

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Análise de Desempenho de Estrutura de Pavimento Flexível da
Rodovia BR-290/RS no Trecho Osório - Porto Alegre**

Thiago Vitorello

Porto Alegre
2008

THIAGO VITORELLO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ESTRUTURA DE
PAVIMENTO FLEXÍVEL DA RODOVIA BR-290/RS NO
TRECHO OSÓRIO – PORTO ALEGRE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Orientação: Prof. Dr. Jorge Augusto Pereira Ceratti.

Porto Alegre

2008

V845a Vitorello, Thiago

Análise de desempenho de estrutura de pavimento flexível da rodovia BR-290/RS no trecho Osório-Porto Alegre / Thiago Vitorello. – 2008.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2008.

Orientação: Prof. Dr. Jorge Augusto Pereira Ceratti

1. Pavimentos flexíveis. 2. Análise estatística. 3. Pavimentação. 4. Rodovias. I. Ceratti, Jorge Augusto Pereira, orient. II. Título.

CDU-625.85(043)

THIAGO VITORELLO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ESTRUTURA DE
PAVIMENTO FLEXÍVEL DA RODOVIA BR-290/RS NO
TRECHO OSÓRIO – PORTO ALEGRE**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, na Área de Geotecnia, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 23 de setembro de 2008.

Prof. Jorge Augusto Pereira Ceratti
DSc. pela COPPE-UFRJ
Orientador

Prof. Fernando Schnaid
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Antônio Fortunato Marcon (UFSC)
DSc. pelo ITA / CTA

Prof. Luciano Pivoto Specht (UNIJUÍ)
Dr. pelo PPGEC / UFRGS

Prof. Suyen Matsumura Nakahara (UFRGS)
Dr. pela EPUSP

Prof. Washington Peres Núñez (UFRGS)
Dr. pelo PPGEC / UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais Ilso e Ilse, a meus irmãos
Tanise e Diogo e a minha noiva Felicia.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela força, garra e determinação que me foi concebida para acabar esta pesquisa.

À minha família pelo apoio, incentivo, persistência, “cobrança” e confiança depositada em mim para o término desta dissertação.

Ao orientador Prof. Jorge Augusto Ceratti pela coordenação, apoio e dedicação em abrir os caminhos para a minha carreira profissional.

Ao Professor Washington Peres Núñez pelo apoio, persistência e incentivo incansável para conclusão desta dissertação. Apesar do corrido dia-a-dia, sempre abdicou de seu tempo, muitas vezes em horários inoportunos, em prol de “bate papos”, bastante produtivos, tanto no meio profissional, quanto pessoal.

A Concepa pela confiança depositada no meu trabalho, bem como pela motivação e benefícios constantes concedidos para a busca de aprimoramento e qualificação profissional. Em especial a Diretoria da Empresa e aos colegas do Departamento de Engenharia.

Aos colegas engenheiros e amigos Daniel Victorino, Lélío T. Brito, Fernando L. Casagrande, Marcelo A. Dama e Eduardo Borba (*in memoriam*), que de uma forma ou outra, foram essenciais para o desenvolvimento do presente estudo.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Pavimentação da UFRGS - LAPAV, por compartilharem o conhecimento técnico e prático ao longo dos anos, concomitantemente com o convívio com pessoas qualificadas e de grandiosos valores pessoais.

Ao engenheiro, pesquisador, doutor e professor Luciano P. Specht, pela sabedoria, conhecimentos transmitidos e paixão pela engenharia, contagiante, principalmente, nas tarefas desenvolvidas em laboratório.

As empresas que auxiliaram no enriquecimento técnico desta dissertação, entre elas: TPI – Triunfo Participações e Investimentos; SBS Engenharia e Construções; Cibernétrica; STE Serviços Técnicos de Engenharia; Pavesys Engenharia, em especial aos profissionais Fernando J. P. Gonçalves e Régis M. Rodrigues.

Aos colegas do Mestrado pelo coleguismo e parceria ao longo de todo o curso.

E por fim, como não poderia deixar de ser, agradeço aos amigos e familiares de Erechim pela torcida para a conclusão deste trabalho.

"O homem nasce livre; e em todos os lugares, ele está amarrado. Um pensa que é o mestre dos outros, e ainda continua a ser mais escravo do que eles".

Jean Jacques Rousseau

RESUMO

VITORELLO, T. Análise de Desempenho de Estrutura de Pavimento Flexível da Rodovia BR-290/RS no Trecho Osório – Porto Alegre. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Os modelos de previsão de desempenho são ferramentas fundamentais em um Sistema de Gerência de Pavimentos. Embora de grande importância, especificamente no Brasil, tem-se dado pouca atenção para a calibração e validação desses modelos. Acaba-se adotando modelos genéricos, obtidos em condições totalmente diferentes das existentes na malha administrada. Para uma gerência correta dos pavimentos de uma rodovia, torna-se fundamental a definição de modelos representativos das condições estruturais e funcionais dos pavimentos administrados. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho de uma estrutura de pavimento flexível da rodovia BR-290/RS, desenvolvendo, a partir dessa avaliação, modelos que representem a tendência do comportamento do pavimento. A rodovia BR-290/RS está, no trecho entre as cidades de Osório e Porto Alegre, sob concessão da Concessionária da Rodovia Osório - Porto Alegre S/A – Concepa, desde o ano de 1997. Uma das principais ações a serem realizadas pela concessionária no período em que este trecho da rodovia está sob sua administração é a execução do alargamento das pistas da mesma, com a construção de uma nova estrutura de pavimento junto à plataforma existente, sendo essa a estrutura de pavimento analisada nesta pesquisa. A estrutura contempla 8cm de revestimento asfáltico, 15cm de base, 30cm de sub-base e 60cm de camada de reforço. Os pavimentos inseridos na análise foram construídos entre os anos 2000 e 2007. Para atingir o objetivo da pesquisa, foram reunidas informações obtidas em levantamentos de deflexões, irregularidade longitudinal e afundamento de trilha de roda realizados nos últimos anos. As deflexões foram determinadas em levantamento com o equipamento FWD ocorrido em 2007. A irregularidade longitudinal e o afundamento de trilha de roda foram obtidos simultaneamente em levantamentos com o perfilômetro a laser nos anos 2005, 2006 e 2007. De posse dessas informações, analisou-se o comportamento de tais parâmetros com a ação do tráfego, desenvolvendo tendências de desempenho para a estrutura. Na análise considerou-se a influência das intervenções ocorridas nos pavimentos após a sua construção, bem como diferentes procedimentos adotados nos levantamentos realizados. Em relação às intervenções, verificou-se que, para a estrutura e dados do estudo, elas foram influentes apenas na evolução da irregularidade longitudinal. Análises estatísticas foram efetuadas, de modo a definir o melhor ajuste para cada parâmetro. Após o desenvolvimento de tais tendências de comportamento do pavimento, as mesmas foram comparadas aos modelos de previsão de desempenho desenvolvidos em outras pesquisas. Para a irregularidade e o afundamento de trilha de roda, as tendências apresentadas neste estudo comportaram-se significativamente semelhantes as de outros modelos encontrados na bibliografia técnica. Por outro lado, para a tendência referente às deflexões, nenhum dos modelos desenvolvidos em estudos anteriores apresentou comportamento similar ao encontrado na pesquisa, evidenciando a importância do desenvolvimento de modelos particulares para cada rodovia e estrutura.

Palavras-chave: pavimentos flexíveis; sistema de gerência de pavimentos; modelos de desempenho; análise estatística.

ABSTRACT

VITORELLO, T. Análise de Desempenho de Estrutura de Pavimento Flexível da Rodovia BR-290/RS no Trecho Osório – Porto Alegre. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Pavement performance prediction models are important tools for pavement management systems. Despite its high importance, specifically in Brazil, little attention has been given to calibration and validation of such models. Generic models are eventually used, even international ones, obtained for rather different conditions of those valid for the managed network. Hence, it is vital for an appropriate road pavement management that representative models of the structural and functional conditions of the associated pavements are defined. This research aims to evaluate the behaviour of the performance of a flexible pavement section of the road BR-290/RS, developing from this assessment, models that are representative of the pavement behaviour tendency. The road BR-290/RS is located between the cities of Osório and Porto Alegre, under concession of Concessionária da Rodovia Osório – Porto Alegre S/A – Concepa, since the year of 1997. One of the main actions to be accomplished by the road concessionary within the period under its administration is the carriageway widening of this road with the construction of a new pavement structure alongside, being this structure the objective of study in this research. The structure consists of an asphaltic layer of 8cm, 15cm of base course, 30cm of sub-base and 60cm of a capping layer. The pavement segments included in the analysis were built between 2000 and 2007. To deliver the objectives of this research, data obtained in deflectometric test campaigns, longitudinal roughness and rutting testing campaigns were gathered. Deflections were assessed in the FWD test campaign of 2007. Longitudinal roughness and rutting were simultaneously obtained with a laser profilometer in tests carried out in the years of 2005, 2006 and 2007. With this data, the behaviour of these parameters were evaluated with the traffic evolution, allowing the development of behaviour tendencies of this structure performance to be derived. In the analysis, the influence of the interventions carried out in the pavement sections after its construction were taken into account, as well as different procedures adopted in the testing campaigns carried out. In regard to the interventions, it was observed that, for the data and structure object of this study, they only had effect in the longitudinal roughness evolution. Statistical analyses were carried out in order to define the best adjustment to each parameter. After the development of such tendencies on the pavement behaviour, they were compared to pavement performance prediction models developed in other researches. For both roughness and rutting, the tendencies presented in the study behaved significantly as the other models found in the technical literature. As to the tendencies regarding deflections, none of the models developed in previous studies evidenced similar behaviour to the one observed in this research, testifying the importance for the development of particular models for each road and structure.

Key-words: flexible pavements; pavement management systems, performance models, statistical analysis.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS.....	15
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	17
1 INTRODUÇÃO	19
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA.....	20
1.2 OBJETIVOS	22
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	23
2 REVISÃO.....	25
2.1 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	25
2.1.1 Histórico	28
2.1.2 Objetivos de um SGP	30
2.1.3 Tipos de SGP	32
2.1.3.1 Em Nível de Rede	33
2.1.3.2 Em Nível de Projeto	34
2.1.4 Banco de Dados	35
2.1.5 Avaliação de Pavimentos	37
2.1.6 Desempenho do pavimento	38
2.1.6.1 Deterioração dos pavimentos	41
2.1.6.2 Tipos de intervenções em pavimento	43
2.1.7 Número estrutural corrigido – SNC	44
2.2 MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO.....	45
2.2.1 Elaboração e classificação de modelos de previsão de desempenho.....	46
2.2.2 Alguns exemplos de modelos de previsão de desempenho	51
2.2.2.1 Modelos desenvolvidos por Queiroz.....	53
2.2.2.2 Modelos desenvolvidos por Paterson.....	56
2.2.2.3 Modelos desenvolvidos por Marcon	58
2.2.2.4 Modelos desenvolvidos por Basílio	60
2.2.2.5 Modelos desenvolvidos por Yshiba	62
2.2.2.6 Modelos desenvolvidos por Benevides	63
2.2.2.7 Modelos desenvolvidos por Albuquerque.....	64
2.2.2.8 Modelos desenvolvidos por Lerch	66

2.2.2.9 Modelos desenvolvidos por Nakahara	67
3 METODOLOGIA	69
3.1 CENÁRIO DO ESTUDO	69
3.1.1 Histórico da rodovia	70
3.1.2 Estrutura avaliada	74
3.2 LEVANTAMENTOS REALIZADOS	77
3.2.1 Informações do tráfego.....	77
3.2.2 Deflexões.....	82
3.2.3 Irregularidade longitudinal	85
3.2.4 Afundamento de trilha de roda.....	87
3.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE	91
3.3.1 Fatores determinantes na análise.....	92
3.3.1.1 Intervenções nos pavimentos	92
3.3.1.2 Metodologia dos levantamentos.....	95
3.3.2 Análise estatística	95
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	98
4.1 BANCO DE DADOS	98
4.1.1 Levantamentos Realizados	98
4.1.1.1 Contagem de tráfego	98
4.1.1.2 Deflexões.....	100
4.1.1.3 Irregularidade longitudinal.....	102
4.1.1.4 Afundamento de trilha de roda.....	102
4.1.2 Idade dos Pavimentos e Histórico do Tráfego	103
4.1.3 Intervenções nos pavimentos.....	104
4.2 LINHAS DE TENDÊNCIAS DE DESEMPENHO DESENVOLVIDA PARA DEFLEXÃO.....	105
4.3 LINHAS DE TENDÊNCIAS DE DESEMPENHO DESENVOLVIDA PARA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL.....	109
4.4 LINHAS DE TENDÊNCIAS DE DESEMPENHO DESENVOLVIDA PARA AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA.....	114
4.5 COMPARAÇÃO COM MODELOS DE PREVISÃO EXISTENTES	119
4.5.1 Modelos existentes para deflexões	119
4.5.2 Modelos existentes para irregularidade longitudinal	120

4.5.3 Modelos existentes para afundamento de trilha de roda	121
4.6 SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	122
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
5.1 CONCLUSÕES	125
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	127
REFERÊNCIAS	129
APÊNDICE A – ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estágios durante o desenvolvimento e implantação de um SGP (Queiroz et al., 1992).....	31
Figura 2: Estruturação do banco de dados de um SGP (Cardoso, 1994).....	35
Figura 3: Relação do banco de dados com demais elementos do SGP (Haas et al., 1994).....	36
Figura 4: Fases da vida de serviço de um pavimento (Rodrigues, 2003).....	40
Figura 5: Variação da serventia com o tráfego e condições climáticas.....	41
Figura 6: Mecanismos principais de deterioração de um pavimento asfáltico (adaptação de Paterson, 1987).	42
Figura 7: Formas dos modelos determinísticos.....	47
Figura 8: Localização do trecho da rodovia a ser analisada nesta pesquisa.....	69
Figura 9: Configuração da pista da rodovia BR-290/RS antes e após a obra de ampliação que a concessionária está realizando.	71
Figura 10: Seção transversal da pista apresentando a configuração da pista antes e após a ampliação.....	72
Figura 11: Esquema dos trechos em que as obras de ampliação da rodovia já estão concluídas.	73
Figura 12: Estrutura típica a ser considerada nesta pesquisa.....	75
Figura 13: Esquema do posicionamento dos sensores no FWD de modo a determinar a bacia de deformação (Fonte: IPR-720, 2006).	83
Figura 14: FWD modelo Dynatest.	84
Figura 15: Comboio de veículos empregados no levantamento de deflexões com FWD (reboque no veículo da frente).	84
Figura 16: Detalhe do levantamento realizado na rodovia BR-290/RS com o equipamento FWD.....	85
Figura 17: Perfilômetro a laser em levantamento ocorrido na rodovia BR-290/RS.	86
Figura 18: Esquema do funcionamento dos sensores nos perfilômetros a laser (Barella, 2008).	87
Figura 19: Trelença de alumínio utilizada na determinação do afundamento de trilha de roda (DNIT 006/2003-PRO).....	88
Figura 20: Sensores no levantamento de afundamento de trilha de roda (Albuquerque, 2007).....	89

Figura 21: Disposição de 3 sensores no perfilômetro a laser (Barella, 2008).	90
Figura 22: Exemplo de modelos a serem obtidos na proposta de tendências de desempenho de pavimentos para esta pesquisa.	91
Figura 23: Exemplo de modelos a serem obtidos na proposta de tendências de desempenho de pavimentos para esta pesquisa considerando as intervenções com remendos profundos realizadas.	93
Figura 24: Representação esquemática dos 3 tipos de remendos profundos usualmente executados na rodovia BR-290/RS.	94
Figura 25: Dados de deflexões considerados na pesquisa.	100
Figura 26: Dados da temperatura do ar no período do levantamento com FWD, entre outubro e dezembro de 2007.	101
Figura 27: Dados de irregularidade longitudinal considerados na pesquisa.	102
Figura 28: Dados de afundamento de trilha de roda considerados na pesquisa.	103
Figura 29: Evolução das deflexões com o número de solicitações, considerando todos os dados obtidos.	105
Figura 30: Evolução das deflexões com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.	106
Figura 31: Scatterplot para a linha de tendência das deflexões.	107
Figura 32: Evolução das deflexões com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios e considerando as intervenções nos pavimentos.	108
Figura 33: Evolução da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, considerando-se todos os dados.	109
Figura 34: Evolução da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.	110
Figura 35: Evolução da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios e considerando as intervenções nos pavimentos.	111
Figura 36: Scatterplot para a linha de tendência da irregularidade longitudinal.	112
Figura 37: Evolução da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios, considerando as intervenções nos pavimentos e excluindo levantamento ocorrido em 2007.	113
Figura 38: Evolução do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, considerando-se todos os dados.	114
Figura 39: Evolução do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.	115

Figura 40: Evolução do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios pavimentos e excluindo levantamento ocorrido em 2007.	116
Figura 41: Scatterplot para a linha de tendência do afundamento de trilha de roda.....	117
Figura 42: Evolução do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios, considerando as intervenções nos pavimentos e excluindo levantamento ocorrido em 2007.	118
Figura 43: Comparação da linha de tendência proposta com outros modelos existentes para deflexões.....	119
Figura 44: Comparação da linha de tendência proposta com outros modelos existentes para irregularidade.....	120
Figura 45: Comparação da linha de tendência proposta com outros modelos existentes para afundamento de trilha de roda	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis consideradas relevantes para criação de um banco de dados.....	37
Tabela 3: Expectativa dos parâmetros de correlação (FHWA, 2006).....	50
Tabela 4: Segmentos da rodovia a serem considerados neste estudo.....	75
Tabela 5: Classificação dos veículos realizada pela concessionária que administra a rodovia BR-29/RS.....	78
Tabela 6: Equações utilizados para o cálculo do FEC pelo método da AASHTO e do USACE.....	80
Tabela 7: Determinação do fator de veículo para o tráfego da rodovia BR-290/RS considerado nesta pesquisa.....	99
Tabela 8: Período da construção da estrutura de pavimento nos segmentos do trecho em análise com a definição do número equivalente de operações.....	103
Tabela 9: Resultados estatísticos da relação das deflexões com o número de solicitações, considerando todos os dados obtidos.....	105
Tabela 10: Resultados estatísticos da relação das deflexões com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.....	106
Tabela 11: Resultados estatísticos da relação das deflexões com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios e considerando as intervenções nos pavimentos.....	108
Tabela 12: Resultados estatísticos da relação da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, considerando-se todos os dados.....	109
Tabela 13: Resultados estatísticos da relação da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.....	110
Tabela 14: Resultados estatísticos da relação da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios e considerando as intervenções nos pavimentos.....	111
Tabela 15: Resultados estatísticos da relação da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios, considerando as intervenções nos pavimentos e excluindo levantamento ocorrido em 2007.....	113
Tabela 16: Resultados estatísticos da relação do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, considerando-se todos os dados.....	114
Tabela 17: Resultados estatísticos da relação do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.....	115

Tabela 18: Resultados estatísticos da relação do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios e excluindo levantamento ocorrido em 2007.	116
Tabela 19: Resultados estatísticos da relação do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios, considerando as intervenções nos pavimentos e excluindo levantamento ocorrido em 2007.	118
Tabela 20: Resumo dos levantamentos considerados nesta pesquisa.	122
Tabela 21: Resumo dos melhores ajustes das linhas de tendências de desempenho propostas nesta dissertação.	123
Tabela 22: Resumo das comparações das tendências propostas com modelos desenvolvidos em outros estudos.....	124

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ATR: Afundamento de trilha de roda

CBUQ: Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CNT: Confederação Nacional do Transporte

DAER: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem

DEF: Deflexão máxima

DER: Departamento de Estradas de Rodagem

DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT: Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes

F: valor estatístico F

F_d : fator de distribuição de frota por faixa

FEC: Fator de Equivalência de Carga

F_f : fator de frota comercial

FHWA: Federal Highway Administration

F_s : fator de sentido

FV: Fator de Veículo

FWD: Falling Weight Deflectometer

HDM: Highway Development and Management

ISC: Índice de Suporte Califórnia

N_{acum} : número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO

PER: Programa de Exploração da Rodovia

PSI: Present Serviceability Index

QI: Quociente de irregularidade

REMQP: Raiz do Erro Médio Quadrático Percentual

SGP: Sistema de Gerência de Pavimentos

SN: Número estrutural

SNC: Número estrutural corrigido

TSD: Tratamento Superficial Duplo

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USACE: United States Army Corps of Engineers

VMD: Volume Diário Médio

Vtc: tráfego total de veículos comerciais

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o sistema rodoviário brasileiro vivenciou um acelerado crescimento, devido à construção de rodovias financiadas por fundos de capitais nacionais. Em contrapartida, os mesmos investimentos não puderam ser observados em atividades de conservação, manutenção e recuperação, o que proporcionou uma sensível redução na qualidade da malha rodoviária nacional.

De acordo com pesquisa da Confederação Nacional do Transporte realizada em 2007 (CNT, 2007), na qual se avaliou 87.592km de rodovias em todo o território brasileiro, incluindo trechos concessionados, 73,9% das rodovias encontram-se em estado regular, ruim e péssimo. Considerando-se apenas aspectos relacionados às condições dos pavimentos, 54,5% das rodovias apresentam-se em estado crítico, necessitando investimentos de restauração e até reconstrução. No estado do Rio Grande do Sul, em particular, onde foram avaliados 7.540km de rodovias, 31,3% dos pavimentos encontram-se em condições críticas.

Neste cenário, há uma necessidade, cada vez maior, de realizar sobre a malha rodoviária brasileira uma gerência adequada de pavimentos, capaz de proporcionar uma melhora na qualidade dos pavimentos através de eficazes programações de conservação.

Segundo Schliessler & Bull, muitas das rodovias que estão depreciadas têm grande volume de tráfego, o que não somente as fazem rentáveis, como também as transformam em rodovias de grande importância estratégica para a economia do país.

Como consequência a esta situação, caso não haja uma preocupação no sentido de implantar programas eficazes para a gerência das rodovias nacionais, a necessidade da reconstrução dessas rodovias é um fator inevitável e que, sem dúvida, representa um custo bem maior que o de conservação adequada.

Shahin *et al.* (1979) afirmam que caso as recuperações sejam feitas no início do processo de deterioração, e não em estágios mais avançados, poder-se-ia chegar a uma economia de até 80% nos investimentos.

Tradicionalmente, os órgãos estatais rodoviários, como DNIT, DERs e DAER, são os responsáveis pela realização da gerência de pavimentos das rodovias nacionais, todavia tem havido uma tendência acentuada em fornecer a concessão de rodovias a empresas privadas especializadas nessas operações. Além disso, tanto os órgãos públicos de rodovias quanto as empresas concessionárias que realizam essa atividade, têm relacionamento direto com o público usuário. Esse relacionamento está intimamente ligado à necessidade de atender aos requisitos desejados pelos mesmos e atender a sua satisfação. Sabendo-se que tais usuários estão cada vez mais exigentes quanto à qualidade nos trabalhos das empresas responsáveis (ações para estabelecer o conforto e segurança no tráfego), é de fundamental importância o conhecimento da condição futura da malha rodoviária, para que se realize a escolha adequada de alternativas de manutenção de pavimentos associando-se ao maior benefício/custo.

O monitoramento seguido da previsão de vida restante de pavimentos, função dos modelos de previsão de desempenho, são processos imprescindíveis para se realizar a correta otimização na relação benefício/custo das medidas de conservação e manutenção de rodovias. A partir dos modelos de previsão de desempenho poder-se-á determinar o momento (idade) em que os parâmetros de desempenho atingirão patamares inaceitáveis, bem como realizar previsões de desempenho futuro para avaliar os efeitos da aplicação de uma medida de conservação ou manutenção em particular.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Em levantamento recentemente realizado, constatou-se que em apenas três estados brasileiros, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Minas Gerais, há Sistemas de Gerência de Pavimentos implantados pelos Departamentos de Estradas (Albuquerque, 2007). Nas rodovias concedidas a empresas privadas, por sua vez, a maioria possui em sua gestão Sistemas de Gerência. Entretanto, tanto no âmbito de rodovias estatais como das concedidas, os Sistemas de Gerência de Pavimentos empregados utilizam, em sua grande maioria, modelos genéricos, até mesmo internacionais, obtidos em condições significativamente diferentes das existentes na malha administrada. Para o correto uso dos Sistemas de Gerência de Pavimentos, é

fundamental que os modelos utilizados tenham sido desenvolvidos, ou ao menos calibrados, para as condições particulares das rodovias gerenciadas, tais como clima, tráfego e materiais. Para o gestor da rodovia, tão importante quanto utilizar modelos de previsão de desempenho na gerência dos pavimentos é possuir a total confiabilidade nos modelos empregados.

