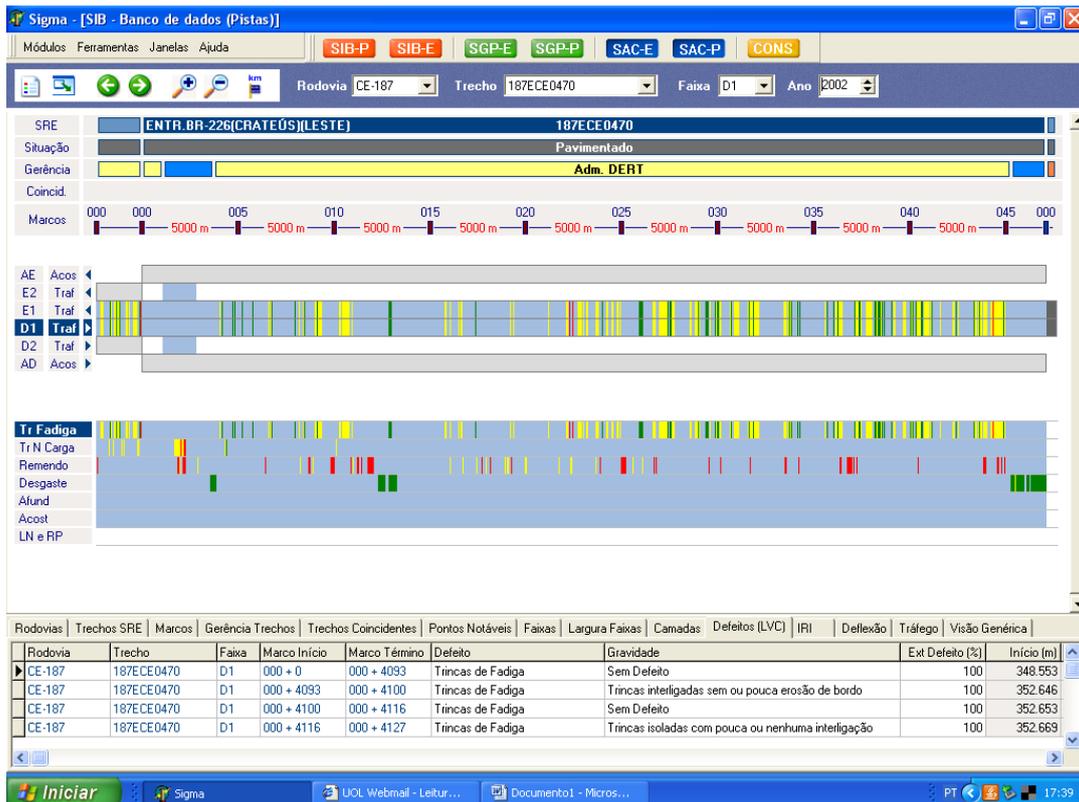


Figura 5. 5: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2002)

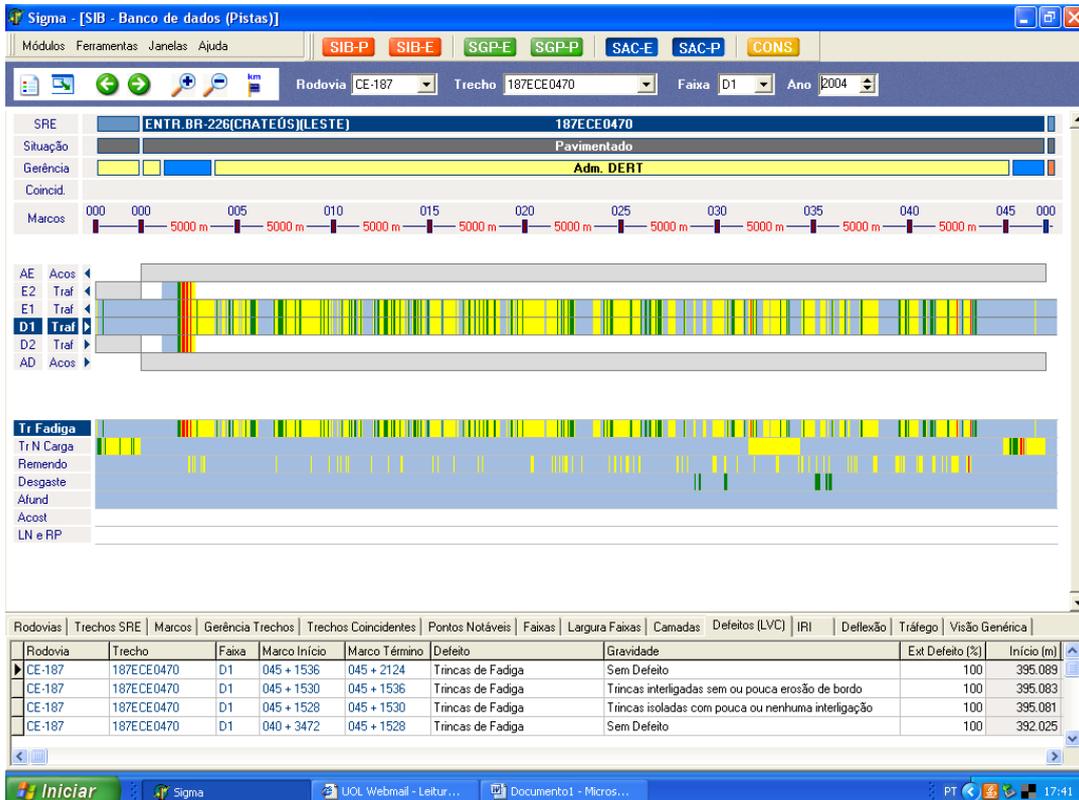


Figura 5. 6: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2004)

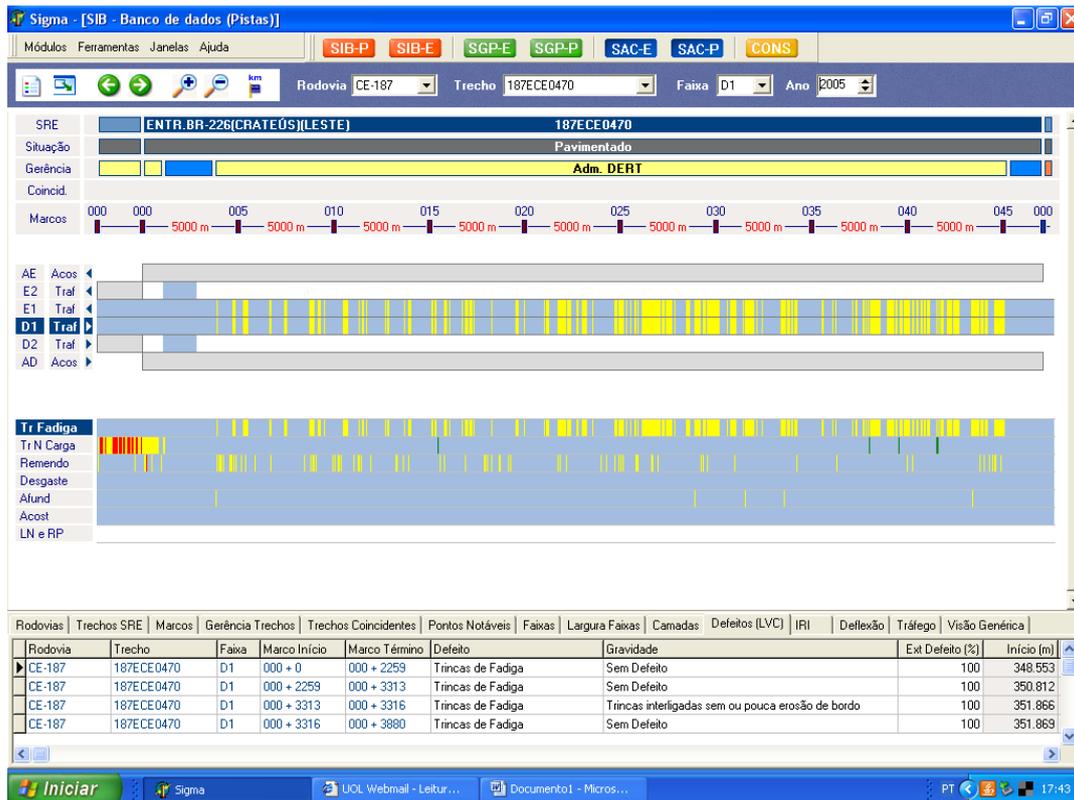


Figura 5. 7: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2005)

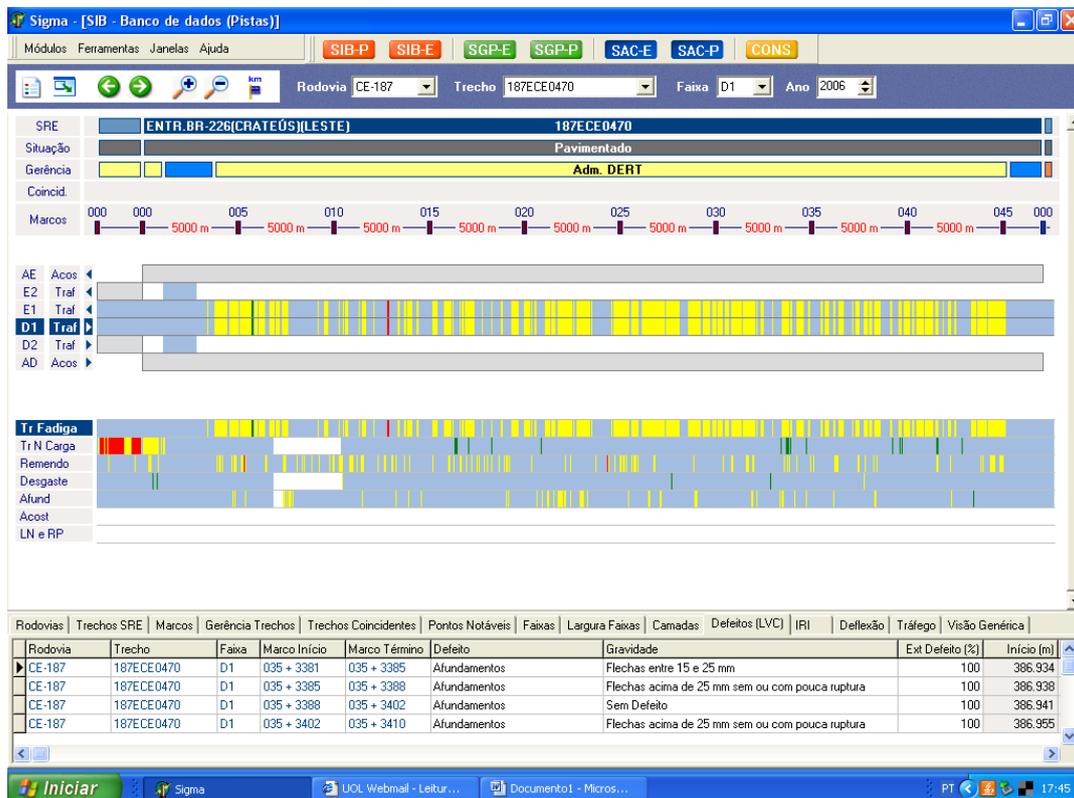


Figura 5. 8: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2006)

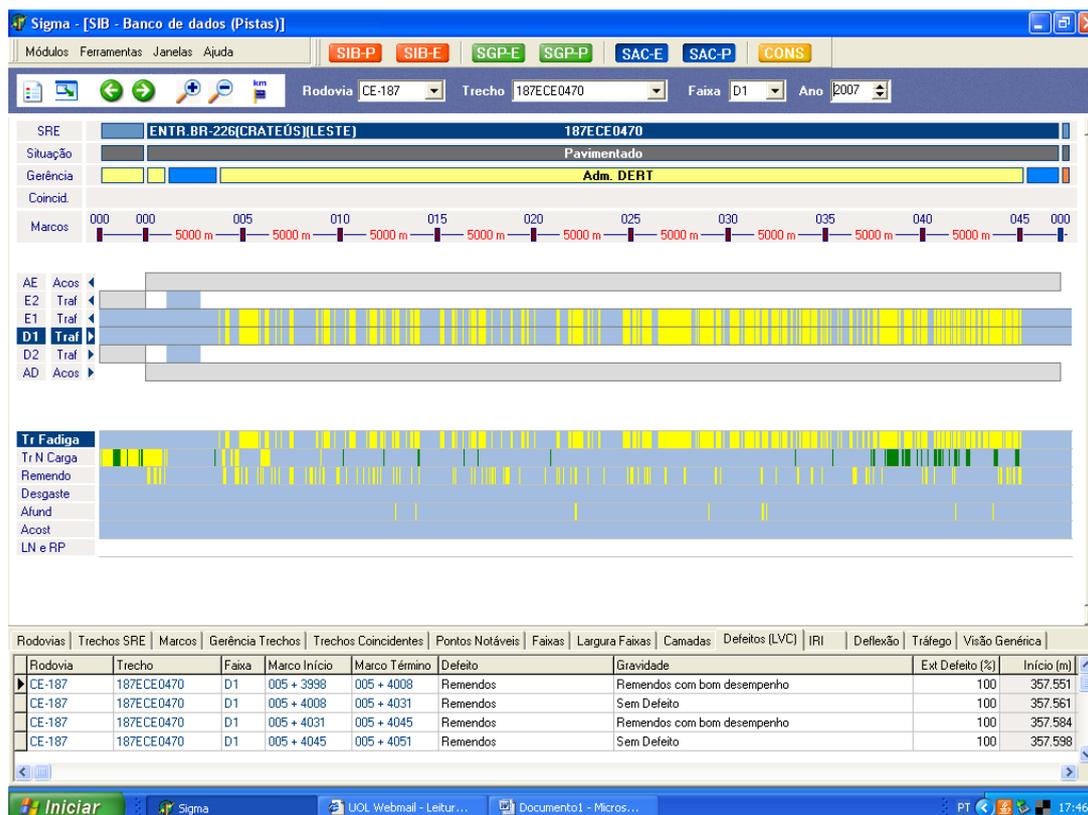


Figura 5. 9: Visualização da série histórica do trecho 187ECE0470 (2007)

A visualização da informação bruta do levantamento visual contínuo é essencial para conhecer a evolução da deterioração dos defeitos, mas é de difícil utilização em um modelo matemático. O SIGMA utiliza o conceito de fator equivalente para agrupar as severidades de forma ponderada, e este parâmetro será utilizado nesta dissertação.

A calibração deste fator foi realizada na época da implantação do SIGMA por três consultores nacionais e pelo coordenador e autor deste trabalho. A utilização desta metodologia, também irá garantir que esse trabalho seja aproveitado pelo DER no refinamento dos parâmetros de seu modelo matemático.

5.4. FATOR EQUIVALENTE DE DEFEITOS

O SIGMA utiliza a concepção de Fator Equivalente de Defeitos para transformar as várias severidades de um mesmo defeito em um único defeito equivalente. Ou seja, cada percentual de extensão de um mesmo defeito, conforme a gravidade de sua classificação é ponderada por um fator correspondente arbitrado, chamado de Fator Equivalente de Defeito. A aplicação da equação 5.1 fornece o percentual de extensão do defeito equivalente.

$$\% FTEQ_{DEF} = \frac{\sum (Ext.Def.Sev_n \times PS.Sev_n)}{\sum Ext.Def} \quad (5.1)$$

onde,

n varia de 0 a 3;

$Ext.Def.Sev_n$ é a extensão do defeito da severidade “n”;

$PS.Sev_n$ é o peso atribuído a severidade “n”;

$\sum Ext.Def$ é a extensão do defeito em todas as severidades ou a extensão do segmento homogêneo;

$\% FTEQ_{DEF}$ é o fator equivalente do defeito equivalente em %.

É adotado para $PS.Sev_n$ valores entre 0 a 1 conforme o grau de importância da severidade. Para qualquer defeito, a severidade 0 do LVC significa ausência de defeitos, logo o peso deverá ser zero. A severidade 1 significa um defeito de pouca relevância, o peso deverá tender a zero ou igual a zero. A severidade 2, por sua vez, significa um defeito em estado intermediário, logo o peso deverá variar de 0 a 1 e decididamente é a severidade mais difícil de calibrar. Por último, a severidade 3, representa um defeito em estado avançado, o peso tenderá a 1 ou ser igual a 1. Na Tabela 5.3 são apresentados os pesos por defeito e severidade utilizados no DER e mantido nesta dissertação, pois o autor e vários profissionais participaram de sua elaboração em 2001.

Tabela 5.3: Pesos utilizados para o cálculo do Fator Equivalente

DEFEITO	SEVERIDADE			
	0	1	2	3
Trincas Associadas a Carga	0,00	0,05	0,50	1,00
Trincas Não Associadas a Carga	0,00	0,05	0,40	0,70
Remendos	0,00	0,00	0,40	1,00
Desgastes	0,00	0,05	1,00	0,00
Afundamentos	0,00	0,05	0,30	1,00

5.5. CONCEITO DE QUALIDADE DO PAVIMENTO EM RELAÇÃO AO DEFEITO

Na época da implantação do SIGMA um grupo de técnicos da Consultora e do DER/CE calibraram os conceitos de qualidade do pavimento em relação a cada defeito. Nesta época, após a realização do LVC e processamento dos Fatores Equivalentes calculados por segmento homogêneo este grupo percorreu as rodovias comparando os valores encontrados com a situação de campo. Deste estudo foram definidos os limites mínimos e máximos dos patamares de qualidade do pavimento. Este trabalho foi refinado nos levantamentos posteriores.

Optou-se, na época, por validar essas informações por patamares de tráfego em relação do VMD (baixo inferior a 400 veículos dia, médio entre 401 a 1500 veículos dia e alto quando maior que 1501 veículos dia). Isso foi necessário para garantir conceitos mais rígidos a rodovias mais movimentadas, para garantir soluções de intervenções diferenciadas e priorizações mais justas. Na Tabela 5.4 é apresentada a classificação de qualidade do pavimento por patamares de tráfego em relação à trinca de fadiga.

Tabela 5.4: Conceitos de Qualidade do Pavimento por Patamares de Tráfego em Relação a Trinca de Fadiga.

NÍVEL DE TRÁFEGO	CONCEITO DE DEFEITO	FATOR EQUIVALENTE ¹	CONCEITO DA MALHA
Baixo	Pouco Trincado	$0 \leq FE \leq 18$	Bom
	Trincado	$18 < FE \leq 35$	Regular
	Muito Trincado	$35 < FE \leq 65$	Ruim
	Excessivamente Trincado	$FE > 65$	Péssimo
Médio	Pouco Trincado	$0 \leq FE \leq 15$	Bom
	Trincado	$15 < FE \leq 32$	Regular
	Muito Trincado	$32 < FE \leq 60$	Ruim
	Excessivamente Trincado	$FE > 60$	Péssimo
Alto	Pouco Trincado	$0 \leq FE \leq 12$	Bom
	Trincado	$12 < FE \leq 30$	Regular
	Muito Trincado	$30 < FE \leq 50$	Ruim
	Excessivamente Trincado	$FE > 50$	Péssimo

¹FE = Fator Equivalente em %

Então, para cada patamar de tráfego fixado são criados patamares para os fatores equivalentes de forma a classificar o pavimento e a malha em níveis de qualidade.

É considerada como condição final do pavimento a pior condição em relação ao conceito da malha, ou seja: se a trinca de fadiga indicou condição “regular”, o remendo condição “ruim” e os demais defeitos condição “boa”, o segmento homogêneo é declarado de qualidade “ruim”. Para a definição da qualidade da rede, basta realizar o somatório das extensões dos segmentos homogêneos agrupado por conceito da malha.

5.6. DEFINIÇÃO DE SEGMENTOS HOMOGÊNEOS

Os segmentos homogêneos são trechos ou segmentos de trechos rodoviários que, isoladamente, possuem características funcionais e estruturais homogêneas.

Foi avaliado o comportamento de todos os trechos pertencentes a este estudo quanto à sua homogeneidade. Inicialmente foi calculado o fator equivalente a cada 500m de rodovias e atribuído os conceitos conforme a Tabela 5.4. Em seguida foi atribuído ao segmento o pior conceito atribuído por defeito, como exemplo as Tabelas 5.5 a 5.9 apresentam passos deste cálculo.

Tabela 5.5: Cálculo do conceito do segmento para trinca de fadiga associada à carga

TRINCA DE FADIGA	EXTENSÃO	PESO	EXTENSÃO x PESO
SEVERIDADE	0	166	0
	1	46	0,05
	2	88	0,5
	3	200	1
TOTAL	500	FATOR EQUIVALENTE	49%
			RUIM

Tabela 5.6: Cálculo do conceito do segmento para trinca de bloco não associada à carga

TRINCA DE BLOCO	EXTENSÃO	PESO	EXTENSÃO x PESO
SEVERIDADE	0	500	0
	1	0	0,05
	2	0	0,4
	3	0	0,7
TOTAL	500	FATOR EQUIVALENTE	0%
			BOM

Tabela 5.7: Cálculo do conceito do segmento para remendo

REMENDO	EXTENSÃO	PESO	EXTENSÃO x PESO
SEVERIDADE	0	150	0
	1	88	0
	2	102	0,4
	3	160	1
TOTAL		500	FATOR EQUIVALENTE
			40% PÉSSIMO

Tabela 5.8: Cálculo do conceito do segmento para afundamento

AFUNDAMENTO	EXTENSÃO	PESO	EXTENSÃO x PESO
SEVERIDADE	0	300	0
	1	50	0,05
	2	63	0,3
	3	87	1
TOTAL		500	FATOR EQUIVALENTE
			22% RUIM

Tabela 5.9: Cálculo do conceito do segmento para desgaste

DESGASTE	EXTENSÃO	PESO	EXTENSÃO x PESO
SEVERIDADE	0	500	0
	1	0	0,05
	2	0	1
TOTAL		500	FATOR EQUIVALENTE
			0% BOM

Tabela 5.10: Conceito do segmento

CONCEITO DO TRECHO EXEMPLO – 0 km ao 0,5 km	PÉSSIMO
---	---------

Com isso, foi possível montar um banco de dados com conceitos de qualidade do pavimento para os 4.320,2 km de rodovias estaduais avaliadas. Em seguida esses dados foram representados graficamente. Visualmente foram identificados os segmentos homogêneos e registrados em uma tabela com os seguintes atributos: rodovia, trecho, km início, km final e extensão. Nas Figuras 5.10 a 5.13 estão apresentados amostras desta análise por ano de levantamento.

Na Figura 5.10 observou-se um trecho onde os primeiros 5,5 km tiveram uma evolução na deterioração do pavimento superior ao restante do segmento. Então, o trecho foi subdividido em dois segmentos homogêneos.

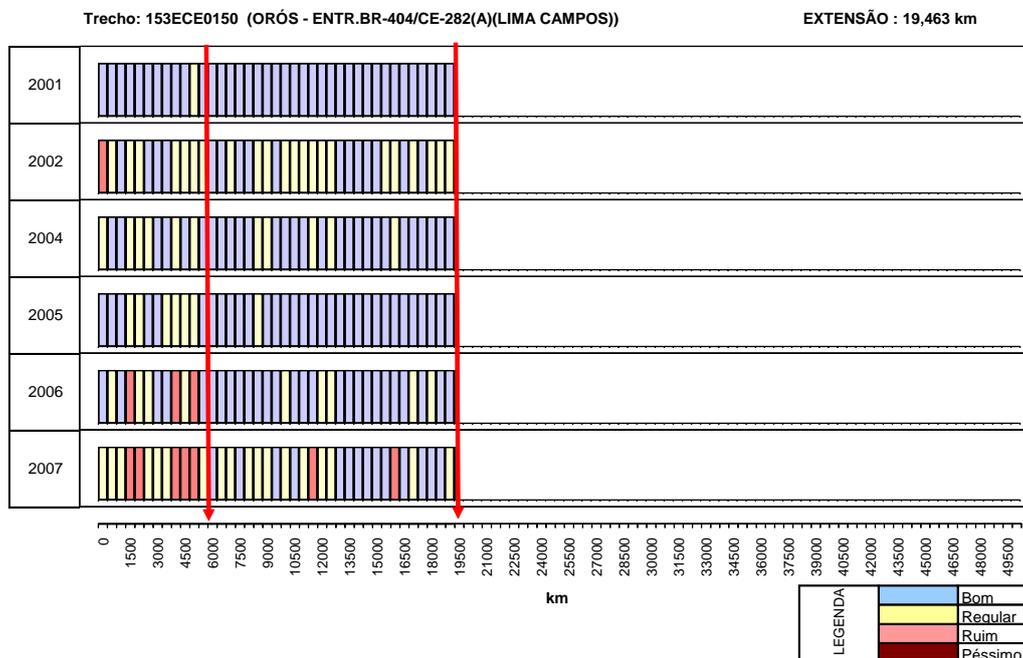


Figura 5. 10: Exemplo 1 de determinação dos segmentos homogêneos

Na Figura 5.11 é apresentado um trecho que sofreu restauração em anos distintos. O primeiro segmento foi restaurado no início do ano de 2002 e o segundo no ano de 2003. Rastreando o banco de dados foi possível identificar que as soluções foram distintas, enquanto o primeiro SH foi reabilitado com tratamento superficial duplo o segundo foi com areia asfáltica usinada a quente. Apesar de não aparecer graficamente, o tipo de pavimento foi um dos critérios verificados para subdividir um trecho.