Para o desenvolvimento de modelos de comportamento das estruturas de pavimentos é fundamental a disponibilidade de um banco de dados relativos às condições estruturais e funcionais da rodovia. Esse é justamente uma das maiores dificuldades enfrentadas pelos gestores das rodovias. A ausência de dados relativos às condições estruturais, funcionais e comportamentais dos pavimentos muitas vezes impossibilitam o desenvolvimento de modelos particulares para o cenário administrado. A realização periódica de levantamentos de monitoração de pavimento no Brasil ainda é deficitária, principalmente em rodovias administradas pelos governos. Os levantamentos não são entendidos como ferramentas úteis para a gestão de recursos financeiros na administração da rodovia e acabam muitas vezes sendo relegados ao priorizar investimentos. Nas rodovias administradas por empresas privadas, tais levantamentos ocorrem mais seguidamente, até mesmo em virtude de muitos programas de concessões estabelecerem em contrato a periodicidade a ser seguida para cada levantamento.

Quando há dados, esses muitas vezes não são confiáveis, sendo obtidos de levantamentos relativamente antigos, sem nenhum controle na metodologia de realização dos mesmos, nem no procedimento de análise dos resultados. Em muitas situações há diversas incertezas na origem dos dados, podendo acarretar em incorretas considerações a respeito do comportamento do pavimento. Em particular no Brasil, país em que o processo de concessões iniciou-se somente na década de 1990, os dados de monitoração mais antigos estão todos sob controle do governo, que muitas vezes, por falta de recursos, não desenvolveram bancos organizados de armazenamento de tais dados, dificultando, dessa forma, a obtenção dos mesmos.

A rodovia BR-290/RS, trecho entre Osório e Porto Alegre, é uma das principais rodovias do estado do Rio Grande do Sul, sendo via de acesso à capital Porto Alegre e também ligação ao Litoral Norte do Estado. Esse trecho da rodovia é composto de duas pistas separadas por um canteiro central, sendo que o mesmo foi construído no ano de 1973, estando, desde 1997, sob concessão da Concessionária da Rodovia Osório - Porto Alegre S/A – Concepa. Desde que assumiu a concessão, a concessionária passou a realizar periodicamente uma série de

levantamentos de monitoração das condições dos pavimentos. Entre as obras que a concessionária está realizando, destaca-se a ampliação da rodovia em todo o trecho entre Osório e Porto Alegre, alargando transversalmente ambas as pistas com uma estrutura de pavimento flexível típica da região. A estrutura dessa ampliação estende-se com semelhante configuração por praticamente toda a extensão, totalizando 96km de rodovia em cada pista, sendo que, em grande parte, tal estrutura localiza-se na faixa de tráfego mais solicitada da rodovia. Desse modo, é de extrema importância para a concessionária o total conhecimento do comportamento estrutural e funcional desta estrutura, sendo, para tanto, fundamental o estabelecimento de tendências das condições de desempenho para alguns parâmetros.

1.2 OBJETIVOS

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo principal propor alguns modelos de tendências de desempenho para uma estrutura de pavimento flexível da rodovia BR-290/RS, trecho Osório – Porto Alegre, a partir de levantamentos realizados e disponibilizados pela concessionária que administra a rodovia no trecho em análise.

De maneira mais específica, são objetivos deste estudo:

- Reunir e organizar todas as informações mais recentes do banco de dados de levantamentos existentes para a estrutura do trecho em análise;
- Definir os trechos de acordo com a idade dos pavimentos e o conseqüente volume de tráfego aos quais foram solicitados;
- Formular as tendências de comportamento de desempenho para cada um dos parâmetros estabelecidos;
- Avaliar para cada tendência as variáveis a serem consideradas na análise desenvolvida, verificando a influência de cada uma delas sobre os parâmetros de desempenho analisados;
- Realizar análises estatísticas complementares sobre os dados considerados, definindo aqueles que melhor se ajustem à tendência proposta;

- Analisar como as tendências propostas se comportam quando comparadas a modelos de previsão de desempenho de pavimentos desenvolvidos por outros autores para outras estruturas de pavimentos rodoviários.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, descritos a seguir.

O assunto em questão é apresentado neste Capítulo 1, enfatizando a importância do estudo para o adequado uso do Sistema de Gerência de Pavimentos do trecho entre Osório e Porto Alegre da rodovia BR-290/RS, uma das principais rodovias do estado do Rio Grande do Sul. Após, estão listados o objetivo principal e os objetivos específicos da pesquisa.

A seguir, o Capítulo 2 descreve o estudo prévio existente sobre o tema deste trabalho, através de uma revisão bibliográfica estruturada nos tópicos referentes a sistema de gerência de pavimentos e modelos de previsão de desempenho, descrevendo, nesta última parte, os principais modelos desenvolvidos no Brasil referidos na bibliografia.

No Capítulo 3 é detalhada a metodologia desta dissertação. Neste capítulo, é apresentado o cenário do estudo, descrevendo a rodovia e a estrutura avaliada. Além disso, são descritos também os levantamentos realizados, expondo a metodologia e os procedimentos adotados em cada um dos levantamentos. Por fim, são citados alguns dos procedimentos da análise realizada sobre as tendências de desempenho a serem propostas.

Os resultados obtidos pelo conjunto de informações e suas respectivas análises estão apresentados no Capítulo 4. Primeiramente são apresentados todos dados reunidos referentes aos levantamentos realizados sobre a estrutura de pavimento em análise, bem como as idades dos pavimentos e o tráfego ao qual foram submetidos, além de informações do histórico de intervenções realizadas no trecho do estudo. Em seguida, são apresentadas as propostas de tendência de desempenho para deflexão, irregularidade longitudinal e afundamento de trilha de roda. Para cada um dos parâmetros são desenvolvidas análises particulares objetivando o estabelecimento dos melhores ajustes, considerando as variáveis existentes e analisando-os estatisticamente. Em conjunto, também é apresentada uma comparação com modelos de previsão de desempenho existentes na bibliografia nacional, avaliando como se comporta as tendências propostas neste estudo em relação a esses modelos.

O Capítulo 5 é referente às principais conclusões desta dissertação, obtidas após uma minuciosa análise dos resultados, e sua relação com o prévio conhecimento existente na literatura técnica. Em seguida, são sugeridos alguns temas relacionados à presente linha de pesquisa, para que possa ser dada continuidade ao trabalho desenvolvido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo apresenta um panorama geral sobre os temas abordados nesta dissertação. Desta maneira, estão apresentadas algumas definições a respeito de Sistemas de Gerência de Pavimentos, explicitando os objetivos e informações necessárias para o desenvolvimento de sistemas de gerência.

Na continuidade são apresentados os principais modelos de previsão de desempenho desenvolvidos no Brasil, que são os atualmente empregados na maioria dos Sistemas de Gerência de Pavimentos das rodovias brasileiras.

2.1 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

O Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) constitui-se em uma importante ferramenta do administrador rodoviário para traçar a forma mais eficaz da aplicação dos recursos disponíveis nas vias que necessitam de recuperação em diversos níveis de intervenção, de maneira a responder às necessidades dos usuários dentro de um plano estratégico.

Através de um Sistema de Gerência é possível administrar, de um modo geral, a conservação das vias inseridas nesse Sistema, verificando as prioridades e os custos de cada intervenção. Na análise de custos, faz-se uma comparação com a hipótese de conservação imediata e a hipótese de conservação futura (valor futuro), determinando o mais atrativo economicamente. Vale salientar a importância, juntamente com a análise econômica, do estudo da necessidade técnica. Todas essas ações são chamadas de decisões de gerência.

Um dos objetivos gerais de um SGP é aumentar a eficiência das decisões tomadas nas administradoras rodoviárias, expandir seu escopo, proporcionar uma retroalimentação das conseqüências destas decisões e assegurar a consistência das decisões tomadas em diferentes níveis, dentro da mesma organização (Haas *et al.*, 1994). Um SGP consiste em uma série de

atividades ligadas ao planejamento, execução, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos.

De acordo com os estudos realizados por Domingues (1993); Haas *et al.* (1994) e Shahin (1994), informações confiáveis e critérios de decisão são importantes para produzir um programa de construção, manutenção e reabilitação de pavimentos, permitindo a obtenção da melhor utilização dos recursos disponíveis, no sentido de melhorar e operar as vias pavimentadas da rede analisada. E para atingir seu objetivo, um SGP deve ser capaz de comparar, priorizar e alocar os recursos de seu programa de construção, manutenção e reabilitação entre todos os segmentos da rede viária (Basílio, 2002).

Uma importante função de um SGP é informar à administração superior o atual estado dos pavimentos, as atividades de manutenção e restauração necessárias e as conseqüências que diferentes níveis orçamentários podem causar na condição futura da rede. Desta forma, um SGP é projetado como uma ferramenta de planejamento estratégico para a administração superior e como uma ferramenta de engenharia para os tomadores de decisões técnicas, coordenando as atividades necessárias para planejar, projetar, construir e manter os pavimentos, de forma que o público usuário seja servido de maneira segura, eficiente e econômica. Um SGP não fornece as decisões prontas e finalizadas, mas uma base de conhecimento das possíveis conseqüências dos métodos alternativos relacionados à preservação de uma rede de pavimentos (Basílio, 2002).

O grau de detalhamento de um bom SGP depende do nível de serviços que se deseja atingir dentro da agência onde o mesmo será implantado, o que significa que não existe um modelo único de SGP, mas sim diferentes tipos dependendo da organização que se quer alcançar. O grau de complexidade e os resultados obtidos em cada SGP dependem de vários fatores inerentes ao ambiente em que o mesmo está implantado. Entre os quais destacam-se: recursos disponíveis, extensão da rede, equipe de trabalho responsável, equipamentos para levantamentos, dados disponíveis, etc. Os requisitos mínimos de um SGP incluem: adaptabilidade, operação sistemática, aplicação prática, tomada de decisão quantitativa e realimentação (Hudson *et al.*, 1979).

Um SGP, de acordo com Haas e Hudson (1978), consiste de uma série de atividades integradas e coordenadas associadas ao planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisas sobre pavimentos.

A estrutura de um SGP pode ser dividida em dois grandes componentes:

- Sistema de informação: responsável pela coleta, organização e gerência dos dados e informações;
- Sistemas de suporte à decisão: compreende os módulos de aplicação para processar os seus “inputs” e para propiciar a informação na qual as decisões serão embasadas e, em último estágio, implementadas.

A informação é a base para todas as decisões e grande parte das atividades são desenvolvidas no setor de infra-estrutura viária. A tomada de decisões sólidas, por sua vez, depende de informações confiáveis, relevantes, acessíveis e viáveis para que julgamentos racionais e embasados possam ser feitos.

Um sistema de informações aplicado à gerência de pavimentos compreende a identificação, coleta, armazenamento, o gerenciamento e o tratamento de todos os dados que se relacionam com o planejamento da manutenção e da operação da malha viária.

Cabe ressaltar que dentro de um SGP o levantamento de dados é responsável pela maior parte dos custos de sua manutenção, sendo fundamental, assim, determinar quais os dados realmente são necessários.

De acordo com Villela (1999), pode-se conceituar SGP como sendo um conjunto de ferramentas ou métodos que auxiliam os tomadores de decisão a racionalizar decisões administrativas, com eficiência, na procura da estratégia ótima, baseada em procedimentos racionais claramente estabelecidos que envolvem um tratamento coordenado de todas as atividades, incluindo planejamento ou programação de investimentos, dimensionamento, construção, manutenção, avaliação periódica, pesquisa e treinamento em engenharia de pavimentos, visando a conservação do pavimento numa condição adequada de uso por um determinado período de tempo.

Um SGP deve ser atualizado, considerar estratégias alternativas, basear decisões sobre atributos, critérios e restrições quantificáveis e usar retroalimentação da informação com respeito às conseqüências das decisões tomadas (Queiroz *et al.*, 1992).

A decisão de se restaurar um pavimento pode ser tomada a partir de uma série de parâmetros indicativos, tais como: custos de conservação elevados, necessidade muito freqüente de

intervenções, irregularidade elevada e degradação de superfície acentuada. Um dos benefícios que vêm sendo obtidos com a aplicação de SGP em todo o mundo é a determinação do momento eficaz, em termos econômicos, para se executar a restauração dos pavimentos de uma rede viária (Rodrigues, 2003).

Segundo Fernandes Jr. (2001), um SGP visa a obtenção do melhor retorno possível para os recursos investidos, provendo pavimentos seguros, confortáveis e econômicos aos usuários. Um eficaz SGP visa também a melhoria das condições dos pavimentos e a redução dos custos de manutenção e reabilitação e dos custos de operação dos veículos.

Um SGP é composto por diversos grupos de informações (Domingues, 1999). São eles:

- Inventário da rede viária;
- Avaliação das condições dos pavimentos;
- Estrutura;
- Tráfego (volumes e carregamentos);
- Aspectos Financeiros;
- Atividades;
- Recursos.

Através da obtenção dessas informações é possível orientar os investimentos, definindo as obras e serviços prioritários para a manutenção da via.

2.1.1 Histórico

Muitos dos conceitos adotados na Gerência de Pavimentos foram originados no AASHO Road Test, estudo experimental de grande significado para a pavimentação realizado nos Estados Unidos no final da década de 1950. O estudo tinha como principal objetivo determinar uma relação significativa entre o número de repetições de eixos, com cargas diferentes em magnitudes e arranjo, e o desempenho de pavimentos, constituídos por camadas de naturezas e espessuras variadas. A partir dos resultados do AASHO Road Test, foram

desenvolvidas equações relacionando serventia (um dos conceitos introduzidos nesse experimento), carregamentos aplicados e espessura do pavimento (Núñez, 1997).

O SGP mais antigo foi desenvolvido na metade dos anos de 1970 nos Estados Unidos da América, já utilizando um banco de dados digital. Em 1985, a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) publicou o seu primeiro guia sobre gerência de pavimentos, válido para todo o território norte americano. Em seguida, o Federal Highway Administration (FHWA) estabeleceu que todos os estados norte americanos tinham que implantar uma SGP para suas malhas rodoviárias federais como requisito para receber investimentos (Albuquerque, 2007).

Novos guias de SGP foram elaborados pela AASHTO, em 1990 e em 2001, sendo esse último denominado Pavement Management Guide (AASHTO, 2001).

Ainda na década de 1980, impulsionado pelo programa Highway Development and Management (HDM), desenvolvido pelo Banco Mundial, o SGP passou a ser empregado em outros países, principalmente os países em desenvolvimento, como o Brasil, uma vez que a sua aplicação passou a ser requerida para a obtenção de recursos para investimentos de infraestrutura.

A versão do programa HDM-III foi elaborado a partir das pesquisas de Queiroz (1981), Watanatada *et al.* (1987) e Paterson (1987), inclusive com levantamentos ocorridos no Brasil. A versão HDM-III foi utilizada por duas décadas, combinando análises técnica e econômica de projetos de rodovia, para preparar programas de investimentos em rodovias e análise de estratégias (Albuquerque, 2007).

A versão atual do programa, por sua vez, é o HDM-4 (2000), que permite a calibração de modelos e inserção de conhecimentos locais, fornecendo ferramentas que possibilitam análises regionalizadas.

Países desenvolvidos têm partido para a implementação de SGPs com características particulares, elaborados para as suas malhas rodoviárias. Além dos Estados Unidos, destacam-se, como SGPs bem sucedidos, os desenvolvidos no Canadá, nos países europeus, Austrália e Nova Zelândia.

O Brasil, em particular, participou da pesquisa para desenvolvimento das primeiras versões do HDM, na década de 1970, sendo, no entanto, implantado pelo DNER somente a partir de

1982 (Visconti, 2000). O uso do HDM-III foi bastante amplo durante os anos de 1980 e 1990. No início dos anos 2000, o Brasil passou a utilizar o HDM-4, sendo esse o sistema utilizado atualmente por muitos administradores rodoviários do país. No entanto, o Brasil vem direcionando suas pesquisas e estudos para a elaboração de SGPs próprios para suas malhas rodoviárias.

2.1.2 Objetivos de um SGP

De acordo com DNER (1983), um SGP tem como objetivo a otimização de investimentos em pavimentação. Um sistema como esse pode, também, influenciar ou direcionar o estabelecimento de estruturas administrativas eficientes, nos órgãos públicos responsáveis pelo gerenciamento dos fundos públicos envolvidos e a análise econômica de diversas alternativas de dimensionamento do pavimento podem servir de base principal, na escolha da melhor alternativa. Todavia, uma análise econômica é, de fato, apenas um dos principais fatores implicados, como por exemplo: compatibilização do projeto geométrico, entre outros fatores.

O DNER (1983) sugere que a primeira etapa de um SGP seja o planejamento ou programação do sistema, aonde são desenvolvidas pesquisas sobre a demanda de tráfego e a avaliação das deficiências existentes no pavimento. Após feita esta avaliação, passa-se, para a etapa dimensionamento do pavimento. Em seguida, inicia-se a construção do pavimento ou a elaboração de procedimentos de manutenção. Por fim, aplica-se a avaliação periódica da capacidade estrutural que é a retroalimentação do sistema implantado ou a implantar. Percebe-se que no caso do DNER, a implantação do SGP possui uma conotação estratégica, uma vez que prevê uma estrutura desde o planejamento até a fase de avaliação do sistema implantado.

Segundo o Guia da AASHTO (1993), um SGP consiste de três módulos principais: a base de dados, o método de análise e a reavaliação do processo. Estes módulos possibilitam uma conotação mais operacional ao sistema, visto que o método de análise (módulo 2), prevê três situações (Análises da condição do pavimento, Modelos de avaliação de prioridades e Modelos de otimização da rede), onde o sistema já foi implantado, dando assim, uma idéia de manutenção dos sistema existente.

O estabelecimento dos objetivos a serem alcançados pelo SGP e os meios a utilizar para atingí-los devem ser estabelecidos pelo órgão responsável ou pelo gestor da rodovia, porque é

fundamental que o sistema seja adequado às condições técnicas e aos recursos disponíveis (Basílio, 2002).

De acordo com Queiroz *et al.* (1992), existem três estágios durante o desenvolvimento e implantação de um SGP. Esses três estágios estão esquematicamente representados na figura 1.

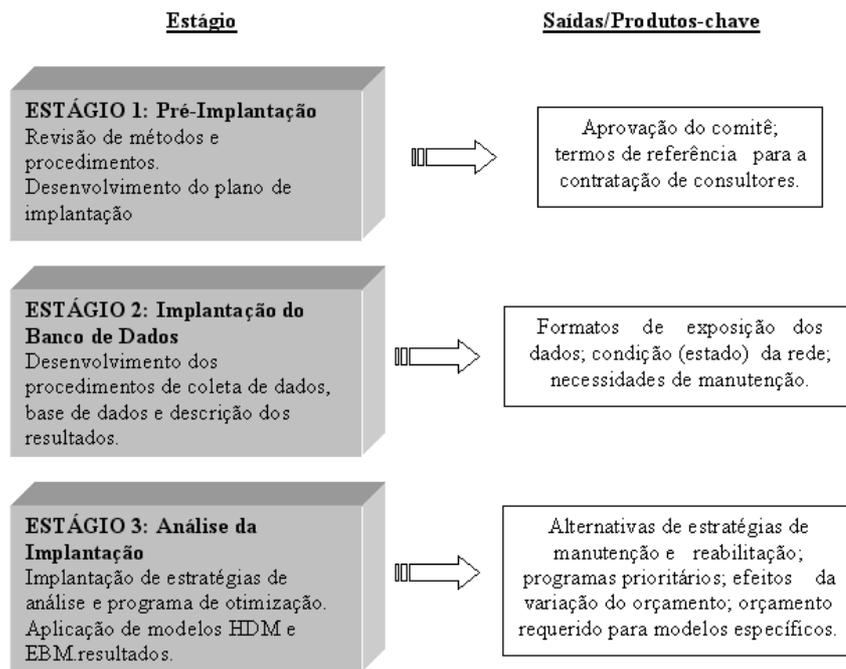


Figura 1: Estágios durante o desenvolvimento e implantação de um SGP (Queiroz *et al.*, 1992).

Os objetivos principais de um SGP são os seguintes (Haas *et al.*, 1994; Shahin, 1994; Cunha, 1989; Marcon, 1996; Fernandes Jr., 1996):

- Facilitar a coordenação das atividades dentro do órgão administrador da rede;
- Planejar os melhoramentos da rede de acordo com o orçamento disponível;
- Determinar os efeitos, quanto aos custos dos usuários e do órgão responsável, quando a manutenção for protelada;
- Priorizar ações de manutenção e/ou reabilitação baseada na comparação dos custos e benefícios gerados por elas;

- Implementar e manter uma ampla e eficiente base de dados;
- Diagnosticar o estado dos pavimentos da rede e identificar os trechos que necessitam de intervenção;
- Selecionar métodos de manutenção que mais se adaptem às necessidades da rede;
- Desenvolver modelos de previsão de desempenho dos pavimentos da rede a partir do contínuo processo de coleta e análise de dados dos pavimentos que compõem a rede;
- Gerar critérios de decisão e priorização consistentes;
- Prever a condição futura dos pavimentos, com e sem manutenção, a partir do uso dos modelos de desempenho desenvolvidos para a rede;
- Proporcionar uma reavaliação das decisões a partir da análise de suas conseqüências;
- Determinar as conseqüências dos diferentes níveis de investimentos nas condições dos pavimentos;
- Fornecer elementos para decisões políticas.

2.1.3 Tipos de SGP

Usualmente, em um sistema de gerência, a coleta das informações a serem obtidas é dividida em quatro níveis de qualidade, de acordo com a necessidade de detalhamento (Domingues, 1999). São esses os níveis de qualidade de informações:

- Nível I - Nível de pesquisa: Requer equipamentos de coleta automatizada. Usado nas investigações “in loco” para diagnósticos de problemas pontuais. Inviável para monitoração de uma rede;
- Nível II - Nível de projeto: Suficiente para modelos de programação abrangente e métodos de projeto normatizados. Para planejamento, envolve a cobertura amostral. É capaz de distinguir o desempenho e o retorno econômico de diferentes opções técnicas com dimensões e materiais distintos.

- Nível III - Nível de rede: Suficiente para modelos de planejamento e programação de uma rede. Para definição de projetos somente com a utilização de catálogos-tipo e em caso de vias com baixo volume de tráfego. Obtenção de dados da malha viária por métodos semi-automatizados ou com a combinação de inspeções manuais e automáticas.
- Nível IV - Sumário estatístico: Nível de sistema, de interesse dos administradores públicos e dos usuários. Métodos de coleta de dados simplificados, determinados por meios aproximados. Somente para projeto de vias de vias com volume de tráfego muito baixo.

De um modo geral, merece destaque a classificação dos SGP em nível de rede e nível de projeto.

2.1.3.1 Em Nível de Rede

No SGP atuando em rede são focadas as decisões administrativas que afetam um sistema de rodovias, ou seja, as decisões são tomadas para um grande número de projetos ou para uma rede inteira de rodovias (Marcon, 1996).

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

Em SGP em nível de rede as necessidades de manutenção e reabilitação dos pavimentos são ordenadas, hierarquizadas e priorizadas, de acordo com critérios técnico-econômicos e políticos, cuja proposta primária é o desenvolvimento de um programa prioritário de manutenção, reabilitação ou a construção de novos pavimentos, onde as decisões são tomadas para um grande número de projetos ou para uma rede inteira (Haas *et al.*, 1994). Neste ambiente incluem-se os administradores, legisladores, políticos e o corpo técnico de engenharia da instituição onde o SGP está implantado (Villela, 1999).

Em nível de rede são trabalhadas informações resumidas sobre a totalidade da malha viária, utilizadas para a tomada de decisões administrativas sobre as atividades de planejamento, programação e orçamento. O objetivo é identificar a programação que apresenta o menor custo total ou o maior benefício em um período de análise determinado, otimizando a

utilização dos recursos disponíveis. As aplicações de um sistema de gerência implantado em nível de rede, citadas por Fernandes Jr. (2001), são:

- identificação de projetos candidatos para intervenções, considerando a taxa de deterioração, tipos de defeitos, etc.;
- priorização dos projetos candidatos, considerando as características de desempenho, tráfego, custo aos usuários e outros fatores locais;
- geração de necessidades de orçamento da agência a curto e longo prazo;
- avaliação da condição atual do sistema e previsão da condição futura, com base nos recursos aplicados.

2.1.3.2 Em Nível de Projeto

No SGP atuando em projeto as decisões são tomadas para projetos específicos ou mesmo para parte destes, ou seja, para trechos de pavimentos. A AASHTO (1993) destaca que considerações detalhadas são tomadas como alternativas de atividades de projeto, construção, manutenção ou reabilitação para uma seção de rodovia ou projeto dentro de um programa global.