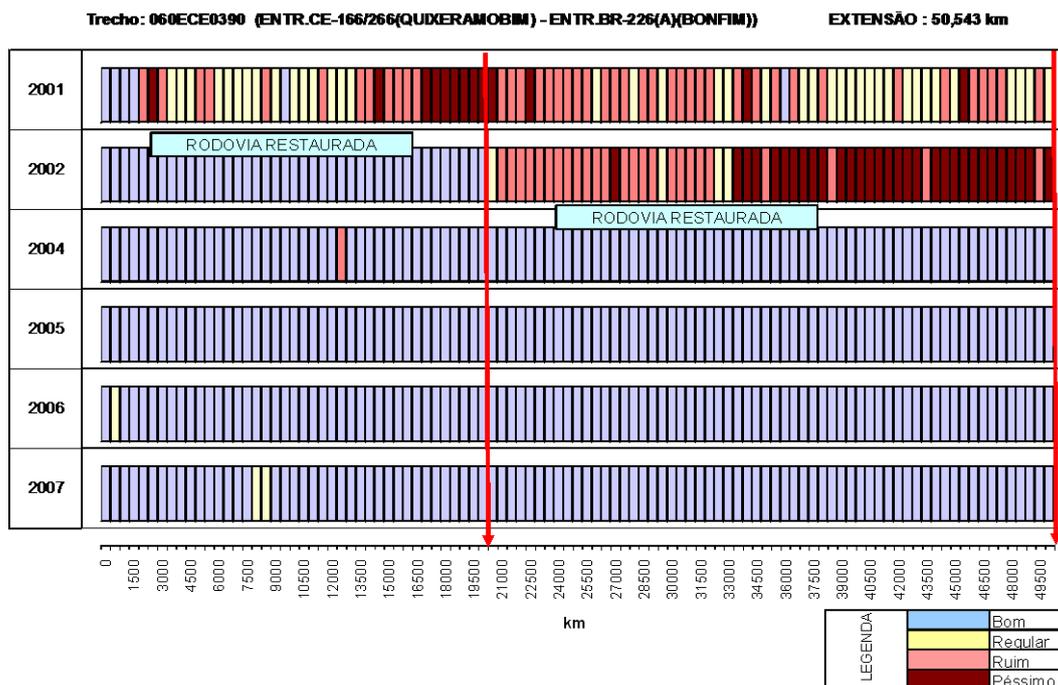


Figura 5. 11: Exemplo 2 de determinação dos segmentos homogêneos

Na Figura 5.12 está apresentado um trecho que foi dividido em dois segmentos. O que chama a atenção neste caso é a melhora no comportamento do pavimento entre o ano de 2002 e 2004. No banco de dados não havia informações sobre qualquer aplicação de uma intervenção. Em contato com os técnicos do DER foi constatado que a conservação rotineira executou operação de tapa-buraco, remendo profundo e recuperação de pequenas extensões, o que justificou a melhora dos conceitos. Em alguns casos semelhantes, no entanto, não foi possível encontrar respostas.

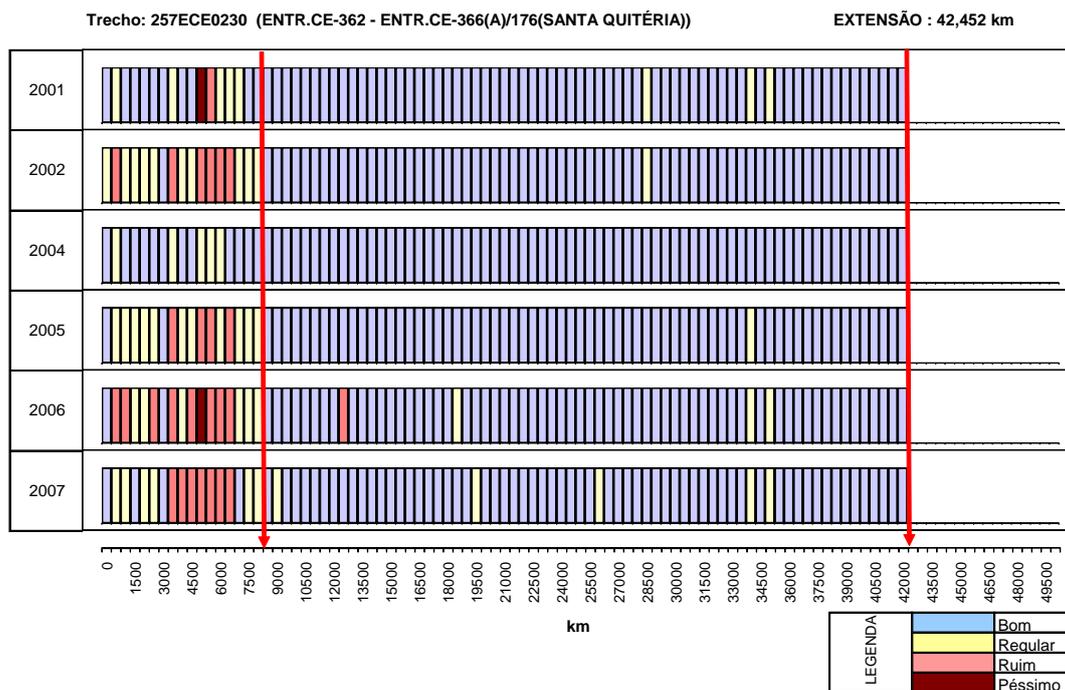


Figura 5. 12: Exemplo 3 de determinação dos segmentos homogêneos neste estudo

Como coordenador de equipes de campo, foi possível verificar que a equipe de levantamento interfere significativamente na resposta. Normalmente não existe diferença na definição do defeito, mas, sim no estabelecimento das severidades que, ao final, reflete na definição da qualidade do pavimento.

Na Figura 5.13 estão apresentados dados de uma rodovia construída em 2003, que já apresenta problemas desde a sua construção. Isso irá interferir nos resultados, pois segmentos com essas características tendem a elevar a taxa projetada de deterioração da malha.

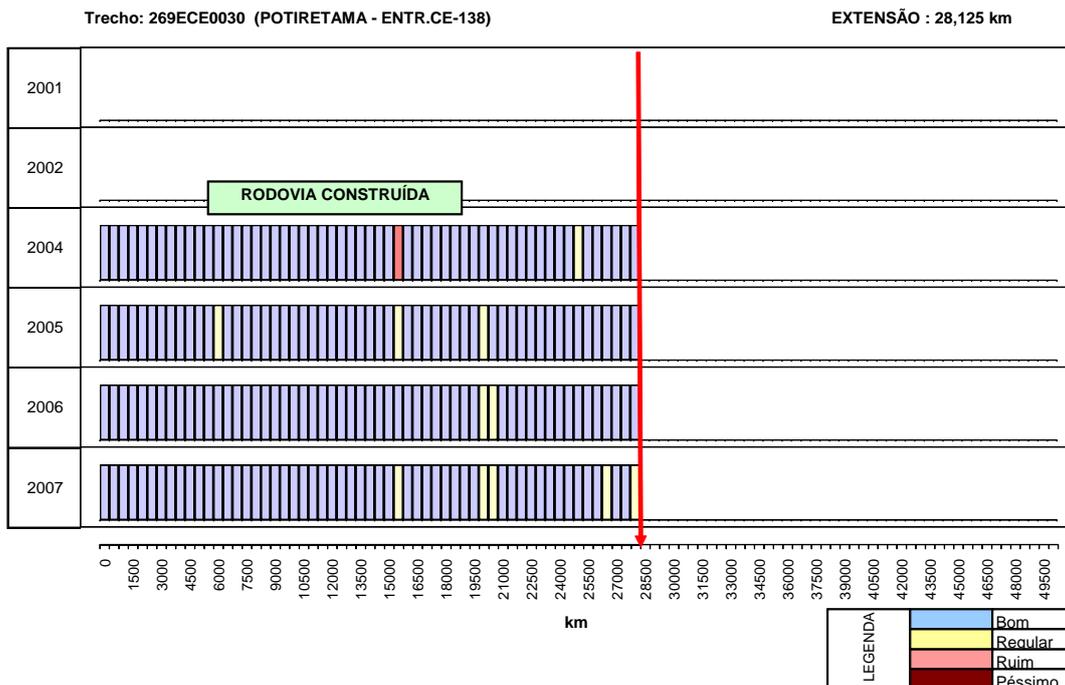


Figura 5. 13: Exemplo 4 de determinação dos segmentos homogêneos deste estudo para um segmento novo com problemas precoces

5.7. FATOR EQUIVALENTE MÉDIO POR SEGMENTO HOMOGÊNEO

Depois de definidos os segmentos homogêneos, pode-se fazer uma tabela com os dados: trechos, subtrechos, segmento homogêneo, quilômetro de início e término. Com auxílio do banco de dados do SIGMA é identificado o ano da última intervenção ou construção, tipo do pavimento (MQ – Mistura a Quente, TT – tratamento e MF – Mistura a Frio) convertido pela Tabela 5.11, além do VMDA – volume médio diário anual e ano da contagem. Um fragmento destas informações é apresentado na Tabela 5.12.

Tabela 5.11: Correspondência tipo de pavimento *versus* camada do revestimento asfáltico.

CÓDIGO DE MATERIAL PADRÃO	TIPO MATERIAL
Mistura a Quente	Concreto de Cimento Portland
Mistura a Quente	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
Mistura a Quente	Areia Asfáltica Usinada a Quente
Mistura a Quente	Pré-misturado a Quente
Mistura a Frio	Pré-misturado a Frio
Tratamento	Tratamento Superficial Triplo
Tratamento	Tratamento Superficial Duplo
Tratamento	Tratamento Superficial Simples
Mistura a Frio	Areia Asfáltica Usinado a Frio

Tabela 5.12: Fragmento da tabela de segmentos homogêneos

TRECHO	040ECE0010D	FORTALEZA (Avenida Padre Antônio Thomaz) - ENTR.CE-025			EXT. (km)	6,9
SH	SHI (m)	SHF (m)	PAVIMENTO TIPO	ANO DA ÚLTIMA INTERVENÇÃO	VDMA	Ano
1	0	1800	MQ	2007	50082	2004
2	1800	3500	-	SEM INFORMAÇÃO	50082	-
3	3500	6940	MQ	2006	50082	2004

Após a caracterização dos SH são calculados os fatores equivalentes e o conceito por defeito, e, finalmente, a definição da qualidade do pavimento de forma idêntica aos segmentos de 500 m já apresentados. Com isso é possível agregar à Tabela 5.12 as informações de: Fator equivalente: da trinca de fadiga, trinca de bloco, remendo, afundamento e desgaste para os anos de levantamento, bem como os seus respectivos conceitos e qualidade do SH como apresentado na Tabela 5.13.

Tabela 5.13: Fragmento das informações geradas por SH

TRECHO	040ECE0010D		FORTALEZA (Av. Padre Antônio Thomaz) - ENTR.CE-025		EXT. (km)	6,9
Sh	Shi (M)	Shf (M)	Pavimento	Ano da Última Intervenção	VDM	Ano Da Contagem
1	0	1800	MQ	2007	50082	2004
Ano	Fator Equivalente					Conceito do Pavimento
	Trinca de Fadiga	Trinca de Bloco	Remendo	Afundamento	Desgaste	
2001	3	0	1	0	0	BOM
2002	9	0	1	0	0	BOM
2004	20	0	2	0	0	REGULAR
2005	20	0	2	0	0	REGULAR
2006	25	0	2	0	0	REGULAR
2007	0	0	0	0	0	BOM

5.8. REFINAMENTO DAS INFORMAÇÕES

Após o cálculo dos fatores equivalentes das séries históricas para cada segmento homogêneo foi necessário fazer uma verificação de consistência das informações. Nessa análise vários segmentos apresentavam divergências e foram submetidos a uma nova avaliação sobre sua homogeneidade, principalmente do ponto de vista funcional.

Foram estudadas, nesta pesquisa, duas propostas para definir o modelo matemático de degradação dos pavimentos:

- Proposta I: Idade do pavimento *versus* fator equivalente, e
- Proposta II: Fator equivalente do ano “n” *versus* o fator equivalente do ano “n+1”, sendo “n” variando de 2001 a 2007,

Para atender a proposta I foram identificadas as idades dos pavimentos dos segmentos homogêneos onde foram verificadas diversas inconsistências. Foi necessária, então, uma pesquisa junto ao órgão para rever essas informações. Foi possível corrigir 94% dos dados através de relatórios do próprio DER\CE. Os 6% restantes foram pesquisados junto a técnicos que estiveram envolvidos nas obras.

Para a Proposta II foi necessário verificar divergências entre os levantamentos de anos sequenciais e retirá-los da análise. Dentre os critérios utilizados, os mais importantes foram:

- Retirada dos dados 2002 x 2003 e 2003 x 2004 onde em 2003 não ocorreu o levantamento LVC;
- Divergências nas faixas levantadas entre anos de LVC sequenciais;
- SH sem levantamento por falha no cadastro ou por não existir em um determinado ano anterior;
- Trechos que sofreram intervenção rotineira acima da média (soluções emergenciais);
- Pares de informações onde o ano “n” ou “n+1” sofreu intervenção, sendo “n” variando de 2001 a 2007;
- Segmentos que tiveram mudanças de avaliações de defeitos, principalmente trincas de fadiga com trincas de bloco ou vice versa.

5.9. CRITÉRIOS DE ANÁLISE

Para estabelecer o modelo de desempenho pretendido nessa dissertação, foram estabelecidas etapas para avaliar todas as possibilidades de soluções e precisões envolvendo as variáveis, idade do pavimento e fator equivalente. Também foi verificada a confiabilidade das equações por nível de tráfego em relação do VMD (baixo inferior a 400 veículos dia, médio entre 401 a 1500 veículos dia e alto quando maior que 1501 veículos dia) e tipo de superfície de pavimento já apresentado na Tabela 5.11. As etapas estabelecidas foram:

- Etapa I - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento.
- Etapa II - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego.

- Etapa III - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente em Anos Consecutivos.
- Etapa IV - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.
- Etapa V - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento.

Para cada etapa foi realizada uma estatística que apresenta o número de dados utilizados, a equação do fator equivalente ($ax+b$) e o quadrado do coeficiente de correlação do momento do produto de Pearson (R^2).

Para definir o modelo foram consideradas válidas as equações que apresentam R^2 maior que 0,5, analisadas na seguinte ordem: (1) equação tipo de superfície e patamar de tráfego, (2) equação patamar de tráfego e (3) nos caso em que as alternativas anteriores não foram válidas foi utilizada a equação geral.

CAPÍTULO 6

ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados do modelo matemático de deterioração dos defeitos ao longo do tempo, a ser adotado para a malha rodoviária estadual cearense. Foram estudados o comportamento das Trincas de Fadiga, Trincas de Bloco, Remendo, Afundamento e Desgaste além do agrupamento das Trincas em um único defeito. Para efeito de cálculo foram realizadas cinco etapas, a saber:

- Etapa I – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento.
- Etapa II – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego
- Etapa III – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente do Defeito em Anos Consecutivos.
- Etapa IV – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente do Defeito em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.
- Etapa V– Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente do Defeito em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento.

Como patamares de tráfego foram utilizados os seguintes critérios:

- Tráfego Baixo: de 0 a 400 veículos dia
- Tráfego Médio: de 401 a 1500 veículos dia
- Tráfego Alto: acima de 1500 veículos dia

Para o Tipo de Superfície foi adotado: MQ – Mistura a Quente, TT – Tratamento Superficial e MF – Mistura a Frio conforme critério apresentado no Capítulo 5 (Tabela 5.11).

6.1. TRINCA ASSOCIADA À CARGA OU TRINCA DE FADIGA

6.1.1. Etapa I – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento

Na Figura 6.1 é visualizada a relação da idade do pavimento (em anos) *versus* o fator equivalente da trinca de fadiga (% da extensão) e, em seguida, a Tabela 6.1 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar que para a mesma idade de pavimento existe uma variação significativa no fator equivalente. Nos pavimentos com idade de cinco são encontradas informações no intervalo de 0 a aproximadamente 40%. Apesar desta variação significativa, a maior concentração de informações está distribuída entre 0 a 10%. Analisando o R^2 (0,10) conclui-se que essa relação é pouco significativa e não é uma relação adequada para a malha rodoviária analisada.

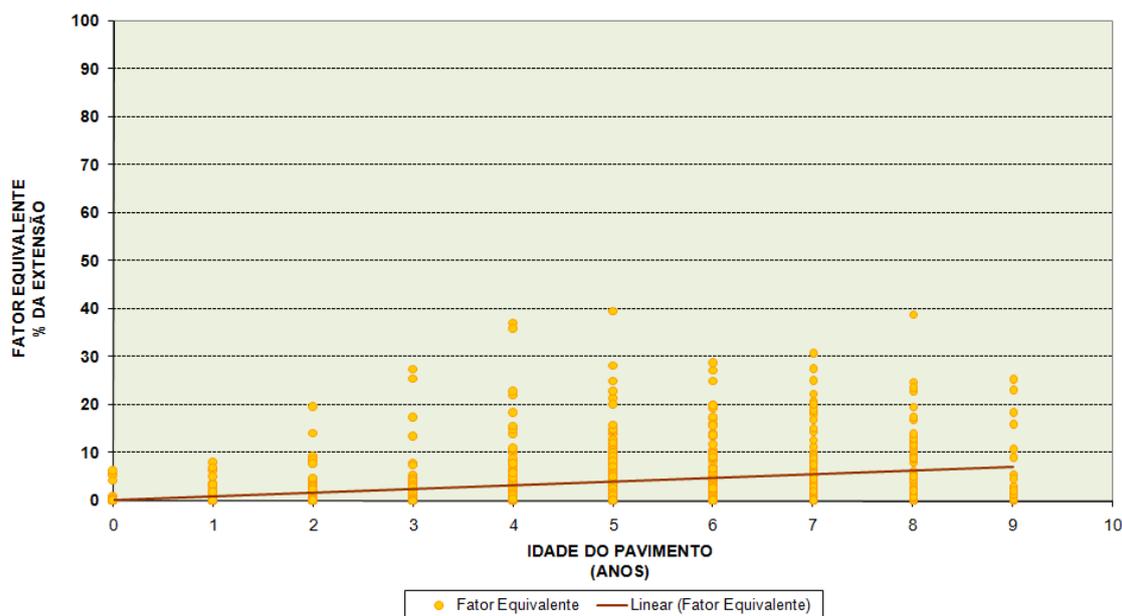


Figura 6. 1: Gráfico da Idade do Pavimento versus Fator Equivalente de Trinca de Fadiga

Tabela 6.1: Estatística dos dados de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente da Trinca de Fadiga.

Número de Pontos (Unidade)	897
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,76 \times \text{Idade} + 0,19$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,10

Idade = Idade do pavimento considerando a última intervenção

6.1.2. Etapa II – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego

Na Figura 6.2 é visualizada a relação da idade do pavimento (em anos) *versus* o fator equivalente da trinca de fadiga (% da extensão) por patamar de tráfego e, em seguida, a Tabela 6.2 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2) por nível de tráfego. Pode-se observar que para o tráfego baixo e médio não existe uma correlação entre a idade de pavimento e fator equivalente, já no tráfego alto o R^2 é maior, mas, ainda assim, é uma relação pouco significativa. Conclui-se que essa ainda não é uma relação adequada para a malha rodoviária analisada.

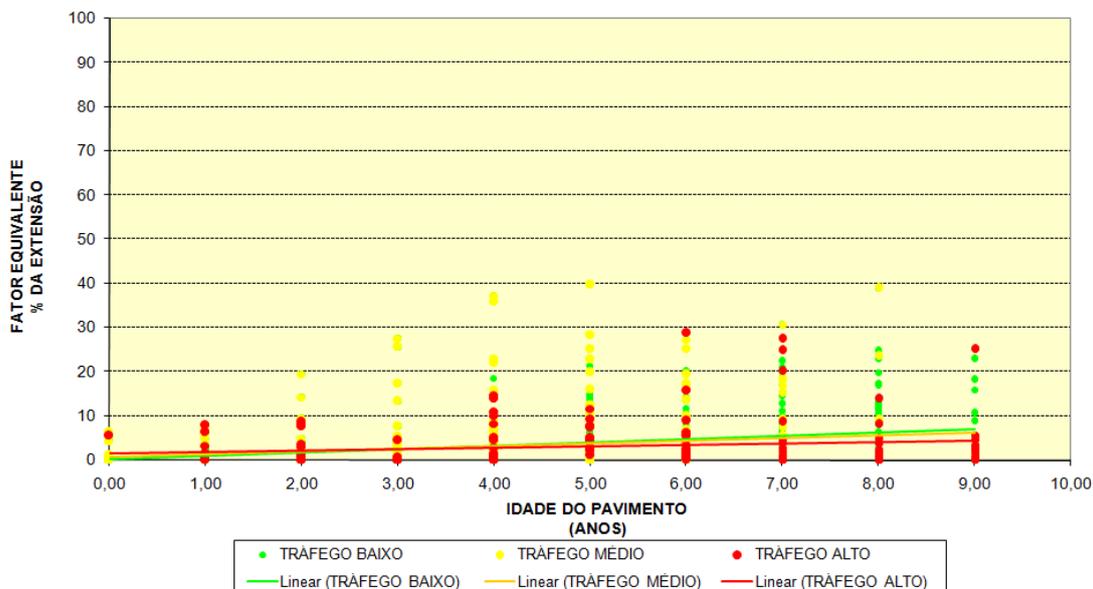


Figura 6. 2: Gráfico da Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente de Trinca de Fadiga por Patamar de Tráfego

Tabela 6.2: Estatística dos dados de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente por Patamar de Tráfego

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	448	159	291
Equação do Fator Equivalente (%)	0,63 x Idade + 0,65	0,31 x Idade + 1,65	1,23 x Idade - 1,5
Quadrado do coeficiente de correlação (R ²)	0,05	0,02	0,30

Idade = Idade do pavimento considerando a última intervenção

6.1.3. Etapa III – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos.

Na Figura 6.3 é visualizada a relação entre os fatores equivalentes da trinca de fadiga (% da extensão) em dois anos seqüenciais e a Tabela 6.3 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R²). Pode-se observar, também, na Figura 6.3 a equação utilizada atualmente pelo DER para estimar a evolução dos defeitos de trinca de fadiga:

$$FE_1 = 1,15 \times FE_0 + 0,86 \quad (6.1)$$

onde:

FE_1 é o Fator Equivalente calculado;

FE_0 é o Fator Equivalente atual.

A equação de deterioração que consta na Tabela 6.3 apresenta R² = 0,64, que para esse tipo de dados é uma relação significativa.

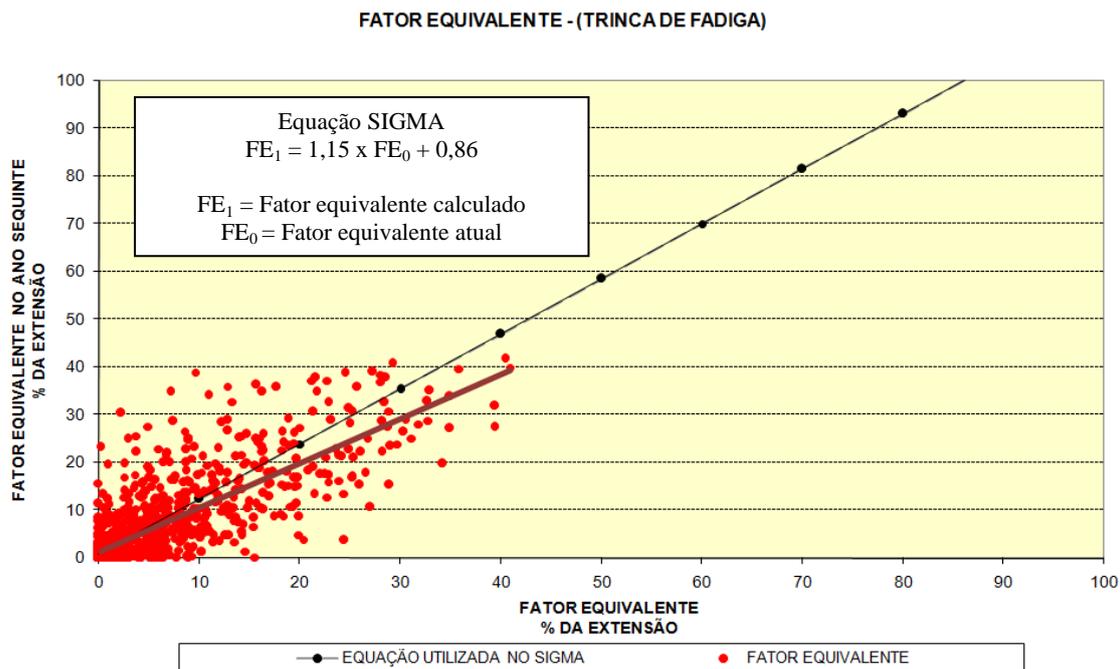


Figura 6.3: Gráfico de Evolução do Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos

Tabela 6.3: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos

Número de Pontos (Unidade)	1087
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,93 \times FE_0 + 1,47$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,64

FE_0 = Fator Equivalente do ano anterior

6.1.4. Etapa IV – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.

Na Figura 6.4 é visualizada a relação entre os fatores equivalentes da trinca de fadiga (% da extensão) em dois anos sequenciais por patamar de tráfego e, em seguida, a Tabela 6.4 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar, também, na Figura 6.4 a Equação 6.1, que é utilizada atualmente pelo DER para evoluir os defeitos de trinca de fadiga. A equação de deterioração, apresentada na Tabela 6.4 que leva em consideração o patamar de tráfego, não melhora significativamente o R^2 já obtido na Tabela 6.3.

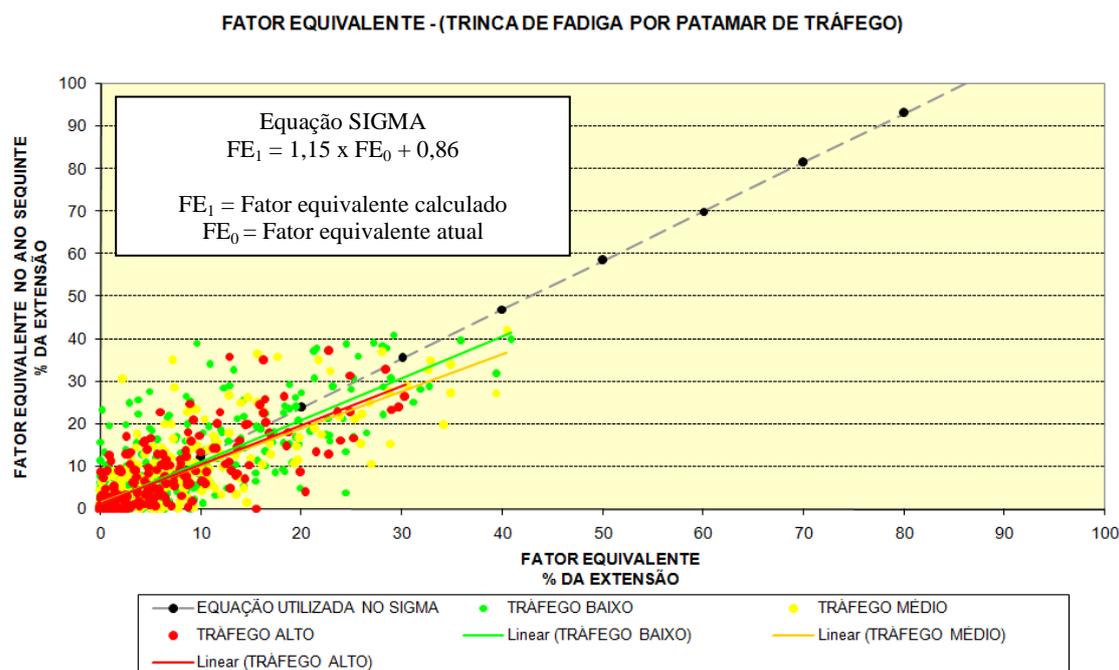


Figura 6.4: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.

Tabela 6.4: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.

Tráfego	Baixo	Médio	Alto
Número de Pontos (Unidade)	528	287	272
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,98 \times FE_0 + 1,36$	$0,87 \times FE_0 + 1,74$	$0,92 \times FE_0 + 1,43$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,66	0,61	0,61

FE_0 = Fator Equivalente do ano anterior

6.1.5. Etapa V– Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento.

As Figuras 6.5 a 6.7 mostram a relação entre os fatores equivalentes da trinca de fadiga (% da extensão) em dois anos seqüências por patamar de tráfego e tipo de superfície. As Tabelas 6.5 a 6.7 apresentam a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar nestas figuras, também, a Equação 6.1, a qual é utilizada atualmente

pelo DER para evoluir os defeitos de trinca de fadiga. As equações de deterioração, apresentadas nas Tabelas 6.5 a 6.7 não melhoram significativamente o R^2 já obtido na Tabela 6.3, ou não apresentaram boa correlação, exceto a equação com mistura a frio e tráfego baixo onde o R^2 é de 0,82.

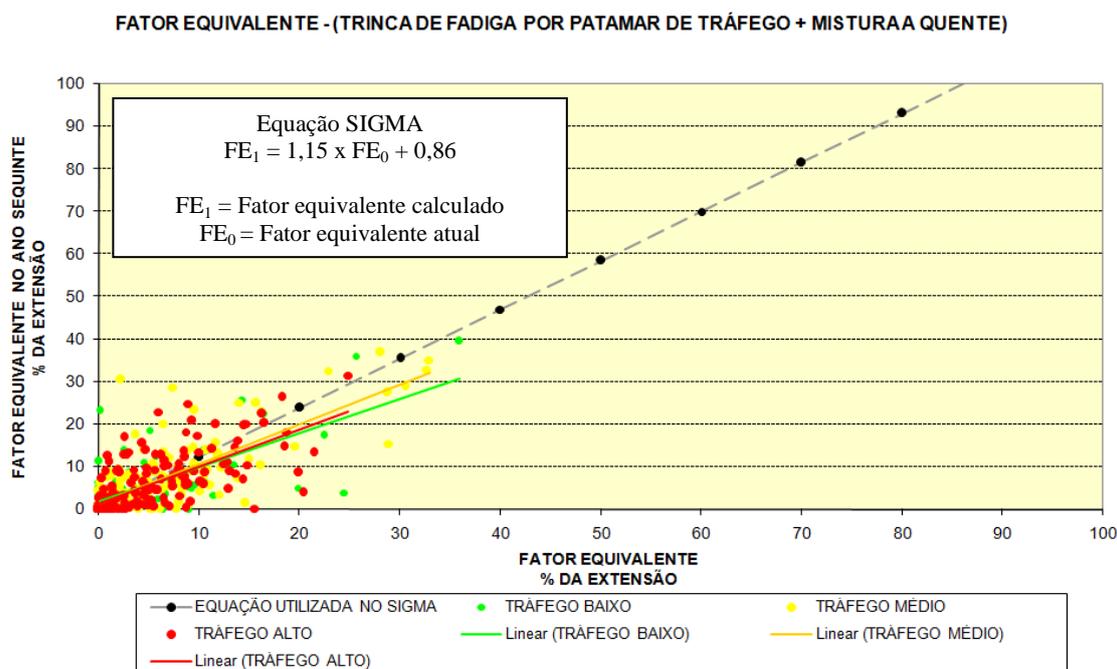


Figura 6.5: Gráfico do Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.

Tabela 6.5: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	97	153	222
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,80 \times FE_0 + 1,82$	$0,93 \times FE_0 + 1,14$	$0,87 \times FE_0 + 1,30$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,50	0,62	0,52

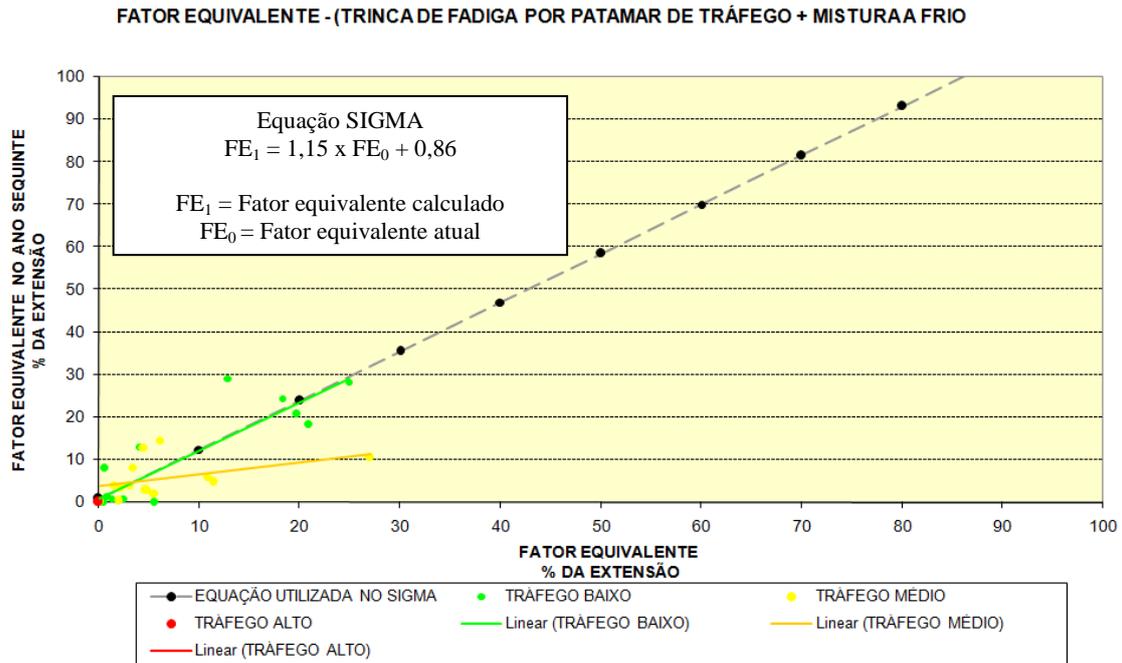


Figura 6.6: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio

Tabela 6.6: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	21	14	-
Equação do Fator Equivalente (%)	$1,14 \times FE_0 + 0,83$	$0,28 \times FE_0 + 3,80$	-
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,82	0,18	-

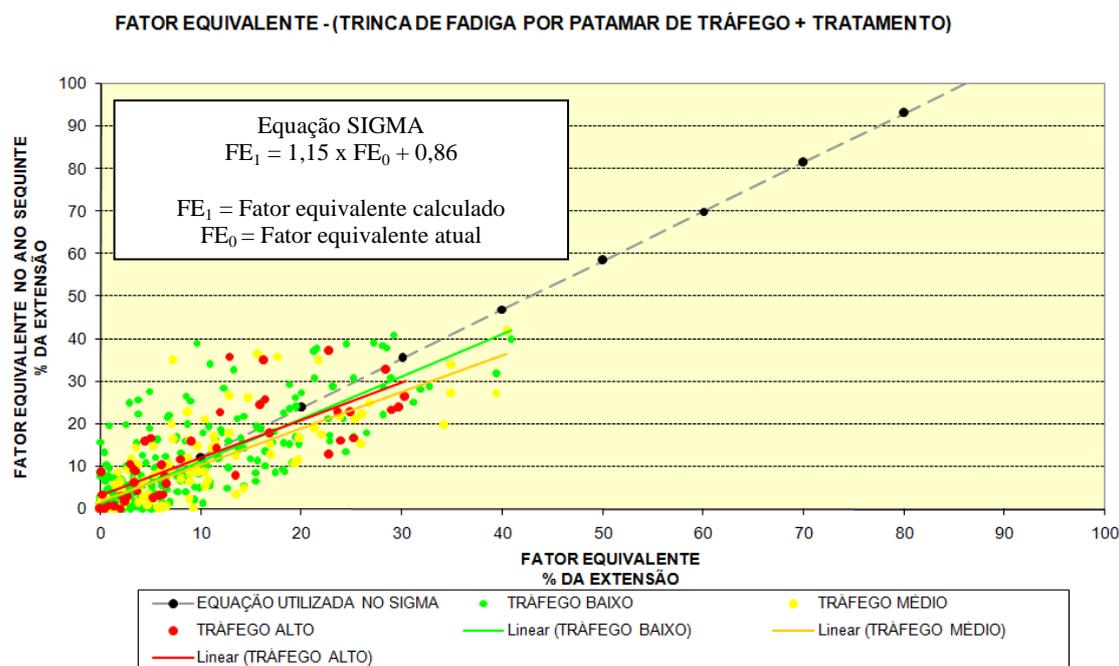


Figura 6.7: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento

Tabela 6.7: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Fadiga em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	410	120	48
Equação do Fator Equivalente (%)	$1,00 \times FE_0 + 1,33$	$0,86 \times FE_0 + 2,04$	$0,89 \times FE_0 + 3,40$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,68	0,63	0,63

6.2. TRINCA NÃO ASSOCIADA À CARGA OU TRINCA DE BLOCO

6.2.1. Etapa I – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento

Na Figura 6.8 é visualizada a relação da idade do pavimento (em anos) *versus* o fator equivalente da trinca de bloco (% da extensão) e, em seguida, a Tabela 6.8 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar que não existe uma

relação direta, que é confirmada pelo R^2 da Tabela 6.8. Pode-se concluir, então, que essa relação não é significativa, logo não deve ser utilizada para a malha rodoviária analisada.

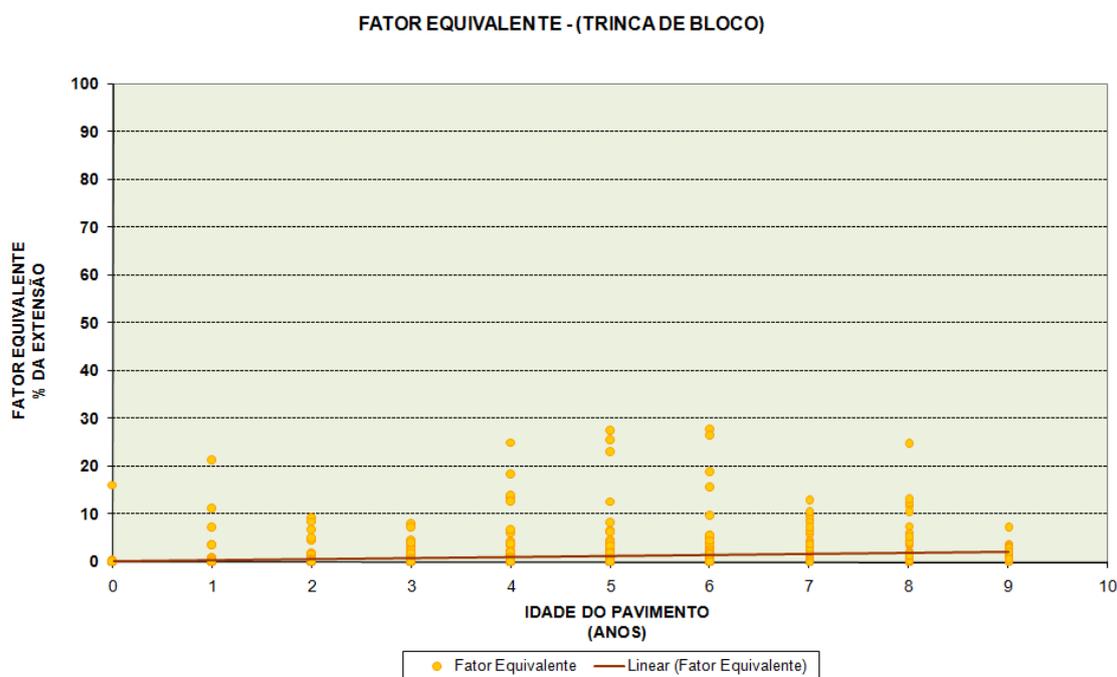


Figura 6.8: Gráfico de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente de Trinca de Bloco

Tabela 6.8: Estatística dos dados de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente da Trinca de Bloco.

Número de Pontos (Unidade)	898
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,21 \times Idade + 0,24$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,03

Idade = Idade do pavimento considerando a última intervenção

6.2.2. Etapa II – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego

Na Figura 6.9 é visualizada a relação da idade do pavimento (em anos) *versus* o fator equivalente da trinca de bloco (% da extensão) por patamar de tráfego e, em

seguida, a Tabela 6.9 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2) por nível de tráfego. Pode-se observar que continua não existindo correlação entre a idade de pavimento e fator equivalente. Conclui-se e que essa ainda não é uma relação adequada para a malha rodoviária analisada.

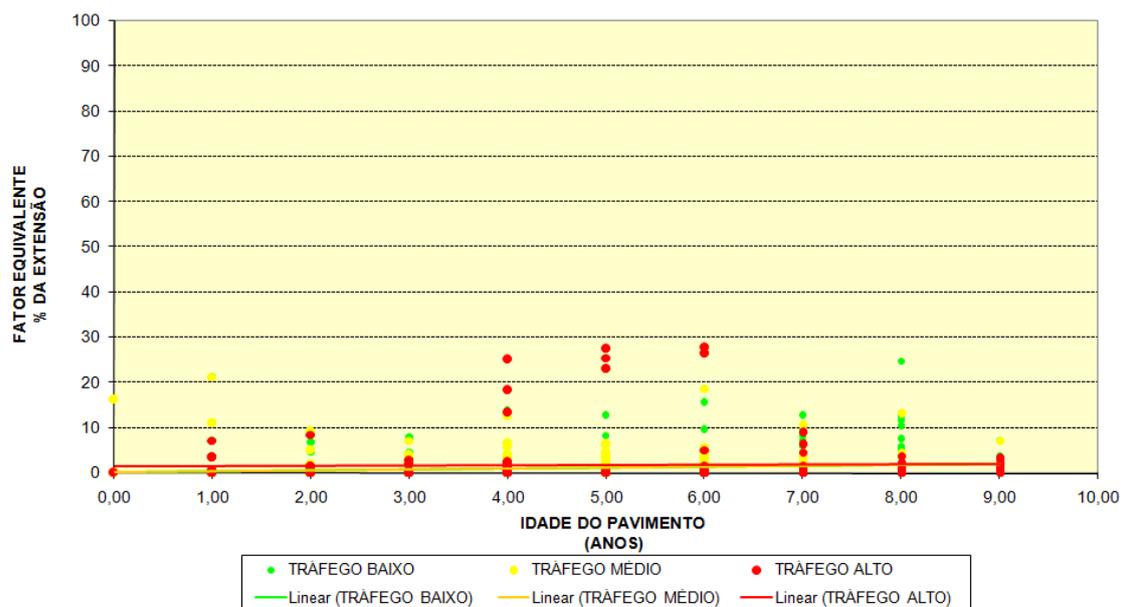


Figura 6.9: Gráfico de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente de Trinca de Bloco por Patamar de Tráfego

Tabela 6.9: Estatística dos dados de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente por Patamar de Tráfego

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	448	159	291
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,21 \times Idade + 0,13$	$0,05 \times Idade + 1,65$	$0,26 \times Idade - 0,18$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,04	0,00	0,05

Idade = Idade do pavimento considerando a última intervenção

6.2.3. Etapa III – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Bloco em Anos Consecutivos

Na Figura 6.10 pode ser visualizada a relação entre os fatores equivalentes da Trinca de Bloco (% da extensão) em dois anos seqüenciais e, em seguida, a Tabela 6.10 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar, também, na Figura 6.10 a equação (6.2), que é utilizada atualmente pelo DER, para estimar a evolução dos defeitos de Trinca de Bloco:

$$FE_1 = 1,11 \times FE_0 \quad (6.2)$$

onde:

FE_1 é o Fator Equivalente calculado

FE_0 é o Fator Equivalente atual

A equação de deterioração apresentada na Tabela 6.10 possui $R^2 = 0,63$, que para esse tipo de dados é uma relação significativa. Analisando visualmente a Figura 6.10 pode-se intuitivamente considerar que a equação 6.2 utilizada pelo SIGMA é adequada, mas existe uma quantidade significativa de informações próximas ao eixo “x”. Esses segmentos que produziram resultados do tipo: $FE = 20$ para o ano zero e $FE = 0$ para o ano um, estão aparentemente distorcendo os resultados e podem ser fruto de mudança da aparência do defeito em campo, atuação da conservação como a selagem das trincas com lama asfáltica, dentre outros.

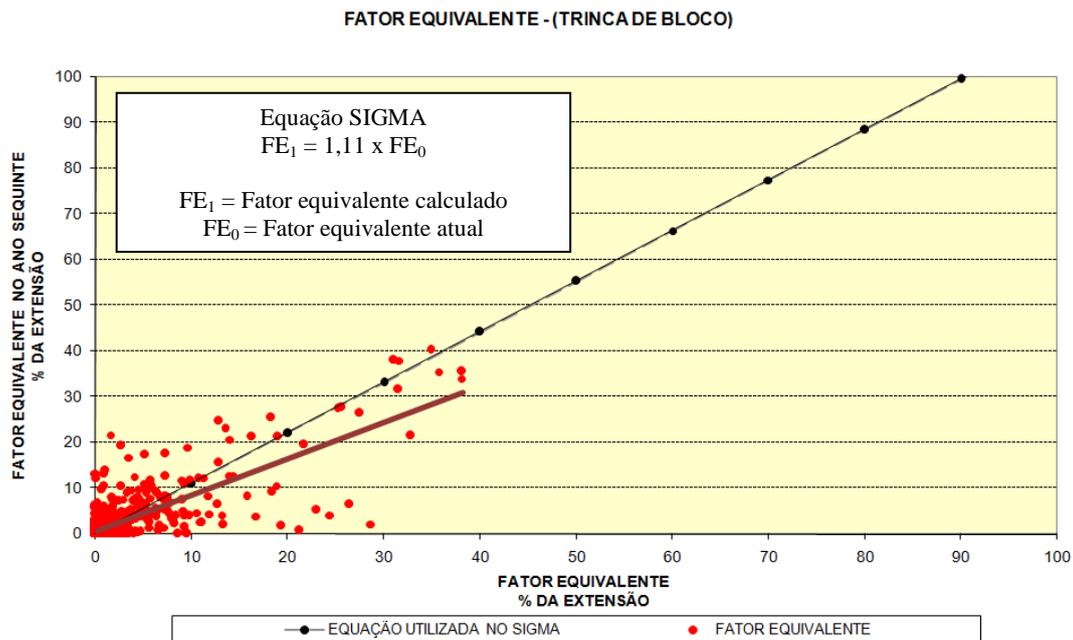


Figura 6.10: Gráfico de Evolução do Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos

Tabela 6.10: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos

Número de Pontos (Unidade)	1084
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,80 \times FE_0 + 0,63$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,63

FE_0 = Fator Equivalente do ano anterior

6.2.4. Etapa IV – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego

Na Figura 6.11 pode ser visualizada a relação entre os fatores equivalentes da trinca de bloco (% da extensão) em dois anos sequenciais por patamar de tráfego e, em seguida, a Tabela 6.11 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar nesta figura, também, a Equação 6.2, que é utilizada atualmente pelo DER, para evoluir os defeitos de trinca de bloco. A equação de deterioração, apresentada na Tabela 6.11

que leva em consideração o patamar de tráfego, não melhora significativamente o R^2 já obtido na Tabela 6.10.

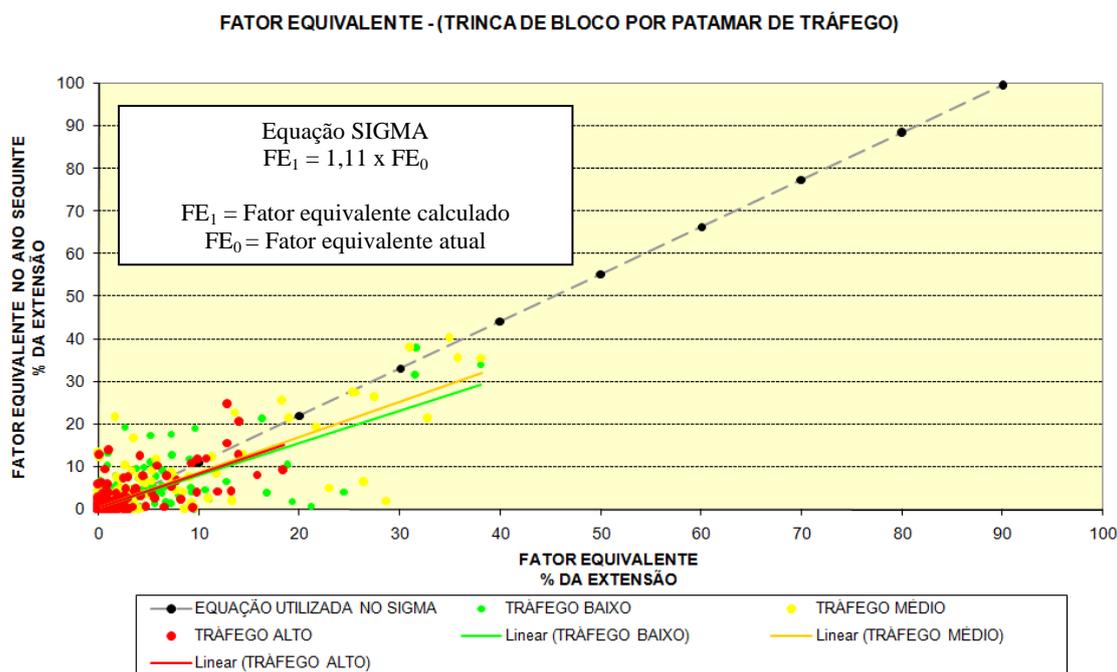


Figura 6.11: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego

Tabela 6.11: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	526	286	272
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,75 \times FE_0 + 0,67$	$0,83 \times FE_0 + 0,65$	$0,80 \times FE_0 + 0,57$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,57	0,70	0,50

FE_0 = Fator Equivalente do ano anterior

6.2.5. Etapa V - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento

As Figuras 6.12 a 6.14 mostram a relação entre os fatores equivalentes da Trinca de Bloco (% da extensão) em dois anos sequenciais por patamar de tráfego e tipo de superfície. As Tabelas 6.12 a 6.14 apresentam a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar nestas figuras, também, a Equação 6.2, a qual é utilizada atualmente pelo DER, para evoluir os defeitos de Trinca de Bloco. As equações de deterioração, apresentadas nas Tabelas 6.5 a 6.7 não melhoram significativamente o R^2 já obtido na Tabela 6.8, ou não apresentaram boa correlação.

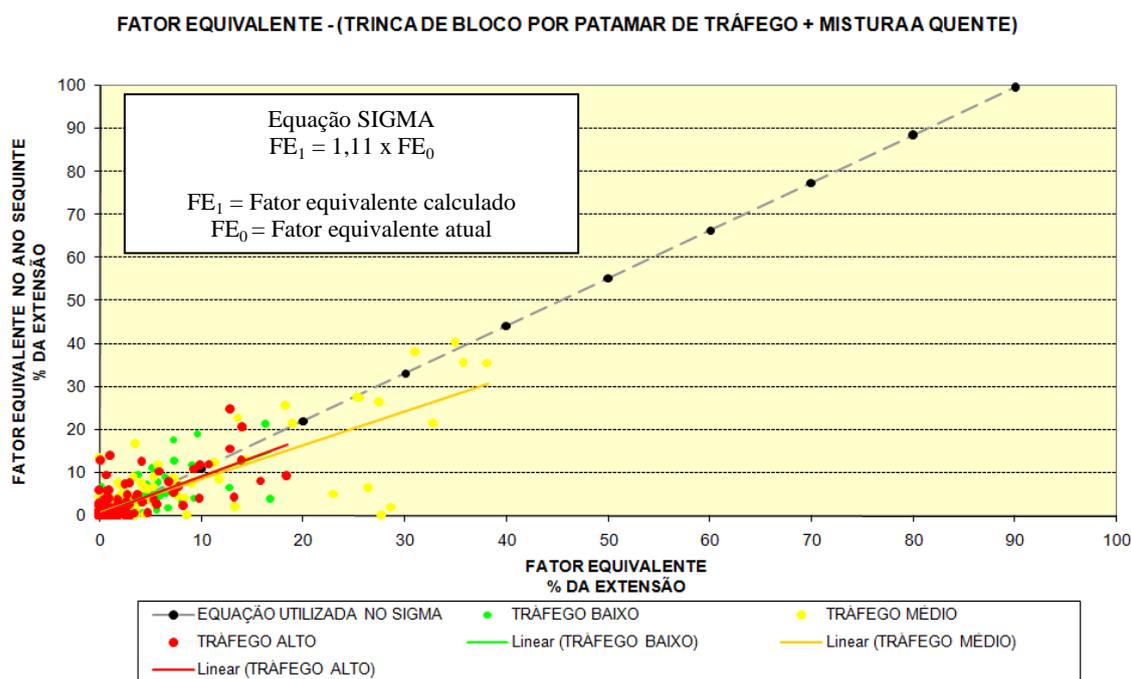


Figura 6.12: Gráfico do Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.

Tabela 6.12: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	97	153	222
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,85 \times FE_0 + 0,89$	$0,78 \times FE_0 + 0,88$	$0,87 \times FE_0 + 0,53$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,52	0,68	0,55

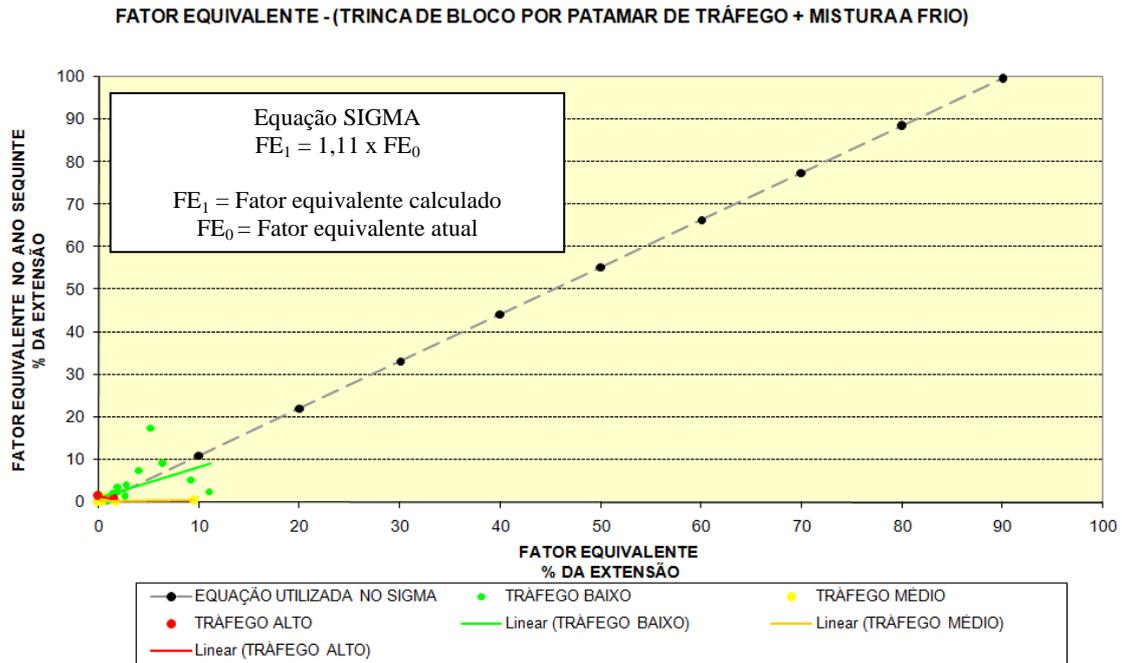


Figura 6.13: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.