Para Villela (1999), esta parte da gerência diz mais respeito a técnicos, pois trata da geração de alternativas, estratégias de manutenção, reabilitação e recuperação em geral. Considera ainda que o elenco de opções selecionadas dentro de cada projeto passará a fazer parte do SGP atuando em rede.

Em nível de projeto, um SGP deve ser capaz de gerar uma lista que prioriza as necessidades anuais do pavimento. Tal avaliação baseia-se nas condições dos pavimentos e facilita a coerência no planejamento, programação e alocação de recursos (Grivas e Schultz, 1993). Neste enfoque, as considerações detalhadas são tomadas como alternativas de atividades de projeto, construção, manutenção ou reabilitação para um trecho de rodovia (AASHTO, 1993).

O nível de projeto surge como consequência em um momento apropriado do programa e, essencialmente, envolve considerações técnicas e decisões políticas (Haas *et al.*, 1994).

Em nível de projeto são tomadas decisões técnicas de gerência para projetos específicos, isto é, há um detalhamento maior nas alternativas de atividades de projeto, construção,

manutenção ou reabilitação para uma seção particular dentro do programa total. Uma estratégia ótima é selecionada a partir da comparação de benefícios e custos associados às diversas estratégias alternativas (Fernandes Jr., 2001).

2.1.4 Banco de Dados

O banco de dados é uma ferramenta essencial para a eficiência do SGP, devendo, o mesmo, ser bem estruturado e conter dados confiáveis. A figura 2 apresenta uma esquematização de um banco de dados de um SGP. Um banco de dados de longo prazo é necessário para o desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho, ou para aperfeiçoar modelos existentes (Albuquerque, 2007).

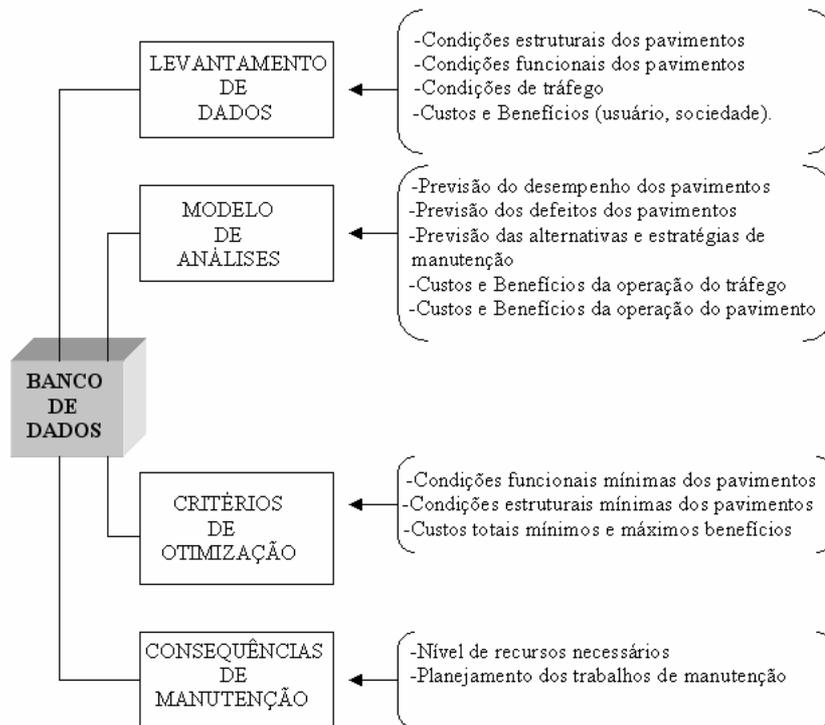


Figura 2: Estruturação do banco de dados de um SGP (Cardoso, 1994).

O banco de dados é o conjunto de elementos e informações relativas à malha viária. O banco de dados é a parte central de um SGP, pois é a partir destes dados que a rede é avaliada e são definidas estratégias para a sua manutenção, programação de serviços e o acompanhamento dos resultados das intervenções realizadas na rede. Este banco de dados deve estar sempre sendo alimentado com dados novos e também retroalimentado com dados referentes às

conseqüências das decisões tomadas. A ausência de informações ou de “feedback” impede a formação dos produtos da organização e daí a tendência à autodestruição do sistema, chamando-se entropia (Basílio, 2002).

O banco de dados interage continuamente com as demais partes integrantes de um SGP. A figura 3 apresenta, de modo ilustrativo, a relação do banco de dados com o sistema.

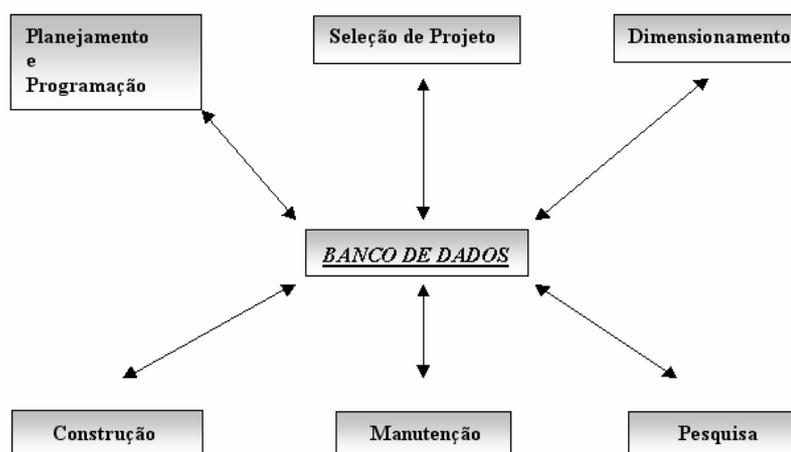


Figura 3: Relação do banco de dados com demais elementos do SGP (Haas *et al.*, 1994).

Quanto ao desempenho dos pavimentos, seja estrutural ou funcional, o Banco de Dados deve sofrer uma constante alimentação através de campanhas de levantamentos de parâmetros em pavimentos (Albuquerque, 2007).

Estes parâmetros são os correspondentes à quantificação de defeitos em pavimentos (Índice de Gravidade Global e Taxa de Trincamento), os quais são realizados visualmente, ou dados resultantes de levantamentos objetivos, realizados por equipamentos que determinam a Deflexão em pavimentos (Falling Weight Deflectometer – FWD, Viga Benkelman, Deflectógrafo Digital, etc.), Afundamento de Trilha de Roda (Perfilômetro a laser, Treliça, etc.) e Irregularidade de Pavimentos (Perfilômetro a laser, Medidor de Irregularidade Tipo Resposta, etc.) (Albuquerque, 2007).

Esses parâmetros lidos diretamente no pavimento, quando realizados em uma área representativa da malha e a uma frequência adequada, irão possibilitar, no subsistema de

Pesquisa, obter-se um diagnóstico da malha e prever as condições futuras de pavimentos (Albuquerque, 2007).

Algumas das informações necessárias para a criação de um banco de dados de um SGP podem ser observadas na tabela 1, apresentada por Albuquerque em 2007, baseada em Haas *et al.*, 1994.

Tabela 1: Variáveis consideradas relevantes para criação de um banco de dados.

1. Dados relacionados ao desempenho	Utilização	4. Dados relacionados à geometria	Utilização
Rugosidade	R	Dimensões de seções	R
Desgaste de superfície	R + M	Curvatura	R
Deflexão	R + M	Espessura da camada	R
Atrito	R	Greide	R
Propriedades das camadas	R		
2. Dados relacionados ao histórico	Utilização	5. Dados relacionados aos custos	Utilização
Manutenção	R + M	Construção	R
Construção	R + M	Manutenção	R + M
Tráfego	R + M	Reabilitação	R
Acidentes	R + M	Custos ao usuário	R
3. Dados relacionados à política	Utilização	6. Dados relacionados ao meio ambiente	Utilização
Orçamentos	R + M	Drenagem	R + M
Disponibilidades e alternativas	R + M	Clima	R

R – reabilitação; M – manutenção

Fonte: Haas *et al.* (1994) modificada por Albuquerque (2007).

2.1.5 Avaliação de Pavimentos

A avaliação de pavimentos é um dos principais componentes de um SGP, pois através dela é possível verificar se o pavimento necessita manutenção, reconstrução, se foi bem construído ou se está atendendo as especificações para os quais foi projetado.

A partir do conhecimento das condições dos pavimentos, é possível prever o seu desempenho futuro, traçar diretrizes e estratégias de conservação, elaborar programas em níveis de rede e estimar seus custos.

A condição de um pavimento inclui quatro componentes principais: conforto de rodagem, capacidade de suportar as cargas a que estão sujeitas, segurança e conforto visual (estética). Em uma concepção geral, um bom pavimento, sob os pontos de vista do gerenciador da rede e do usuário, é aquele que tem boa superfície de rolamento, suporta cargas satisfatoriamente, garante uma interface segura entre pneu-pavimento, tanto no rolamento quanto na frenagem, e tem boa aparência.

A avaliação de pavimentos para a gerência pode ser realizada tanto do ponto de vista estrutural como funcional. A avaliação estrutural é baseada na capacidade de carga do pavimento, bem como nas deformações elásticas (recuperáveis) e plásticas (permanentes). Por outro lado, a avaliação funcional está ligada ao conforto ao rolamento e aos defeitos da superfície.

2.1.6 Desempenho do pavimento

Segundo AASHTO, 1990, desempenho de um pavimento é a capacidade deste de atender seus objetivos ao longo do tempo. Desempenho é dado como a variação da serventia dos pavimentos ao longo do tempo, ou seja, é a adequação com que o pavimento cumpre seu objetivo. Chama-se de serventia a capacidade de um pavimento construído em um determinado trecho de servir ao usuário em um dado momento quanto à segurança e conforto ao rolamento.

Desempenho é um termo genérico que é utilizado para designar como os pavimentos mudam de condição ou servem sua função com o uso e o decorrer do tempo. A sua definição exata varia com o nível de gerência em que é utilizado (rede ou projeto). A importância de prever, da forma mais exata possível, a degradação futura de um pavimento é essencialmente econômica: há uma demanda crescente em todo o mundo pelo desenvolvimento e aplicação de técnicas de gerenciamento e de planejamento mais eficazes, bem como por uma justificativa em termos econômicos para os investimentos e para os padrões de serventia dentro do setor rodoviário, envolvendo custos e benefícios (Rodrigues, 2003).

A fim de prever os serviços de manutenção dos pavimentos que serão necessários no futuro, são necessários modelos matemáticos de desempenho como subsistemas de um SGP. Segundo Rauhut & Gendell (1987), existem dificuldades em caracterizar com sucesso as respostas dos materiais tal como eles se encontram no pavimento e em avaliar as intervenções entre os defeitos oriundos das cargas do tráfego e aqueles decorrentes das ações climáticas, restringindo em muitos casos a confiabilidade dos modelos disponíveis.

Na figura 4 é ilustrada a curva de desempenho de um pavimento em termos de redução do PSI (*Present Serviceability Index*) com o tempo. Segundo Rodrigues (2003), pode-se delinear seis fases da vida de serviço em que um pavimento pode se encontrar, em função do grau de deterioração:

- Fase I: O pavimento se encontra em condição excelente ($4,0 \leq \text{PSI} \leq 5,0$) e pode ser objeto apenas de Conservação Rotineira;
- Fase II: O pavimento se encontra em boa condição ($3,0 \leq \text{PSI} < 4,0$) e deve receber apenas uma pequena alocação orçamentária para efeitos de eventuais reparos em áreas localizadas (selagem de trincas, remendos);
- Fase III: O pavimento se encontra em condição regular, mas sem a presença significativa de defeitos de natureza estrutural que indiquem estar o pavimento entrando em fase de rápida deterioração ($2,5 \leq \text{PSI} < 3,0$). Aspectos funcionais, tais como baixa resistência à derrapagem em pista molhada devido a desgaste excessivo, ou desagregação superficial devido à oxidação do asfalto, bem como a presença de fissuras superficiais de origem térmica provocadas também pela oxidação excessiva nos primeiros 3cm do topo do revestimento, podem indicar a necessidade ou a conveniência de se aplicar alguma camada de desgaste delgada (como: Lama Asfáltica, Micro Concreto Asfáltica ou Tratamento Superficial Duplo – TSD) ou capas selantes de modo a corrigir estes problemas e se configurar como uma proteção ao revestimento, estendendo sua vida estrutural (Conservação Pesada);
- Fase IV: O pavimento se encontra em condição regular, mas com a presença de defeitos de natureza estrutural em extensão e severidade significativas para que o pavimento esteja sob velocidade de deterioração elevada ($2,0 \leq \text{PSI} < 2,5$). A restauração do pavimento deve ser feita neste momento, tanto a fim de se evitar o uso do pavimento por um período de tempo relativamente curto em face de deterioração

adicional que ele irá sofrer como em face de uma condição funcional mais desfavorável para o usuário;

- Fase V: O pavimento se encontra em nível de deterioração tão acentuado ($1,0 \leq \text{PSI} < 2,0$), com comprometimento da condição de camadas subjacentes ao revestimento, que a sua restauração ou tenderá a ter custos próximos aos de uma reconstrução parcial, sem que se tenha um nível de confiabilidade equivalente para a estrutura, ou se estará diante da necessidade de uso de soluções especiais, de alto custo e execução mais complexa, como é dos Sistemas Anti-Reflexão de Trincas;
- Fase VI: A deterioração é tão acentuada ($\text{PSI} < 1,0$) que não há viabilidade técnica para qualquer medida de restauração, devendo o pavimento ser reconstruído, total ou parcialmente.

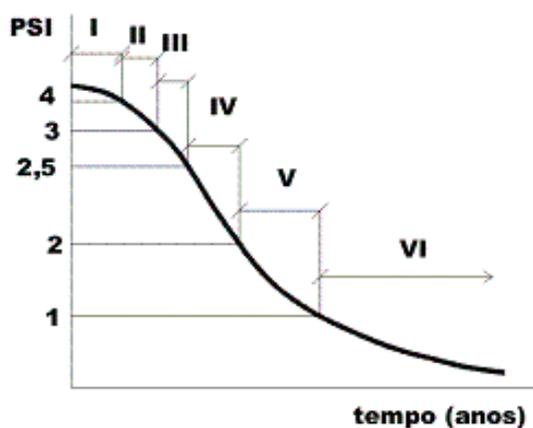


Figura 4: Fases da vida de serviço de um pavimento (Rodrigues, 2003)

Um SGP eficaz deve ser capaz de estabelecer o período aconselhável para a realização de serviços de manutenção e conservação, de modo a retomar a valores de desempenho próximos dos verificados no início da vida dos pavimentos. A figura 5 ilustra esquematicamente esta consideração.

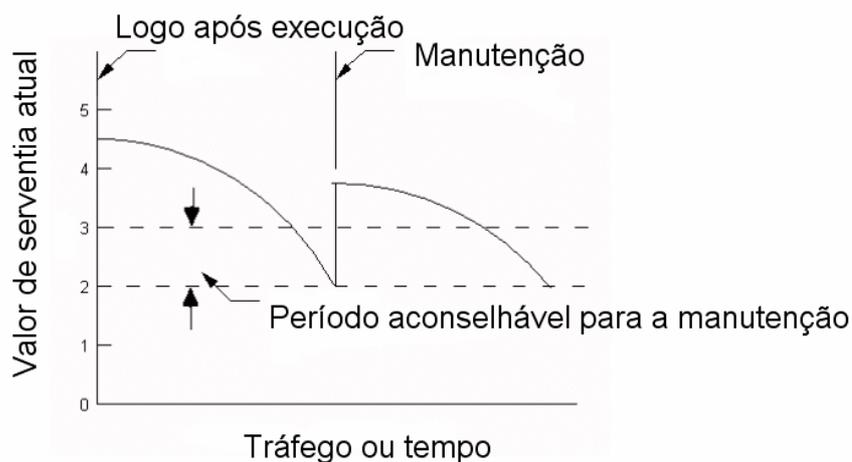


Figura 5: Variação da serventia com o tráfego e condições climáticas.

O conceito de serventia, ilustrado pela figura 5 pode ser estendido para demais características dos pavimentos, tais como deflexões, irregularidade longitudinal e afundamento de trilha de roda. As características estruturais, funcionais e comportamentais dos pavimentos tendem a decair com as solicitações do tráfego e com as condições climáticas, ocorrendo a deterioração dos pavimentos. Cabe ao SGP identificar o melhor período para realizar o serviço de manutenção e conservação, retornando com valores de parâmetros próximos dos encontrados no início da vida dos pavimentos.

2.1.6.1 Deterioração dos pavimentos

Os pavimentos deterioram-se ao longo do tempo por meio de uma variedade de mecanismos e processos, que muitas vezes interagem entre si. As cargas de tráfego aplicam tensões e deformações transientes nas camadas do pavimento, em magnitudes que dependem da rigidez e da espessura das camadas. A sua repetição leva ao trincamento das camadas asfálticas e cimentadas, bem como ao acúmulo de deformações plásticas em todas as camadas, em graus variáveis. O intemperismo faz com que os revestimentos betuminosos se tornem, em sua superfície, frágeis, ficando mais suscetíveis ao trincamento e a desagregação (arrancamento de agregados, erosão e quebra de bordos). Uma vez iniciado, o trincamento progride em área e severidade, a um ponto onde ocorre erosão nas paredes das trincas e a abertura de painéis. Trincas abertas na superfície e sistemas de drenagem mal conservados permitem a entrada excessiva de água no pavimento, o que vem acelerar o processo de desintegração, reduzir a resistência ao cisalhamento dos solos e dos materiais granulares e, portanto, aumentar a velocidade com que as deformações plásticas se processam sob a repetição das cargas do

tráfego. A deformação acumulada em toda a espessura do pavimento se manifesta na forma de afundamentos em trilha de roda (irregularidade transversal) e em distorções do perfil longitudinal da rodovia (irregularidade longitudinal). Este último efeito decorre da variabilidade estrutural do pavimento e de distorções e variações de volume provocadas pelos fatores ambientais (drenagem e clima). Com o aumento da irregularidade, aumentam as cargas dinâmicas aplicadas pelos veículos em movimento, o que acelera a degradação estrutural do pavimento (trincamento por fadiga e acúmulo de deformações plásticas) (Rodrigues, 2003).

A figura 6 ilustra alguns dos processos descritos acima (Paterson, 1987).

Sintetizando, os modos predominantes pelos quais um pavimento se deteriora ao longo do tempo são:

- A fratura de camadas asfálticas e cimentadas;
- A desagregação do revestimento asfáltico;
- As deformações permanentes.

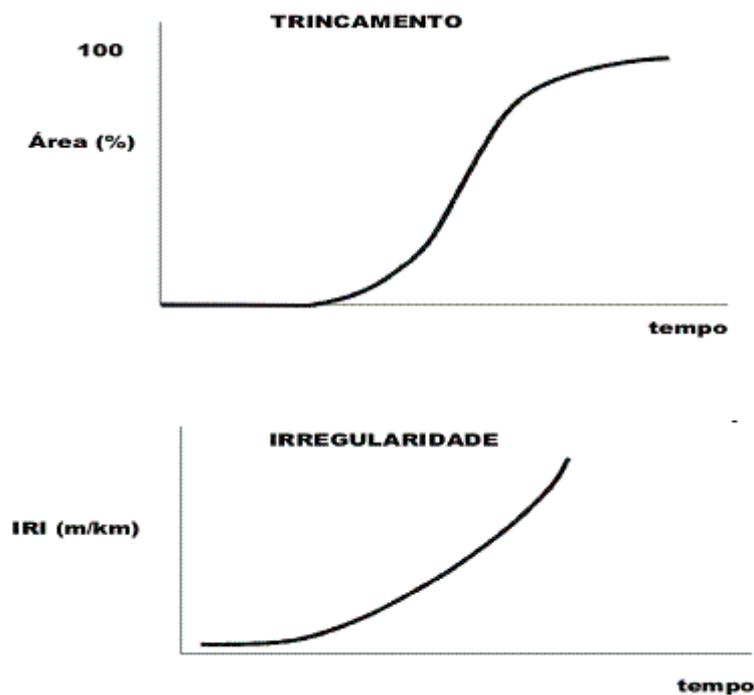


Figura 6: Mecanismos principais de deterioração de um pavimento asfáltico (adaptação de Paterson, 1987).

2.1.6.2 Tipos de intervenções em pavimento

As terminologias dos tipos de intervenções em pavimento encontram-se discriminadas no Manual de Restauração do DNIT (DNIT, 2006). No entanto, outros autores adotam outras terminologias, Rodrigues (2003), por exemplo, afirma que tratando-se de SGPs, as intervenções nos pavimentos podem ser de duas naturezas: a manutenção e a reconstrução. A manutenção de um pavimento compreende todas as intervenções que afetem, direta ou indiretamente, o nível de serventia atual e/ou o desempenho futuro do pavimento. Os objetivos da manutenção podem ser a restituição de características funcionais ou a proteção de componentes em caráter preventivo, visando estender a sua vida de serviço. A manutenção pode ser de dois tipos fundamentais: a conservação e a restauração. A conservação se traduz por intervenções de custos bem inferiores aos da restauração, além de suas intervenções serem mais recorrentes ou freqüentes. Pode ser de três tipos fundamentais:

- Conservação Rotineira: Quaisquer intervenções que não se refiram diretamente a pavimento, como: desobstrução dos sistemas de drenagem, limpeza da pista, capina e manutenção dos taludes em cortes e aterros;
- Conservação Leve: Consiste da execução de reparos em áreas localizadas danificadas da pista ou dos acostamentos, abrangendo remendos superficiais ou profundos, selagem de juntas e trincas, correção de exsudação de asfalto ou de escorregamentos de massa, quando elas se encontram restritas a pequenas áreas;
- Conservação Pesada: É a aplicação contínua, nas faixas de rolamento, de alguma camada de pequena espessura, que tenha uma ou mais das seguintes funções: selagem de trincas, rejuvenescimento do revestimento asfáltico, proteção contra oxidação ou correção da resistência à derrapagem.

A restauração de um pavimento é o processo de se trazer a sua condição funcional a níveis aceitáveis por meio de intervenções que sejam técnicas e economicamente adequadas e eficazes, o que implica em que a durabilidade e o desempenho da solução implementada devam atender a requisitos mínimos, além de levarem a um retorno máximo do investimento realizado, dentro das restrições técnicas e operacionais existentes (Rodrigues, 2003).

A reconstrução consiste da remoção total do pavimento existente e envolve recursos altos. É usada quando os custos de restauração superam os custos da reconstrução do pavimento.

Adotada quando não se consegue atingir níveis de desempenho aceitáveis através da restauração do pavimento.

2.1.7 Número estrutural corrigido – SNC

O Número Estrutural, SN, é definido pela AASHTO (1993) como um número teórico que expressa a resistência estrutural necessária para dadas combinações de suporte do solo, tráfego total, serventia terminal e clima. O número estrutural considera a combinação linear dos coeficientes estruturais (a_i) e espessuras (H_i) das camadas que compõe o pavimento.

Em muitas situações utiliza-se o número estrutural corrigido, SNC, que é definido considerando o índice suporte do subleito do pavimento. Este parâmetro foi julgado, através de pesquisa experimental, ser a medida estatisticamente mais significativa da resistência dos pavimentos, quando usado em modelos de previsão de desempenho (Watanatada *et al.*, 1987).

Além de expressar a resistência estrutural do pavimento, o conhecimento do número estrutural corrigido se faz necessário para a utilização de diversas equações de previsão de desempenho existentes (Queiroz, 1981; Watanatada *et al.*, 1987; Paterson, 1987).

No Brasil, o SNC é obtido considerando dados de módulo de resiliência da camada de revestimento asfáltico e de Índice de Suporte Califórnia (ISC) das camadas granulares do pavimento e do solo do subleito. A grande limitação no método utilizado no Brasil, desenvolvido por Queiroz (1981) e Paterson (1987), é a consideração do ISC, pois este índice não avalia as deformações recuperáveis dos solos, podendo, assim, acabar subestimando a capacidade estrutural dos solos (Albuquerque, 2007).

O cálculo do SNC é feito utilizando-se a equação 1 (Queiroz, 1981; DNER-PRO 159/85; Paterson, 1987).

$$SNC = \sum a_i \times H_i + 3,51 \log ISC_{SL} - 0,85(\log ISC_{SL})^2 - 1,43 \quad (\text{equação 1})$$

onde:

a_i é o coeficiente estrutural da camada i (cm^{-1});

H_i é a espessura da camada i (cm); e

ISC_{SL} é o índice de suporte do subleito (%).