Tabela 6.13: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	21	-	-
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,71 \times FE_0 + 1,19$	-	-
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,29	-	-

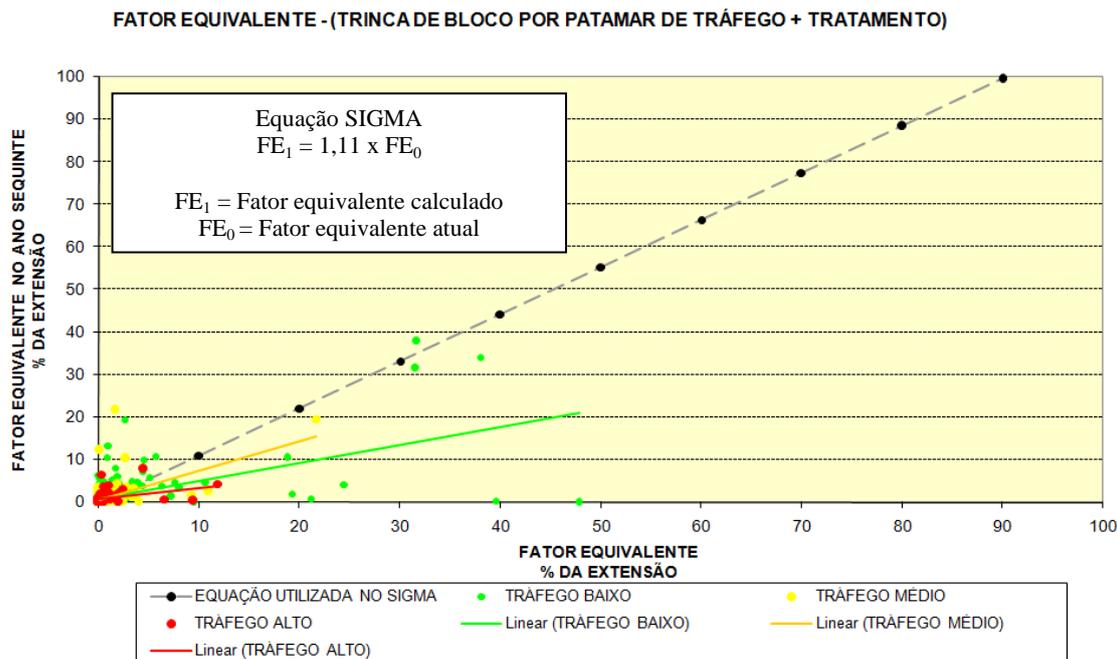


Figura 6.14: Gráfico de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento

Tabela 6.14: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trinca de Bloco em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	410	120	48
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,42 \times FE_0 + 0,77$	$0,69 \times FE_0 + 0,64$	$0,26 \times FE_0 + 0,90$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,34	0,30	0,13

6.3. REMENDOS

6.3.1. Etapa I - Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento

Na Figura 6.15 pode ser visualizada a relação da idade do pavimento (em anos) *versus* o fator equivalente do Remendo (% da extensão) e, em seguida, a Tabela 6.15 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar que não existe uma

relação direta, que é confirmada pelo R^2 da Tabela 6.15. Pode-se concluir, então, que essa relação não é significativa logo não deve ser utilizada para a malha rodoviária analisada.

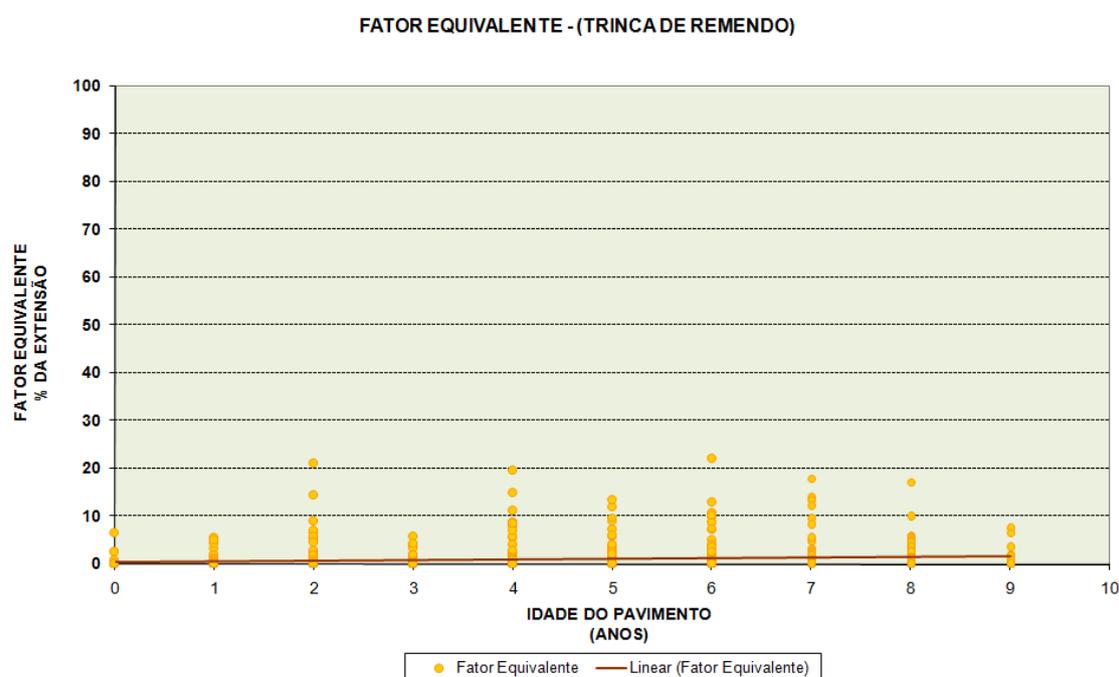


Figura 6.15: Gráfico de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente de Remendo

Tabela 6.15: Estatística dos dados de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente do Remendo.

Número de Pontos (Unidade)	898
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,16 \times Idade + 0,40$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,02

Idade = Idade do pavimento considerando a última intervenção

6.3.2. Etapa II – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego

Na Figura 6.16 é visualizada a relação da idade do pavimento (em anos) *versus* o fator equivalente do Remendo (% da extensão) por patamar de tráfego e, em seguida, a Tabela 6.16 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2) por nível de tráfego. Pode-se observar que continua não existindo correlação entre a idade de pavimento e fator

equivalente. Conclui-se que essa ainda não é uma relação adequada para a malha rodoviária analisada.

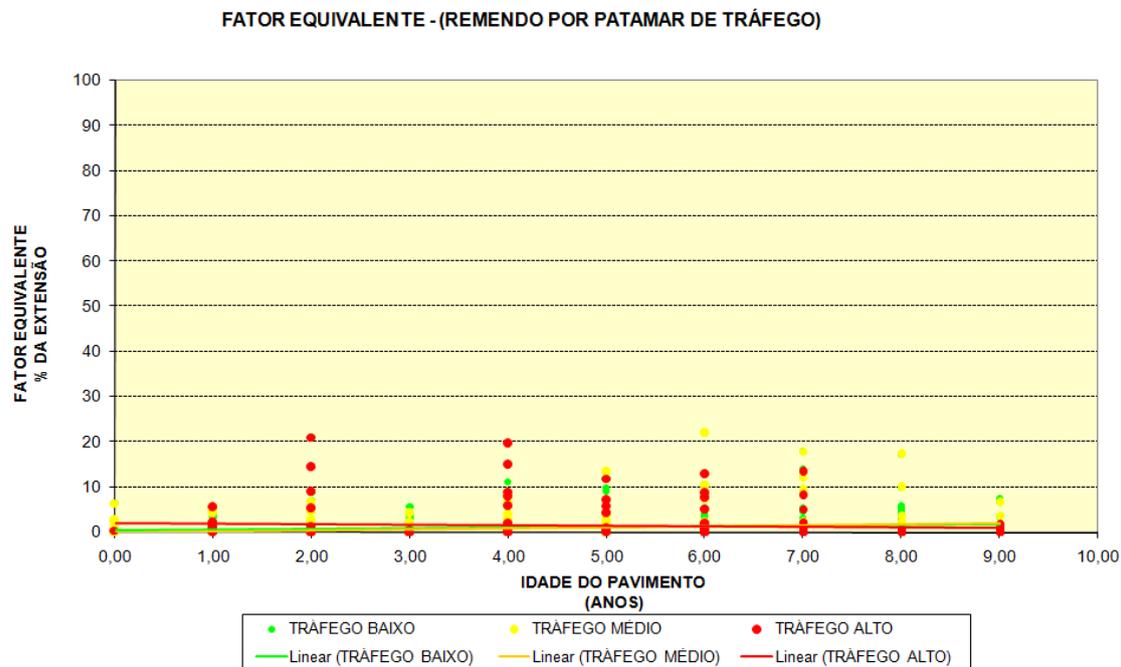


Figura 6.16: Gráfico de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente de Remendo por Patamar de Tráfego

Tabela 6.16: Estatística dos dados de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente por Patamar de Tráfego

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	448	159	291
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,22 \times Idade + 0,08$	$-0,12 \times Idade + 2,22$	$0,20 \times Idade + 0,13$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,05	0,01	0,07

Idade = Idade do pavimento considerando a última intervenção

6.3.3. Etapa III – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Remendo em Anos Consecutivos

Na Figura 6.17 é visualizada a relação entre os fatores equivalentes do Remendo (% da extensão) em dois anos seqüenciais e, em seguida, a Tabela 6.17 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar, também, na Figura 6.17, a equação (6.3), utilizada atualmente pelo DER para evoluir os defeitos de Remendo:

$$FE_1 = 1,22 \times FE_0 + 0,38 \quad (6.3)$$

onde:

FE_1 é o Fator Equivalente calculado;

FE_0 é o Fator Equivalente atual.

A equação de deterioração do fator equivalente do remendo apresentada na Tabela 6.17 possui $R^2 = 0,66$, que para esse tipo de dados é uma relação significativa.

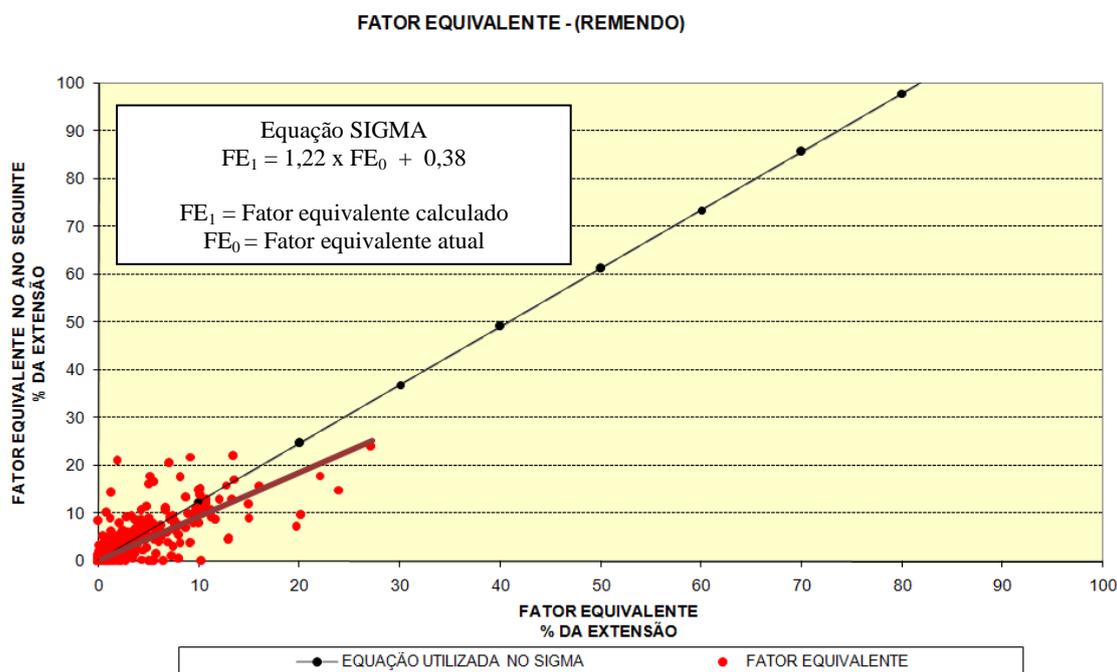


Figura 6.17: Gráfico de Evolução do Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos

Tabela 6.17: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos

Número de Pontos (Unidade)	1087
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,92 \times FE_0 + 0,46$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,66

FE_0 = Fator Equivalente do ano anterior

6.3.4. Etapa IV – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego

Na Figura 6.18 é visualizada a relação entre os fatores equivalentes do remendo (% da extensão) em dois anos seqüenciais por patamar de tráfego e, em seguida, a Tabela 6.18 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar, também, na Figura 6.18, a Equação 6.3, utilizada atualmente pelo DER para evoluir os defeitos de Remendo. A equação de deterioração, apresentada na Tabela 6.18 que leva em consideração o patamar de tráfego, apresenta melhor correlação.

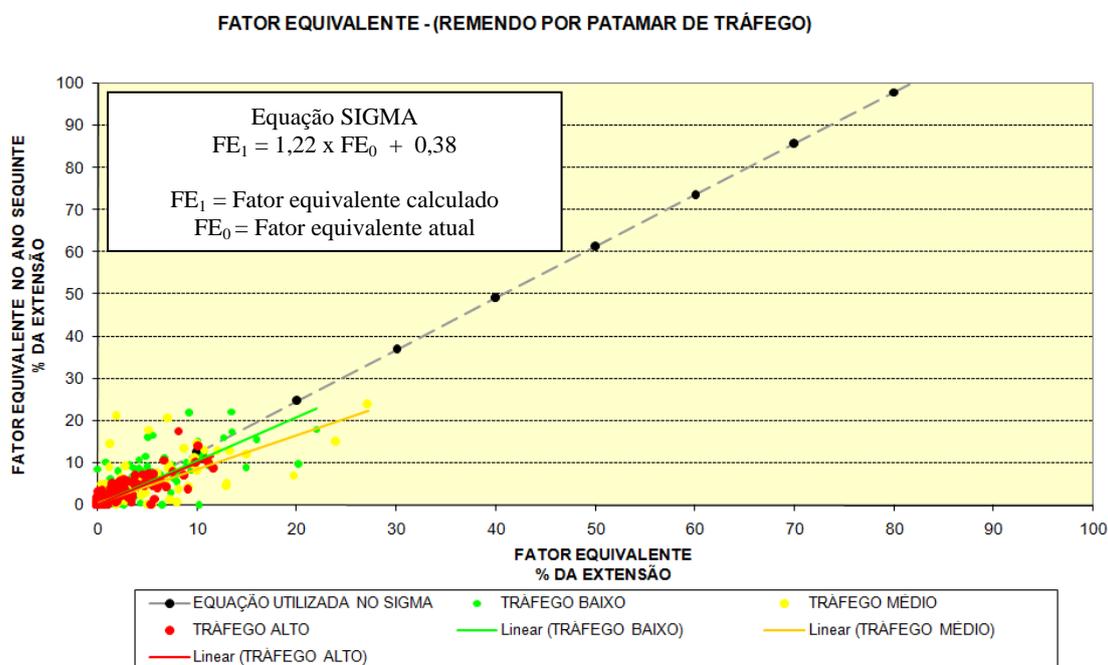


Figura 6.18: Gráfico de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.

Tabela 6.18: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	528	287	272
Equação do Fator Equivalente (%)	$1,03 \times FE_0 + 0,38$	$0,80 \times FE_0 + 0,64$	$0,98 \times FE_0 + 0,34$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,70	0,58	0,75

FE_0 = Fator Equivalente do ano anterior

6.3.5. Etapa V– Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento

As Figuras 6.19 a 6.21 mostram a relação entre os fatores equivalentes do remendo (% da extensão) em dois anos seqüenciais por patamar de tráfego e tipo de superfície. As Tabelas 6.19 a 6.21 apresentam a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar, também, nas Figuras 6.19 a 6.21 a Equação 6.3 utilizada atualmente pelo DER para evoluir os defeitos do Remendo. Dentre as nove equações de deterioração, apresentadas nas Tabelas 6.19 a 6.21 seis apresentaram R^2 maior que 0,66; o que significa que o tráfego e a superfície do pavimento devem ser considerados no modelo de deterioração do fator equivalente do remendo.

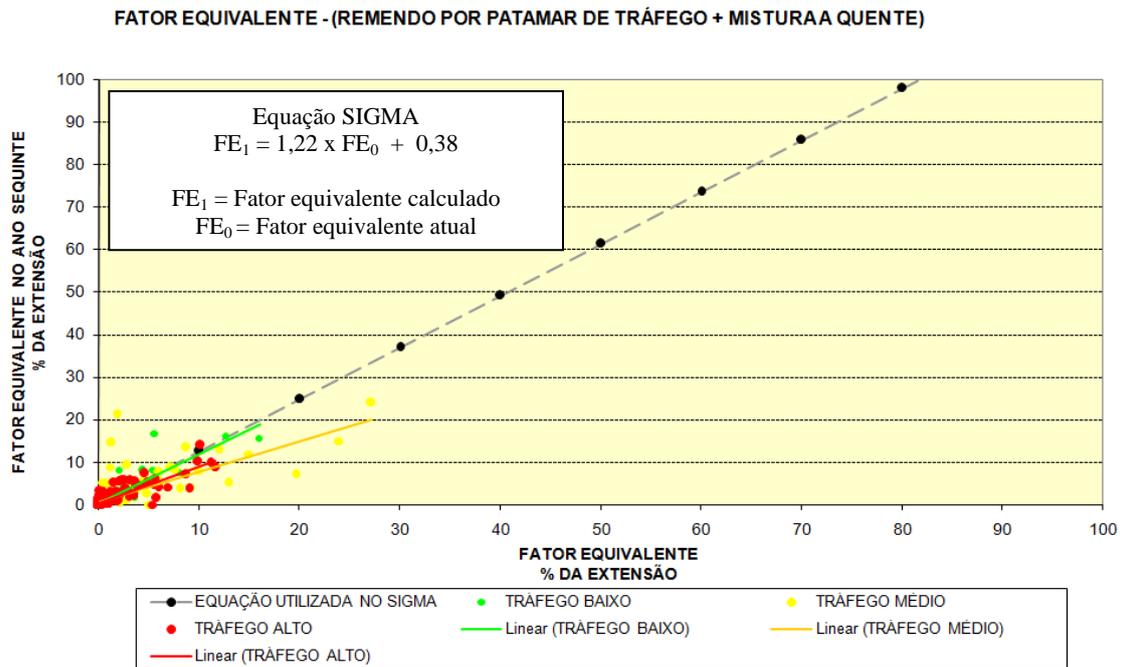


Figura 6.19: Gráfico do Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.

Tabela 6.19: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	97	153	222
Equação do Fator Equivalente (%)	$1,17 \times FE_0 + 0,28$	$0,72 \times FE_0 + 0,68$	$0,86 \times FE_0 + 0,35$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,80	0,58	0,74

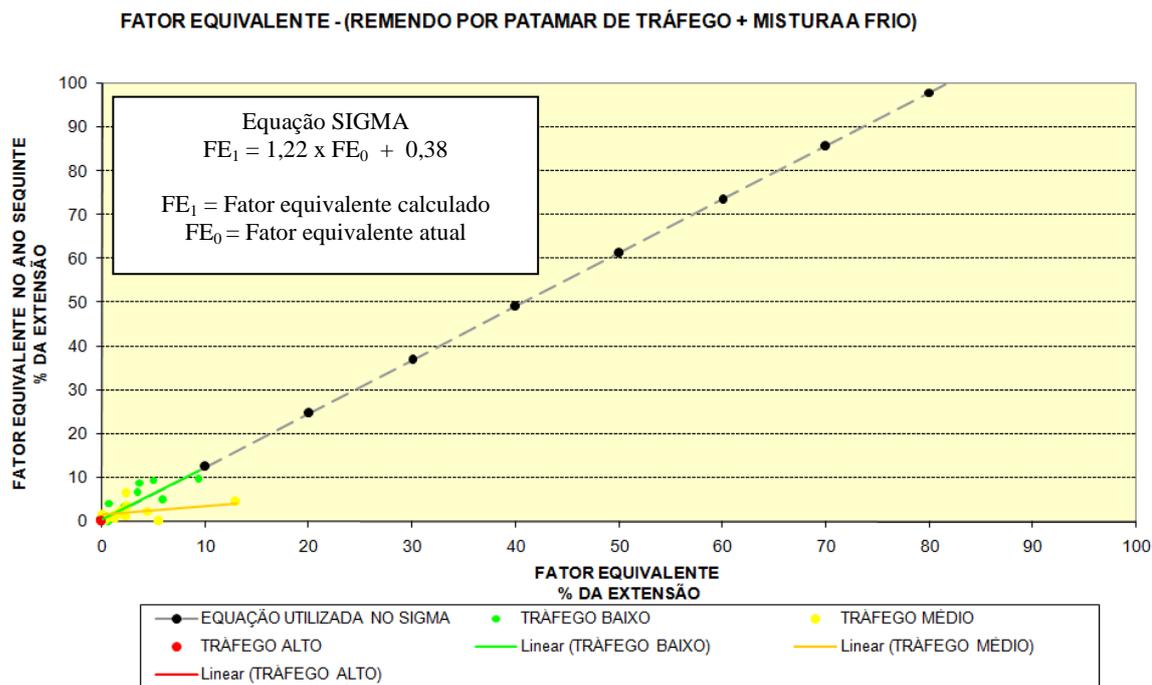


Figura 6.20: Gráfico de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.

Tabela 6.20: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	21	14	-
Equação do Fator Equivalente (%)	$1,18 \times FE_0 + 0,6$	$0,2 \times FE_0 + 1,53$	-
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,77	0,15	-

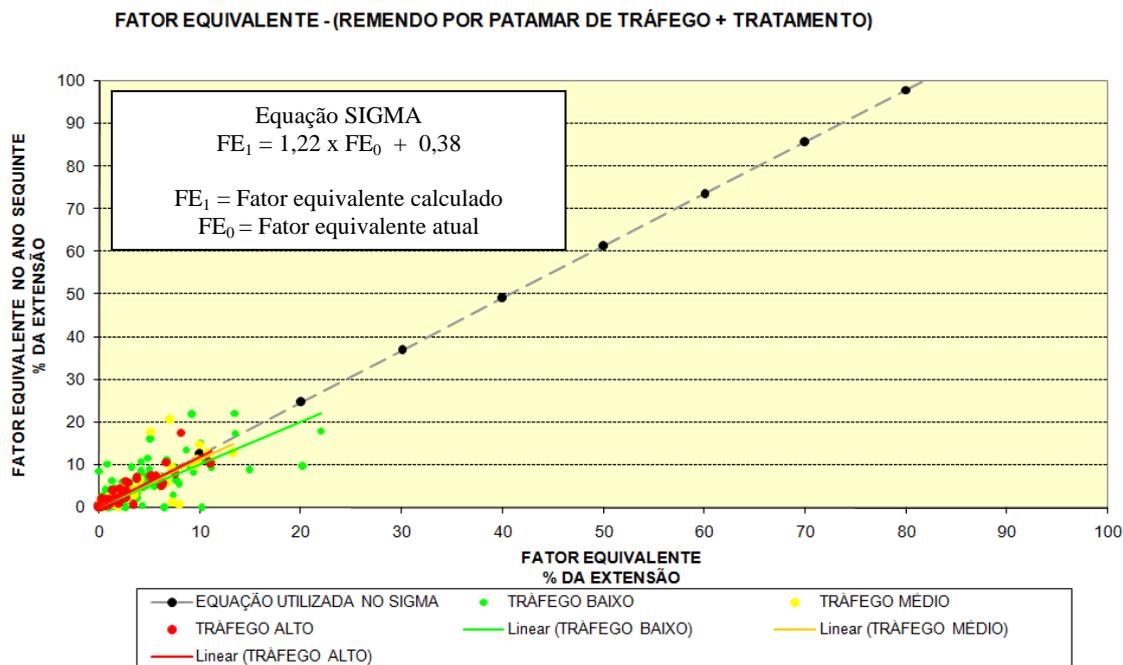


Figura 6.21: Gráfico de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento Superficial

Tabela 6.21: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Remendo em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento Superficial

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	410	120	48
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,99 \times FE_0 + 0,4$	$1,12 \times FE_0 + 0,24$	$1,18 \times FE_0 + 0,41$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,68	0,71	0,77

6.4. AFUNDAMENTO

6.4.1. Etapa I – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento.

Na Figura 6.22 é visualizada a relação da idade do pavimento (em anos) *versus* o fator equivalente do Afundamento (% da extensão) e, em seguida, a Tabela 6.22 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar que não existe uma

relação direta, que é confirmada pelo R^2 da Tabela 6.15. Pode-se concluir, então, que essa relação não é significativa, logo não deve ser utilizada para a malha rodoviária analisada.