Os coeficientes estruturais das camadas do pavimento são determinados pelas seguintes expressões (DNER, 1985):

a) Revestimento

$$a_1 = 0,181[1 - \exp(-0,00856 \times MR)],$$

onde MR é o módulo de resiliência do revestimento em MPa;

b) Bases Granulares

$$a_2 = (11,47ISC_2 - 0,07783ISC_2^2 + 1,772 \times 10^{-4} ISC_2^3) \times 10^{-4},$$

sendo ISC_2 o índice de suporte da base granular;

c) Sub-bases Granulares

$$a_3 = 0,00394 + 0,02559 \log ISC_3,$$

sendo ISC_3 o índice de suporte da sub-base granular

2.2 MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO

Os modelos de previsão de desempenho de pavimentos são ferramentas fundamentais em um SGP, pois com eles pode-se determinar a condição futura dos pavimentos e prever investimentos.

Os modelos de desempenho são estabelecidos para prever a velocidade com que os valores dos parâmetros funcionais e estruturais dos pavimentos variam em função das solicitações do tráfego ou das condições climáticas (Basílio, 2002).

O uso de modelos de previsão possibilita os seguintes aspectos (FHWA, 2006):

- Determinar a vida restante dos pavimentos, isto quando se tem conhecimento da condição limite aceitável;
- Otimizar a combinação de projetos, estratégias e o tempo para a agência concluir as metas estabelecidas;
- Avaliar os impactos temporais de vários cenários elencados;
- Promover o “feed-back” para o processo de projeto do pavimento; e
- Auxiliar na estimativa dos custos do ciclo-de-vida do pavimento.

2.2.1 Elaboração e classificação de modelos de previsão de desempenho

Os modelos de previsão podem ser elaborados, individualmente, para cada parâmetro de desempenho, ou para um índice de condição (envolvendo todos os mecanismos de deterioração). O nível de complexidade dos modelos pode ser de livre escolha, ficando a cargo do gestor do sistema.

O primeiro passo para a sua elaboração está em determinar a forma desejada para o modelo. Existem dois tipos de modelos que podem ser elaborados para se prever desempenho de pavimentos (FHWA, 2006; Pedrosa, 2002). São eles:

- Determinístico → modelo no qual o estado de um sistema é definido por causas que se podem determinar e identificar o descrito adequadamente sem recorrer a elementos probabilísticos. É o modelo matemático que determina os resultados, exatamente, a partir de condições iniciais. Utiliza-se de regressão para fornecer um único valor de um parâmetro (variável dependente) a partir de uma ou mais variáveis (variáveis independentes). Algumas formas matemáticas para modelos determinísticos podem ser observadas na figura 7.

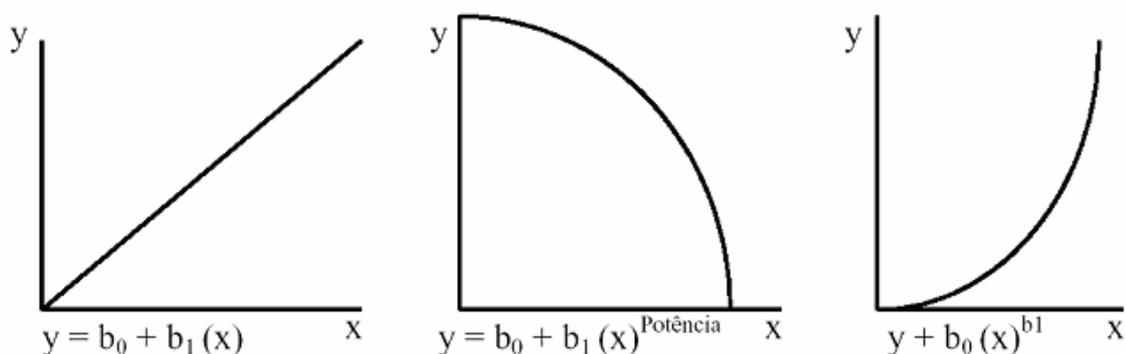


Figura 7: Formas dos modelos determinísticos.

Esse tipo de modelo pode ser subdividido nos seguintes modelos:

- a) modelos de desempenho estrutural → prevêm o surgimento e a propagação dos defeitos produzidos pela repetição de cargas de tráfego / tempo;
 - b) modelos de desempenho funcional → prevêm a queda do índice de serventia e do coeficiente de atrito da superfície com a repetição de cargas de tráfego / tempo;
 - c) modelos de degradação → são derivados de um dos dois anteriores e utilizam uma função de degradação, que é um indicador normalizado de defeitos ou de queda do índice de serventia.
- Probabilístico → fornece o alcance de valores de um parâmetro, o qual é baseado em matrizes de transição probabilística que estimam a probabilidade de seções de pavimentos mudarem de uma condição para outra. Este tipo de modelo ainda pode ser subdividido em:
- a) curvas de sobrevivência → é um gráfico de probabilidade x tempo e representa a porcentagem de pavimentos que permanecem em serviço após um certo número de anos (ou de passagens do eixo-padrão) sem requererem um grande investimento em conservação ou sem necessitarem ser restaurados. Este gráfico pode ser elaborado a partir do histórico de manutenção de pavimentos da rede;
 - b) modelos markovianos → utilizam a chamada “Matriz de Transição”, que expressa a probabilidade de um grupo de pavimentos com idades semelhantes e

sujeitos ao mesmo nível de tráfego passe de um estado de degradação ou índice de serventia para outro, dentro de um período de tempo especificado. Este processo é dito estacionário, pois a mudança no estado de serventia do pavimento não dependerá do tempo (com valores estatísticos invariáveis), não sendo adequado para planejamento da rede (os fenômenos naturais não se comportam desta forma); e

c) modelos semi-markovianos → são idênticos aos modelos markovianos, com a diferença de que considera que o processo seja estacionário apenas durante incrementos de tempo.

O FHWA (2006) classificou os tipos de modelos de previsão de desempenho e variáveis utilizadas pelos níveis de gerência de pavimentos (nacional, estadual ou projeto) de acordo com a tabela 2.

Tabela 2: Tipos de modelos de desempenho (FHWA, 2006).

Nível de Gerência	Determinístico				Probabilístico		
	Resposta Primária	Estrutural	Funcional	Deterioração	Modelos de Processo de Transição		
	Deflexão	Degradação	PSI	Carga Equivalente	Curvas de Sobrevivência	Markov	Semi-Markov
	Tensão	Condição do Pavimento	Segurança				
	Deformação						
Nacional				X	X	X	X
Estadual		X	X	X	X	X	X
Projeto	X	X	X	X			

Os modelos ainda podem ser subdivididos quanto a sua natureza, conforme descrito por Haas *et al.*, 1994:

- Puramente Mecanísticos → modelos baseados em parâmetros de respostas estruturais, como tensão, deformação e deflexão. Esses modelos não são considerados modelos de desempenho;

- Mecanístico-Empíricos → onde o parâmetro de resposta estrutural é relacionado à deterioração estrutural ou funcional medida, sendo obtida através de equações de regressão. Esses tipos de modelo são os mais utilizados para fazer a previsão de desempenho de pavimentos;
- Empíricos ou de Regressão → onde a variável dependente de deterioração estrutural ou funcional, são relacionadas a uma ou mais variáveis independentes, como suporte do subleito, aplicações de carga por eixo, propriedades e espessuras das camadas do pavimento, fatores ambientais e suas interações; e
- Subjetivo → onde a experiência de engenheiros é formalizada através de processos de transição, como o processo de Markov, que permite a obtenção de modelos de desempenho mesmo sem série histórica de dados. Este tipo de modelo é um caminho alternativo para o desenvolvimento preliminar de modelos de desempenho, onde a base de dados requerida não é extensa e obtida em etapas de projeto. Esta abordagem pode ser utilizada independentemente da forma desejada para os modelos (determinístico ou probabilístico).

Existem quatro critérios que devem ser levados em consideração para o desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho (FHWA, 2006):

- Um banco de dados adequado às condições e interesses do sistema;
- A inclusão de todas as variáveis importantes que afetem o desempenho;
- Uma formulação funcional adequada do modelo; e
- O critério estatístico adequado de acordo com a precisão requerida para o modelo.

Com uma consistente base de dados os modelos de previsão de desempenho tem uma boa aplicabilidade à pavimentação, principalmente quando válidos para regiões específicas.

Eles devem ser desenvolvidos para famílias de pavimentos com características comuns, tais como: tipo de superfície, classificação funcional, níveis de tráfego, localização geográfica e clima. A técnica de se separar os pavimentos em famílias é uma boa opção quando a quantidade de dados não é significativa (FHWA, 2006).

Apesar de serem muito utilizados, os modelos determinísticos fornecem vários erros de resultados por não levarem em consideração variações regionais que ocorrem nos pavimentos. Essa situação só é contornável com uma calibração destes modelos, o que requer um extenso banco de dados (FHWA, 2006).

Mesmo se bem aplicável à gerência de pavimentos em nível de rede, os modelos probabilísticos apresentam grande desvantagem por não mostrarem como as variáveis que interferem no desempenho do pavimento estão contribuindo para isso.

Deve-se utilizar de ferramentas estatísticas para avaliar se os resultados fornecidos pelos modelos são confiáveis. A verificação da correlação entre variáveis independentes contidas nos modelos de desempenho em nível de rede é um bom indicador de sua capacidade de acerto. Os modelos determinísticos devem considerar o valor dos coeficientes de determinação (R^2) para cada uma de suas variáveis independentes. Quanto mais se aproximar do valor 1 (um), maior a correlação entre as variáveis dependentes e independentes.

A tabela 3 apresenta o que se espera dos parâmetros de regressão para modelos elaborados em nível de rede e projeto.

Tabela 3: Expectativa dos parâmetros de correlação (FHWA, 2006).

Nível de Análise do SGP	R^2	REMQP	Tamanho da Amostra	Número de Variáveis Independentes
Nível de Rede	Valores de médio para baixo	Valores médios para altos	Grande	Mais de uma
Nível de Projeto	Valores altos	Valores baixos	Pequena	Uma

Obs.:
 R^2 → coeficiente de determinação; e
 REMQP (Raiz do Erro Médio Quadrático Percentual) → erro médio quadrado, que é o desvio padrão do valor determinado pelo modelo.

Os modelos de previsão de desempenho também podem ser classificados de duas maneiras diferentes, em termos de forma e em termos de sua natureza (Rodrigues, 2003). Em termos de forma, os modelos podem ser determinísticos ou probabilísticos. Os modelos determinísticos

prevêm um único número para a vida do pavimento ou para seu nível de degradação ou, ainda, para um outro parâmetro indicador de sua condição, indicados para SGP em nível de projeto. Por outro lado, os modelos probabilísticos prevêm uma distribuição dos eventos citados nos modelos determinísticos, adequados para SGP em nível de rede.

Em termos de sua natureza, os modelos podem ser empíricos ou mecanístico-empírico. Os modelos empíricos são simples correlações entre o desempenho do pavimento e alguns parâmetros explicativos, referentes ao tráfego e à estrutura do pavimento. Os modelos mecanístico-empíricos utilizam o universo de dados experimentais apenas para efeito de sua calibração e não para o seu desenvolvimento, na medida em que sua forma é ditada por leis da Mecânica (Haas *et al.*, 1994).

É de suma importância que, a teoria desses modelos seja coerente com o que é observado em experimentos planejados onde exista um alto grau de controle dos parâmetros envolvidos, como: ensaios de laboratório em modelos reduzidos e pistas experimentais. Caso contrário, os fatores de calibração terão pouco significado e as previsões do modelo final terão baixa confiabilidade.

Para maximizar os efeitos da gerência de pavimentos, o uso de modelos de previsão de desempenho confiáveis é muito importante. A seleção de estratégias ótimas de manutenção depende da viabilidade de uso de modelos que reflitam as condições locais (Nuñez e Shahin , 1986).

2.2.2 Alguns exemplos de modelos de previsão de desempenho

Para o uso eficiente e otimizado dos recursos de conservação, é necessário estimar as condições ou o nível de serventia futuros dos pavimentos administrados em determinada rede rodoviária. Esta estimativa só é possível se o planejador ou o engenheiro de pavimentação tiver à disposição modelos de previsão de desempenho realistas. Estes modelos são instrumentos tecnológicos essenciais para a análise de estratégias alternativas de projetos de pavimentos (Queiroz, 1984).

Os melhores modelos de previsão de desempenho de pavimentos são aqueles desenvolvidos diretamente a partir de dados de campo sistematicamente coletados e analisados, sendo que estes dados de observação de pavimentos restringem o uso do modelo ao ambiente de avaliação (Paterson, 1987).

Estes modelos, além de prever a condição dos pavimentos mantidos com determinada atividade de manutenção, também podem ser úteis para comparar economicamente várias alternativas de manutenção, ajudando no prognóstico do desempenho do pavimento tratado com ações de manutenção e restauração que satisfaçam suas restrições de orçamento e desempenho (Basílio, 2002).

Queiroz (1982) desenvolveu modelos de previsão de deterioração, em termos de irregularidade, trincas e trilhas de rodas para pavimentos asfálticos em função da estrutura do pavimento, subleito e tráfego. Esta pesquisa foi feita utilizando dados coletados de rodovias dos Estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Distrito Federal. Estes modelos podem ser utilizados em outros locais, porém é necessário fazer uma calibração dos mesmos para as características de onde ele será utilizado e uma verificação dos resultados obtidos, através da coleta contínua de dados.

Um tipo mais geral de sistema de trabalho, que inclua outros itens de custo (como drenagem e terraplenagem), é melhor representado pelo “Highway Design and Maintenance Standards Model” (HDM). Este modelo foi desenvolvido com base em uma extensa pesquisa realizada no Brasil, Quênia, Índia e Ilhas Caribenhas (Basílio, 2002).

Hudson *et al.* (1979) concluíram que “a condição atual de um pavimento é dependente da sua história, em termos de estrutura, carga suportada e fatores ambientais”. Toda a ação tomada no presente proporcionará efeitos no futuro do pavimento, enfatizando, assim, a importância de prever o comportamento futuro dos pavimentos para auxiliar a tomada de decisão do gestor e, para tanto, faz-se necessário o uso de modelos de desempenho que reflitam as condições reais da rede. Tais modelos serão mais realistas quando existir uma contínua retroalimentação do banco de dados do sistema.

Basílio (2002) destaca que os modelos de previsão de desempenho apresentam normalmente erros nas estimativas de tempo para execução de serviços de manutenção ou reabilitação dos pavimentos. Estes erros costumam ser menores quando o pavimento se aproxima da vida final e maiores quando estão no início da vida útil. Desta forma, os modelos devem ser periodicamente atualizados, e as previsões devem restringir-se a períodos em que se tenha um razoável grau de confiabilidade (Haas *et al.*, 1994). A impossibilidade de incluir todas as variáveis significativas, como drenagem, qualidade de construção e condições climáticas,

colabora, também, para a ocorrência de erros e incertezas nos modelos (Watanatada *et al.*, 1987, Bolivar e Achútegui, 1998).

No Brasil, alguns modelos de previsão de desempenho merecem ser destacados. Além dos trabalhos já citados desenvolvidos por Queiroz (1981) e Paterson (1987), de repercussão internacional, que foram, com algumas adaptações, incorporados ao sistema HDM, outros trabalhos de grande relevância foram os realizados por Marcon (1996), Basílio (2002) e Yshiba (2003), para, respectivamente, os Estados de Santa Catarina, Paraná e Goiás.

Benevides (2006) e Albuquerque (2007) recentemente também realizaram estudos para a elaboração de modelos de previsão de desempenho para os Estados do Ceará e Paraíba, no Nordeste do Brasil.

Nakahara (2005) elaborou modelos de previsão para rodovias urbanas de intenso tráfego pesado, na cidade de São Paulo.

Uma outra pesquisa, realizada por Lerch (2003), desenvolveu modelos avaliando a redução da irregularidade em pavimentos do Estado do Rio Grande do Sul.

Em seguida serão apresentados mais detalhadamente alguns desses modelos de previsão de desempenho desenvolvidos no Brasil, baseando-se, na recente revisão bibliográfica a respeito de modelos de previsão realizada por Albuquerque (2007).

2.2.2.1 Modelos desenvolvidos por Queiroz

Queiroz (1981) desenvolveu modelos empíricos e mecanístico-empíricos a partir de dados de irregularidade, entre outros parâmetros, obtidos nos Estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Distrito Federal. Tais modelos são utilizados no procedimento de projeto DNER-PRO 159/85 (DNER, 1985).

Queiroz (1981) desenvolveu 5 modelos de previsão de desempenho para a irregularidade. O primeiro modelo apresentado correlaciona a irregularidade com o número estrutural (equação 2). Os dois modelos seguintes, por sua vez, correlacionam a irregularidade com as deflexões dos pavimentos, obtidas com a Viga Benkelman (equação 2) e com o Dynaflect (equação 3). E as duas últimas correlacionam com o número estrutural e a deflexão em conjunto (equação 4 para deflexão com a Viga Benkelman e equação 5 para deflexão com o Dynaflect).

$$\log QI = 1,478 - 0,138ER + 0,000795A + 0,0224 \left(\frac{\log N_{acum}}{SNC} \right)^2 \quad (\text{equação 2})$$

$$R^2 = 0,26 \text{ e Erro Padrão} = 0,13$$

$$QI = 21,8 - 7,52ER + 5,16TR + 0,515A + 7,22 \times 10^{-5} (D_{VB} \times \log N_{acum}) \quad (\text{equação 3})$$

$$R^2 = 0,48 \text{ e Erro Padrão} = 10,58$$

$$\log QI = 1,391 - 0,1315ER + 0,0414P + 0,00751A + 0,0248D_D \times \log N_{acum} \quad (\text{equação 4})$$

$$R^2 = 0,32 \text{ e Erro Padrão} = 0,13$$

$$QI = 12,63 - 5,16ER + 3,31TR + 0,393A + 8,66 \left(\frac{\log N_{acum}}{SNC} \right) + 7,17 \times 10^{-5} (D_{VB} \times \log N_{acum})^2 \quad (\text{equação 5})$$

$$R^2 = 0,52 \text{ e Erro Padrão} = 10,22$$

$$\log QI = 1,299 - 0,1072ER + 0,0415P + 0,0623A \quad (\text{equação 6})$$

$$+ 0,0856 \left(\frac{\log N_{acum}}{SNC} \right) + 0,023D_D \times \log N_{acum}$$

$R^2 = 0,36$ e Erro Padrão = 0,13

Onde: QI = irregularidade longitudinal dos pavimentos (contagem / km);

ER = variável que indica se o pavimento é restaurado ou não ($ER = 0$, original; $ER = 1$, restaurado);

A = idade do pavimento desde a construção ou reabilitação (anos);

N_{acum} = número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO;

SNC = número estrutural corrigido;

TR = variável indicadora do tipo de revestimento ($TR = 0$, mistura asfáltica; $TR = 1$, tratamento superficial);

D_{VB} = deflexão com Viga Benkelman (10^{-2} mm);

P = porcentagem do pavimento que recebeu reparos de remendos profundos; e

D_D = deflexão com Dynaflect (0,001 polegadas = 0,0254mm).

Albuquerque (2007) destaca que o fato de o modelo da equação 2, correlacionando a irregularidade com o número estrutural, ter apresentado desempenho insatisfatório, com baixo coeficiente de determinação pode ser devido ao método de cálculo do SNC utilizado. Nas regiões monitoradas para o desenvolvimento do modelo, o subleito é constituído de solo laterítico, e a utilização de valores medidos de ISC, que para solos lateríticos são

particularmente baixos, acabou subestimando a capacidade estrutural dos pavimentos considerada nos modelos e diminuindo sua correlação com o QI.

Queiroz (1981) em seu trabalho também determinou equações relacionadas ao trincamento dos pavimentos.

2.2.2.2 Modelos desenvolvidos por Paterson

Fazendo uso de métodos estatísticos de regressão, Paterson (1987) desenvolveu modelos de previsão dos principais defeitos dos pavimentos, tais como trincamento, irregularidade e afundamento de trilha de roda.

Para a irregularidade longitudinal dos pavimentos, Paterson desenvolveu o modelo apresentado na equação 7.

$$IRI = \left[IRI_0 + 725(1 + SNC)^{-4,99} \times NE_4 \right] \times e^{0,0153 \cdot AGE} \quad (\text{equação 7})$$

$$R^2 = 0,75$$

Onde: IRI = irregularidade longitudinal dos pavimentos (m / km);

IRI_0 = irregularidade longitudinal inicial (m / km);

SNC = número estrutural corrigido;

NE_4 = representa o número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado com fator de carga da AASHTO (milhões por faixa); e

AGE = idade do pavimento desde a construção, restauração ou reconstrução (anos).

Para o afundamento de trilha de roda, por sua vez, Paterson desenvolveu o modelo apresentado na equação 8.

$$RDM = 1,0 \times AGE^{0,166} \times SNC^{-0,502} \times COMP^{-2,30} \times NE_4^{ERM} \quad (\text{equação 8})$$

$$R^2 = 0,42$$

Com:

$$ERM = 0,0902 + 0,0384 \times DEF - 0,009 \times RH + 0,00158 \times MMP \times CRX \quad (\text{equação 9})$$

Onde: RDM = profundidade média das trilhas de roda (mm);

COMP = índice de compactação relativa média ponderada pela espessura da camada, sendo obtido em Paterson (1987);

DEF = deflexão máxima média medida com viga Benkelman (10^{-2} mm);

RH = variável que indica se o pavimento é restaurado ou não (RH=0, original; RH=1, restaurado);

MMP = precipitação média mensal (m / mês); e

CRX = área de trincamento indexado, sendo obtido em Paterson (1987).

AGE = idade do pavimento desde a construção, restauração ou reconstrução (anos).

2.2.2.3 Modelos desenvolvidos por Marcon

Reunindo dados de levantamentos de 2.500km da malha rodoviária do Estado de Santa Catarina, Marcon (1996) desenvolveu linhas de tendência de pavimento para parâmetros como irregularidade longitudinal, deflexões máximas médias, índice de gravidade global e afundamento de trilha de roda. Os modelos relacionaram o parâmetro de desempenho do pavimento com a idade do revestimento ou com o número equivalente de operações do eixo padrão. Os modelos foram desenvolvidos para três diferentes regiões geológicas. A região denominada, por Marcon (1996), como sendo Região 2, é a que mais se aproxima das características do presente estudo.

Para deflexões, Marcon (1996) desenvolveu para a Região 2 os modelos apresentados na equação 10, relacionando com a idade dos pavimentos, e na equação 11, relacionando com o número equivalente de operações.

$$DEFM = 24,288 + 3,5458 \times IDADE \quad (\text{equação 10})$$

$$R^2 = 0,37$$

$$DEFM = 44,928 + 1,0 \times 10^{-5} \times NA \quad (\text{equação 11})$$

$$R^2 = 0,50$$

Os dados de irregularidade longitudinal para a Região 2 foram ajustados nos modelos apresentados na equação 12, relacionando com a idade, e na equação 13, relacionando com o número estrutural.

$$QI = 18,348 + 1,1635 \times IDADE \quad (\text{equação 12})$$

$$R^2 = 0,29$$

$$QI = 25,783 + 4,0 \times 10^{-6} \times NA - 5,0 \times 10^{-14} \times NA^2 \quad (\text{equação 13})$$

$$R^2 = 0,32$$

Para o afundamento de trilha de roda, para a Região 2, foram desenvolvidos os modelos da equação 14 e 15, respectivamente relacionando com a idade e o número estrutural dos pavimentos.

$$TRI = 1,8228 + 0,2325 \times IDADE \quad (\text{equação 14})$$

$$R^2 = 0,28$$

$$TRI = 3,3051 + 5,0 \times 10^{-7} \times NA \quad (\text{equação 15})$$

$$R^2 = 0,26$$

Para o índice de gravidade global, para a Região 2, foram elaborados os modelos apresentados na equação 16, que relaciona o índice com a idade, e na equação 17, que relaciona o índice com o número equivalente de operações.

$$IGG = -20,91 + 5,01 \times IDADE \quad (\text{equação 16})$$

$$R^2 = 0,52$$

$$IGG = 8,7647 + 2,0 \times 10^{-5} \times NA - 1,0 \times 10^{-12} \times NA^2 \quad (\text{equação 17})$$

$$R^2 = 0,61$$

Onde: DEFM = *deflexão máxima média* (10^{-2} mm);

QI = *quociente de irregularidade* (cont. / km);

TRI = *profundidade média de trilhas de roda* (mm);

IGG = *índice de gravidade global*;

IDADE = *idade do pavimento desde a construção, restauração ou reconstrução* (anos) ; e

NA = *número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado com o fator de carga da AASHTO*.

Destaca-se, nos modelos desenvolvidos por Marcon a praticidade das equações, estando os parâmetros relacionados somente à idade ou ao número equivalente.