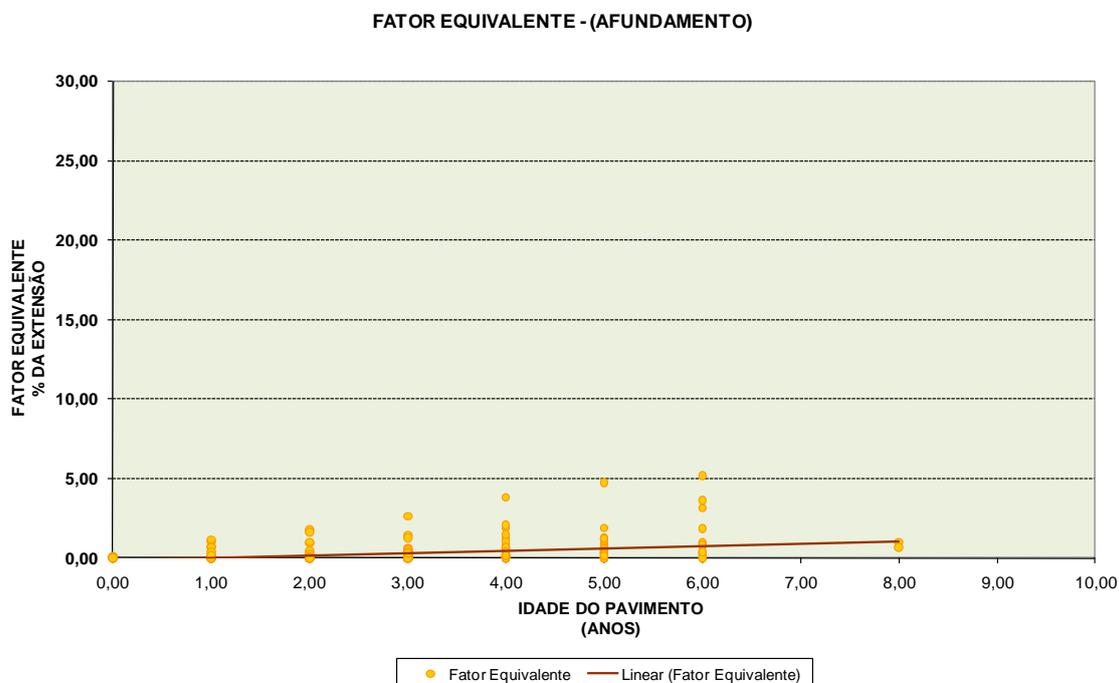


Figura 6.22: Gráfico de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente de Afundamento

Tabela 6.22: Estatística dos dados de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente do Afundamento.

Número de Pontos (Unidade)	898
Equação do Fator Equivalente (%)	$= 0,15 \times \text{Idade} - 0,14$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,13

Idade = Idade do pavimento considerando a última intervenção

6.4.2. Etapa II – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego

Na Figura 6.23 é visualizada a relação da idade do pavimento (em anos) *versus* o fator equivalente do afundamento (% da extensão) por patamar de tráfego e, em seguida, a Tabela 6.23 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2) por nível de tráfego. Pode-se observar que continua não existindo correlação entre a idade de

pavimento e fator equivalente. Concluí-se e que essa ainda não é uma relação adequada para a malha rodoviária analisada.

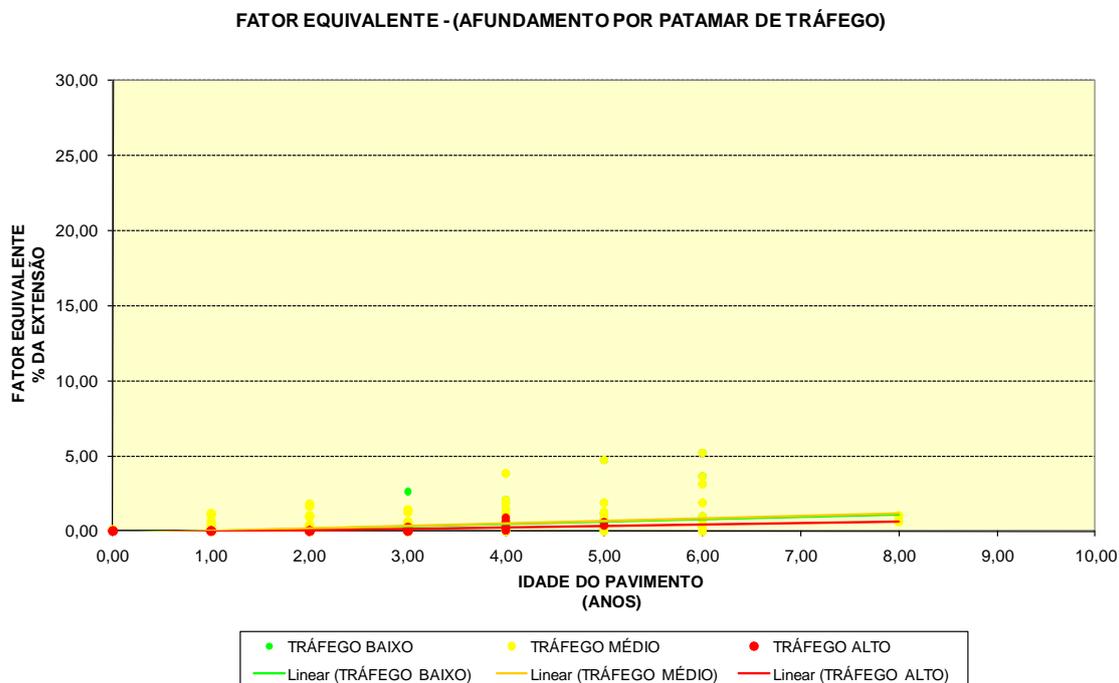


Figura 6.23: Gráfico de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente de Afundamento por Patamar de Tráfego

Tabela 6.23: Estatística dos dados de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente por Patamar de Tráfego

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	448	159	291
Equação do Fator Equivalente (%)	0,15 x IDADE - 0,14	0,17 x IDADE - 0,14	0,09 x IDADE - 0,12
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,13	0,14	0,40

Idade = Idade do pavimento considerando a última intervenção

6.4.3. Etapa III – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Afundamento em Anos Consecutivos

Na Figura 6.24 é visualizada a relação entre os fatores equivalentes do afundamento (% da extensão) em dois anos seqüenciais e, em seguida, a Tabela 6.24 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e

o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar, também, na Figura 6.24 a equação (6.4) utilizada atualmente pelo DER para evoluir os defeitos de afundamento:1

$$FE_1 = 1,15 \times FE_0 + 0,86 \quad (6.4)$$

Onde: FE_1 = Fator equivalente calculado

FE_0 = Fator equivalente atual

A equação de deterioração do fator equivalente do Afundamento apresentada na Tabela 6.24 possui R^2 0,64, que para esse tipo de dados é uma relação significativa.

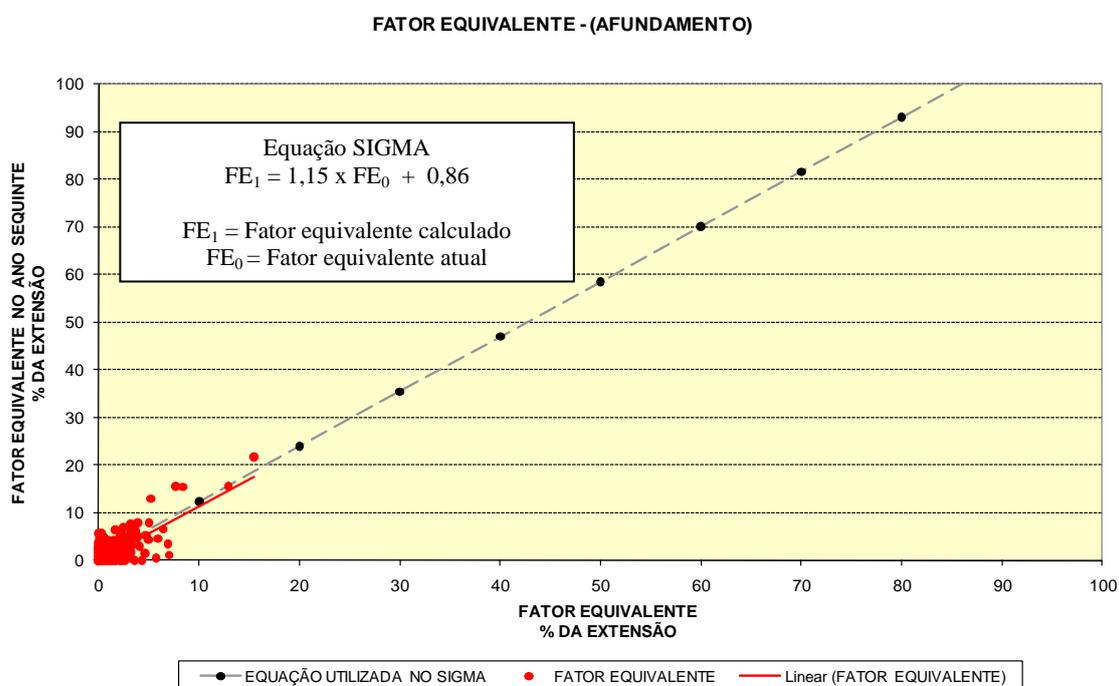


Figura 6.24: Gráfico de Evolução do Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos

Tabela 6.24: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos

Número de Pontos (Unidade)	1087
Equação do Fator Equivalente (%)	$1,12 \times FE_0 + 0,10$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,61

FE_0 = Fator Equivalente do ano anterior

6.4.4. Etapa IV – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego

Na Figura 6.25 é visualizada a relação entre os fatores equivalentes do Afundamento (% da extensão) em dois anos seqüenciais por patamar de tráfego e, em seguida, a Tabela 6.25 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar, também, na Figura 6.25 a Equação 6.4 utilizada atualmente pelo DER para evoluir os defeitos de Afundamento. A equação de deterioração apresentada na Tabela 6.25 não apresenta melhora significativa para o modelo.

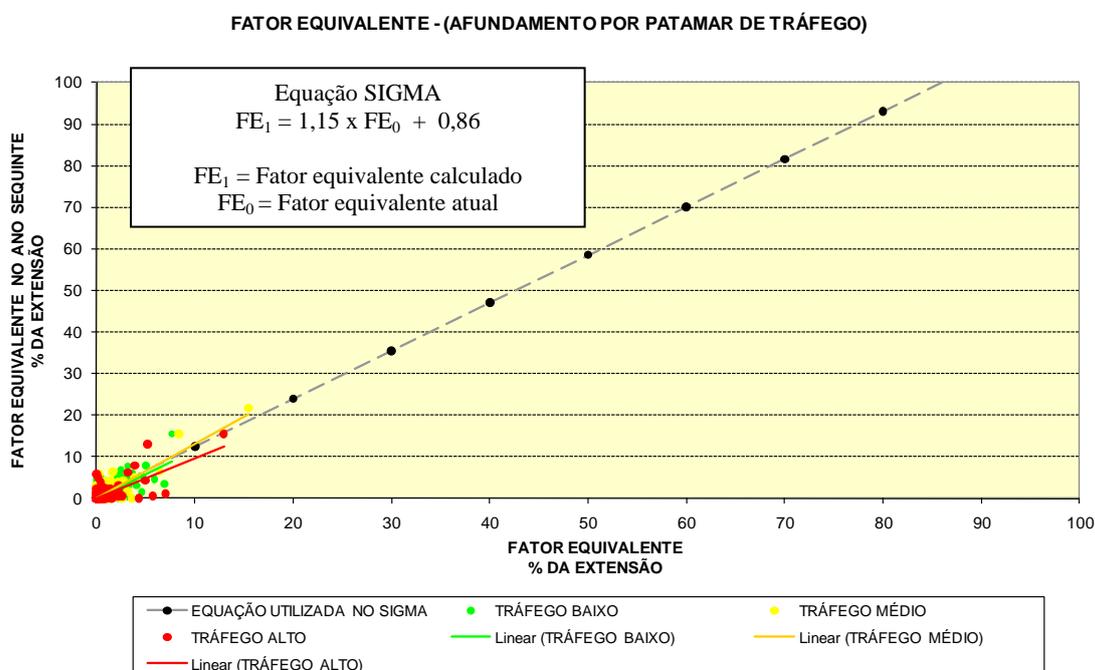


Figura 6.25: Gráfico de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.

Tabela 6.25: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	528	287	272
Equação do Fator Equivalente (%)	$1,14 \times FE_0 + 0,05$	$1,30 \times FE_0 + 0,02$	$0,96 \times FE_0 + 0,02$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,57	0,75	0,55

FE_0 = Fator Equivalente do ano anterior

6.4.5. Etapa V– Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento.

As Figuras 6.26 a 6.28 mostram a relação entre os fatores equivalentes do Afundamento (% da extensão) em dois anos seqüenciais por patamar de tráfego e tipo de superfície. As Tabelas 6.26 a 6.28 apresentam a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Pode-se observar, também, nas Figuras 6.26 a 6.28, a Equação 6.4 é utilizada atualmente pelo DER para evoluir os defeitos do Afundamento. Dentre as nove equações de deterioração, apresentadas nas Tabelas 6.26 a 6.28, duas apenas apresentaram R^2 maior que 0,64.

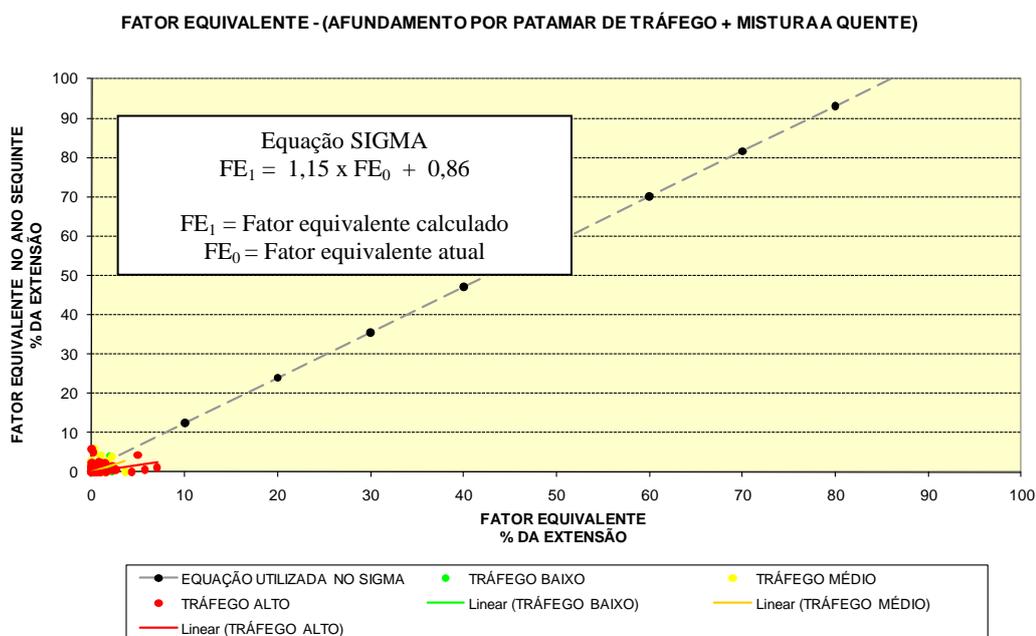


Figura 6.26: Gráfico do Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.

Tabela 6.26: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	97	153	222
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,77 \times FE_0 + 0,01$	$0,79 \times FE_0 + 0,02$	$0,34 \times FE_0 + 0,02$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,34	0,24	0,15

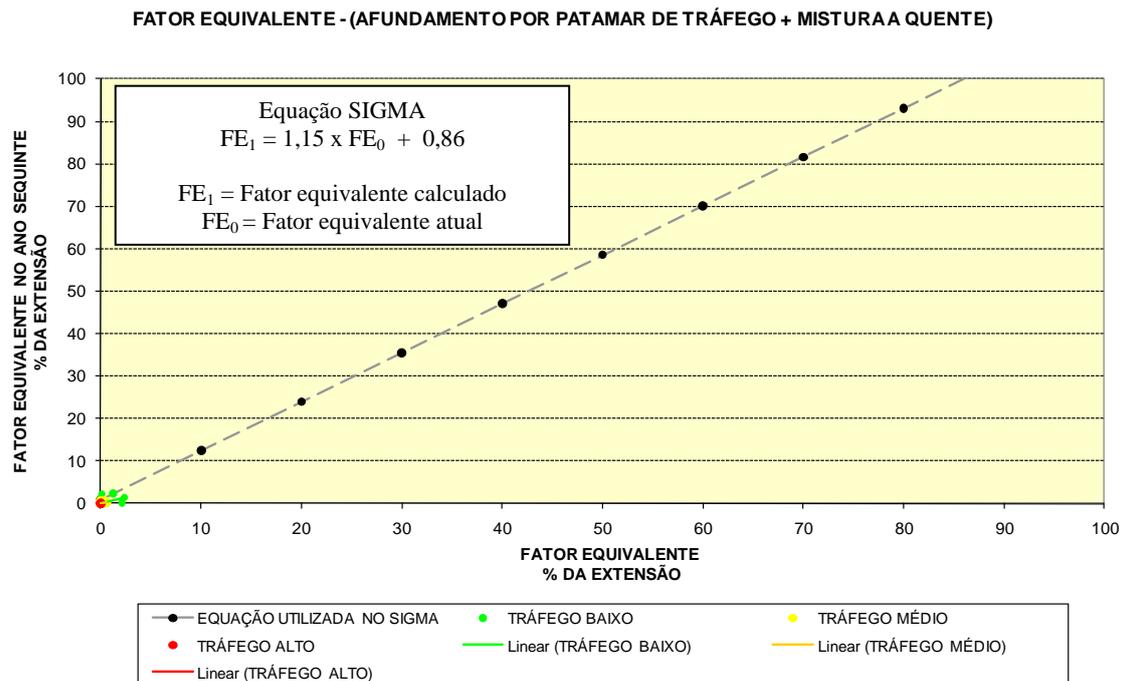


Figura 6.27: Gráfico de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.

Tabela 6.27: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	21	14	-
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,56 \times FE_0$	$0,65 \times FE_0$	-
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,27	0,30	-

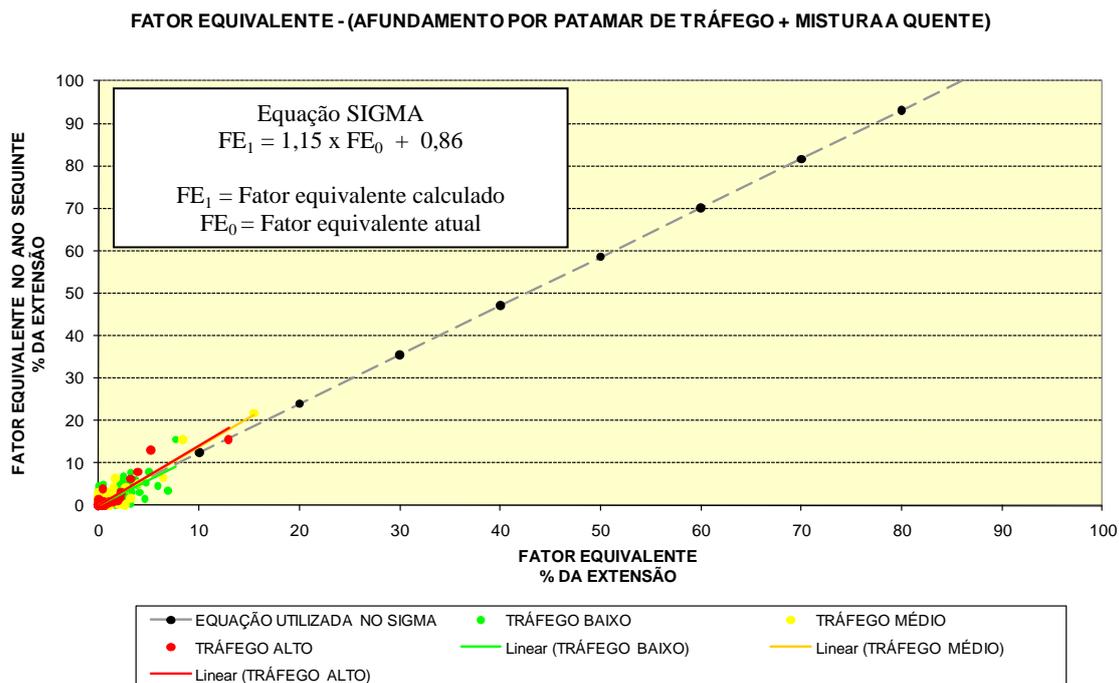


Figura 6.28: Gráfico de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento

Tabela 6.28: Estatística dos dados de Fator Equivalente do Afundamento em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento Superficial

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	410	120	48
Equação do Fator Equivalente (%)	$1,18 \times FE_0 + 0,04$	$1,38 \times FE_0 + 0,01$	$1,41 \times FE_0$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,60	0,85	0,87

6.5. DESGASTE

O fator equivalente do defeito desgaste foi analisado com os mesmos critérios dos demais, mas não foi possível determinar as equações de deterioração devido a baixa representatividade na malha em análise. Esse defeito já é tratado sem evolução pelo SIGMA no DER do Ceará.

6.6. TRINCAS – AGRUPAMENTO DAS TRINCAS DE FADIGA E BLOCO EM UM ÚNICO FATOR EQUIVALENTE

Neste item foram agrupados os defeitos de trinca da fadiga e de bloco. Não foi possível seguir a metodologia do LVC onde é cadastrada apenas a severidade mais grave. Então, foi considerado que cada severidade ocorria em locais distintos, o que não acontece na realidade.

6.6.1. Etapa I – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento

Na Figura 6.29 é visualizada a relação da idade do pavimento (em anos) *versus* o fator equivalente da trincas (% da extensão) e, em seguida, a Tabela 6.29 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). Conclui-se que essa relação é pouco significativa e que esse não é uma relação adequada para a malha rodoviária analisada.

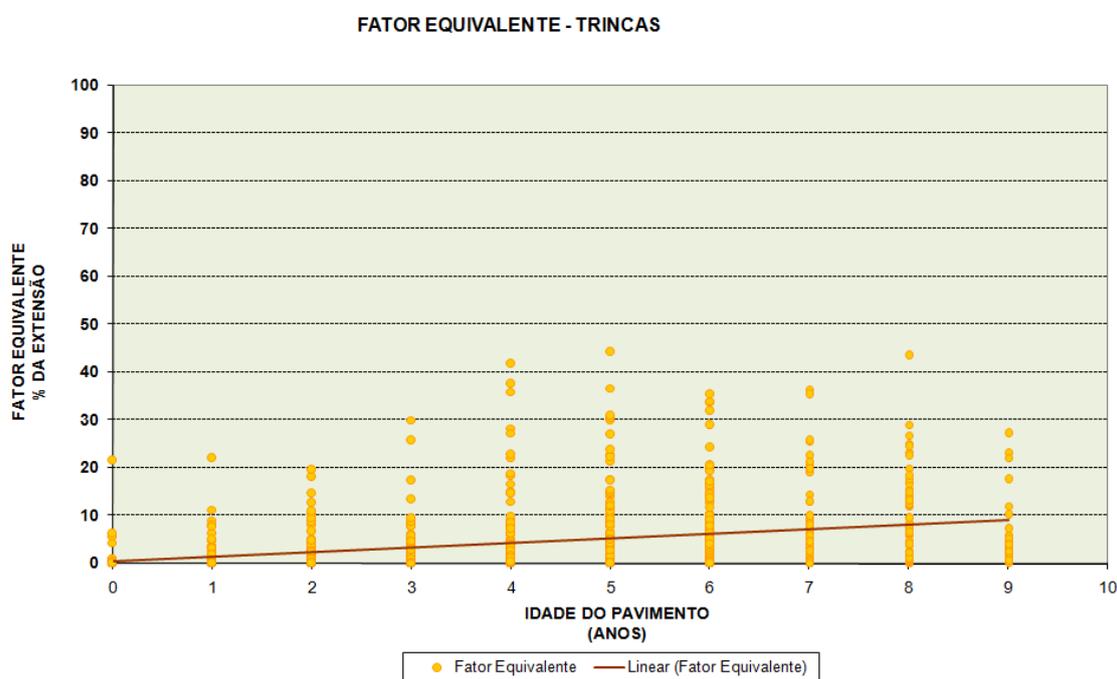


Figura 6.29: Gráfico de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente de Trincas

Tabela 6.29: Estatística dos dados de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente das Trincas

Número de Pontos (Unidade)	898
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,97 \times \text{Idade} + 0,42$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,11

Idade = Idade do pavimento considerando a última intervenção

6.6.2. Etapa II – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente e a Idade do Pavimento por Patamar de Tráfego

Na Figura 6.30 é visualizada a relação da idade do pavimento (em anos) *versus* o fator equivalente da trincas (% da extensão) por patamar de tráfego e, em seguida, a Tabela 6.30 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2) por nível de tráfego. Conclui-se e que essa ainda não é uma relação adequada para a malha rodoviária analisada.

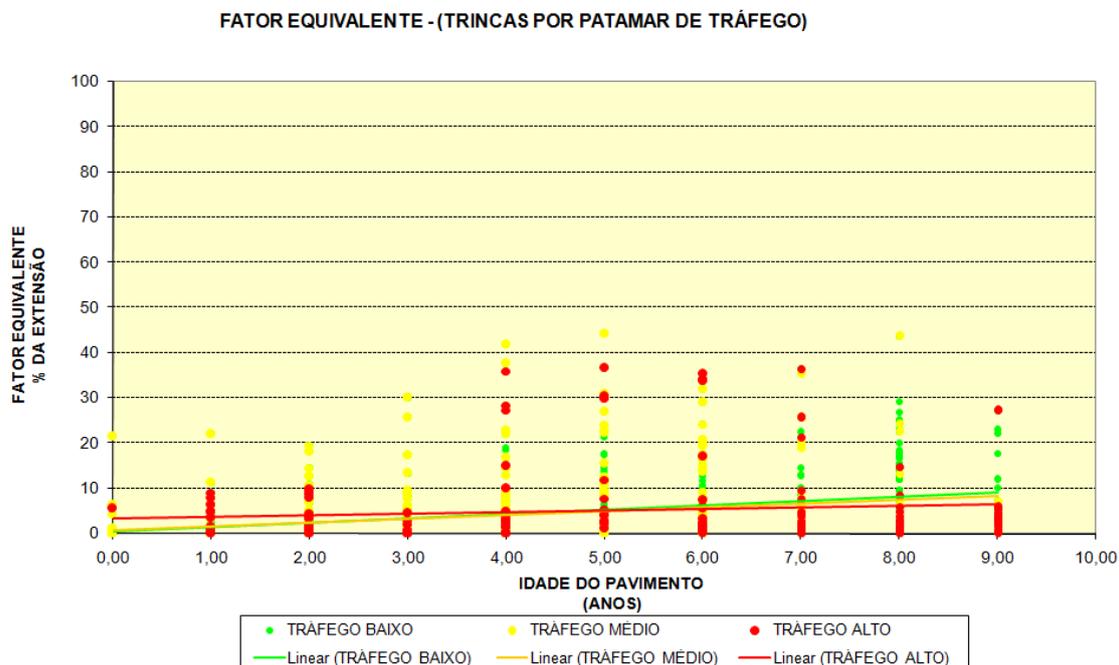


Figura 6.30: Gráfico de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente de Trincas por Patamar de Tráfego

Tabela 6.30: Estatística dos dados de Idade do Pavimento *versus* Fator Equivalente por Patamar de Tráfego

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	448	159	291
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,84 \times \text{Idade} + 0,79$	$0,36 \times \text{Idade} + 3,3$	$1,49 \times \text{Idade} - 1,69$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,07	0,01	0,33

Idade = Idade do pavimento considerando a última intervenção

6.6.3. Etapa III – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trincas em Anos Consecutivos

Na Figura 6.31 é visualizada a relação entre os fatores equivalentes da trincas (% da extensão) em dois anos seqüências e, em seguida, a Tabela 6.31 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). A equação de deterioração apresentada na Tabela 6.31 apresenta $R^2 = 0,68$, apesar de dar superior ao $R^2 = 0,64$ da trinca de fadiga e $R^2 = 0,63$ da trinca de bloco não pode ser considerado um ganho significativo.