2.2.2.4 Modelos desenvolvidos por Basílio

Basílio (2002) desenvolveu linhas de tendência de desempenho para rodovias do Estado de Goiás. As linhas de tendência foram propostas para dois tipos de revestimentos, com tratamento superficial duplo (TSD) e com concreto asfáltico (CBUQ). Esta revisão focará os resultados obtidos por Basílio (2002) para pavimentos revestidos com CBUQ.

Foram desenvolvidas por Basílio (2002) linhas de tendência para deflexão (equação 18), irregularidade longitudinal (equação 19), afundamento de trilha de roda (20) e trincamento (equação 21).

$$DEFM = 7 \times 10^{-13} \times NA^2 + 9 \times 10^{-7} \times NA + 57,602 \quad (\text{equação 18})$$

$$R^2 = 0,61$$

$$QI = 3 \times 10^{-13} \times NA^2 + 2 \times 10^{-6} \times NA + 37,741 \quad (\text{equação 19})$$

$$R^2 = 0,61$$

$$ATR = 6 \times 10^{-7} \times NA + 1,9814 \quad (\text{equação 20})$$

$$R^2 = 0,66$$

$$TRI = 1 \times 10^{-5} \times NA - 0,6982 \quad (\text{equação 21})$$

$$R^2 = 0,81$$

Onde: DEFM = deflexão máxima média (10^{-2} mm);

QI = quociente de irregularidade (cont. / km);

ATR = profundidade média de trilhas de roda (mm);

TRI = porcentagem da área trincada;

NA = número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado com o fator de carga da AASHTO.

Destacam-se os excelentes coeficientes de determinação obtidos nas linhas de tendência desenvolvidas por Basílio (2002).

2.2.2.5 Modelos desenvolvidos por Yshiba

Com dados obtidos da malha rodoviária do Estado do Paraná, Yshiba (2003) elaborou modelos estatísticos de deflexão e irregularidade longitudinal, sendo desenvolvidos modelos de regressão para pavimentos originais e restaurados.

Para pavimentos com revestimento original, foram obtidos os modelos apresentados na equação 22, para deflexão, e na equação 23, para irregularidade longitudinal.

$$\begin{aligned} DEF = 56,0 + 8,7P(I) + 4,25P(N) - 4,75P(S) \\ + 1,81 \times P(I) \times P(S) \end{aligned} \quad (\text{equação 22})$$

$$R^2 = 0,62$$

$$\begin{aligned} IRI = 2,8 + 0,38P(I) + 0,31P(N) - 0,16P(S) \\ + 0,09 \times P(I) \times P(N) - 0,08 \times P(I) \times P(S) \end{aligned} \quad (\text{equação 23})$$

$$R^2 = 0,75$$

Onde: DEF = deflexão determinada com a Viga Benkelman (10^{-2} mm);

IRI = irregularidade longitudinal do pavimento (m / km);

$$P(I) = \frac{I - 13}{8}, \text{ sendo } I \text{ a idade em anos do revestimento;}$$

$$P(N) = \frac{N - 5 \times 10^4}{10^5}, \text{ sendo } N \text{ o numero de solicitações de tráfego; e}$$

$$P(S) = \frac{S - 5,5}{2}, \text{ sendo } S \text{ o numero estrutural corrigido.}$$

Para pavimentos restaurados, por sua vez, foram desenvolvidos os modelos apresentados na equação 24, para deflexão, e na equação 24, para irregularidade longitudinal.

$$\begin{aligned} DEF = 47,2 + 2,2P(I) + 3,81P(N) - 2,7(PS) \\ + 1,44 \times P(N) \times P(S) \end{aligned} \quad \text{(equação 24)}$$

$$R^2 = 0,83$$

$$IRI = 2,37 + 0,12P(I) + 0,22P(N) - 0,14P(S) \quad \text{(equação 25)}$$

$$R^2 = 0,81$$

2.2.2.6 Modelos desenvolvidos por Benevides

Benevides (2006) elaborou modelos de irregularidade longitudinal para a malha rodoviária da região Metropolitana de Fortaleza, no Estado do Ceará, correlacionando-a com o Índice de Condição do Pavimento, deflexão, número estrutural e porcentagem de trincamento.

$$\begin{aligned} IRI = -0,141 \cdot PCI - 0,0211 \cdot DEF - 0,00641 \cdot TF \\ + 15,636 \end{aligned} \quad \text{(equação 26)}$$

$$R^2 = 0,86$$

$$IRI = -8,303 \cdot PCI - 0,812 \cdot NEC - 0,0050 \cdot TF + 101,844 \quad (\text{equação 27})$$

$$R^2 = 0,93$$

Onde: IRI = *irregularidade longitudinal do pavimento (m/km)*;

PCI = *Índice de Condição do Pavimento (%)*;

DEF = *deflexão determinada com FWD (10^{-2} mm)*;

NEC = *número estrutural corrigido obtido por correlação com a deflexão determinada com FWD; e*

TF = *porcentagem padrão do defeito Trinca por Fadiga (%)*.

2.2.2.7 Modelos desenvolvidos por Albuquerque

Com o objetivo de propor a estruturação necessária de um SGP apropriado aos Estados do Nordeste brasileiro, Albuquerque (2007) realizou um denso estudo em sua tese de doutorado no qual desenvolveu modelos de previsão de desempenho a partir de levantamentos ocorridos nos Estados da Paraíba e Ceará. Albuquerque (2007) fez uso de poderosas ferramentas estatísticas na elaboração dos modelos de desempenho. Foram desenvolvidos modelos para revestimentos em mistura asfáltica e tratamento superficial, sendo, nesta revisão, apresentados os elaborados para misturas asfálticas.

Para o Estado da Paraíba, Albuquerque (2007) desenvolveu modelos de previsão de deflexão (equação 28) e de índice de gravidade global (equação 29).

$$D_{VB} = e^{(3,747 + 0,092 C - 0,095 S + 0,299 N)} \quad (\text{equação 28})$$

$$R^2 = 0,91$$

$$IGG = 47,7 + e^{(3,31+0,53C-1,55S+0,46N)} \quad (\text{equação 29})$$

$$R^2 = 0,88$$

Onde: D_{VB} = deflexão determinada com Viga Benkelman (10^{-2} mm);

IGG = índice de gravidade global;

C = parâmetro representativo das condições climáticas;

S = parâmetro representativo do número estrutural corrigido; e

N = parâmetro representativo do número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO.

Para o Estado do Ceará, foram desenvolvidos modelos de previsão de desempenho para deflexão (equação 30), irregularidade longitudinal (equação 31) e índice de condição do pavimento (equação 32).

$$D_{FWD} = e^{(3,6783+0,0601C-0,3265S+0,0888N)} \quad (\text{equação 30})$$

$$R^2 = 0,84$$

$$IRI = -173,35 + e^{(5,177+0,0011C-0,0023S+0,0046N)} \quad (\text{equação 31})$$

$$R^2 = 0,79$$

$$PCR = 71,3 - 4,1C + 3,5S - 14,6N \quad (\text{equação 32})$$

$$R^2 = 0,89$$

Onde: D_{FWD} = deflexão determinada com FWD (10^{-2} mm);

IRI = índice de irregularidade longitudinal (m/km);

PCR = índice de condição do pavimento;

C = parâmetro representativo das condições climáticas;

S = parâmetro representativo do número estrutural corrigido; e

N = parâmetro representativo do número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO.

A descrição dos parâmetros representativos das condições climáticas (C), do número estrutural (S) e do número equivalente de solicitações (N) é encontrada no trabalho de Albuquerque (2007).

2.2.2.8 Modelos desenvolvidos por Lerch

Lerch (2003) desenvolveu modelos de avaliação da redução da irregularidade longitudinal após aplicação de camada de reforço. O trabalho foi elaborado para pavimentos do Estado do Rio Grande do Sul.

A equação 33 apresenta o modelo desenvolvido por Lerch (2003).

$$\Delta IRI = 0,31 \cdot ESP + 0,87 \cdot IRI_{antes} - 3,17 \quad (\text{equação 33})$$

$$R^2 = 0,97$$

Onde: $\Delta IRI = IRI_{antes} - IRI_{após} =$ *variação do índice de irregularidade longitudinal (m/km) com a aplicação de camada de reforço;*

$ESP =$ *espessura da camada de reforço (cm); e*

$IRI_{antes} =$ *índice de irregularidade longitudinal antes da aplicação do reforço (m/km);*

2.2.2.9 Modelos desenvolvidos por Nakahara

Nakahara (2005) realizou um estudo experimental sobre o desempenho de reforços de pavimentos asfálticos executados na Avenida Bandeirantes, via urbana com elevado volume de tráfego comercial pesado localizada no município de São Paulo. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram monitorados os pavimentos durante quatro anos desde a mais recente restauração executada.

Para a irregularidade, obteve-se modelo para a variação da irregularidade após a restauração (equação 34) e para a evolução da irregularidade (equação 35, 36 e 37).

$$\Delta IRI = -2,383 + 0,102 \times h_{ref} + 0,862 \times IRI_{antes} \quad (\text{equação 34})$$

$$R^2 = 0,90$$

Onde: $\Delta IRI = IRI_{antes} - IRI_{após} =$ *variação do índice de irregularidade longitudinal (m/km) com a aplicação de camada de reforço;*

$h_{ref} =$ *espessura da camada de reforço (cm); e*

$IRI_{antes} =$ *índice de irregularidade longitudinal antes da aplicação do reforço (m/km);*

$$IRI = \frac{1}{0,497 + 0,086 \times REF - 7,800 \times 10^{-9} \times D \times N} \quad (\text{equação 35})$$

$$IRI = \frac{1}{0,486 + 0,031 \times REF - 9,290 \times 10^{-3} \times e^{idade}} \quad (\text{equação 36})$$

$$IRI = \frac{1}{0,675 + 0,076 \times REF - 1,570 \times 10^{-8} \times D \times N_A - 0,012 \times \ln N_A} \quad (\text{equação 37})$$

Onde: IRI = índice de irregularidade longitudinal (m/km);

REF = variável indicadora da espessura de reforço (-1, se $h_{ref} < 10\text{cm}$, ou 0 se $h_{ref} \geq 10\text{cm}$);

D = deflexão medida com o FWD (mm);

N = número de repetições equivalentes ao eixo padrão de 80kN, segundo o critério do DNER, em eixos-padrão/dia;

idade = idade do pavimento desde a restauração (anos);

N_A = número de repetições equivalentes ao eixo padrão de 80kN, segundo o critério da AASHTO, em eixos-padrão/dia;

Também foram desenvolvidos por Nakahara (2005) modelos de previsão de desempenho para o início e evolução do trincamento.

3 METODOLOGIA

3.1 CENÁRIO DO ESTUDO

A estrutura de pavimento avaliada nesta dissertação está situada no trecho da rodovia BR-290/RS entre as cidades de Osório e Porto Alegre, segmento conhecido como *Free Way*, que está, desde 1997, sob a concessão da Concessionária da Rodovia Osório - Porto Alegre S/A – Concepa. A figura 8 apresenta um mapa da localização da rodovia analisada.



Figura 8: Localização do trecho da rodovia a ser analisada nesta pesquisa.

3.1.1 Histórico da rodovia

A BR-290/RS é considerada a “espinha dorsal” do estado do Rio Grande do Sul, cruzando o estado do litoral norte em sentido oeste, até o município de Uruguaiana, na divisa com a Argentina, passando por Pantano Grande, São Gabriel, Rosário do Sul e Alegrete. A rodovia é uma rota estratégica para o Mercosul e principal acesso a Porto Alegre e região metropolitana, sendo também o caminho mais utilizado pelos motoristas que se destinam ao litoral, chegando a registrar movimento superior a 50 mil veículos em um único dia de verão.

O trecho da rodovia BR-290/RS entre as cidades de Osório e Porto Alegre foi inaugurado em 1973 com o projeto grandioso de ser a primeira auto-estrada brasileira. Construída para ligar o litoral gaúcho à capital, Porto Alegre, a rodovia nasceu em uma época em que o Governo Federal estava investindo em grandes obras rodoviárias.

Dotada, nesse trecho, de duas pistas de sentidos opostos separadas por um canteiro central, a rodovia apresenta um elevado padrão de qualidade, diferenciando-a de todas as demais rodovias do estado. O traçado da rodovia encontra-se em um relevo plano, possuindo, em consequência dessa característica, raios amplos.

Logo após a sua inauguração, foi iniciada a cobrança de pedágios na rodovia. No entanto, os problemas no pavimento começaram a aparecer e a verba financeira arrecadada não conseguia suprir a carência. Em 1989, sem a necessária organização operacional, a cobrança de pedágio foi paralisada. Com inúmeros problemas mais graves e emergenciais em outros setores, o Governo Federal não possuía verba financeira para investir em suas rodovias, que estavam atingindo uma situação bastante crítica, como era o caso da BR-290/RS. A saída encontrada para esse impasse foi realizar um programa de concessões. Assim, com a dificuldade do Governo Federal em dispor de recursos para a manutenção da malha rodoviária, foi criado em 1994 o primeiro Programa de Concessão Rodoviária do Brasil, no qual a rodovia BR-290/RS, entre os km 0 e 112, foi incluída (PER, 1994).

Em 1997 a Construtora Triunfo, atualmente Triunfo Participações e Investimentos e SBS Engenharia e Construções criaram oficialmente a empresa Concessionária da Rodovia Osório - Porto Alegre S/A – Concepa com o objetivo exclusivo de administrar a rodovia BR-290, no trecho entre Osório, no km 0, e Eldorado do Sul, no km 112. A entrada da cidade de Porto Alegre, capital do Estado, situa-se nesse trecho, no km 96,5 da rodovia.

Com o início da concessão, passou-se a realizar novamente a cobrança do pedágio. Atualmente há três praças de cobrança de pedágio nesse trecho: em Santo Antônio da Patrulha (km 19), em Gravataí (km 77) e em Eldorado do Sul (km 110).

O pavimento do trecho concedido encontrava-se, em 1997, com inúmeros defeitos estruturais e funcionais, percebendo-se, desde então, que uma série de reparos e restaurações se faziam necessárias. A largura de sua plataforma de rolamento também estava inadequada para a capacidade de tráfego ao qual a rodovia era submetida, principalmente no verão gaúcho. Antes da concessão, a rodovia entre as cidades de Osório e Porto Alegre possuía uma plataforma com 12m de largura. A segurança de tráfego também era comprometida pela inexistência de acostamento interno (à esquerda) e pela péssima condição que o pavimento se encontrava. Como melhoria em relação à segurança e conforto ao rolamento, a Concepa está ampliando a plataforma de tráfego das pistas, aumentando em 4,25m a sua largura. Em sua configuração final, a plataforma de tráfego terá 16,25m de largura, distribuída em três faixas com 3,75m, com acostamento externo de 3m e acostamento interno – que não havia antes da concessão – de 2m, conforme figura 9, sendo essa uma das principais obras a serem realizadas pela concessionária ao longo de seu período de concessão.

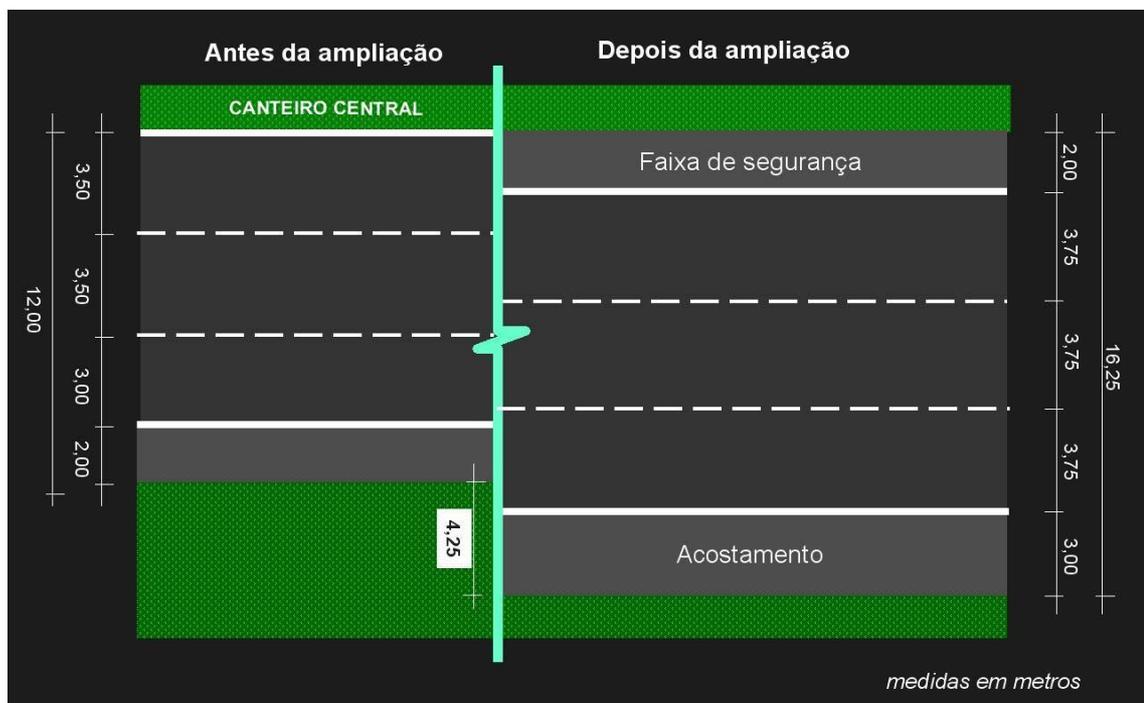


Figura 9: Configuração da pista da rodovia BR-290/RS antes e após a obra de ampliação que a concessionária está realizando.

O alargamento da pista em 4,25m pode ser melhor visualizado em uma seção transversal esquemática da obra de ampliação, figura 10, na qual também é apresentada a redistribuição das faixas de tráfego.

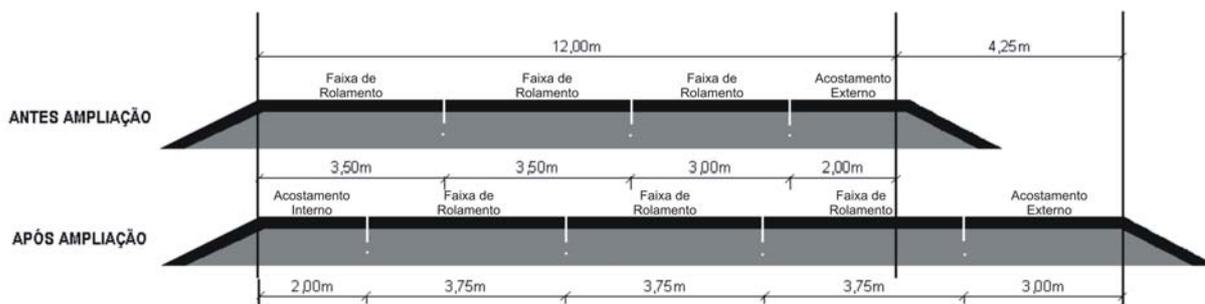


Figura 10: Seção transversal da pista apresentando a configuração da pista antes e após a ampliação.

Até o início do ano de 2008, a rodovia já estava com a ampliação concluída em toda a pista sentido Osório – Porto Alegre (denominada pela Concessionária como sendo Pista Norte) e em parte da pista no sentido Porto Alegre – Osório (denominada pela Concessionária como sendo Pista Sul), conforme esquema ilustrativo apresentado na figura 11.

Conforme visualizado na figura 11, na pista sentido Osório – Porto Alegre as obras de ampliação estão concluídas, enquanto na pista contrária, sentido Porto Alegre – Osório, a pista já está ampliada entre os km 70 e 96,5 e entre os km 24 e 37. De acordo com revisões do Programa de Exploração da Rodovia (PER, 2005), a concessionária tem como previsão a conclusão das obras de ampliação no biênio 2010/2011.

Como outras significativas melhorias proporcionadas pela concessão da rodovia, merecem ser destacadas, além da ampliação da plataforma de tráfego, a execução do pavimento em *whitetopping* (pavimento de concreto de cimento Portland) em cerca de 15km da rodovia, trecho destacado na figura 11, apresentada anteriormente, o emprego em grande escala de asfaltos modificados, proporcionando melhorias à camada asfáltica, e construção de viaduto no acesso à cidade de Eldorado do Sul.

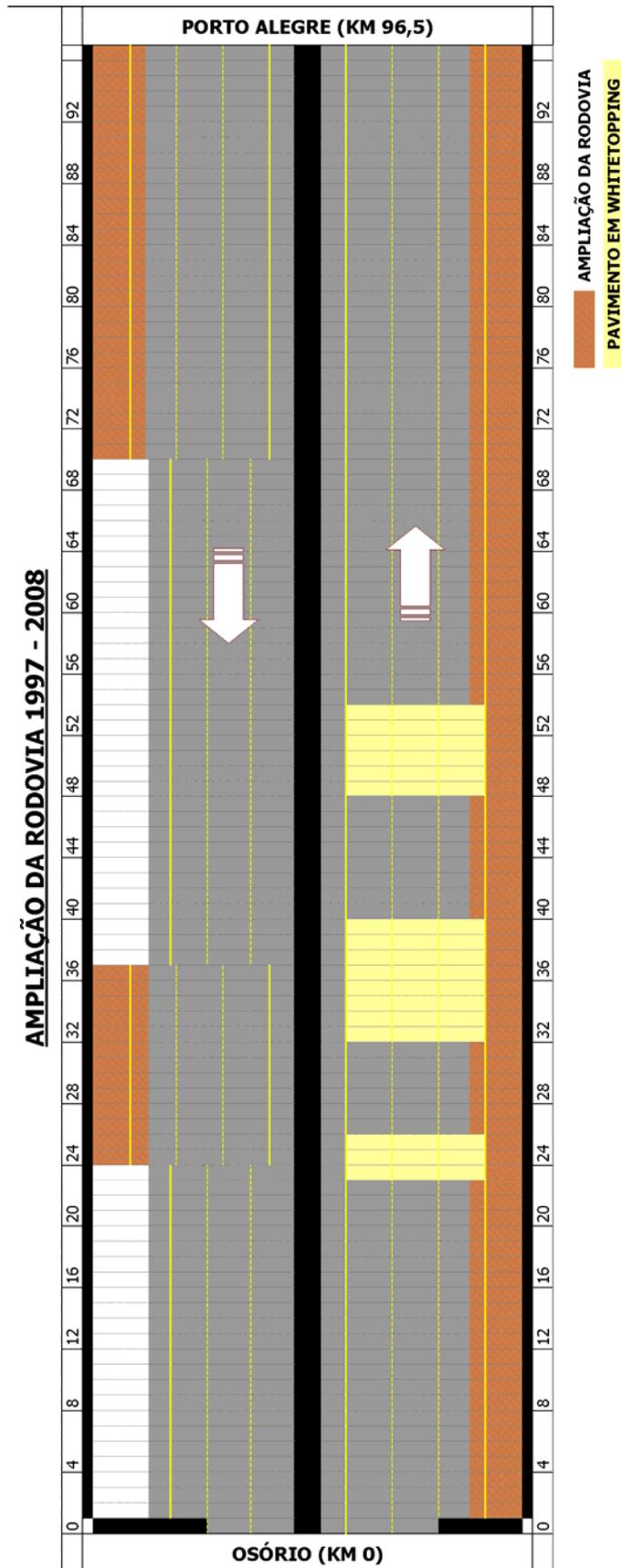


Figura 11: Esquema dos trechos em que as obras de ampliação da rodovia já estão concluídas.

No ano de 2005, foi inserido no trecho de concessão da Concepa o segmento da rodovia BR-116/RS entre os km 291,2 e 299,9 (8,7km), juntamente com o trevo de acesso à cidade de Guaíba (localizado no km 299,9). Como obras a serem realizadas nesse trecho incorporado à concessão, estão a recuperação do pavimento existente, a duplicação total do trecho através de execução de mais uma pista e a construção de dois viadutos no local de acesso à Guaíba, elevando o nível da BR-116/RS.

3.1.2 Estrutura avaliada

Por ser uma estrutura com perfil conhecido por completo desde as camadas de terraplenagem (sabendo-se as características dos materiais constituintes de todas as camadas) e ser uma estrutura adotada em uma grande extensão da rodovia BR-290/RS e também, com algumas adequações, em outras rodovias da região sul do Brasil, definiu-se que a estrutura de pavimento a ser analisada seria justamente a da ampliação das pistas de rolamento.

Entre os km 72 e 96,5, em ambos os sentidos, por haver um largo canteiro central entre as duas pistas, a ampliação ocorreu junto ao bordo interno, pelo canteiro, evitando maiores volumes de aterro. Já entre os km 0 e 72, o canteiro central não possuía largura para comportar a ampliação e a mesma teve que ser realizada pelo bordo externo das pistas.