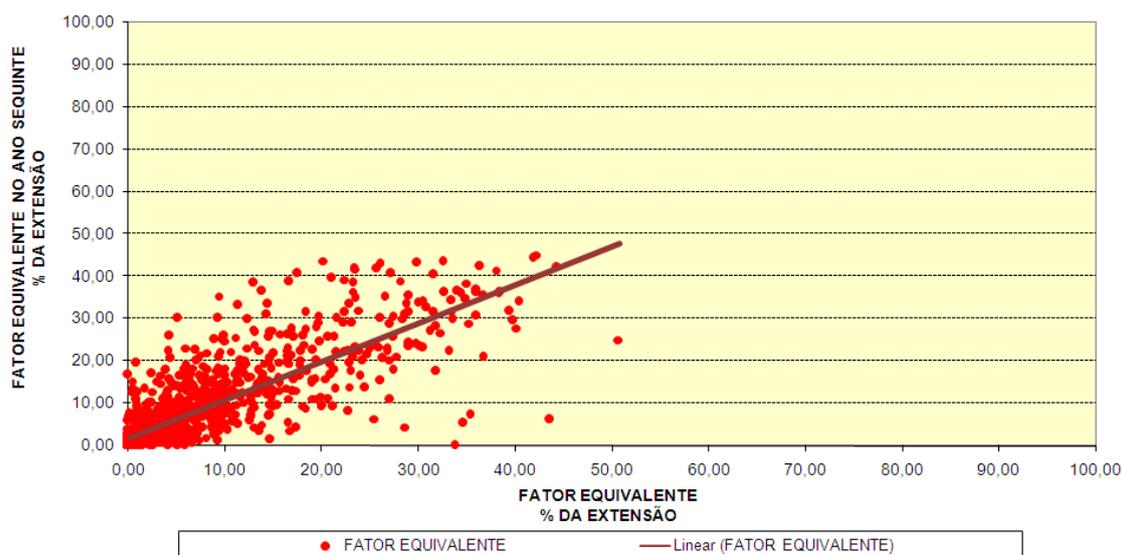


Figura 6.31: Gráfico de Evolução do Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos

Tabela 6.31: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos

Número de Pontos (Unidade)	1087
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,91 \times FE_0 + 1,96$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,68

FE_0 = Fator Equivalente do ano anterior

6.6.4. Etapa IV – Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego

Na Figura 6.32 é visualizada a relação entre os fatores equivalentes da trincas (% da extensão) em dois anos seqüências por patamar de tráfego e, em seguida, a Tabela 6.32 apresenta a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). A equação de deterioração, apresentada na Tabela 6.32 que leva em consideração o patamar de tráfego, não melhora significativamente R^2 obtidos nas trincas de fadiga e bloco.

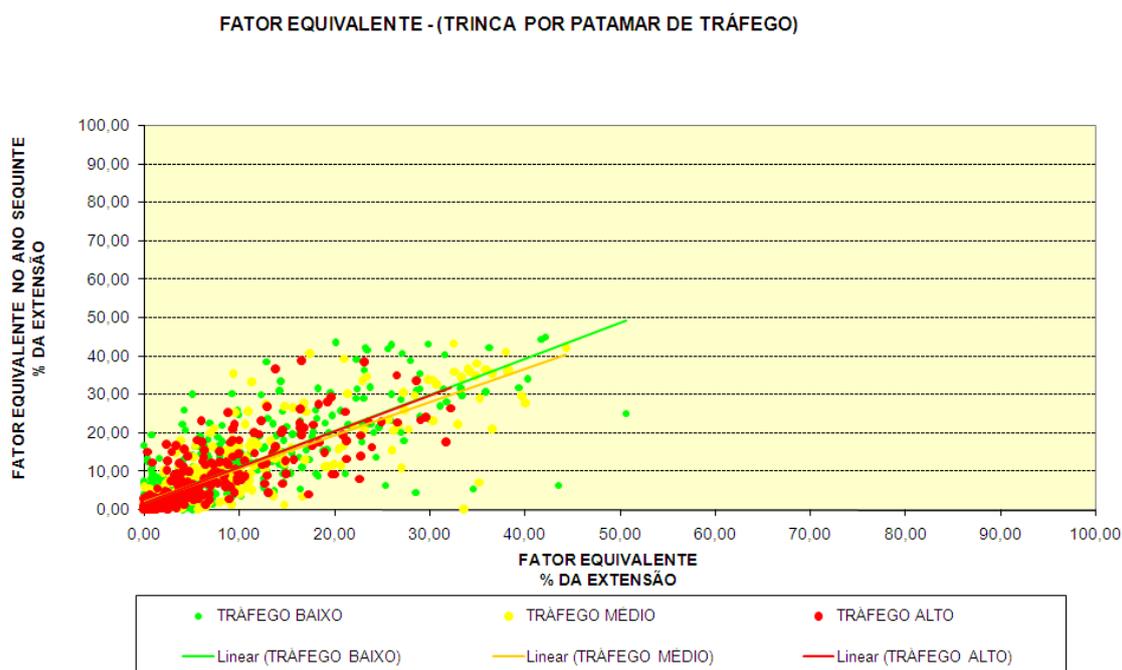


Figura 6.32: Gráfico de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego

Tabela 6.32: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	528	287	272
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,93 \times FE_0 + 1,87$	$0,86 \times FE_0 + 2,26$	$0,93 \times FE_0 + 1,78$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,67	0,69	0,64

FE_0 = Fator Equivalente do ano anterior

6.6.5. Etapa V– Verificação de Correlação entre o Fator Equivalente de Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego e Superfície Tipo do Pavimento

As Figuras 6.33 a 6.35 mostram a relação entre os fatores equivalentes da trincas (% da extensão) em dois anos seqüências por patamar de tráfego e tipo de superfície. As Tabelas 6.33 a 6.35 apresentam a quantidade de segmentos homogêneos utilizados, a equação de correlação e o quadrado do coeficiente de correlação (R^2). As equações de deterioração, apresentadas nas Tabelas 6.33 a 6.35 não melhoram significativamente o R^2 já obtido para as trincas de fadiga e bloco.

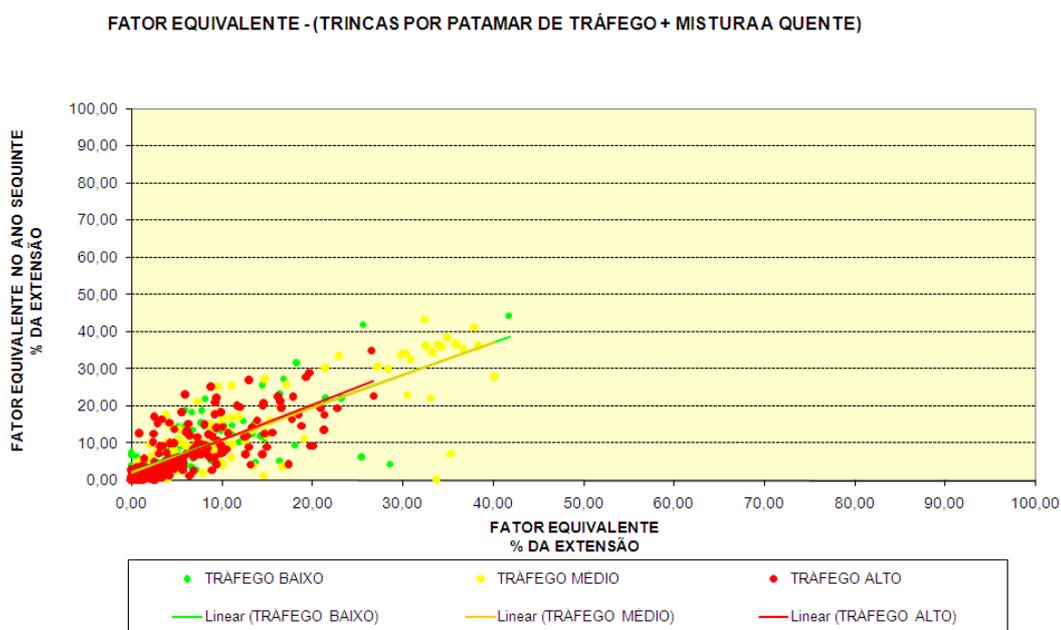


Figura 6.33: Gráfico do Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.

Tabela 6.33: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Quente.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	97	153	222
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,87 \times FE_0 + 2,35$	$0,87 \times FE_0 + 2,21$	$0,95 \times FE_0 + 1,41$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,56	0,74	0,62

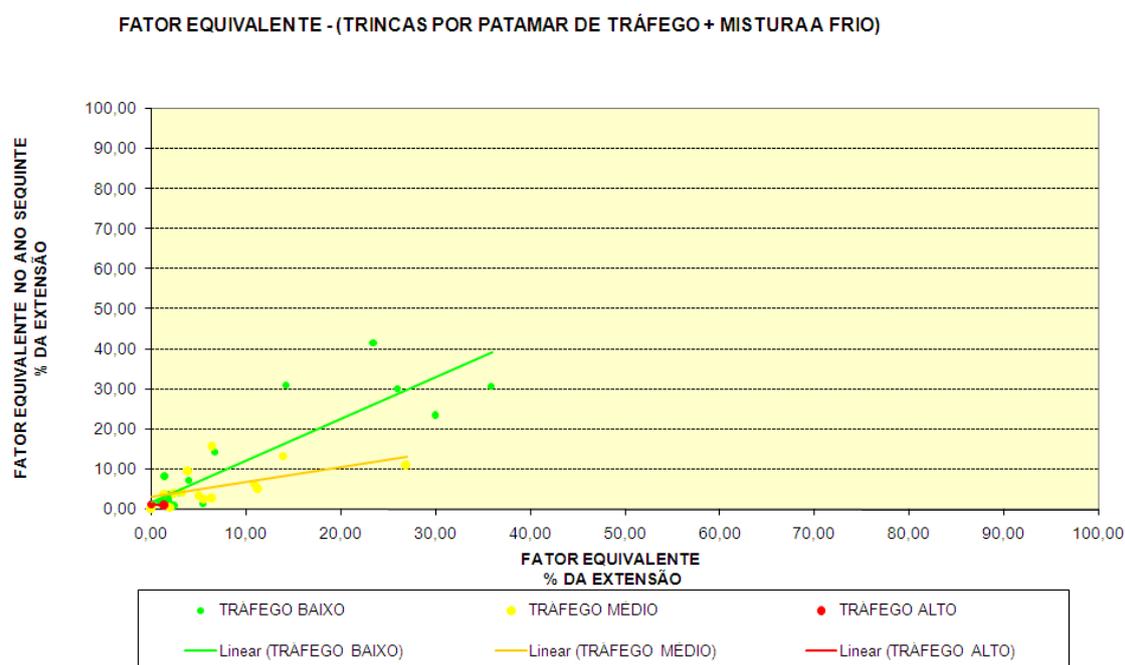


Figura 6.34: Gráfico de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.

Tabela 6.34: Estatística dos dados de Fator Equivalente da Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Mistura a Frio.

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	21	14	-
Equação do Fator Equivalente (%)	$1,04 \times FE_0 + 1,77$	$0,37 \times FE_0 + 3,24$	-
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,79	0,30	-

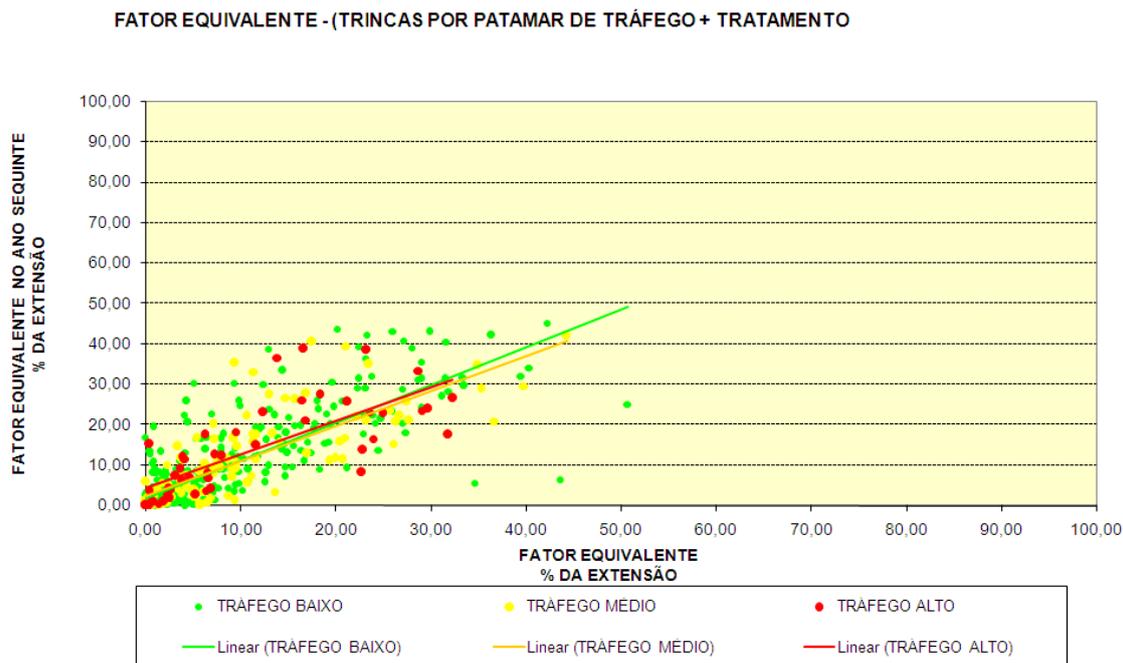


Figura 6.35: Gráfico de Fator Equivalente das Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento Superficial

Tabela 6.35: Estatística dos dados de Fator Equivalente das Trincas em Anos Consecutivos por Patamar de Tráfego em Tratamento Superficial

TRÁFEGO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Número de Pontos (Unidade)	410	120	48
Equação do Fator Equivalente (%)	$0,93 \times FE_0 + 1,81$	$0,87 \times FE_0 + 2,46$	$0,83 \times FE_0 + 4,27$
Quadrado do coeficiente de correlação (R^2)	0,69	0,64	0,57

Conclui-se que o agrupamento das trincas não irá trazer vantagens significativas na precisão do modelo. Além disso, iria comprometer a qualidade dos resultados de indicações de soluções / custos das intervenções e priorizações dos segmentos. A junção dos defeitos realizadas em campo poderia comprometer a série histórica e prejudicar futuros trabalhos de monitoramento ou pesquisa com uso desses dados.

6.7. RESULTADO FINAL

Como já dito anteriormente, o objetivo desse trabalho é elaborar modelos matemáticos para prever ou estimar os fatores equivalentes de trinca de fadiga, trinca de bloco, remendo, afundamento e desgaste utilizados no DER do Ceará. Esse modelo irá determinar a velocidade de evolução da rede rodoviária e conseqüentemente ajudar aos tomadores de decisões a prever a situação futura, realizar planos plurianuais de investimentos, analisarem cenários de restrições orçamentárias, dentre outros.

Com os resultados apresentados nos itens 6.1 a 6.6, pode-se verificar que a idade do pavimento não tem correlação adequada com a evolução dos defeitos, este fato tem várias explicações, dentre elas são destacadas: o banco de dados não está devidamente atualizado e podem existir inconsistências, a divisão de tipo de superfície é restritiva e agrupa pavimentos de comportamento diferente como é o caso do TT - Tratamento que reúne TSS – Tratamento Superficial Simples com TST – Tratamento Superficial Triplo, não foi possível realizar a exclusão de segmentos que possuem deteriorações que não depende do pavimento (problemas construtivos, falhas na drenagem, falhas estruturais, falhas de projeto etc.).

A deterioração em função do próprio fator apresentou resultados satisfatórios, cabe agora definir o modelo, visto que foram apresentadas treze equações para cada fator, são elas: uma considerando todos os segmentos homogêneos, três dividindo por patamares de tráfego e nove subdividindo por tipo de superfície. Para apresentar o resultado final foi adotado o seguinte critério:

- O modelo será apresentado por fator equivalente de defeito, patamar de tráfego e tipo de superfície;
- Serão válidas as equações que possuírem R^2 maior de 0,5, analisada na seguinte ordem: (1) equação tipo de superfície e patamar de tráfego, (2) equação patamar de tráfego e (3) caso as alternativas anteriores não forem válidas será utilizada a equação geral.

Os resultados estão apresentados nas Tabelas 6.36 a 6.43. Nas tabelas 6.36, 6.38, 6.40 e 6.42, são apresentados o resumo dos fatores equivalente obtidos pelas correlações já apresentada. Nas tabelas 6.37, 6.39, 6.41 e 6.43 são apresentadas os modelos finais a

serem implementados no DER do Ceará. Vale-se ressaltar que não foi possível estabelecer equações para o fator equivalente de desgaste.

Tabela 6.36: Equação do Fator Equivalente da Trinca de Fadiga Determinado (%)

GERAL		TRÁFEGO			TIPO DE SUPERFÍCIE		
Equação (FR ₁)	(R ²)	Patamar	Equação (FR ₁)	(R ²)	Tipo	Equação (FR ₁)	(R ²)
0,93 x FE ₀ + 1,47	0,64	BAIXO	0,98 x FE ₀ + 1,36	0,66	MQ	0,8 x FE ₀ + 1,82	0,50
					MF	1,14 x FE ₀ + 0,83	0,82
					TT	1,00 x FE ₀ + 1,33	0,68
		MÉDIO	0,87 x FE ₀ + 1,74	0,61	MQ	0,93 x FE ₀ + 1,40	0,62
					MF	0,28 x FE ₀ + 3,8	0,18
					TT	0,86 x FE ₀ + 2,04	0,63
		ALTO	0,92 x FE ₀ + 1,43	0,61	MQ	0,87 x FE ₀ + 1,3	0,52
					MF	-	-
					TT	0,89 x FE ₀ + 3,4	0,63

Tabela 6.37: Resultado - Equação do Fator Equivalente da Trinca de Fadiga

TRÁFEGO	TIPO DE SUPERFÍCIE	RESULTADO (FR ₁) Equação (FR ₁)
BAIXO	MQ	0,80 x FE ₀ + 1,82
	MF	1,14 x FE ₀ + 0,83
	TT	1,00 x FE ₀ + 1,33
MÉDIO	MQ	0,93 x FE ₀ + 1,40
	MF	0,87 x FE ₀ + 1,74
	TT	0,86 x FE ₀ + 2,04
ALTO	MQ	0,87 x FE ₀ + 1,30
	MF	0,92 x FE ₀ + 1,43
	TT	0,89 x FE ₀ + 3,40

Tabela 6.38: Equação do Fator Equivalente da Trinca de Bloco Determinado (%)

GERAL		TRÁFEGO			TIPO DE SUPERFÍCIE		
Equação (FR ₁)	(R ²)	Patamar	Equação (FR ₁)	(R ²)	Tipo	Equação (FR ₁)	(R ²)
0,8 x FE ₀ + 0,63	0,63	BAIXO	0,75 x FE ₀ + 0,67	0,57	MQ	0,85 x FE ₀ + 0,89	0,52
					MF	0,71 x FE ₀ + 1,19	0,29
					TT	0,42 x FE ₀ + 0,77	0,34
		MÉDIO	0,83 x FE ₀ + 0,65	0,70	MQ	0,78 x FE ₀ + 0,88	0,68
					MF	-	-
					TT	0,69 x FE ₀ + 0,64	0,30
		ALTO	0,8 x FE ₀ + 0,57	0,50	MQ	0,87 x FE ₀ + 0,53	0,55
					MF	-	-
					TT	0,26 x FE ₀ + 0,9	0,13

Tabela 6.39: Resultado - Equação do Fator Equivalente da Trinca de Bloco

TRÁFEGO	TIPO DE SUPERFÍCIE	RESULTADO (FR ₁) Equação (FR ₁)
BAIXO	MQ	0,85 x FE ₀ + 0,89
	MF	0,75 x FE ₀ + 0,67
	TT	0,75 x FE ₀ + 0,67
MÉDIO	MQ	0,78 x FE ₀ + 0,88
	MF	0,83 x FE ₀ + 0,65
	TT	0,83 x FE ₀ + 0,65
ALTO	MQ	0,87 x FE ₀ + 0,53
	MF	0,80 x FE ₀ + 0,57
	TT	0,8 x FE ₀ + 0,57

Tabela 6.40: Equação do Fator Equivalente de Remendo Determinado (%)

GERAL		TRÁFEGO			TIPO DE SUPERFÍCIE		
Equação (FR ₁)	(R ²)	Patamar	Equação (FR ₁)	(R ²)	Tipo	Equação (FR ₁)	(R ²)
0,92 x FE ₀ + 0,46	0,66	BAIXO	1,03 x FE ₀ + 0,38	0,70	MQ	1,17 x FE ₀ + 0,28	0,80
					MF	1,18 x FE ₀ + 0,60	0,77
					TT	0,99 x FE ₀ + 0,40	0,68
		MÉDIO	0,8 x FE ₀ + 0,64	0,58	MQ	0,72 x FE ₀ + 0,68	0,58
					MF	0,20 x FE ₀ + 1,53	0,15
					TT	1,12 x FE ₀ + 0,24	0,71
		ALTO	0,98 x FE ₀ + 0,34	0,75	MQ	0,86 x FE ₀ + 0,35	0,74
					MF	-	-
					TT	1,18 x FE ₀ + 0,41	0,77

Tabela 6.41: Resultado - Equação do Fator Equivalente da Trinca de Remendo

TRÁFEGO	TIPO DE SUPERFÍCIE	RESULTADO (FR ₁) Equação (FR ₁)
BAIXO	MQ	1,17 x FE ₀ + 0,28
	MF	1,18 x FE ₀ + 0,60
	TT	0,99 x FE ₀ + 0,40
MÉDIO	MQ	0,72 x FE ₀ + 0,68
	MF	0,80 x FE ₀ + 0,64
	TT	1,12 x FE ₀ + 0,24
ALTO	MQ	0,86 x FE ₀ + 0,35
	MF	0,98 x FE ₀ + 0,34
	TT	1,18 x FE ₀ + 0,41

Tabela 6.42: Equação do Fator Equivalente de Afundamento Determinado (%)

GERAL		TRÁFEGO			TIPO DE SUPERFÍCIE		
Equação (FR ₁)	(R ²)	Patamar	Equação (FR ₁)	(R ²)	Tipo	Equação (FR ₁)	(R ²)
1,12 x FE ₀ + 0,10	0,60	BAIXO	1,13 x FE ₀ + 0,05	0,57	MQ	0,77 x FE ₀ + 0,01	0,34
					MF	0,56 x FE ₀	0,27
					TT	1,18 x FE ₀ + 0,04	0,60
		MÉDIO	1,30 x FE ₀ + 0,02	0,75	MQ	0,79 x FE ₀ + 0,02	0,24
					MF	0,65 x FE ₀	0,30
					TT	1,38 x FE ₀ + 0,01	0,85
		ALTO	0,96 x FE ₀ + 0,02	0,55	MQ	0,36 x FE ₀ + 0,02	0,15
					MF	-	-
					TT	1,41 x FE ₀	0,87

Tabela 6.43: Resultado - Equação do Fator Equivalente de Afundamento

TRÁFEGO	TIPO DE SUPERFÍCIE	RESULTADO (FR ₁) Equação (FR ₁)
BAIXO	MQ	1,12 x FE ₀ + 0,10
	MF	1,12 x FE ₀ + 0,10
	TT	1,18 x FE ₀ + 0,04
MÉDIO	MQ	1,30 x FE ₀ + 0,02
	MF	1,30 x FE ₀ + 0,02
	TT	1,38 x FE ₀ + 0,01
ALTO	MQ	1,12 x FE ₀ + 0,10
	MF	1,12 x FE ₀ + 0,10
	TT	1,41 x FE ₀

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesta pesquisa buscou-se definir um modelo matemático de previsão de desempenho de pavimentos no Estado do Ceará. O DER – Departamento de Edificações e Rodovias possui um banco de dados atualizados e organizado em séries históricas, mas nunca utilizou essas informações para melhorar a precisão de seu modelo. O autor participou da aquisição de todos esses dados, inclusive realizando dois levantamentos durante o período de estudo desta dissertação e pode atestar a excelente qualidade dos dados.

Além dos objetivos acadêmicos a pesquisa teve o objetivo de se tornar um produto a ser utilizado pelo DER/CE melhorando suas análises de investimentos e a precisão do modelo, pois o existente é empírico.

O uso de um universo vasto de informações ajuda a diminuir possíveis erros grosseiros e sistemáticos de levantamento e cadastro. Os dados, apesar de bem organizados e atualizados, foi necessário rever várias informações algumas, inclusive, foram conseguidas pela memória dos técnicos do DER, principalmente na determinação do ano da última intervenção.

7.1. CONCLUSÕES

As principais conclusões desta pesquisa foram:

- 1) Primeiro ressaltar a importância da manutenção de séries históricas, organizadas e confiáveis. Esse trabalho, que muitas vezes, é considerado desnecessário e oneroso é capaz de com uma simples decisão balizada nessas informações compensar todo o investimento.
- 2) Muitas instituições possuem dados em vários períodos distintos, mas não é capaz de realizar análise temporal, isso se deve ao fato de não possuir um sistema rodoviário organizado, um banco de dados desenvolvido para manter a consistência dos dados, pessoal técnico qualificado e serviços de melhoria sistemáticas das informações.

- 3) A pesquisa mostrou os passos para se obter um modelo de desempenho dos pavimentos, sua precisão e limitações. É possível observar, na riqueza de dados, que o comportamento dos pavimentos não segue regras bem definidas e que um sistema de gerência de pavimentos tem que conviver com essas situações.
- 4) Além das informações tabulares é necessário o conhecimento da região e das especificidades da malha. Então, é possível afirmar que tão importante quanto ter informações sistemáticas e organizadas é ter uma equipe técnica capacitada e principalmente que acompanhe os trabalhos por vários anos.
- 5) A idade do pavimento não obteve bons resultados, mas não pode ser descartada, pois foi dela que os consultores estabeleceram as equações empíricas atualmente utilizadas no DER.
- 6) O fator equivalente mostrou ser um bom parâmetro a ser utilizado no modelo de desempenho na malha rodoviária estudada. As equações do tipo linear “ $ax+b$ ” mostram-se bastante eficientes além de serem de didática e de fácil compreensão.
- 7) O modelo apresentado no Capítulo 7 possui R^2 entre 0,50 a 0,82, o que pode ser considerado um bom resultado para esse tipo de dados. Diversos fatores de difícil mensuração interferem na evolução de desempenho do pavimento, dentre eles: aspectos ambientais (clima, precipitação, solo, etc.), concepção de projeto, estrutura, falhas construtivas, problemas de drenagem e geometria, mudança na composição do tráfego, etc. Isso justifica aceitar a relação de correção com coeficiente (R^2) entre 0,5 e 1.
- 8) O grupamento das trincas de fadiga e bloco não apresentou vantagens significativas na precisão do modelo. Além disso, poderia comprometer a qualidade dos resultados de indicações de soluções /custos das intervenções e priorizações dos segmentos. Também, a junção dos defeitos realizadas em campo poderia comprometer a série história e prejudicar futuros trabalhos de monitoramento ou pesquisa com uso desses dados.

7.2. RECOMENDAÇÕES

- 1) Essa pesquisa foi realizada na malha rodoviária estadual do Estado do Ceará, é possível que se adapte a outros lugares, principalmente das regiões Nordeste e Norte. Também, nas demais regiões é possível aproveitar parcialmente esse modelo, onde o tráfego e a estruturas forem similares as existentes na área pesquisada.
- 2) Com essas informações é possível realizar diversos estudos, dentre eles: acompanhamento sistemático de segmentos específicos, reverem os critérios de priorização que levam em consideração o modelo de desempenho, avaliar o fluxo (matriz) de decisão e o impacto que o modelo de desempenho, pesquisar correlações entre os defeitos do pavimento com outras variáveis (IRI – irregularidade longitudinal, Deflexão, rugosidade, estrutura de pavimento, etc.).
- 3) Como apresentado no capítulo 2 existem diversos critérios análise de pavimento e o mais utilizado no Brasil é o DNIT 006/2003 PRO (antiga DNER - PRO 008/94) e DNIT 007/2003 PRO (antiga DNER-ES 128/83), sugere, então, o estudo da correlação entre eles.
- 4) O Levantamento Visual Contínuo avalia o pavimento em extensão de defeito, muitos sistemas de gerência avaliam o pavimento em área então são necessárias pesquisas que determinem a largura típica de cada defeito para que se possam converter as informações.
- 5) O banco de dados e o próprio sistema (SIGMA – Sistema Integrado de Gestão da Manutenção) é uma ferramenta que permite a realização de diversas pesquisas principalmente quando seja necessário o conhecimento de séries históricas. A divulgação dessas informações abre caminho para que mais pesquisadores se interessem por realizar trabalhos nesta área e que tragam novos conceitos a engenharia rodoviária, pois as informações contidas nesta base dados tem valor incalculável para o meio técnico-científico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1986) “Guide for Design of Pavement Structures”. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- AASHTO (1990) “Guide for Design Management Systems”. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- AASHTO (1993) “Guide for Design of Pavement Structures”. American Association of the State Highway and transportation Officials, Washington DC.
- ALBRIGHT, D. (1993) Standards, Innovation, and the Future of Traffic Monitoring. *Institute of Transportation Engineers Journal*, Vol. 63, Nº 1, pp. 31-36.
- ASTEF (1994) *Plano de Contagem de Tráfego - Relatório Final*. Associação Técnico-Científico Eng. Paulo de Frotin, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.
- ASTM E965 – 96 (2006) Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique. ASTM, Pensilvania, USA.
- BARELLA, R. M. (2008) Contribuição para a Avaliação da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Perfilômetros Inerciais. Tese de D.Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP – Brasil.
- BEBEVIDES, S. A. S. (2006) Modelos de Desempenho de Pavimentos Asfálticos para um Sistema de Gestão de Rodovias Estaduais do Ceará. Tese de D. Sc., COPPE, Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CAB (2000) Proposta Técnica para Implantação de um Sistema de Gerência de Pavimentos no DER/CE. Fortaleza, CE, Brasil.
- CET (1982) *Pesquisa e Levantamento de Tráfego*. Boletim Técnico 31. Org. Eduardo Alcântara Vasconcelos. Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, São Paulo.
- CHAVES, F.J. (2000) *Caracterização Geotécnica de Solos da Formação Barreiras da Região Metropolitana de Fortaleza para Aplicação em Obras Rodoviárias*. Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CIBERMÉTRICA (2005) *Manual de Instalação e Operação do Perfilômetro Laser para Pavimentos*.

DER (2001) Manual do Usuário. SIGMA – Sistema Integrado de Gestão da Manutenção. Engefoto – Engenharia e Aerolevantamentos S.A. Departamento de Edificações e Rodovias, Governo do Estado do Ceará. Fortaleza, CE – Brasil.

DER (2002) Manual de Levantamento de Campo. Engefoto – Engenharia e Aerolevantamentos S.A. Departamento de Edificações e Rodovias, Governo do Estado do Ceará. Fortaleza, CE – Brasil.

DER (2007) Plano Plurianual de Manutenção Periódica (2008-2012). Engevias – Engenharia e Consultoria. Departamento de Edificações e Rodovias, Governo do Estado do Ceará. Fortaleza, CE – Brasil.

DER (2008) “A Política de Gestão Rodoviária no DER/CE”. Departamento de Edificações e Rodovias, Governo do Estado do Ceará. Junho/2008 – Documento enviado ao BID. Fortaleza, CE – Brasil.

DNER (1998) “*Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos*”. IPR/DNER/ABNT Publ. 704, 1 ed. Rio de Janeiro, 243 p.

DNER-ES 173/86 (1986) Método de Nível e Mira para Calibração de sistemas Medidores de irregularidades Tipo Resposta, Norma Rodoviária, Brasil.

DNER-PRO 164/94 (1994) Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter), Norma Rodoviária, Brasil.

DNER-PRO 273/96 (1996) Determinação de Deflexões Utilizando Deflectômetro de Impacto tipo “*Falling Weight Deflectometer (FWD)*”. Norma Rodoviária, Brasil.

DNIT (2004) Assessoria Técnica na Área de Avaliação de Desempenho de Pavimentos Típicos Brasileiros. In: Manual do Usuário, Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa/Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, RJ.

DNIT (2006) *Manual de Estudos de Tráfego*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, Rio de Janeiro, RJ.

DNIT (2006) *Manual de Estudos de Tráfego*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, Rio de Janeiro, RJ.

DNIT (2008) Site: www.dnit.gov.br/menu/rodovias/planejamento/gerencia Acessado em 19/02/2008.

DNIT-005/2003-TER (2003) Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Terminologia. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, RJ.

DNIT-006/2003 – PRO (2003) Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Procedimento. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro /RJ.

DNIT-007/2003 – PRO (2003) Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos. Procedimento. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – Instituto de Pesquisas Rodoviárias - Rio de Janeiro /RJ.

DOMINGUES, F.A.A. (2003) “Especificações do equipamento medidor de irregularidade do IPR/USP”. São Paulo, SP.

FRITZEN, M. A. (2005) Avaliação de Soluções de Reforço de Pavimentos Asfálticos com Simulador de Tráfego na Rodovia Rio Teresópolis [Rio de Janeiro] 2005 XXII, 291 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2005)

HAAS, R., HUDSON, W.R. & ZANIEWSKI, J. (1994) Modern Pavement Management, Malabar/Florida, Krieger Publishing Company.

HUDSON, W.R., HAAS, R. & UDDIN, W. (1997) Infrastructure Management; McGraw-Hill Companies; New York / USA;

IPECE (2000) Anuário Estatístico do Ceará – site: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/Anuario_2000/index.htm Acessado em 19/02/2008.

IPECE (2005) Anuário Estatístico do Ceará – site: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/Anuario_2005/index.htm Acessado em 19/02/2008.

IPECE (2007) Anuário Estatístico do Ceará – site: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/Anuario_2007/index.htm Acessado em 19/02/2008.

IPLANCE (1997) Instituto de Planejamento do Estado do Ceará - IPLANCE. Atlas do Ceará, 64p. Fortaleza, CE.

LEE, S. H. (1996) Concessões de Rodovias à Iniciativa Privada: Critérios para Limitação de Tarifas em Processo de Licitação. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.

MARCON, A.F. (1996) Contribuição ao Desempenho de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina, Tese de D.Sc., ITA, São José dos Campos, SP, Brasil.

MARCON, A. F. (2005) Apostila Gerência de Pavimentos, Abril/2005, São Luiz – Maranhão.

MCSHANE, W.R e ROESS R. P. (1990) *Traffic Engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

PATERSON, W.D.O. (1987) “Road Deterioration and Maintenance Effects Models for Planning and Management”. The World Bank, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.

PATERSON, W.D.O e SCULLION, T. (1990) “Information systems for road management: draft guidelines on system design and data issues”. IN: Infrastructure and Urban Development Department Report INU 77. Washington, DC. The Word Bank. Disponível no site www.wds.worldbank.org.

PEREIRA, M. T. T. Q. (1998) “Avaliação da Resistência à Derrapagem de Pavimentos Asfálticos Urbanos”. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

PINTO, P. R. R.; GONÇALVES, F. P.; TAFFE JR., E.; RODRIGUES, R. M. (2005) “Utilização de um Sistema de Gerência da Manutenção para Análise de Viabilidade do II Programa CREMA/RS”. 10º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária – ENACOR, Outubro/2005, Joinville, SC – Brasil.

QUEIROZ, C.A.V. (1981) “Performance Prediction Models for Pavement Manegement in Brazil”. Dissertation for Degree of Doctor of Philosophy, University of Texas, Austin.

- QUEIROZ, C.A.V., HUDSON, W.R. e HAAS, R. (1992) “Standardization of Pavement Management Systems in Brasil and Other Developing Countries”. In: Transportation Research Record 1344 – Transportation Research Board, Washington DC/USA – p. 31-37.
- RAMOS, D.; SESTINI, V. M.; PRIETO, V.; ARAÚJO, M. R.; VALE, A. F.; SUZUKI, C. Y.; PEREIRA, A. C. O.; DALPINO, E. (2005) “Considerações sobre o Levantamento Visual Contínuo para Implantação de SGP no DER/SP”. 10º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária – ENACOR, Outubro/2005, Joinville, SC – Brasil.
- SAYERS, M. W., GILLESPIE, T. D. & QUEIROZ, C. A. V. (1986) “The International Road Roughness Experiment-establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements”. World Bank Technical paper number 45. Washington, DC.
- SHAHIN, M.Y. e KOHN S.D. (1979) “Development of Pavement Condition Rating Procedures for Roads, Streets and Parkings Lots”. In: V.2 Distress Identification Manual. Springfield Construction Engineering Research Laboratory, United States Corps of Engineers, (Technical Report M-268).
- SHRP (1993) “Distress Identification Manual for the Long Term Pavement Performance Project”. Strategic Highway Research Program, National Academy of Sciences, Washington, D C.
- SHRP/FHWD (2003) “Distress Identification Manual for the Long Term Pavement Performance Project”. Strategic Highway Research Program, Federal Highway Administration, FHWA – RD – 03-031, Washington, D C.
- YSHIBA, J. K. (2003) “Modelos de Desempenho de Pavimentos: Estudo de Rodovias
- YSHIBA, J. K.; FERNANDES JR., J. L. (2005) “Modelos Estatísticos para Previsão de Desempenho de Pavimentos”. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 27, p. 175-181, 2005. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR – Brasil.

ANEXO 1

LISTA DOS TRECHOS OBJETO DA PESQUISA

Tabela I.1: Lista dos Trechos Objeto da Pesquisa

PROGRAMA	TRECHO	DESCRIÇÃO	EXT. (km)
CEARÁ II	040ECE0010D	FORTALEZA(Av. Pe. Antonio Thomaz)-ENTR.CE-025	6,9
CEARÁ II	040ECE0010E	FORTALEZA(Av. Pe. Antônio Thomaz)-ENTR.CE-025	6,9
CEARÁ II	040ECE0030D	ENTR.CE-025-MESSEJANA	2,5
CEARÁ II	040ECE0030E	ENTR.CE-025-MESSEJANA	2,5
CEARÁ II	040ECE0050D	MESSEJANA-ANEL RODOVIÁRIO	4,3
CEARÁ II	040ECE0050E	MESSEJANA-ANEL RODOVIÁRIO	4,3
CEARÁ II	040ECE0070D	ANEL RODOVIÁRIO-ENTR.CE-251(Eusébio)	5,3
CEARÁ II	040ECE0070E	ANEL RODOVIÁRIO-ENTR.CE-251(Eusébio)	5,3
CEARÁ II	040ECE0090D	ENTR.CE-251(Eusébio)-ENTR.CE-527 p/ AQUIRAZ(Norte)	3,9
CEARÁ II	040ECE0090E	ENTR.CE-251(Eusébio)-ENTR.CE-527 p/ AQUIRAZ(Norte)	3,9
CEARÁ II	040ECE0110D	ENTR.CE-527 p/ AQUIRAZ(N)-ENTR.CE-452(AQUIRAZ)(SUL)	2,5
CEARÁ II	040ECE0110E	ACS. NORTE p/ AQUIRAZ-ENTR.CE-452(AQUIRAZ)(SUL)	2,5
CEARÁ II	040ECE0130	ENTR.CE-452(AQUIRAZ)(SUL)-ENTR.CE-453(FACUNDES)	6,5
CEARÁ II	040ECE0150	ENTR.CE-453(FACUNDES)-ENTR.CE-454 p/ Pindoretama	9,1
CEARÁ II	040ECE0170	ENTR.CE-454 p/ Pindoretama - ENTR.CE-350 p/ COLUNA	9,9
CEARÁ II	040ECE0190	ENTR.CE-350 p/ COLUNA-ENTR.CE-138(A)/253(CASCABEL)	5,2
CEARÁ II	040ECE0210	ENTR.CE-138(A)/253(CASCABEL)-ENTR.CE-138(B)	9,1
CEARÁ II	040ECE0230	ENTR.CE-138(B)-ENTR.CE-352 p/ BEBERIBE	10,4
CEARÁ I	040ECE0250	ENTR.CE-352 p/ BEBERIBE-ENTR.CE-508 p/ SUCATINGA	14,0
CEARÁ II	040ECE0270	ENTR.CE-508 p/ SUCATINGA-ENTR.CE-511 p/ PARIPUEIRA	19,0
CEARÁ II	040ECE0290	ENTR.CE-511 p/ PARIPUEIRA-ENTR.CE-512 p/ PARAJURU	7,4
CEARÁ II	040ECE0310	ENTR.CE-512 p/ PARAJURU-ENTR.CE-510 p/ FORTIM	9,0
CEARÁ II	040ECE0330	ENTR.CE-510 p/ FORTIM-ENTR.CE-123(A)(VIÇOSA)	2,6
CEARÁ II	040ECE0350	ENTR.CE-123(A)(VIÇOSA)-ENTR.CE-123(B)/BR-304	11,4
CEARÁ II	060ECE0010D	MONDUBIM(AV. PERIMETRAL)-ANEL RODOVIÁRIO	3,8
CEARÁ II	060ECE0010E	MONDUBIM(AV. PERIMETRAL)-ANEL RODOVIÁRIO	3,8
CEARÁ II	060ECE0030D	ANEL RODOVIÁRIO-ENTR.CE-251 p/ MARACANAÚ	3,8
CEARÁ II	060ECE0030E	ANEL RODOVIÁRIO-ENTR.CE-251 p/ MARACANAÚ	3,8
CEARÁ II	060ECE0050D	ENTR.CE-251 p/ MARACANAÚ-ENTR.CE-350(A)(MUNGUBA)	5,8
CEARÁ II	060ECE0050E	ENTR.CE-251 p/ MARACANAÚ-ENTR.CE-350(A)(MUNGUBA)	5,8
CEARÁ II	060ECE0070D	ENTR.CE-350(A)(MUNGUBA)-ENTR.CE-350(B)(PACATUBA)	6,3

PROGRAMA	TRECHO	DESCRIÇÃO	EXT. (km)
CEARÁ II	060ECE0070E	ENTR.CE-350(A)(MUNGUBA)-ENTR.CE-350(B)(PACATUBA)	6,2
CEARÁ II	060ECE0090D	ENTR.CE-350(B)(PACATUBA)-ACS. SUL p/ PACATUBA	2,0
CEARÁ II	060ECE0090E	ENTR.CE-350(B)(PACATUBA)-ENTR. SUL p/ PACATUBA	2,0
CEARÁ II	060ECE0110	ENTR. SUL p/ PACATUBA-GUAIÚBA	5,3
CEARÁ II	060ECE0130	GUAIÚBA-ENTR.CE-354(A)	15,9
CEARÁ II	060ECE0150	ENTR.CE-354(A)-ENTR.CE-253(A)/354(B)(ACARAPE)	6,9
CEARÁ II	060ECE0170D	ENTR.CE-253(A)/354(B)(ACARAPE)-ENTR.CE-253(B)(REDENÇÃO)	2,4
CEARÁ II	060ECE0170E	ENTR.CE-253(A)/354(B)(ACARAPE)-ENTR.CE-253(B)(REDENÇÃO)	2,4
CEARÁ II	060ECE0190	ENTR.CE-253(B)(REDENÇÃO)-ANTÔNIO DIOGO	10,6
CEARÁ II	060ECE0210	ANTÔNIO DIOGO-ARACOIABA	10,7
CEARÁ II	060ECE0230	ARACOIABA-ENTR.CE-356 p/ BATURITÉ	1,8
CEARÁ I	060ECE0250	ENTR.CE-356 p/ BATURITÉ-ENTR.CE-257(Capistrano)	12,5
CEARÁ II	060ECE0270	ENTR.CE-257(Capistrano)-ITAPIÚNA	11,8
CEARÁ II	060ECE0290	ITAPIÚNA-ENTR.CE-539 p/ CAIO PRADO	10,2
CEARÁ II	060ECE0310	ENTR.CE-539 p/ CAIO PRADO-ENTR.CE-456	31,3
CEARÁ I	060ECE0330	ENTR.CE-456-ENTR.CE-359(QUIXADÁ)(SUL)	17,5
CEARÁ II	060ECE0350	ENTR.CE-359(QUIXADÁ)(SUL)-ENTR.CE-368	9,4
CEARÁ II	060ECE0370	ENTR.CE-368-ENTR.CE-166/266(QUIXERAMOBIM)	30,2
CEARÁ II	060ECE0390	ENTR.CE-166/266(Quixeramobim)-ENTR.BR-226(A)(Bonfim)	50,5
CEARÁ II	060ECE0430	ENTR.BR-226(B)(MINEIROLÂNDIA)-ENTR.CE-363(A)	22,5
CEARÁ II	060ECE0450	ENTR.CE-363(A)-ENTR.CE-363(B)(MOMBAÇA)	4,2
CEARÁ II	060ECE0470	ENTR.CE-363(B)(MOMBAÇA)-ENTR.CE-166(ZÔRRA)	17,4
CEARÁ II	060ECE0490	ENTR.CE-166(ZÔRRA)-ACS. p/ IBICUÃ	7,0
CEARÁ II	060ECE0510	ACS. p/ IBICUÃ-ENTR.CE-371(A) p/ CATARINA	21,6
CEARÁ II	060ECE0530	ENTR.CE-371(A) p/ CATARINA-ENTR.CE-371(B)(ACOPIARA)	2,0
CEARÁ II	060ECE0550	ENTR.CE-371(B)(ACOPIARA)-ENTR.CE-375(A) p/ QUIXELÔ	29,5
CEARÁ II	060ECE0570	ENTR.CE-375(A) p/ QUIXELÔ-ENTR.CE-481 p/ SUASSURANA	2,3
CEARÁ II	060ECE0590	ENTR.CE-481 p/ SUASS-ENTR.CE-282(A)/375(B)(IGUATU)	6,1
CEARÁ II	060ECE0610	ENTR.CE-282(A)/375(B)(IGUATU)-ENTR.CE-282(B) p/ ICÓ	4,4
CEARÁ I	060ECE0630	ENTR.CE-282(B) p/ ICÓ-ENTR.CE-284(UMARIZEIRA)	24,4
CEARÁ I	060ECE0650	ENTR.CE-284(UMARIZEIRA)-NARANIÚ	17,0
CEARÁ I	060ECE0670	NARANIÚ-ENTR.BR-230(A)(VÁRZEA ALEGRE)	16,1
CEARÁ II	060ECE0710	ENTR.BR-230(B)-CALABAÇA	10,9
CEARÁ II	060ECE0730	CALABAÇA-ENTR.CE-288(GRANJEIRO)	6,4
CEARÁ I	060ECE0790	ENTR.CE-385(B)(CARIRIAÇU)-PADRE CÍCERO	17,2
CEARÁ I	060ECE0810	PADRE CÍCERO-ENTR.CE-292(Juazeiro do Norte)	10,0
CEARÁ II	065ECE0030D	ANEL RODOVIÁRIO-ENTR.CE-251(JAÇANAÚ)	3,6
CEARÁ II	065ECE0030E	ANEL RODOVIÁRIO-ENTR.CE-251(JAÇANAÚ)	3,6
CEARÁ I	065ECE0050D	ENTR.CE-251(Jaçanaú)-ENTR.CE-350(Maranguape)	6,8

PROGRAMA	TRECHO	DESCRIÇÃO	EXT. (km)
CEARÁ I	065ECE0050E	ENTR.CE-251(Jaçanaú)-ENTR.CE-350(Maranguape)	6,9
CEARÁ I	065ECE0070D	ENTR.CE-350(Maranguape)-ENTR.SUL p/ Maranguape	2,0
CEARÁ I	065ECE0070E	ENTR.CE-350(Maranguape)-ENTR.SUL p/ Maranguape	2,0
CEARÁ I	065ECE0090	ENTR. SUL p/ MARANGUAPE-ENTR.CE-455LADEIRA GRANDE	8,6
CEARÁ I	065ECE0170	ENTR.CE-253(PACOTI)-ENTR.CE-356(A)(GUARAMIRANGA)	6,6
PRODETUR I	085ECE0050	ENTR.CE-090-ENTR.CE-531 p/ ICARÁÍ	2,0
PRODETUR I	085ECE0070	ENTR.CE-531 p/ ICARÁÍ-ENTR.CE-544(TABULEIRO GRANDE)	14,7
PRODETUR I	085ECE0090	ENTR.CE-544(TABULEIRO GRANDE)-ENTR.CE-348(COITÉ)	8,3
PRODETUR I	085ECE0110	ENTR.CE-348(COITÉ)-ENTR.CE-422	4,4
PRODETUR I	085ECE0130	ENTR.CE-422-ENTR.CE-156(ACENDE CANDEIA)	6,6
PRODETUR I	085ECE0150	ENTR.CE-156(A CANDEIA)-ENTR.CE-423(S G Do Amarante)	8,7
PRODETUR I	085ECE0170	ENTR.CE-423(S G do Amarante)-ENTR.CE-341(4 BOCAS)	14,3
PRODETUR I	085ECE0190	ENTR.CE-341(QUATRO BOCAS)-ENTR.CE-162(A) p/ SERROTE	8,8
CEARÁ I	085ECE0210	ENTR.CE-162(A) p/ SERROTE-ENTR.CE-162(B) p/ PARAIP	5,0
PRODETUR I	085ECE0230	ENTR.CE-162(B) p/ PARAIPABA-ENTR.CE-163(A)(PARRA)	16,0
PRODETUR I	085ECE0250	ENTR.CE-163(A)(PARRA)-ENTR.CE-163(B) p/ TRAIRI	7,8
PRODETUR I	085ECE0270	ENTR.CE-163(B) p/ TRAIRI-ENTR.CE-518 p/ CÔRRFUNDO	7,1
PRODETUR I	085ECE0280	ENTR.CE-518 p/ CÔRREGO FUNDO-ENTR.CE-168(Barrento)	19,1
CEARÁ II	085ECE0350	ENTR.CE-433/434(ITAREMA)-ENTR.CE-535(JURITIANHA)	10,0
CEARÁ II	085ECE0370	ENTR.CE-535(JURITIANHA)-ENTR.BR-403/CE-178(ACARAÚ)	16,5
CEARÁ II	085ECE0410	ENTR.CE-179(A)(CRUZ)-ENTR.CE-179(B)(LAGOA VELHA)	5,5
CEARÁ II	085ECE0430	ENTR.CE-179(B)(Lagoa Velha)-Jijoca de Jericoacara	25,4
CEARÁ I	085ECE0510	ENTR.CE-362(A)-ENTR.CE-216/362(B)/311/364(GRANJA)	2,8
PRODETUR I	085ECE0550	ENTR.CE-515 p/ CAMOCIM-ENTR.CE-187(Barroquinha)	34,7
PRODETUR I	085ECE0570	ENTR.CE-187(Barroquinha)-CHAVAL	13,2
CEARÁ I	123ECE0110	ENTR.BR-304(B)-ENTR.CE-371 p/ ITAIÇABA	14,5
CEARÁ I	123ECE0130	ENTR.CE-371 p/ ITAIÇABA-ENTR.CE-263	13,6
CEARÁ I	138ECE0010	CAPONGA-ENTR.CE-025/454	0,7
CEARÁ I	138ECE0020	ENTR.CE-025/454-ENTR.CE-040(A)/253(CASCAVEL)	14,0
CEARÁ II	138ECE0070	ENTR.BR-116(CRISTAIS)-ARUARU	8,8
CEARÁ II	138ECE0090	ARUARU-ENTR.CE-356(PATOS)	13,2
CEARÁ II	138ECE0110	ENTR.CE-356(PATOS)-ENTR.CE-265	42,3
CEARÁ II	138ECE0130	ENTR.CE-265-ENTR.CE-371(MORADA NOVA)(SUL)	5,3
CEARÁ I	138ECE0210	ENTR.BR-116-ALTO SANTO	18,9
CEARÁ II	138ECE0230	ALTO SANTO-ENTR.CE-269 p/ POTIRETAMA	6,9
CEARÁ II	138ECE0250	ENTR.CE-269 p/ POTIRETAMA-ENTR.CE-273(A)(EMA)	23,6
CEARÁ II	138ECE0270	ENTR.CE-273(A)(EMA)-ENTR.CE-273(B)(IRACEMA)	6,6