Em análises das condições estruturais, funcionais e comportamentais de pavimentos de rodovias com mais de uma faixa de tráfego em cada sentido, normalmente considera-se a faixa mais solicitada pelo tráfego como sendo a representativa da rodovia, comandando, a partir dela, as decisões do Sistema de Gerência, abrangendo-as para toda a plataforma. Desse modo, os levantamentos de monitoração muitas vezes são realizados apenas sobre essa faixa. No caso da *Free Way*, que possui três faixas de tráfego em cada sentido, a faixa mais solicitada, destinada a veículos de tráfego pesado, é a externa. Essa pesquisa, assim, focará as análises na faixa externa da rodovia.

Como somente entre os km 0 e 72 da rodovia a ampliação ocorreu pelo lado externo, a pesquisa será desenvolvida nos segmentos já ampliados da rodovia neste trecho. É neste trecho que também situam-se os segmentos em whitetopping, que não serão considerados na análise. A tabela 4 apresenta os segmentos da rodovia a serem considerados na análise desenvolvida neste estudo.

Tabela 4: Segmentos da rodovia a serem considerados neste estudo.

Pista (sentido)	Estaca [km]		
Osório - Porto Alegre (Pista Norte)	1+000,00	a	23+000,00
	30+000,00	a	32+000,00
	40+000,00	a	48+000,00
	55+000,00	a	70+000,00
Porto Alegre – Osório (Pista Sul)	24+000,00	a	37+000,00

Foram desconsiderados os segmentos de transição (início e término) e o segmento entre os km 25 e 30 da pista sentido Osório – Porto Alegre, por ter sido, nesse segmento, executado um recapeamento em toda a plataforma em um período posterior à ampliação, além dos três segmentos que contemplam pavimento em *whitetopping*.

A estrutura de ampliação típica adotada na rodovia, e a utilizada neste estudo, contempla em 60cm de espessura de areia, como reforço do subleito local, 30cm de espessura de material primário pétreo (basalto), 15cm de espessura de base de brita graduada (basalto) e 8cm de espessura de revestimento com CBUQ, conforme figura 12.



Figura 12: Estrutura típica a ser considerada nesta pesquisa.

Os materiais pétreos empregados nas camadas de revestimento, de base e de sub-base são rochas basálticas básicas, extraídas de jazida localizada no município de Santo Antônio da Patrulha, RS, próxima do km 30 da rodovia BR-290/RS. Os materiais pétreos empregados neste trabalho foram estudados anteriormente em outras pesquisas (Casagrande, 2003; Rohde, 2007).

Adotou-se, como reforço do subleito local da estrutura de pavimento em estudo, uma camada de 60cm de areia. A areia utilizada, de origem litorânea, foi obtida de jazida localizada próxima a cidade de Osório.

Na camada de sub-base, empregou-se o agregado obtido do primário no processo de britagem, com diâmetro máximo de 100mm. Na execução, realizou-se o bloqueio dessa camada com pedrisco, preenchendo os vazios, sendo esta uma técnica comum em obras rodoviárias.

A camada de base da estrutura, com 15cm de espessura, é constituída de base de brita graduada, estando a granulometria próxima ao centro da Faixa A do DNER (1997). Casagrande (2003) estudou a brita graduada utilizada nesta pesquisa, obtendo a variação do módulo de resiliência do material em função da soma das tensões principais.

O concreto asfáltico utilizado como era de características variáveis, com alguns segmentos sendo executados com asfalto convencional, outros com asfalto borracha e outros, mais recentes, com asfalto modificado com polímero. Devido a dificuldade de mapeamento informando os locais em que foram aplicados cada tipo de asfalto, definiu-se em não considerar tal diferenciação na análise.

Diferentemente de outros estudos de calibração e elaboração de modelos e tendências de desempenho de pavimentos rodoviários, na análise realizada tinha-se a certeza de toda a estrutura de pavimentação, bem como das características dos materiais. Em muitos estudos, a estrutura do pavimento é definida a partir de sondagens em pontos localizados. A experiência rodoviária tem mostrado que as estruturas de pavimentos são significativamente variáveis ao longo da extensão de uma rodovia, principalmente quando se trata de rodovias antigas, que já passaram por diversas intervenções em sua estrutura, com recapeamentos, por exemplo.

3.2 LEVANTAMENTOS REALIZADOS

Para a elaboração das tendências de desempenho da estrutura de pavimento analisada, reuniu-se um conjunto de levantamentos existentes para o trecho e estrutura em estudo. Foram obtidos dados de tráfego e das condições estruturais, funcionais e comportamentais do pavimento.

3.2.1 Informações do tráfego

Determinou-se o tráfego ao qual a estrutura analisada foi submetida a partir de contagens automáticas realizadas por sensores instalados na pista junto das cabines de cobrança de pedágio. No estudo, foram considerados os dados da praça de pedágio localizada no município de Santo Antônio da Patrulha, no km 19 da rodovia BR-290/RS, em que há a cobrança de pedágio somente na pista sentido Porto Alegre - Osório. Assim, o tráfego contabilizado refere-se somente ao determinado na pista desse sentido. Para a pesquisa, considerou-se o tráfego no sentido oposto, Osório – Porto Alegre, como sendo o mesmo do sentido em que há a contagem do tráfego, Porto Alegre – Osório.

Em conjunto com a contagem de tráfego, é realizada, através da distância dos eixos, a classificação dos veículos. Os veículos são divididos em quinze categorias de acordo com o número de eixos. Essa classificação é a mesma utilizada no estabelecimento de diferentes valores na cobrança de pedágio. A tabela 5 apresenta as categorias em que os veículos são classificados.

Tabela 5: Classificação dos veículos realizada pela concessionária que administra a rodovia BR-29/RS.

<i>categoria</i>	<i>n° de eixos</i>	<i>descrição</i>
1	2	automovel sem reboque, caminhoneta sem reboque furgão simples 
2	2	caminhão leve, caminhão trator, furgão duplo, ônibus(2 eixos) 
3	3	automovel com semi reboque, caminhoneta com semi reboque 
4	3	caminhão sem reboque, caminhão trator com semi reboque, onibus(3 eixos) 
5	4	automovel com reboque, caminhoneta com reboque 
6	4	caminhão com reboque, caminhao com semi reboque (4 eixos) 
7	5	caminhão com reboque, caminhao com semi reboque (5 eixos)
8	6	caminhão com reboque, caminhao com semi reboque (6 eixos)
9	2	motocicletas, motonetas 
10	7	isentos
11	8	caminhão com reboque, caminhao com semi reboque (7 eixos duplos)
12	9	caminhão com reboque, caminhao com semi reboque (8 eixos duplos)
13	10	caminhão com reboque, caminhao com semi reboque (9 eixos duplos)
14	11	caminhão com reboque, caminhao com semi reboque (10 eixos duplos)
15	-	veículos que não se enquadrem em nenhuma das categorias

Todas as informações da contagem volumétrica e classificatória foram cedidas pela concessionária que administra o trecho da rodovia BR-290/RS pertencente a este estudo. A concessionária, no entanto, salienta que tais dados podem não ser fiéis a realidade, em virtude de falhas no sistema de contagem. Uma das falhas no procedimento de contagem relatadas pela Concessionária refere-se ao fato de, por estar instalado na pista, o sistema automatizado não contabiliza eixos suspensos. Tal falha, no entanto, não interfere na análise deste estudo, visto que os eixos suspensos também não exercerão, sobre o pavimento, solicitações de carga. Outras possíveis falhas do sistema serão desconsideradas.

Nos pavimentos rodoviários, para realizar o tratamento das solicitações do tráfego deve-se converter as cargas de eixos em um número equivalente de repetições de um eixo padrão. Para tal conversão, faz-se uso de fatores de equivalência de carga.

Os fatores de equivalência de carga podem ser obtidos pelo método da AASHTO ou USACE.

O fator de equivalência calculado pela AASHTO leva em consideração a “serventia” do pavimento, a partir de características da superfície dependentes do desempenho estrutural do pavimento. O fator de equivalência da AASHTO é adequado para projetos de restauração (Albuquerque, 2007).

O fator de equivalência da AASHTO foi idealizado a partir de estudos de solicitações tangenciais por um eixo padronizado de 8.165kgf para que conduzisse a um determinado índice de serventia pré-definido. Essas solicitações tangenciais causam esforços ao revestimento do pavimento (Albuquerque, 2007).

Porém, os fatores de equivalência não dependem apenas da carga aplicada, mas da estrutura do pavimento. Além disso, a utilização dos *FECs* da AASHTO é bastante influenciada pelas condições climáticas, do tipo de solo existente no subleito e das pressões de inflação, sendo necessário tomar os devidos cuidados com relação às condições dos EUA, para onde foram formulados, comparando às do Brasil (Pereira, 1992).

O cálculo do fator de equivalência do USACE leva em consideração o "afundamento plástico" do pavimento, sendo aplicável à resolução de problemas de dimensionamento onde a maior preocupação é a proteção da infra-estrutura do pavimento (subleito) quanto às deformações permanentes. O fator de equivalência do USACE é adequado para projetos de pavimentos novos (Albuquerque, 2007).

Os fatores de equivalência do USACE, como estão associados à ruptura plástica da porção inferior da estrutura, não são adequados para a resolução de problemas ligados à estimativa da vida das camadas betuminosas do pavimento no que respeita à fadiga. Além disto, a espessura implícita para o cálculo dos fatores de equivalência do USACE é de 34,3cm, sendo inferior a espessura das rodovias brasileiras de tráfego pesado (Pereira, 1992).

A tabela 6 apresenta as equações utilizadas para cálculo do *FEC*, para diferentes tipos de eixos, pelos dois métodos observados anteriormente.

Tabela 6: Equações utilizados para o cálculo do FEC pelo método da AASHTO e do USACE.

Tipo de Eixo	Método (P é a carga do eixo em tf)	
	DNER/AASHTO	DNER/USACE
Simplex de roda simples	$\left(\frac{P}{7,77}\right)^{4,32}$	$2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
Simplex de roda dupla	$\left(\frac{P}{8,17}\right)^{4,32}$	$1,832 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Duplo Tandem roda dupla	$\left(\frac{P}{15,08}\right)^{4,14}$	$1,528 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$ (para $P < 11$ tf)
		$1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,4720}$ (para $P \geq 11$ tf)
Tandem triplo roda dupla	$\left(\frac{P}{22,95}\right)^{4,22}$	$8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$ (para $P < 18$ tf)
		$1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$ (para $P \geq 18$ tf)

A partir do cálculo dos fatores de equivalência de carga (*FECs*), é possível determinar o fator de veículo (*FV*), relativo ao perfil de tráfego verificado em pesagens por 100 veículos da amostra. O valor absoluto do fator de veículo é obtido pela equação 38.

$$FV = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i \times FEC_{i,p})}{100} \quad (\text{equação 38})$$

Onde: *FV* = fator de veículo;

p_i = porcentagem de eixos tabulados em relação ao número total de veículos da amostra; e

$FEC_{i,p}$ = *fatores de equivalência de carga de cada categoria de eixo indicada.*

Por fim, a expressão geral para o cálculo do número de repetições equivalentes do eixo padrão (N_{acum}), a uma taxa de crescimento (t), no período de projeto (P) é, portanto, para crescimento linear, a apresentada na equação 39.

$$N_{acum} = 365 \times \left\{ VDM \times \frac{[(1 + P \times t)^2 - 1]}{2 \times t} \right\} \times FV \times F_f \times F_s \times F_d \quad (\text{equação 39})$$

Onde: VDM = Volume Diário Médio, calculado com base nas contagens volumétricas e classificatórias da via;

F_f = fator de frota comercial, que representa a porcentagem de veículos comerciais existentes em relação ao universo da frota;

F_s = fator de sentido, uma vez que o volume acumulado de veículos deverá ser considerado em apenas um sentido (caso a via apresente dois sentidos); F_s = 1,0 para vias com um sentido apenas e F_s = 0,5 para vias com dois sentidos de tráfego;

F_d = fator de distribuição de frota por faixa, caso a via possua mais de uma faixa de tráfego por sentido; são comumente utilizados valores de F_d entre 0,8 e 1,0.

O número de solicitações equivalentes do eixo padrão (N_{acum}) foi determinado, nesta dissertação, considerando-se as seguintes condições:

- a) - o Volume Diário Médio (VDM) foi calculado com base no tráfego total de veículos comerciais da contagem de tráfego obtida;
- b) - seguindo a condição apresentada acima e como no estudo o objetivo é determinar o número equivalente de cargas ao qual a estrutura de pavimento foi solicitada desde a

sua construção, e não o total solicitado em um ano de análise, substituiu-se o produto “ $365 \times VDM$ ” pelo tráfego total de veículos comerciais (V_{tc});

- c) - no estudo, estima-se o número de operações acumuladas no histórico da rodovia, então não se considera o termo de projeção do tráfego;
- d) - o fator de veículos (FV) foi determinado com base nas contagens classificatórias e considerando o fator de equivalência de carga (FEC) calculado pelo método da AASHTO;
- e) - como no VDM considerou-se somente o tráfego comercial, o fator de frota comercial não necessitou ser considerado ($F_f = 1$);
- f) - os dados de contagem fornecidos pela concessionária são apenas de um sentido da rodovia, assim, o fator de sentido também pode ser desconsiderado ($F_s = 1$);
- g) - considerou-se que 80% do tráfego comercial transita pela faixa externa da rodovia, assim, assumiu-se o fator de distribuição de frota por faixa igual a 0,80 ($F_d = 0,80$).

Desse modo, para a obtenção do número equivalente de operações de eixo padrão neste estudo, desde a construção da estrutura de pavimento até o período do levantamento de monitoração, considerou-se a equação 40.

$$N_{acum} = V_{tc(\text{período da construção} - \text{período do levantamento})} \times FV \times 0,80 \quad (\text{equação 40})$$

3.2.2 Deflexões

O equipamento utilizado para realizar o ensaio de deflexão na rodovia BR-290/RS foi o FWD - “Falling Weight Deflectometer”, também conhecido como defletômetro de impacto. O FWD são medidores de deflexão que transferem uma carga dinâmica de impacto ao pavimento.

Dentre as vantagens de se utilizar o FWD, em relação a outros medidores de deflexão, como a Viga Benkelman e o Deflectógrafo Digital, podemos destacar a sua capacidade de simular,

aproximadamente, as características de uma carga de tráfego transiente em termos de magnitude e frequência, o que não ocorre no ensaio estático com Viga Benkelman. As deflexões resultantes se aproximam, portanto, daquelas que seriam causadas por uma carga real dinâmica. Essa simulação é feita através da queda de um conjunto de massas, de uma determinada altura, sobre um sistema de amortecedores capazes de transmitir ao pavimento um pulso de carga com formato aproximadamente igual a uma senóide. Além disso o equipamento permite a determinação precisa e rápida de deformadas completas, com aquisição automática de dados.

A carga é transmitida ao pavimento através de uma placa de 30cm de diâmetro. A carga é medida através de uma célula de carga e tem duração de 25 a 30ms, tempo correspondente ao da passagem de um veículo com velocidade de 60 a 80km/h.

Na realidade, o FWD aplica pulsos de carga no pavimento em forma de ondas, que se propagam no interior da estrutura a velocidades finitas e são registradas em diferentes instantes pelos sensores. As deflexões são medidas através de sete sensores posicionados de forma a se construir a bacia de deflexão, como representado na figura 13.

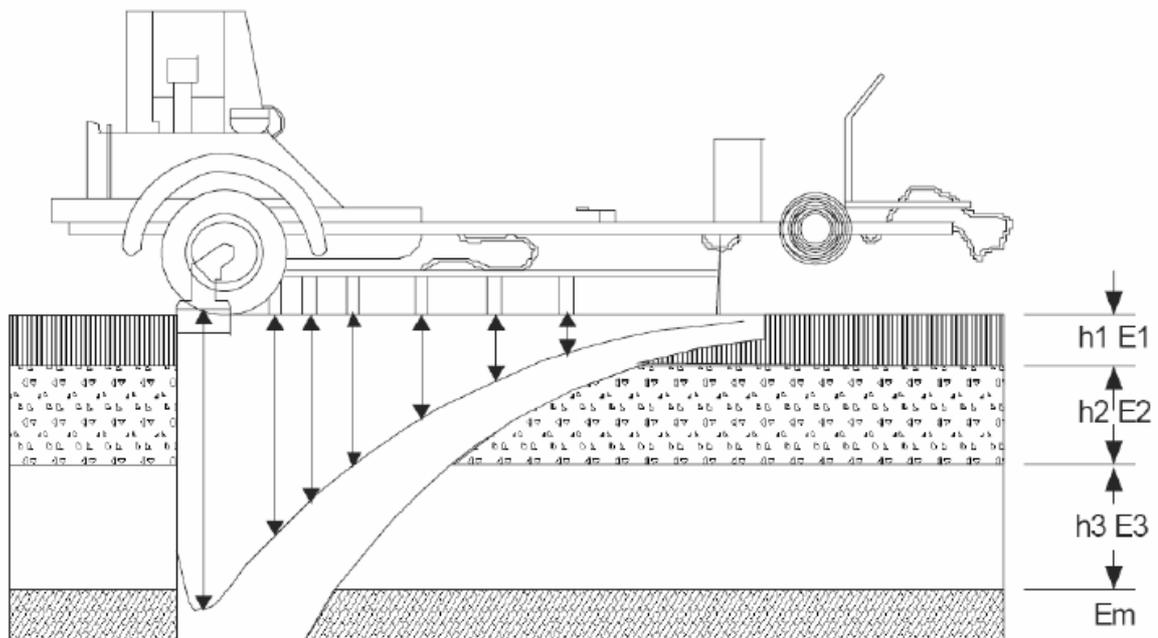


Figura 13: Esquema do posicionamento dos sensores no FWD de modo a determinar a bacia de deformação (Fonte: IPR-720, 2006).

Os dados de levantamentos utilizados nesta dissertação foram obtidos com o equipamento FWD modelo Dynatest (figura 14). A figura 15 mostra o comboio de veículos utilizados em levantamento com FWD realizado na rodovia BR-290/RS, enquanto na figura 16 é apresentado um detalhe do levantamento.



Figura 14: FWD modelo Dynatest.



Figura 15: Comboio de veículos empregados no levantamento de deflexões com FWD (reboque no veículo da frente).



Figura 16: Detalhe do levantamento realizado na rodovia BR-290/RS com o equipamento FWD.

3.2.3 Irregularidade longitudinal

A irregularidade de um pavimento é conceituada como o desvio da superfície da rodovia com relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via (DNER-PRO 182/94).

Na verdade, a irregularidade é considerada como o melhor indicador de serventia de pavimentos, a qual indica as condições de rolamento. A irregularidade é influenciada por vários componentes, tais como: trincamento, desgaste, deformações e manutenções realizadas. Existem diferentes equipamentos para mensurar este parâmetro.

Os perfilômetros a laser, a partir dos quais obteve-se os dados utilizados nesta dissertação, são equipamentos de uso mais recente, que alia alta tecnologia com a maior precisão nos levantamentos de dados. Este equipamento é composto por uma unidade de transdutores (em uma barra), equipada com sensores a laser (com pelo menos dois, sendo um em cada trilha de roda), dois acelerômetros e um sensor de movimento inercial, e um computador PC com “slots” para expansão de capacidade. Todos esses equipamentos são instalados a um veículo. A figura 17 apresenta o equipamento perfilômetro a laser acoplado a um veículo de passeio

em levantamento ocorrido na rodovia BR-290/RS. Foram levantadas as irregularidade em ambas as trilhas da faixa externa da rodovia.



Figura 17: Perfilômetro a laser em levantamento ocorrido na rodovia BR-290/RS.

O funcionamento do perfilômetro consiste na leitura simultânea do deslocamento longitudinal, da altura do veículo até o pavimento e da aceleração vertical do veículo (figura 18). Os dados são processados para que a aceleração vertical registrada seja transformada em deslocamento vertical do veículo. Com esta última medida, corrigem-se todos os valores de altura para obter-se o perfil longitudinal.

As leituras dos perfis do pavimento são realizadas com o veículo em movimento, na velocidade da via, para posterior determinação dos índices de irregularidade.

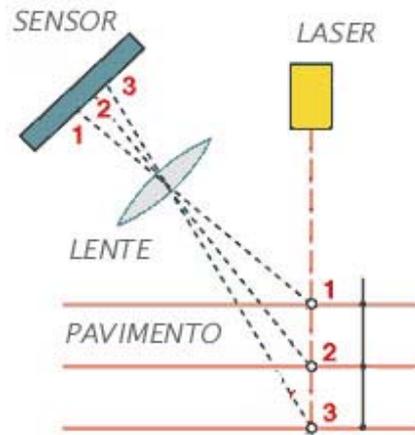


Figura 18: Esquema do funcionamento dos sensores nos perfilômetros a laser (Barella, 2008).

Algumas são as vantagens e características de perfilômetros a laser da medição da irregularidade longitudinal:

- h) - Capacidade de medição em velocidades variáveis, preferencialmente maiores do que 30 km/h;
- i) - Dispensa de trechos de calibração que são indispensáveis aos medidores do tipo-resposta;
- j) - Medição independente da manutenção das características do veículo;
- k) - Melhor repetibilidade e maior precisão nas medições; e
- l) - Os resultados gerados por este tipo de equipamento não tendem a subestimar ou superestimar a irregularidade, qualquer que seja sua grandeza.

3.2.4 Afundamento de trilha de roda

Os afundamentos de trilha de roda são deformações permanentes ocorridas no pavimento deixando como consequência um sulco onde passam os pneus dos veículos. São causadas pela consolidação inicial relativo ao grau de compactação das camadas granulares, por deformações estruturais e deformações plásticas.

O afundamento de trilha de roda pode ser levantado por dois procedimentos diferentes. O primeiro é o referente à norma DNIT 006/2003-PRO, que determina a utilização de uma treliça de alumínio (figura 19), padronizada, tendo 1,20 m de comprimento na base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio, e que permite medir, em milímetros, as flechas de trilha de roda.

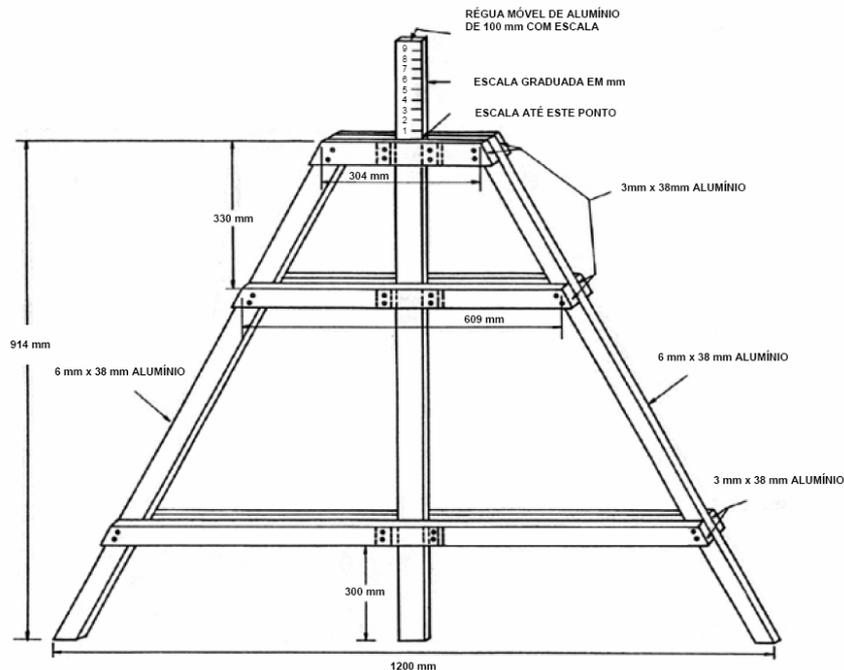


Figura 19: Treliça de alumínio utilizada na determinação do afundamento de trilha de roda (DNIT 006/2003-PRO).

O segundo procedimento, igualmente ao levantamento de irregularidade, também utiliza o perfilômetro a laser. Neste procedimento os sensores devem ter o posicionamento na barra de forma que simule uma treliça (conforme o que se faz na norma DNIT 006/2003-PRO quando se utiliza a treliça de alumínio). Para tanto, é necessário o uso de pelo menos três sensores a laser, sendo dois deles posicionados sobre as trilhas de roda e o terceiro posicionado no meio, entre os anteriores.

É importante salientar que essa não é a maneira exata de se medir o afundamento de trilha de roda, pois o número de pontos de medição (sensores) é limitado, geralmente 3 ou 5 pontos.

Sendo assim, se a posição de tais pontos em relação ao perfil transversal não for perfeita, ou seja, se dois desses pontos não estiverem bem no ponto de afundamento máximo, e o outro ou

os outros estiverem fora da zona de afundamento, a medida pode não representar a verdade em termos de ATR (Barella, 2008).

Por outro lado, apesar do alerta, não se pode deixar de reconhecer que o método de medida do ATR normalizado no Brasil pela norma DNIT 006/2003-PRO, que faz uso de uma treliça, é muito rudimentar, pouco preciso, pouco produtivo e perigoso para o técnico de campo, que muitas vezes se vê obrigado a realizar as medições com a treliça sem o fechamento do tráfego. Por todos esses problemas, quando esta medida com a treliça é realizada, ela é feita com intervalos muito grandes de espaço, 40m, 100m, às vezes até 200m. Assim sendo, como o método tradicional têm pontos negativos bastante evidentes, não é má escolha optar pela avaliação com o perfilômetro, seja pela segurança, seja pela economia, seja ainda pelas milhares de medidas que seriam possíveis nos mesmos 40 m em que a norma preconiza que seja feita uma medida em cada trilha (Barella, 2008).

Quando utilizam-se 5 sensores a laser, os módulos 1 e 5 ficam nas extremidades da barra, os módulos 2 e 4 ficam posicionados sobre as trilhas de roda e por fim, o módulo 3 fica no meio da barra, conforme representado na figura 20.

O cálculo do ATR, quando utilizados 5 sensores, é feito pelas seguintes expressões:

$$\text{Flecha}_{\text{esquerda}} = L2 - (L1+L3)/2$$

e

$$\text{Flecha}_{\text{direita}} = L4 - (L3+L5)/2$$

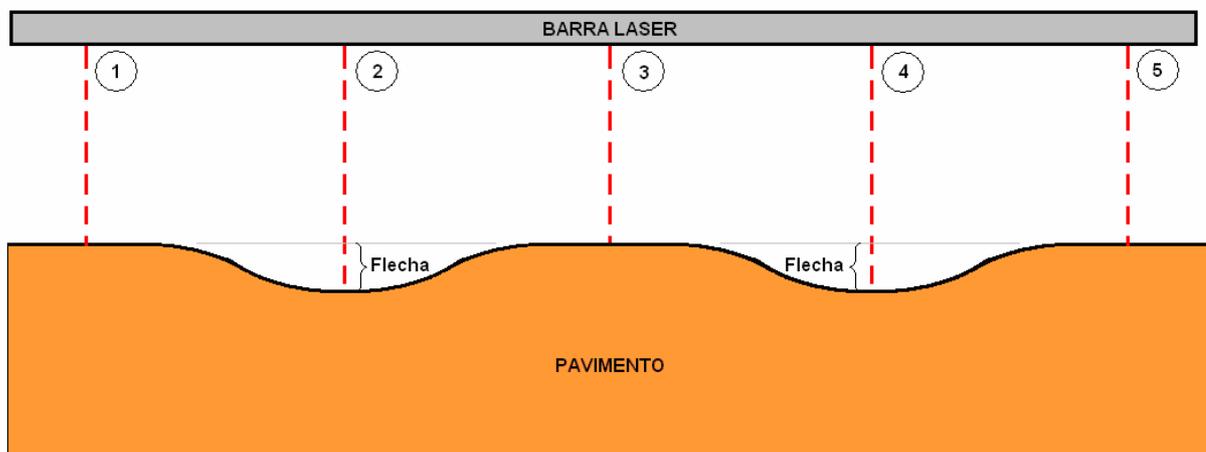


Figura 20: Sensores no levantamento de afundamento de trilha de roda (Albuquerque, 2007).

Com três módulos, é possível medir somente a média do afundamento das duas trilhas, não se conseguindo individualizar a medição de cada uma das trilhas, uma vez que não se tem a informação da inclinação transversal do pavimento (Barella, 2008). A figura 21 ilustra a disposição quando utilizados somente 3 sensores.

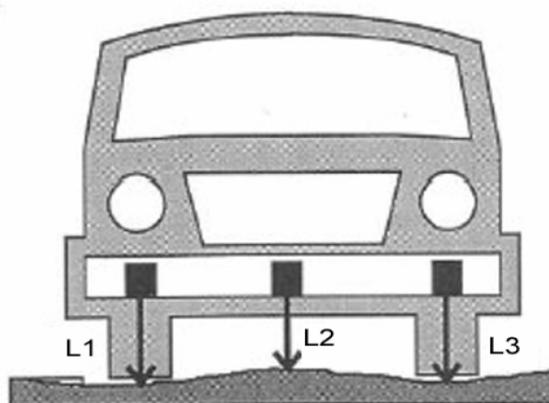


Figura 21: Disposição de 3 sensores no perfilômetro a laser (Barella, 2008).

O cálculo, para 3 sensores, é feito pela seguinte expressão:

$$\text{Flecha}_{\text{média}} = (L2+L4)/2 - L3$$

Vantagens e características da medição do ATR:

- Medição muito mais segura para os técnicos que não necessitam se expor aos riscos do tráfego, nem expor os usuários a riscos maiores do que os necessários;
- Possibilidade de medição de muito mais pontos, gerando valores médios de ATR continuamente, muito mais confiáveis do que medições isoladas;

Os perfilômetros a laser são capazes de realizar medições à frequência de aproximadamente 2000 medições por segundo.

3.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

Com todos os dados de levantamentos reunidos, partiu-se para a elaboração das linhas de regressão representativas do desempenho do pavimento que melhor se ajustassem aos dados dos levantamentos, seguindo-se, inicialmente, modelos como os apresentados na figura 22, sendo que a apresentação das funções partiu-se da seguinte orientação:

a) Eixo das abscissas (variável independente)

- número estrutural de operações acumulada N_{acum} , calculado pelo método da AASHTO (AASHTO, 1993).

b) Eixo das ordenadas (variável dependente)

- QI: quociente de irregularidade, em contagens/km;

- DEF: deflexão máxima média, em centésimos de milímetros;

- ATR: afundamento nas trilhas de roda interna e externa, em milímetros.

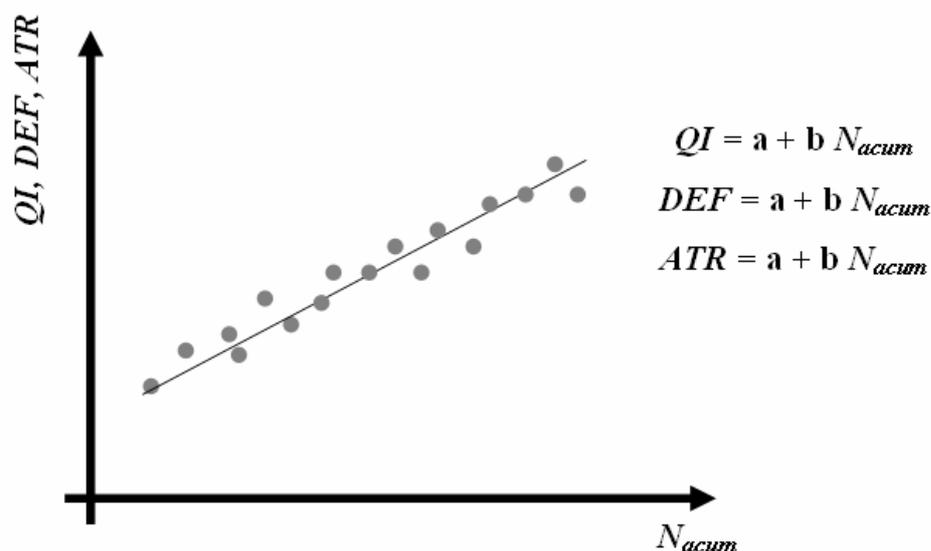


Figura 22: Exemplo de modelos a serem obtidos na proposta de tendências de desempenho de pavimentos para esta pesquisa.

Na elaboração das tendências de desempenho, foi definida que a proposição seria para modelos lineares, visto a praticidade desses para futura retroalimentação do sistema e uso das linhas de tendências no SGP do administrador da rodovia.

3.3.1 Fatores determinantes na análise

No processo de análise deste estudo, algumas considerações foram realizadas no intuito de estimar com maior confiabilidade e precisão as tendências de desempenho para os parâmetros considerados.

3.3.1.1 Intervenções nos pavimentos

A concessionária tem realizado continuamente serviços de conservação do pavimento ao longo de todo o trecho concedido da rodovia BR-290/RS. Entre os principais serviços de conservação do pavimento realizados, destacam-se a execução de micro-revestimento asfáltico e remendos profundos.

O micro-revestimento asfáltico tem sua aplicação principal na conservação de pavimentos agindo como elemento de impermeabilização e rejuvenescimento da condição funcional do pavimento em revestimentos com desgaste superficial e pequeno grau de trincamento. Também é utilizado para repor a condição de atrito superficial e resistência à aquaplanagem. No entanto, não corrige irregularidades e deformações plásticas e nem aumentam a capacidade estrutural do pavimento, embora a impermeabilização da camada de revestimento possa reduzir as deflexões pelo fato de evitar a penetração de água às camadas subjacentes (Bernucci *et al.*, 2006). Desse modo, na análise desta dissertação, não foi considerada a variação dos parâmetros de deflexão, irregularidade e afundamento de trilha de roda em função da aplicação de micro-revestimento asfáltico.

Os remendos profundos, por sua vez, são intervenções mais pesadas, que contemplam a remoção com fresadora da capa asfáltica existente e execução de nova camada asfáltica. As espessuras de fresagem variam, mas, de acordo com levantamento da concessionária, na BR-290/RS, tem se trabalhado com a espessura média de fresagem variando entre 5 e 10cm. Os remendos, diferentemente do micro-revestimento asfáltico, podem vir a alterar as condições estruturais, funcionais e comportamentais do pavimento. Assim, na análise do presente estudo, será avaliada a possibilidade de consideração das intervenções realizadas no trecho. Para tanto, foram levantados todos os segmentos que, após a construção da ampliação,

já sofreram intervenções de remendos profundos na faixa externa da rodovia, faixa que se está analisando no estudo.

Na elaboração das tendências de desempenho, as intervenções com remendos profundos foram inseridas nas equações que regem as curvas de tendências através de uma variável *dummy* (variável dicotômica). Ou seja, nas variáveis independentes, para cada parâmetro considerado, além do tráfego, representado pelo número estrutural N_{acum} , há um parâmetro variável de acordo com a ocorrência ou não de intervenções no segmento. As funções estabelecidas considerando as intervenções com remendos profundos no pavimento seguem os modelos apresentados na figura 23.

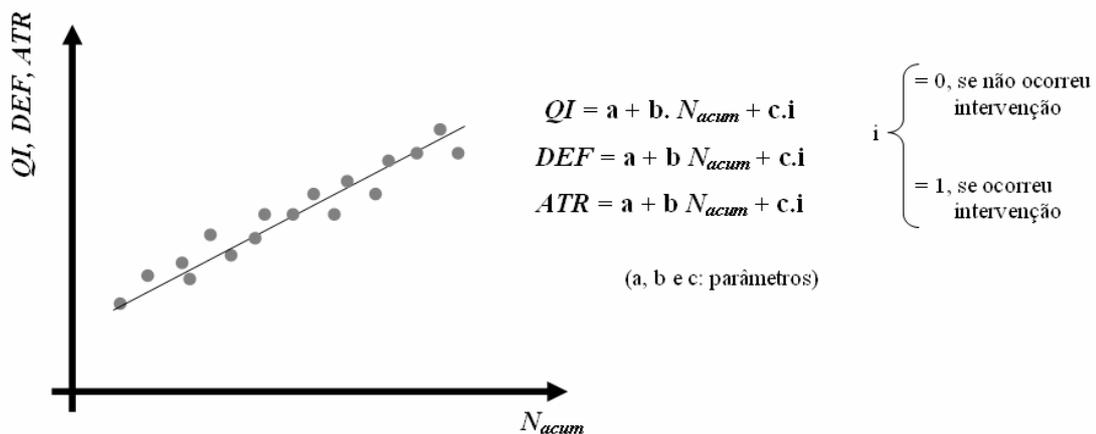


Figura 23: Exemplo de modelos a serem obtidos na proposta de tendências de desempenho de pavimentos para esta pesquisa considerando as intervenções com remendos profundos realizadas.

As configurações dos remendos executados também são importantes na análise dos resultados obtidos, uma vez que a variação dos parâmetros pode estar relacionada à forma dimensional dos remendos. Os remendos profundos realizados, pela concessionária, em particular, podem ser divididos basicamente em 3 tipos: remendos localizados, remendos nas trilhas de roda e remendos em toda a faixa de tráfego. Os remendos localizados são aqueles executados pontualmente, com dimensão máxima próxima de 1m, corrigindo pequenos defeitos na camada de revestimento. Os remendos nas trilhas de roda são os executados em grandes extensões, mas com pequena largura (próxima a 1,0 metro), realizados apenas nas trilhas de rodas, corrigindo trincas existentes nas trilhas e, principalmente, afundamentos de trilha de

roda. Os remendos em toda a faixa de tráfego, por sua vez, são os executados em grandes extensões e em toda a largura da faixa. A figura 24 apresenta esquematicamente e com registros fotográficos exemplos dos 3 tipos básicos de remendos profundos executados.



Figura 24: Representação esquemática dos 3 tipos de remendos profundos usualmente executados na rodovia BR-290/RS.

3.3.1.2 Metodologia dos levantamentos

É de fundamental importância que cada conjunto de parâmetros levantados em épocas diferentes, quando reunidos em uma mesma análise, tenha sido obtido com o mesmo procedimento de ensaio. Nos levantamentos de monitoração já há muitas variáveis que dificilmente podem ser controladas, como a condição climática, representada principalmente pela temperatura e precipitação pluviométrica, e operadores dos ensaios. Assim, mantendo a metodologia dos levantamentos evita-se o aumento da variabilidade dos dados ocasionada por fatores externos, não representativos das condições do pavimento.

Para as deflexões, é importante que todos os dados reunidos tenham sido obtidos de equipamento similares. As deflexões máximas são, no Brasil, usualmente determinadas por três tipos de equipamentos: Viga Benkelman, Deflectógrafo Digital e FWD, já descrito neste capítulo. Se em uma mesma análise forem reunidos dados de deflexões obtidos com diferentes equipamentos, podem haver diferenças em função dessa variabilidade de procedimentos de ensaio, que não estão relacionadas às condições dos pavimentos. É importante que a variabilidade dos equipamentos, quando ocorra, seja sempre considerada na análise.

O mesmo vale para medidas de irregularidade longitudinal e de afundamento de trilha de roda, uma vez que, comercialmente, há diferentes equipamentos que medem esses parâmetros. Mas até mesmo quando utilizado o mesmo equipamento tem que haver o cuidado para ser seguido o mesmo procedimento e, quando não seguido, esse fato deve ser considerado na análise. No caso da barra laser, utilizada nesta pesquisa para medir a irregularidade e o afundamento de trilha de roda, há opções de número de laser a serem utilizados na medição, geralmente 3 ou 5, e essa definição tem que ser considerada na análise de estudo.

3.3.2 Análise estatística

De posse de todos os dados, utilizou-se, no auxílio da elaboração de melhores tendências de desempenho das condições dos pavimentos, ferramentas estatísticas na análise.

Para esta dissertação foram consideradas regressões de tendências de desempenho com boa correlação aquelas que apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,5. Calculou-se também a Raiz do Erro Médio Quadrático Percentual (REMQP), que é o desvio padrão da estimativa. O REMQP mede o erro típico da previsão do modelo (Spiegel, 1994),

sendo estabelecido um patamar de 8% para as análises das tendências propostas neste estudo, e é calculado pela equação 41.

$$REMOP = 100\% \times \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_{i_{observado}} - y_{i_{previsto}}}{y_{i_{observado}}} \right)^2} \quad (\text{equação 41})$$

Também foi calculado para os dados analisados o valor estatístico F (ou o valor F observado), utilizado para determinar se a relação observada entre as variáveis dependentes e independentes ocorre por acaso. O valor F é calculado pela relação da soma dos quadrados da regressão com a soma dos quadrados dos resíduos. Quanto mais o valor F calculado (F_c) for superior ao valor F tabelado (F_{tab}), obtido a partir da probabilidade da análise estatística e dos graus de liberdade da regressão e do resíduo, maior a significância da regressão. Para esta pesquisa, será considerada uma boa regressão a que apresentar o valor F calculado superior a cinco vezes o valor F tabelado ($F_c > 5 \times F_{tab}$).

Com o intuito de melhor elucidar a tendência de desempenho proposta, realizou-se complementarmente mais duas análises, representando Testes de Hipóteses. A primeira foi o Teste da Estatística F (Teste da Razão de Variâncias), que foi utilizado para confirmar se dois conjuntos de dados (real e estimado pelo modelo) podem vir de uma mesma população quanto às variabilidades dos dados. A segunda foi o Teste t (Teste de Hipótese de Igualdade de Duas Médias), que foi utilizado para confirmar se dois conjuntos de dados podem vir de uma mesma população quanto às médias dos dados.

Estas análises serviram para selecionar os modelos apresentados neste trabalho. A aceitação e apresentação dos modelos de previsão de desempenho ajustados seguiram a necessidade de passar em pelo menos um dos testes de hipótese aplicados.

No caso do Teste da Estatística F, a aceitação deve ser dada respeitando a seguinte condição:

$$\frac{1}{F_{\alpha/2; [n_1-1]; [n_2-1]}} < F < F_{\alpha/2; [n_1-1]; [n_2-1]} \rightarrow \text{tabelado}$$

Para o Teste da t, por sua vez, a aceitação deve ser dada respeitando a seguinte condição:

m) σ_1^2 e σ_2^2 desconhecidas, mas $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (Estatística F aceita):

$$t < t_{\alpha/2; [n_c+n_a-2]} \rightarrow \text{tabelado}$$

n) σ_1^2 e σ_2^2 desconhecidas $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (Estatística F rejeitada):

$$t < t_{\alpha/2; [f']} \rightarrow \text{tabelado}$$

Na última expressão, o parâmetro estatístico f' é obtido a partir das variâncias e dos graus de liberdade das variáveis.

Assim, foram realizados, na análise estatística, 5 avaliações: $R^2 (\geq 0,50)$; REMQP ($\geq 8\%$); valor estatístico F ($F_c > 5 \times F_{\text{tab}}$); Teste da Estatística F; e Teste t. Foi considerada uma boa linha de tendência de desempenho a relação que satisfizesse ao menos em 4 avaliações.

Na análise, foram excluídos da regressão de tendência de desempenho os valores que estavam com as diferenças entre os valores estimados e os reais superiores a dois desvios padrões.

Para os ajustes que melhor representaram a tendência de desempenho do pavimento, ainda apresentou-se o *Scatterplot*, que consiste em um gráfico de dispersão utilizado para analisar a simetria da curva ajustada entre valores observados e previstos pelos modelos.

Para auxiliar as análises estatísticas realizadas neste estudo utilizou-se os programas computacionais Microsoft Office Excel e STATISTICA. O Microsoft Office Excel é um programa de planilha eletrônica produzido pela Microsoft para computadores usando o sistema operacional Microsoft Windows, estando incluso em seus recursos uma interface intuitiva e capacitadas ferramentas de cálculo e de construção de gráficos que tornaram o Excel um dos mais populares aplicativos de computador. O STATISTICA, por sua vez, é um software de métodos estatísticos produzido pela STATSOFT, que dispõe de processos apropriados para recolher, organizar, classificar, apresentar e interpretar conjuntos de dados, oferece estatísticas essenciais de forma amigável com poder de análise, e facilidade de benefícios de uso.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 BANCO DE DADOS

Partindo-se da reunião do conjunto de informações disponibilizadas pela concessionária, organizou-se os dados de levantamentos existentes para a estrutura em análise. Todos esses dados foram obtidos diretamente pela concessionária que administra a rodovia.

4.1.1 Levantamentos Realizados

Dentro do programa de monitoração estabelecido em contrato, a concessionária realiza periodicamente uma série de levantamentos para avaliação da rodovia. A existência de dados contínuos das condições da rodovia permite o estabelecimento de tendências de desempenho confiáveis para o pavimento gerenciado, uma vez que novos dados podem continuamente irrem alimentando o sistema e ajustando as tendências estabelecidas. Para esta dissertação, além de informações de tráfego, foram considerados levantamentos das condições estruturais, funcionais e comportamentais do pavimento em análise.

É importante frisar que, após realizar os levantamentos de monitoração das condições do pavimento apresentados a seguir, a concessionária que administra a rodovia em estudo, a partir dos dados obtidos, realizou intervenções nos locais em que os parâmetros não satisfizeram as condições de qualidade desejáveis, por critérios definidos pela própria gerência dos pavimentos da concessionária ou até mesmo por exigências de contrato.

4.1.1.1 Contagem de tráfego

Os dados de tráfego utilizados nesta dissertação foram obtidos de contagem volumétrica e classificatória realizada no km 19 da rodovia BR-290/RS, junto à Praça de Pedágio de Santo Antônio da Patrulha, no sentido Porto Alegre - Osório. Assumiu-se, na análise, como o tráfego sendo o mesmo em ambos os sentidos.

É a partir de informações do tráfego que se estima as solicitações de carga que o pavimento é submetido. Com a contagem volumétrica e classificatória do tráfego foi possível estimar o número equivalente de operações de eixo padrão (N_{acum}) aos quais as estruturas foram submetidas desde a sua construção até o momento em que foi realizado o levantamento das condições estruturais, funcionais ou comportamentais dos pavimentos. Conforme visto no capítulo 3, neste estudo considerou-se na análise do tráfego apenas os veículos comerciais da contagem disponibilizada. O número equivalente de operações foi obtido, seguindo a equação 40 apresentada no capítulo 3, multiplicando-se o volume de tráfego total (V_{tc}) comercial pelo fator de veículo (FV) e pelo fator de faixa (F_d).

Através dos dados de contagem de tráfego de janeiro de 1999 até dezembro de 2007, determinou-se, para o tráfego da rodovia em estudo, um fator de veículo médio igual a 3,05, conforme tabela 7.

Tabela 7: Determinação do fator de veículo para o tráfego da rodovia BR-290/RS considerado nesta pesquisa.

TIPO DE EIXO	carga legal [tf]	Fator equivalência de carga (FEC)	
		AASHTO	USACE
Simples de Rodas Simples	6	0,33	0,28
Simples de Rodas Duplas	10	2,39	3,29
Rodas Duplas em Tandem	17	1,64	8,55
Rodas Triplas em Tandem	25,5	1,56	9,30

TIPOS	AASHTO	USACE	Vol. Total	FV	
				AASHTO	USACE
2C	0,33+2,39	0,28+3,29	1.631.257	2,72	3,57
3C	0,33+1,64	0,28+8,55	2.000.345	1,97	8,83
2S2	0,33+2,39+1,64	0,28+3,29+8,55	590.861	4,36	12,12
2S3	0,33+2,39+1,56	0,28+3,29+9,30	1.402.206	4,28	12,87
3S3	0,33+1,64+1,56	0,28+8,55+9,30	461.088	3,53	18,13
FV médio				3,05	9,37

Assim, pode-se estimar o número equivalente de operações existentes em cada segmento desde a sua abertura para o tráfego até o período em que ocorreu determinado levantamento das condições do pavimento.

4.1.1.2 Deflexões

As deflexões da estrutura da ampliação da rodovia BR-290/RS consideradas nesta pesquisa foram obtidas através de levantamento com o equipamento FWD. Embora no banco de dados da concessionária houvesse informações de deflexões obtidas com outros equipamentos, como a Viga Benkelman e o Deflectógrafo Digital, definiu-se, no intuito de diminuir variabilidades em função dos equipamentos, consideração importante na elaboração de tendências de desempenho como destacado no capítulo 3 deste trabalho, considerar apenas o levantamento com o FWD, por ser o equipamento em que o ensaio havia sido realizado em toda a extensão do trecho em análise em um menor espaço de tempo, diminuindo assim também possíveis variações em função das condições climáticas.

Foram, desse modo, considerados os dados de um único levantamento com FWD, ocorrido entre os meses de outubro e dezembro de 2007.

Os levantamentos ocorreram com medições a cada 40m de extensão, sobre a trilha de roda direita da faixa externa da rodovia, que contempla a estrutura em análise. No desenvolvimento desta pesquisa, foi considerada a deflexão média de cada quilômetro da rodovia. Os dados estabelecidos para os segmentos em análise são apresentados na figura 25.