PROGRAMA	TRECHO	DESCRIÇÃO	EXT. (km)
CEARÁ II	138ECE0290	ENTR.CE-273(B)(IRACEMA)-ENTR.BR-226(A)(ERERÊ)	30,0
CEARÁ II	152ECE0050	ENTR.CE-397(A)/384(MAURITI)-ENTR.CE-397(B)	5,0
CEARÁ II	152ECE0070	ENTR.CE-397(B)-PALESTINA	4,6
CEARÁ I	153ECE0150	ORÓS-ENTR.BR-404/CE-282(A)(LIMA CAMPOS)	19,5
CEARÁ II	153ECE0170	ENTR.BR-404/CE-282(LCAMPOS)-ENTR.BR-404/CE-282(CASCUDO)	10,1
CEARÁ II	153ECE0190	ENTR.BR-404/CE-282(B)(CASCUDO)-ENTR.CE-284(CEDRO)	21,8
CEARÁ I	156ECE0010	TAÍBA-ENTR.CE-348(A)	7,2
PRODETUR I	156ECE0030	ENTR.CE-348(A)-ENTR.CE-348(B)(GUARIBAS)	3,1
PRODETUR I	156ECE0050	ENTR.CE-348(B)(GUARIBAS)-ENTR.CE-085(Acende Candeia)	5,2
CEARÁ I	162ECE0010	LAGOINHA-ENTR.CE-348(PARAIPABA)	11,8
CEARÁ I	162ECE0030	ENTR.CE-348(PARAIPABA)-ENTR.CE-085(A)	3,9
CEARÁ I	162ECE0070	ENTR.CE-085(B)-ENTR.CE-426	3,1
PRODETUR I	163ECE0010	ENTR.CE-346(MUNDAÚ)-EMBUACA	7,6
PRODETUR I	163ECE0030	EMBUACA-ENTR.CE-346(A)(BARRINHA)	1,7
PRODETUR I	163ECE0050	ENTR.CE-346(A)(BARRINHA)-ENTR.CE-346(B)(ESTRELA)	2,6
PRODETUR I	163ECE0070	ENTR.CE-346(B)(ESTRELA)-TRAIRI	7,4
PRODETUR I	163ECE0090	TRAIRI-ENTR.CE-085(A) p/ BARRENTO	11,0
PRODETUR I	168ECE0010	BALEIA-MARINHEIROS	6,3
PRODETUR I	168ECE0030	MARINHEIROS-ENTR.CE-085(BARRENTO)	25,5
PRODETUR I	168ECE0050	ENTR.CE-085(BARRENTO)-ENTR.BR-402/CE-354(Itapipoca)	24,7
CEARÁ II	168ECE0250	ENTR.CE-253(A)(TEJUÇUOCA)-ENTR.CE-341(A)	16,6
CEARÁ II	168ECE0270	ENTR.CE-341(A)-ENTR.CE-253/341(B)(Gal SAMPAIO)	1,9
CEARÁ II	168ECE0370	ITATIRA-ENTR.CE-366(LAGOA DO MATO)	16,0
CEARÁ II	168ECE0530	ENTR.CE-363(A)(INHAMUNS)-ENTR.CE-363(B)(Escondido)	8,4
CEARÁ II	176ECE0070	ENTR.BR-402/CE-354(AMONTADA)-MIRAÍMA	30,4
CEARÁ I	176ECE0130	ENTR.BR-222(PATOS)-ENTR.CE-253(ARACATIAÇU)	16,5
CEARÁ I	176ECE0150	ENTR.CE-253(ARACATIAÇU)-ENTR.CE-362(O D'ÁGUA PAJÉ)	14,3
CEARÁ I	176ECE0160	ENTR.CE-362(O D'ÁGUA PAJÉ)-ENTR.CE-362(B) p/SOBRAL	0,8
CEARÁ I	176ECE0170	ENTR.CE-362(B) p/ SOBRAL-ENTR.CE-463 p/ LISIEUX	10,2
CEARÁ I	176ECE0190	ENTR.CE-463 p/ LISIEUX-ENTR.CE-257/366(S QUITÉRIA)	28,5
CEARÁ I	176ECE0210	ENTR.CE-257/366(SANTA QUITÉRIA)-CATUNDA	38,6
CEARÁ I	176ECE0230	CATUNDA-ENTR.CE-265(MORRO REDONDO)	14,2
CEARÁ I	176ECE0250	ENTR.CE-265(Morro Redondo)-ENTR.CE-266(TAMBORIL)	13,3
CEARÁ II	176ECE0330	ENTR.CE-187(A)-ENTR.CE-187(B)/363/BR-020(TA)	2,7
CEARÁ II	176ECE0350	ENTR.CE-187(B)/363/BR-020(TAUÁ)-ENTR.CE-277(ARNEIROZ)	42,4
CEARÁ II	176ECE0370	ENTR.CE-277(ARNEIROZ)-ENTR.CE-284(AIUABA)	31,4
CEARÁ II	176ECE0390	ENTR.CE-284(AIUABA)-ENTR.CE-371(Antonina do Norte)	38,2
CEARÁ I	178ECE0030	ENTR.BR-402/CE-216(B JESUS)-ENTR.BR-402(B)/CE-354	11,0
CEARÁ I	178ECE0050	ENTR.BR-402(B)/CE-354(A)-ENTR.CE-354(B)(Morrinhos)	3,8

PROGRAMA	TRECHO	DESCRIÇÃO	EXT. (km)
CEARÁ I	178ECE0070	ENTR.CE-354(B)(Morrinhos)-ENTR.CE-232(S do Acaraú)	29,1
CEARÁ I	178ECE0090	ENTR.CE-232(SANTANA DO ACARAÚ)-ENTR.CE-240	18,4
CEARÁ I	178ECE0110	ENTR.CE-240-ENTR.BR-222	14,8
CEARÁ I	179ECE0070	BELA CRUZ-ENTR.BR-402/CE-216(MARCO)	7,7
CEARÁ I	183ECE0010	ENTR.BR-222-JAIBARAS	5,9
CEARÁ I	183ECE0030	JAIBARAS-ENTR.CE-253(CARIRÉ)	20,4
CEARÁ I	187ECE0210	ENTR.CE-311(B)/232(VIÇOSA CEARÁ)-ENTR.BR-222(TIANGUÁ)	29,8
CEARÁ I	187ECE0230	ENTR.BR-222(TIANGUÁ)-UBAJARA	17,7
CEARÁ I	187ECE0250	UBAJARA-ENTR.CE-253(ABIAPINA)	10,1
CEARÁ I	187ECE0270	ENTR.CE-253(ABIAPINA)-ENTR.CE-321(SÃO BENEDITO)	12,9
CEARÁ I	187ECE0290	ENTR.CE-321(SÃO BENEDITO)-ENTR.CE-323(INHUÇU)	7,0
CEARÁ I	187ECE0310	ENTR.CE-323(INHUÇU)-ENTR.CE-327/366(Guaraciaba N)	16,3
CEARÁ I	187ECE0330	ENTR.CE-327/366(Guaraciaba NORTE)-ENTR.CE-329(Ipu	25,7
CEARÁ I	187ECE0390	ENTR.CE-189(IPUEIRAS)-ENTR.CE-265(NOVA RUSSAS)	30,9
CEARÁ I	187ECE0410	ENTR.CE-265(NOVA RUSSAS)-ENTR.CE-521 p/ Canindezinho	6,4
CEARÁ I	187ECE0420	ENTR.CE-521 p/ Canindezinho-ENTR.CE-266 p/ Tambori	18,5
CEARÁ I	187ECE0430	ENTR.CE-266 p/ TAMBORIL-SUCESSO	2,4
CEARÁ I	187ECE0470	ENTR.BR-226(CRATEÚS)(LESTE)-NOVO ORIENTE	47,1
CEARÁ II	187ECE0490	NOVO ORIENTE-ENTR.CE-351 p/ QUITERIANÓPOLIS	32,4
CEARÁ II	187ECE0510	ENTR.CE-351 p/ QUITERIANÓPOLIS-SANTA TERESA	18,4
CEARÁ II	187ECE0530	SANTA TERESA-ENTR.CE-176(A)	36,9
CEARÁ II	187ECE0670	ENTR.CE-292/371(CAMPOS SALES)-SALITRE	26,3
CEARÁ II	189ECE0070	ENTR.BR-404(IPAPORANGA)-ENTR.BR-403/CE-187 Crateús	33,4
CEARÁ I	216ECE0010	ENTR.BR-403/CE-178(BOM JESUS)-ENTR.CE-179(MARCO)	7,5
CEARÁ I	226BCE0570	Entr.CE-166/363(Sen Pompeu)-Entr.CE-060(A)(Bonfim)	18,4
CEARÁ II	226BCE0590	Entr.CE-060(A)(Bonfim)-Entr.CE-060(B)(Mineirolândia)	13,6
CEARÁ II	232ECE0210	ENTR.CE-187/311(VIÇOSA DO CEARÁ)-Padre Vieira	29,8
CEARÁ II	232ECE0230	Padre Vieira-DIVISA CE/PI	8,5
CEARÁ I	251ECE0070	ENTR.CE-060-MARACANAÚ	4,6
CEARÁ I	251ECE0090	MARACANAÚ-ENTR.CE-065(JAÇANAÚ)	2,6
CEARÁ I	253ECE0050	ENTR.CE-040/138(CASCAVEL)-GUANACÉS	9,6
CEARÁ I	253ECE0070	GUANACÉS-ENTR.BR-116(PACAJUS)	15,2
CEARÁ I	253ECE0490	ENTR.CE-321(A)(PACUJÁ)-ENTR.CE-321(B)(MUCAMBO)	10,5
CEARÁ I	257ECE0210	SALITRE-ENTR.CE-362	8,3
CEARÁ I	257ECE0230	ENTR.CE-362-ENTR.CE-366(A)/176(SANTA QUITÉRIA)	42,5
CEARÁ I	257ECE0290	HIDROLÂNDIA-ENTR.CE-187	34,3
CEARÁ II	261ECE0010	DIVISA RN/CE-IBICUITABA	12,5
CEARÁ II	261ECE0030	IBICUITABA-ICAPUÍ	5,5
CEARÁ II	261ECE0050	ICAPUÍ-ENTR.CE-550 p/ BARREIRAS	5,5
CEARÁ II	261ECE0070	ENTR.CE-550 p/ BARREIRAS-ENTR.CE-549 p/ REDONDA	10,2

PROGRAMA	TRECHO	DESCRIÇÃO	EXT. (km)
CEARÁ II	261ECE0090	ENTR.CE-549 p/ REDONDA-ENTR.BR-304	8,4
CEARÁ I	263ECE0010	JAGUARUANA-ENTR.CE-123	11,5
CEARÁ I	263ECE0030	ENTR.CE-123-ENTR.BR-116/CE-356	19,1
CEARÁ I	265ECE0070	ENTR.CE-358/377(L NORTE)-ENTR.BR-116(A)	5,5
CEARÁ I	265ECE0110	ENTR.BR-116(B)-ENTR.CE-371(Morada Nova)(LESTE)	23,7
CEARÁ I	265ECE0150	ENTR.CE-138-IBICUITINGA	31,7
CEARÁ I	265ECE0170	IBICUITINGA-ENTR.CE-153 p/ CIPÓ DOS ANJOS	13,3
CEARÁ I	265ECE0190	ENTR.CE-153 p/ C Anjos-ENTR.BR-122/CE-359(QUIX)LESTE	28,2
CEARÁ II	265ECE0330	ENTR.CE-467(MONS TABOSA)-ENTR.CE-176(MREDONDO)	30,2
CEARÁ II	265ECE0370	ENTR.CE-187(NOVA RUSSAS)-ENTR.CE-189(ARARENDÁ)	31,1
CEARÁ I	266ECE0310	ENTR.CE-176(TAMBORIL)-ENTR.CE-187 p/ SUCESSO	27,6
CEARÁ II	269ECE0030	POTIRETAMA-ENTR.CE-138	28,1
CEARÁ II	269ECE0070	ENTR.BR-116-ENTR.CE-546 p/ JAGUARIBARA(LESTE)	6,2
CEARÁ II	269ECE0090	ENTR.CE-546 p/ JAGUARIBARA(LESTE)-ENTR.CE-371	18,2
CEARÁ II	277ECE0190	ENTR.BR-020-PARAMBU	16,8
CEARÁ II	282ECE0070	ENTR.BR-116(ICÓ)-ENTR.CE-153(A)(LIMA CAMPOS)	12,7
CEARÁ II	282ECE0110	ENTR.CE-153(B)(CASCUDO)-JOSÉ DE ALENCAR	16,4
CEARÁ II	282ECE0130	JOSÉ DE ALENCAR-ENTR.BR-122/CE-060(A)	11,4
CEARÁ II	284ECE0030	ENTR.CE-151(UMARI)-PIO X	10,5
CEARÁ II	284ECE0050	PIO X-ENTR.BR-116	4,1
CEARÁ I	284ECE0150	ENTR.CE-166/375(B)(JUCÁS)-ENTR.CE-168(A)	35,5
CEARÁ I	284ECE0170	ENTR.CE-168(A)-ENTR.CE-371(A)(CRUZETA)	5,6
CEARÁ I	288ECE0010	ENTR.BR.116-ENTR.CE-153/380(AURORA)	26,6
CEARÁ I	292ECE0030	ENTR.CE-386/492(CRATO)-ENTR.CE-494 p/ EXU	9,3
CEARÁ I	292ECE0050	ENTR.CE-494 p/ EXU-ENTR.CE-166/388(NOVA OLINDA)	28,3
CEARÁ I	292ECE0070	ENTR.CE-166/388(Nova Olinda)-ENTR.CE-176(Aratama)	24,3
CEARÁ I	292ECE0090	ENTR.CE-176(ARATAMA)-ENTR.CE-375(POTENGI)	18,4
CEARÁ I	292ECE0110	ENTR.CE-375(POTENGI)-ARARIPE	20,5
CEARÁ I	292ECE0130	ARARIPE-ENTR.CE-187/371(CAMPOS SALES)	33,0
CEARÁ I	292ECE0150	ENTR.CE-187/371(CAMPOS SALES)-DIVISA CE/PI	9,0
CEARÁ I	293ECE0010	ENTR.BR-116-ENTR.CE-393(A)	9,7
CEARÁ I	293ECE0030	ENTR.CE-393(A)-ENTR.CE-393(B) p/ ABAIARA	5,2
CEARÁ I	293ECE0050	ENTR.CE-393(B) p/ ABAIARA-ENTR.CE-153(MISSÃO VELHA)	14,4
CEARÁ I	293ECE0070	ENTR.CE-153(MISSÃO VELHA)-ENTR.CE-060(BARBALHA)	21,5
CEARÁ II	293ECE0090	ENTR.CE-060(BARBALHA)-ENTR.CE-386(ARAJARA)	11,1
CEARÁ II	321ECE0050	ENTR.CE-253(B)(PACUJÁ)-GRAÇA	10,7
CEARÁ I	341ECE0010	ENTR.CE-348(PARACURU)-ENTR.CE-085(4 BOCAS)	11,6
CEARÁ I	341ECE0030	ENTR.CE-085(QUATRO BOCAS)-ENTR.CE-426	4,4
CEARÁ I	341ECE0050	ENTR.CE-426-ENTR.BR-222(CROATÁ)	12,6
CEARÁ II	341ECE0070	ENTR.BR-222(CROATÁ)-ENTR.CE-162/354(Pentecoste)	20,9
CEARÁ II	341ECE0110	ENTR.CE-354/162(A)(PENTECOSTE)-SERROTA	12,8
CEARÁ II	341ECE0130	SERROTA-APUIARÉS	15,7

PROGRAMA	TRECHO	DESCRIÇÃO	EXT. (km)
CEARÁ II	341ECE0150	APUIARÉS-ENTR.CE-168/253(A)	11,7
PRODETUR I	346ECE0030	CANAÃ-ENTR.CE-163(A)(ESTRELA)	6,4
PRODETUR I	346ECE0070	ENTR.CE-163(B)(BARRINHA)-FLECHEIRAS	3,6
PRODETUR I	346ECE0090	FLECHEIRAS-GUAJIRU	4,9
PRODETUR I	348ECE0070	SIUPÉ-ENTR.CE-156(A)	4,1
PRODETUR I	348ECE0110	ENTR.CE-156(B)(GUARIBAS)-PECÉM	6,1
CEARÁ I	348ECE0130	PECÉM-ENTR.CE-422	2,1
CEARÁ I	348ECE0150	ENTR.CE-422-ENTR.CE-085(COITÉ)	8,8
CEARÁ I	348ECE0170	ENTR.CE-085(COITÉ)-ENTR.BR-222(PRIMAVERA)	8,6
CEARÁ II	350ECE0050	ENTR.CE-060(B)(Pacatuba)-ENTR.BR-116(A)(ITAITINGA)	13,2
CEARÁ II	351ECE0010	ENTR.CE-187-QUITERIANÓPOLIS	10,2
CEARÁ I	354ECE0150	ENTR.CE-178(B)-ENTR.CE-434(NASCENTE)	20,8
CEARÁ I	354ECE0170	ENTR.CE-434(NASCENTE)-ENTR.CE-176(AMONTADA)	13,8
CEARÁ I	354ECE0190	ENTR.CE-176(AMONTADA)-ENTR.CE-168(ITAPIOCA)	34,6
CEARÁ I	354ECE0270	ENTR.CE-243(VARJOTA)-ENTR.BR-222(A)(UMIRIM)	8,4
CEARÁ I	354ECE0410	ENTR.BR-020(B)-ENTR.CE-455(AMANARI)	14,8
CEARÁ I	354ECE0530	ENTR.CE-060(B)/253(ACARAPE)-BARREIRA	14,5
CEARÁ I	356ECE0050	ENTR.CE-065(B)(CRUZ)-BATURITÉ	15,4
CEARÁ II	356ECE0070	BATURITÉ-ENTR.CE-060	6,4
CEARÁ II	356ECE0250	ENTR.BR-116(B)(RUSSAS)-RUSSAS	3,7
CEARÁ II	356ECE0270	RUSSAS-ENTR.CE-123(A) p/ JAGUARUANA	7,4
CEARÁ II	359ECE0010	ENTR.BR-116(TRIÂNGULO)-ENTR.CE-257 p/ OCARA	22,6
CEARÁ II	359ECE0030	ENTR.CE-257 p/ OCARA-ENTR.CE-356(Córrego do Facó)	9,2
CEARÁ II	359ECE0050	ENTR.CE-356(Córrego do Facó)-ENTR.CE-153(PIRANJI)	15,6
CEARÁ II	359ECE0070	ENTR.CE-153(PIRANJI)-IBARETAMA	18,9
CEARÁ II	359ECE0090	IBARETAMA-ENTR.CE-528 p/ QUIXADÁ(NORTE)	25,1
CEARÁ II	359ECE0110	ENTR.CE-528 pQUIXADÁ(NORT)-ENTR.CE-265(QUIX(Leste))	1,6
CEARÁ II	359ECE0130	ENTR.CE-265(QUIXADÁ)(Leste)-ENTR.CE-060(QUIX)(SUL)	5,9
CEARÁ I	362ECE0030	ENTR.CE-085/216(B) p/ PARAZINHO-ENTR.CE-313(MARTINÓPOLE)	16,7
CEARÁ I	362ECE0050	ENTR.CE-313(MARTINÓPOLE)-ENTR.CE-354(URUOCA)	23,4
CEARÁ I	362ECE0070	ENTR.CE-354(URUOCA)-SENADOR SÁ	12,1
CEARÁ I	362ECE0090	SENADOR SÁ-ENTR.CE-232/240(MASSAPÊ)	24,0
CEARÁ I	362ECE0110	ENTR.CE-232/240(MASSAPÊ)-ENTR.CE-179(A)(SOBRAL)	18,9
CEARÁ I	362ECE0190	ENTR.BR-222(B)(FORQUILHA)-ENTR.CE-253 p/ ARACATIAÇU	14,1
CEARÁ I	362ECE0210	ENTR.CE-253 p/ ARACATIAÇU-ENTR.CE-463 p/ LISIEUX	6,5
CEARÁ I	362ECE0230	ENTR.CE-463 p/ LISIEUX-ENTR.CE-176(A) p/ S QUITÉRI	10,8
CEARÁ II	362ECE0270	TAPERUABA-ENTR.CE-257	26,4
CEARÁ II	363ECE0070	SÃO GONÇALO DO UMARI-ENTR.CE-168(A)(ESCONDIDO)	11,2
CEARÁ II	363ECE0110	ENTR.CE-168(B)(INHAMUNS)-ENTR.BR-020/CE-176/187(TAUÁ)	43,2

PROGRAMA	TRECHO	DESCRIÇÃO	EXT. (km)
PRODETUR II	364ECE0010	ENTRCE-311(A)/CE-085/216/362(GRANJA)-ENTRCE-311(B)	10,4
CEARÁ II	366ECE0070	ENTR.CE-183(VARJOTA)-ENTR.CE-179 p/ TRAPIÁ	10,1
CEARÁ II	366ECE0090	ENTR.CE-179 p/ TRAPIÁ-ENTR.CE-257(A) p/ HIDROLÂNDIA	26,7
CEARÁ II	366ECE0190	ENTR.CE-168(LAGOA DO MATO)-ENTR.BR-020(MACAoca)	26,5
CEARÁ I	371ECE0090	ITAIÇABA-ENTR.CE-123	3,4
CEARÁ II	371ECE0250	ENTR.CE-138(Morada Nova)(SUL)-ENTR.CE-266(ROLDÃO)	23,6
CEARÁ II	371ECE0270	ENTR.CE-266(ROLDÃO)-ENTR.269 p/ JAGUARIBARA	19,4
CEARÁ II	371ECE0290	ENTR.269 p/ Jaguaribara-ENTR.CE-368(Jaguaretama)	33,0
CEARÁ II	371ECE0310	ENTR.CE-368(JAGUARET)-ENTR.BR-226(A)/CE-153(SOLONOP)	36,4
CEARÁ II	371ECE0370	ENTR.BR-226(B)(MILHÃ)-BETÂNIA	19,3
CEARÁ II	371ECE0390	BETÂNIA-ENTR.CE-275(IRAPUAN PINHEIRO)	16,3
CEARÁ I	371ECE0570	ENTR.CE-168/284(B)(CRUZET)-ENTR.CE-176(ANT NORTE)	26,7
CEARÁ I	371ECE0590	ENTR.CE-176(ANT NORTE)-ENTR.BR-230(A)(CARMELÓPOLIS)	25,4
CEARÁ I	371ECE0610	ENTR.BR-230(CARMELÓPOLIS)-ENTR.CE-187/292(C SALES)	31,9
CEARÁ I	375ECE0050	QUIXELÔ-ENTR.CE-060(A)	16,3
CEARÁ I	375ECE0110	ENTR.CE-060/282/BR-404(IGUAT-ENTR.CE-536/S PEDRO NORTE)	19,4
CEARÁ I	375ECE0120	ENTR.CE-536 pS Pedro Norte-ENTR.CE-166/284(A)(JUCÁS)	10,9
CEARÁ II	375ECE0150	ENTR.CE-166/284(B)(CARIÚS)-SÃO SEBASTIÃO	20,0
CEARÁ II	375ECE0170	SÃO SEBASTIÃO-ENTR.CE-168(TARRAFAS)	16,7
CEARÁ II	377ECE0010	ENTR.CE-356(DIVISA RN/CE)-BONSUCCESSO	11,2
CEARÁ II	377ECE0030	BONSUCCESSO-LAGOINHA	18,2
CEARÁ II	377ECE0050	LAGOINHA-SANTA CRUZ	6,5
CEARÁ II	377ECE0070	SANTA CRUZ-ENTR.CE-123(QUIXERÉ)	5,0
CEARÁ I	377ECE0130	ENTR.CE-358(T NORTE)-ENTR.BR-116/CE-266Peixe Gordo	7,3
CEARÁ II	384ECE0010	ENTR.BR-116-ENTR.CE-152/397(MAURITI)	18,9
CEARÁ II	384ECE0030	ENTR.CE-152/397(MAURITI)-UMBURANAS	10,9
CEARÁ II	384ECE0050	UMBURANAS-DIVISA CE/PB	14,5
CEARÁ I	386ECE0010	ENTR.BR-230/CE-166/489(FARIAS BRITO)-DOM QUINTINO	19,2
CEARÁ I	386ECE0030	DOM QUINTINO-ENTR.CE-292/492(CRATO)	24,4
CEARÁ II	386ECE0050	ENTR.CE-292/492(CRATO)-ENTR.CE-293(ARAJARA)	15,9
CEARÁ II	388ECE0030	ENTR.CE-489(ALTANEIRA)-ENTR.CE-166/292(Nova Olinda)	13,5
CEARÁ I	397ECE0170	ENTR.BR-116(B)-ENTR.CE-153(PORTEIRAS)	13,0
CEARÁ I	426ECE0010	ENTR.CE-162 p/ SERROTE-ENTR.CE-341	9,1
CEARÁ I	440ECE0030	ENTR.CE-241 p/ Alcântaras-ENTR.BR-222(SOBRAL)(Oeste)	17,4
CEARÁ I	452ECE0010	PRAINHA-ENTR.CE-025	3,3
CEARÁ I	452ECE0030	ENTR.CE-025-ENTR.CE-040(AQUIRAZ)	3,2
CEARÁ I	453ECE0010	ENTR.CE-025(JACAÚNA)-ENTR.CE-040(FACUNDES)	9,2

PROGRAMA	TRECHO	DESCRIÇÃO	EXT. (km)
CEARÁ I	455ECE0010	ENTR.CE-065(LADEIRA GRANDE)-ENTR.CE-354(Amanari)	19,8
CEARÁ II	456ECE0010	ENTR.BR-020-TARGINOS	15,8
CEARÁ II	456ECE0030	TARGINOS-CHORÓ	28,8
CEARÁ II	456ECE0050	CHORÓ-ENTR.CE-060	12,7
CEARÁ II	469ECE0010	ENTR.BR-226 p/ CRATEÚS-QUEIMADAS	21,0
CEARÁ II	469ECE0030	QUEIMADAS-ENTR.CE-192(TUCUNS)	4,6
CEARÁ II	469ECE0050	ENTR.CE-192(TUCUNS)-DIVISA CE/PI	2,6
CEARÁ I	509ACE0010	BEBERIBE-MORRO BRANCO	4,4
PRODETUR I	544ACE0010	ENTR.CE-085-LAGOA DO BANANA	5,1
CEARÁ II	546ACE0010	ENTR.CE-269-JAGUARIBARA	5,7

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)