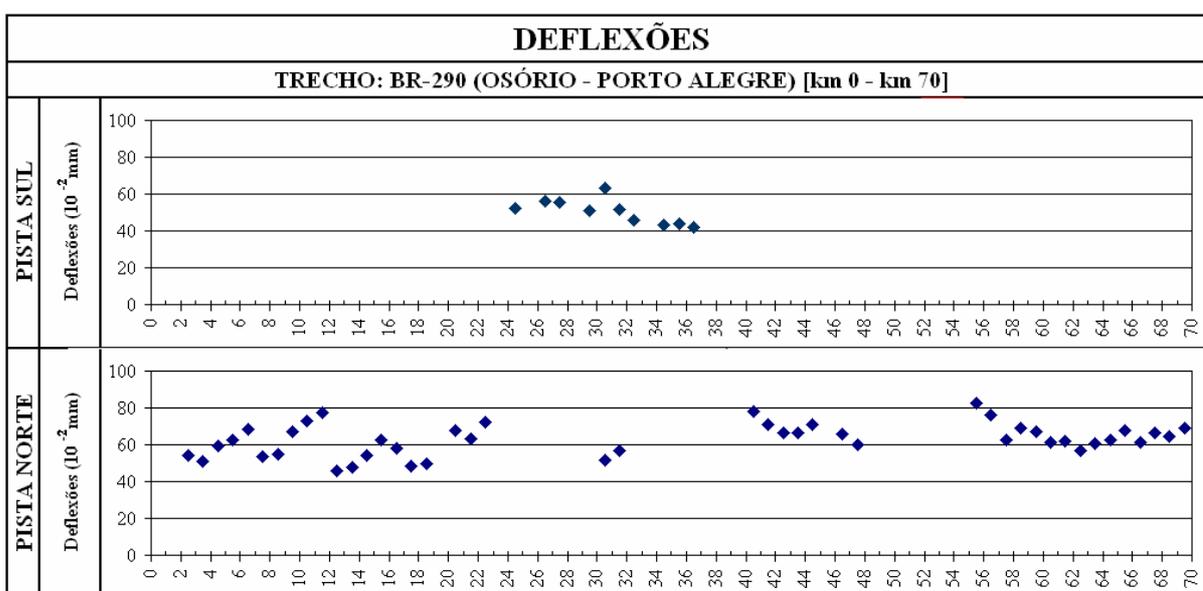


Figura 25: Dados de deflexões considerados na pesquisa.

As condições climáticas, como precipitação pluviométrica e temperatura, são fatores intensamente influentes nos valores de deflexões medidos. No entanto, as temperaturas do ar durante os ensaios não apresentaram representativas variabilidades, como pode ser observado na figura 26, e, conforme informações da concessionária, buscou-se não efetuar medições nos dias seguintes a chuvas, diminuindo possíveis variabilidades em função da umidade das camadas inferiores em decorrência de precipitações pluviométricas. Embora haja na bibliografia equações que efetuem a correção da deflexão em função da temperatura do pavimento, definiu-se, nesse estudo, não utilizar tais correções em virtude da pequena variabilidade da temperatura do ar encontrada no período dos ensaios, que justificam o não uso das correções na elaboração das tendências, e pela necessidade do desenvolvimento de modelos de tendências de desempenho práticos para o uso no Sistema de Gerência, que viabilizam, de forma mais direta possível, a adoção futura das tendências desenvolvidas pelo gestor da malha viária.

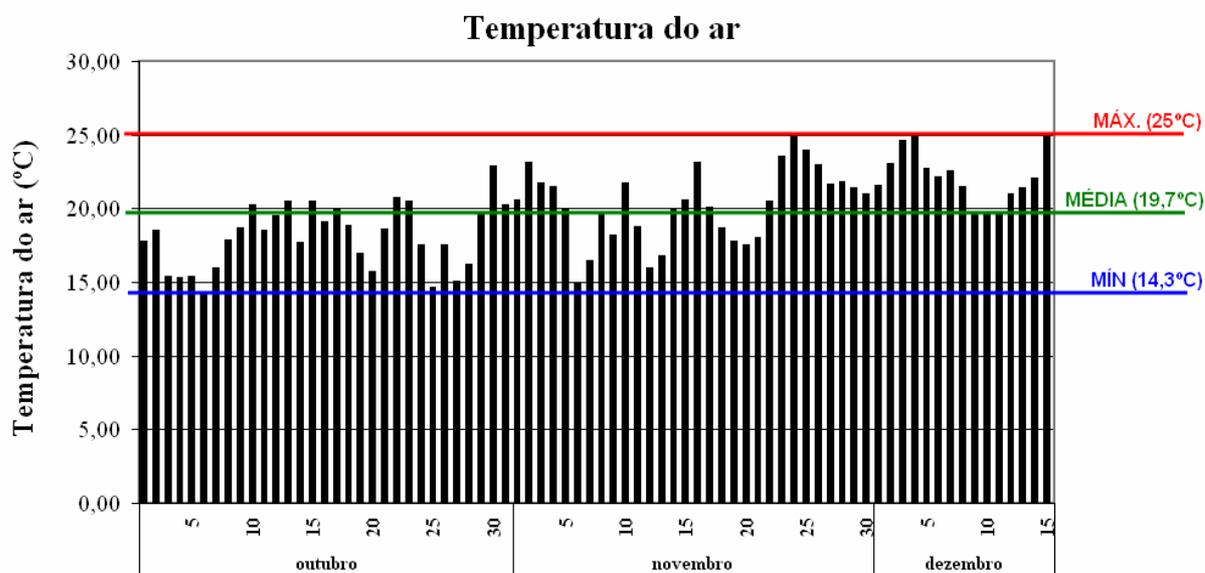


Figura 26: Dados da temperatura do ar no período do levantamento com FWD, entre outubro e dezembro de 2007.

4.1.1.3 Irregularidade longitudinal

Os dados de irregularidade longitudinal utilizados nesta pesquisa foram obtidos através de perfilômetros a laser. Os levantamentos ocorreram em abril de 2005, junho de 2006 e junho de 2007, sendo todos os levantamentos realizados com o mesmo equipamento. No entanto, nos levantamentos ocorridos em 2005 e 2006, utilizou-se 5 sensores na medição da irregularidade, enquanto no ensaio de 2007, utilizou-se 3 sensores, seguindo a configuração já descrita no capítulo 3. A utilização de 3 sensores, ao invés de 5, foi uma definição de menor custo e melhor operação do equipamento na via, visto que, por trabalhar com a barra mais curta, dispensa o uso de veículos de apoio (“batedores”).

Os dados dos três levantamentos para o trecho do estudo são apresentados na figura 27. Para o estudo, executou-se a média dos valores obtidos para cada quilômetro da rodovia.

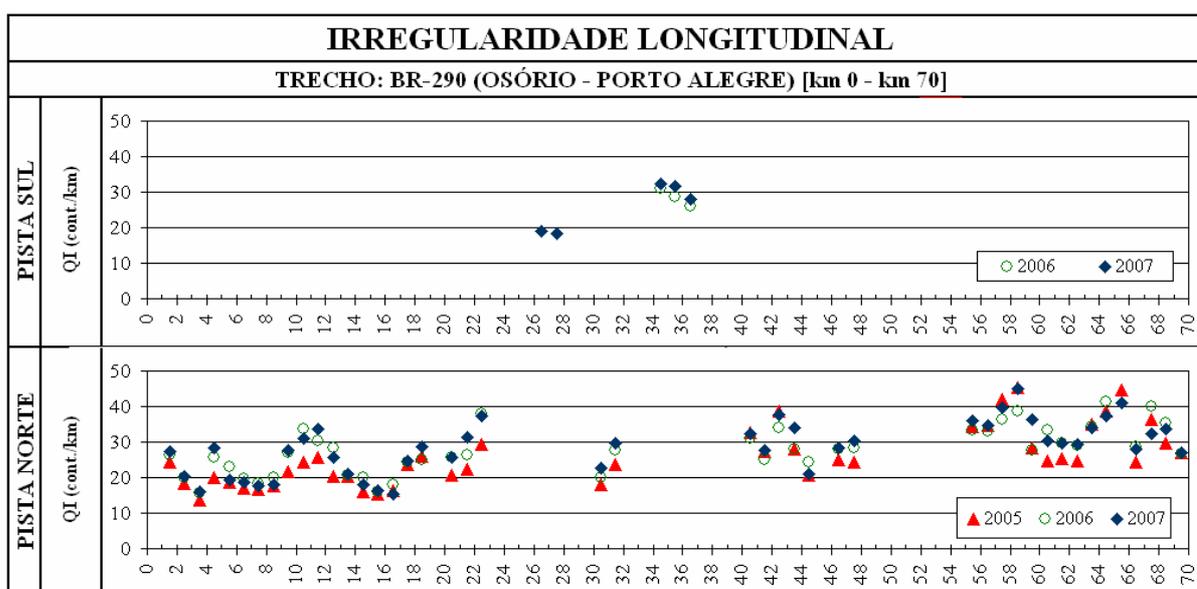


Figura 27: Dados de irregularidade longitudinal considerados na pesquisa.

4.1.1.4 Afundamento de trilha de roda

Os dados de afundamento de trilha de roda foram também medidos com o perfilômetro a laser, simultaneamente ao levantamento da irregularidade longitudinal. Também para esse parâmetro realizou-se a média dos dados obtidos para cada quilômetro de rodovia, sendo esses apresentados na figura 28.

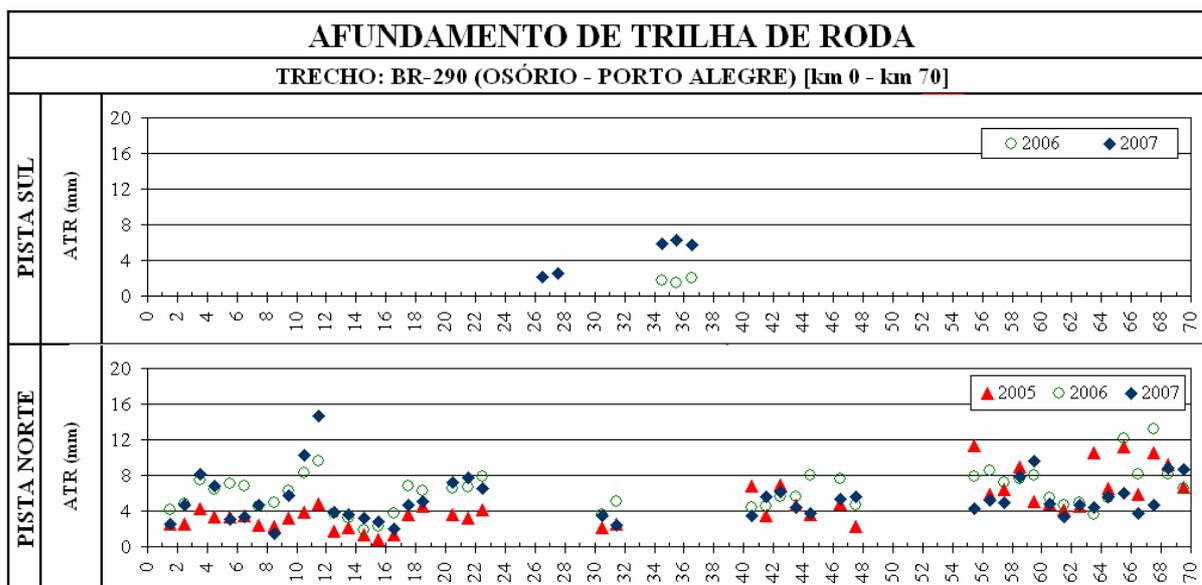


Figura 28: Dados de afundamento de trilha de roda considerados na pesquisa.

4.1.2 Idade dos Pavimentos e Histórico do Tráfego

Para estimar o número de solicitações exercidas sobre o pavimento desde a sua construção até o momento do levantamento em consideração, foi preciso buscar os períodos de construção da estrutura de ampliação em cada segmento em análise da rodovia. A partir da determinação do período em que foi executada a estrutura e das informações de contagem de tráfego da rodovia, obteve-se o número equivalente de solicitações (N_{acum}) submetidas em cada segmento, conforme apresentado na tabela 8.

Tabela 8: Período da construção da estrutura de pavimento nos segmentos do trecho em análise com a definição do número equivalente de operações.

pista	estacas [km]		período da construção	número equivalente de operações (N_{acum}) [$\times 10^6$]			
				barra laser			FWD
				2005	2006	2007	2007
sentido Osório - Porto Alegre	1+000,00	a 10+000,00	out/04	1,02	2,93	4,64	5,25
	10+000,00	a 15+000,00	jul/04	1,45	3,36	5,07	5,68
	15+000,00	a 19+000,00	set/04	1,17	3,07	4,78	5,40
	20+000,00	a 23+000,00	nov/02	4,22	6,12	7,83	8,45
	30+000,00	a 32+000,00	set/00	7,90	9,80	11,51	12,13
	40+000,00	a 45+000,00	abr/02	5,12	7,03	8,74	9,35

sentido Osório - Porto Alegre	46+000,00	a	48+000,00	jan/03	3,93	5,83	7,54	8,16
	55+000,00	a	58+000,00	jul/02	4,76	6,66	8,37	8,99
	58+000,00	a	64+000,00	out/02	4,37	6,27	7,98	8,59
	64+000,00	a	67+000,00	jun/01	6,56	8,47	10,18	10,79
	67+000,00	a	70+000,00	jul/00	8,17	10,08	11,79	12,40
sentido Porto Alegre - Osório	24+000,00	a	25+000,00	set/07	-	-	-	0,32
	26+000,00	a	28+000,00	nov/06	-	-	1,15	1,93
	29+000,00	a	31+000,00	dez/07	-	-	-	0,00
	31+000,00	a	33+000,00	nov/07	-	-	-	0,17
	34+000,00	a	37+000,00	nov/05	-	1,12	2,83	3,44

4.1.3 Intervenções nos pavimentos

No capítulo 3 foi destacada a necessidade de considerar, na elaboração de tendências de desempenho, as intervenções ocorridas nos pavimentos após a sua construção. Conforme descrito, intervenções de micro-revestimento asfáltico não alteram as características estruturais e funcionais dos pavimentos. Por sua vez, intervenções com remendos profundos tendem a ser mais pesadas, sendo capazes de modificarem as condições dos pavimentos.

Para definir os locais em que haviam sido realizadas intervenções com remendos profundos, buscou-se, no histórico da concessionária, os serviços de conservação dos pavimentos executados desde o ano de 2000, quando iniciou, no trecho em análise, a construção das obras de ampliação.

No banco de informações da concessionária não havia, para todos os dados, a configuração de remendos realizados, de maneira que impossibilitou classificá-los de acordo com as categorias apresentadas no capítulo 3 (remendos localizados, remendos nas trilhas de roda e remendos em toda a faixa). No entanto, avaliando alguns dados que continham informações relativas às dimensões dos remendos e conversando com técnicos da concessionária, observou-se que os tipos de remendos mais executados nos pavimentos em análise referem-se aos da categoria de remendos nas trilhas de roda, corrigindo afundamentos e trincas localizadas.

4.2 LINHAS DE TENDÊNCIAS DE DESEMPENHO DESENVOLVIDAS PARA DEFLEXÃO

A partir dos dados de deflexões dos pavimentos obtidos com o FWD em levantamento ocorrido em 2007 e das informações das solicitações de eixos padrões equivalentes que as estruturas foram submetidas, foi possível estimar a tendência de comportamento quanto à deflexão do pavimento da ampliação da rodovia BR-290/RS.

Na primeira etapa do processo, foram considerados todos os dados dos segmentos em análise, obtendo os resultados apresentados na figura 29 e na tabela 9.

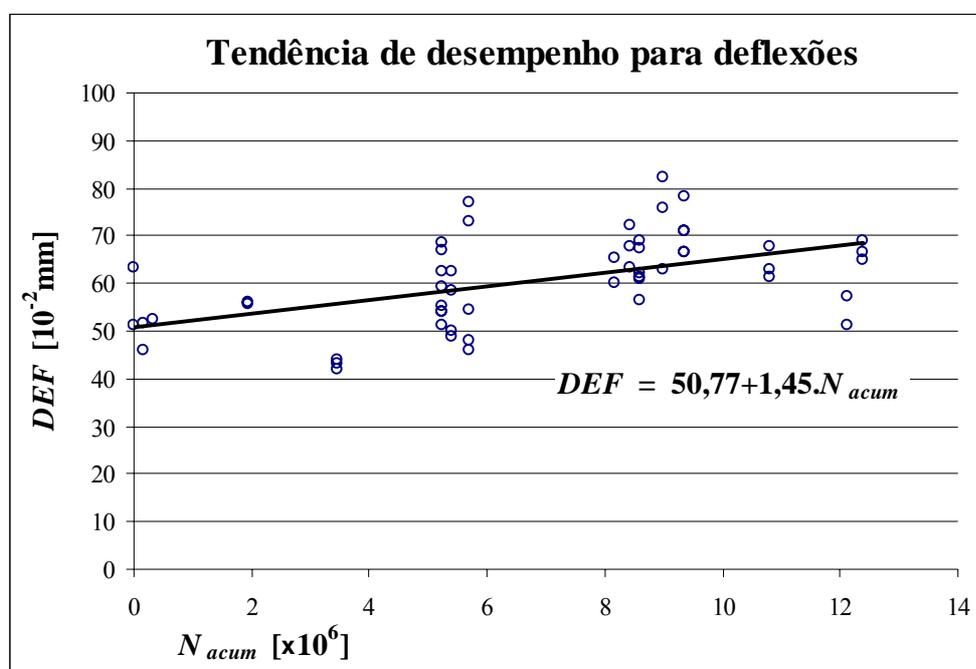


Figura 29: Evolução das deflexões com o número de solicitações, considerando todos os dados obtidos.

Tabela 9: Resultados estatísticos da relação das deflexões com o número de solicitações, considerando todos os dados obtidos.

		<i>condição</i>			<i>condição</i>
R²:	0,27	<i>rejeitado</i>	F:	3,70	<i>teste rejeitado</i>
REMQP [%]:	8,18	<i>rejeitado</i>	F crítico:	1,58	
F calculado:	19,25	<i>teste rejeitado</i>	t:	0,00	<i>teste aceito</i>
F tabelado:	4,03		t crítico:	1,66	

Realizando-se, sobre esses dados, uma análise estatística excluindo os dados espúrios, que, para esta dissertação foram considerados os dados que apresentaram diferenças entre os valores estimados e os reais superiores a dois desvios padrões, obteve-se uma melhora significativa na regressão. Com a exclusão de 7 dados dos 54 inicialmente existentes, a regressão ficou com o coeficiente de determinação bem próximo do limite definido para considerar, nesta pesquisa, como sendo uma boa correlação. Os resultados, considerando a exclusão destes dados espúrios são apresentados na figura 30 e tabela 10.

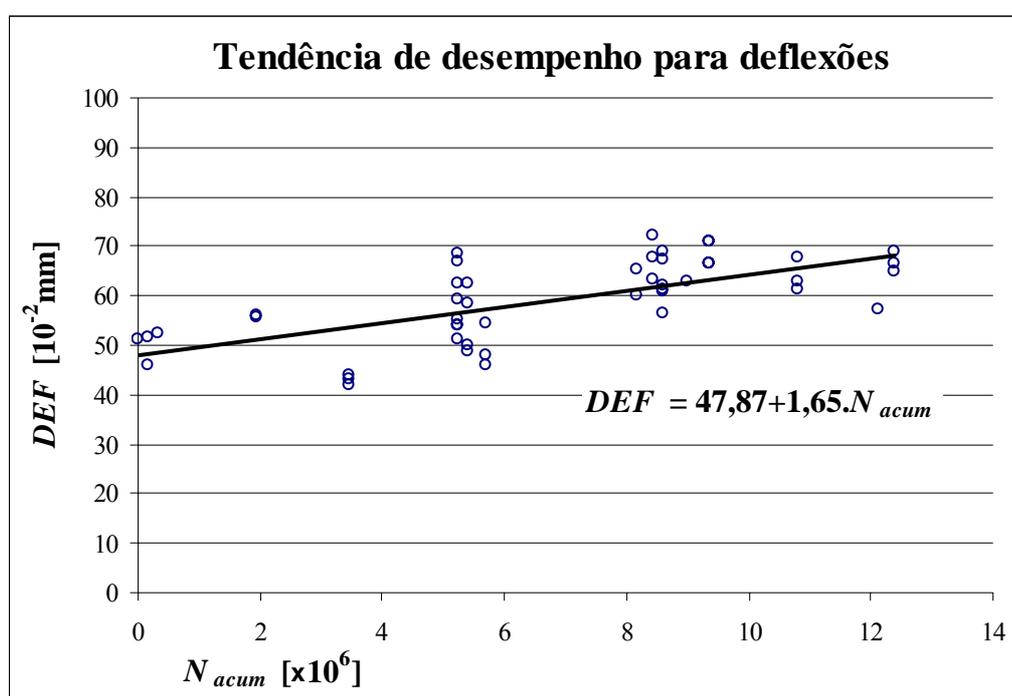


Figura 30: Evolução das deflexões com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.

Tabela 10: Resultados estatísticos da relação das deflexões com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.

		<i>condição</i>			<i>condição</i>
R²:	0,46	<i>rejeitado</i>	F:	2,19	<i>teste rejeitado</i>
REMQP [%]:	6,13	<i>aceito</i>	F crítico:	1,63	
F calculado:	37,76	<i>teste aceito</i>	t:	0,00	<i>teste aceito</i>
F tabelado:	4,06		t crítico:	1,66	

A figura 31 apresenta o *Scatterplot* dessa linha de regressão, representando a relação dos dados reais com os previstos pela linha de tendência de desempenho para deflexões, enfatizando a boa relação entre os dados.

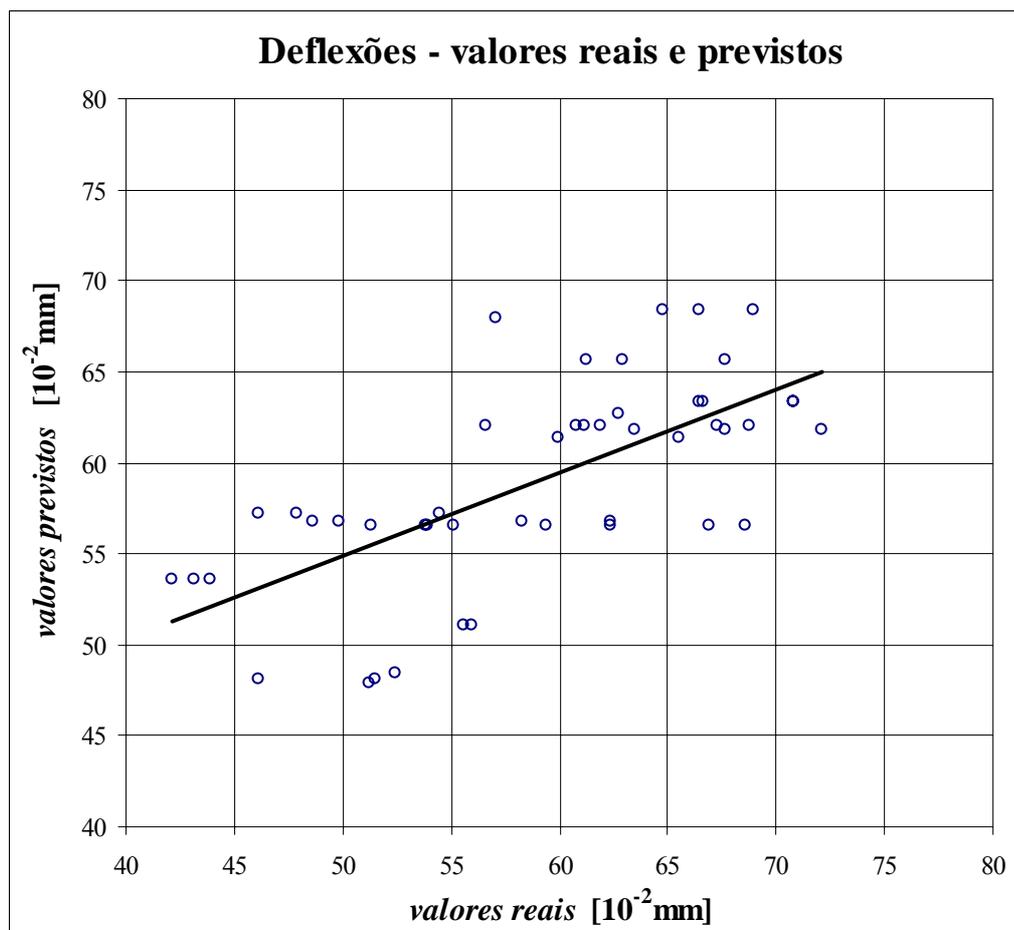


Figura 31: *Scatterplot* para a linha de tendência das deflexões.

Inserindo na análise a variável *dummy* das intervenções com remendos profundos executadas em algumas estruturas do estudo, assumindo o valor “0” nos segmentos em que não houve intervenções e “1” nos segmentos em que houve, obteve-se, de um modo geral, resultados estatísticos inferiores à regressão sem inserir a consideração das intervenções, conforme resultados apresentados na figura 32 e tabela 11, já excluindo, dessa análise, os dados espúrios (3 dados).

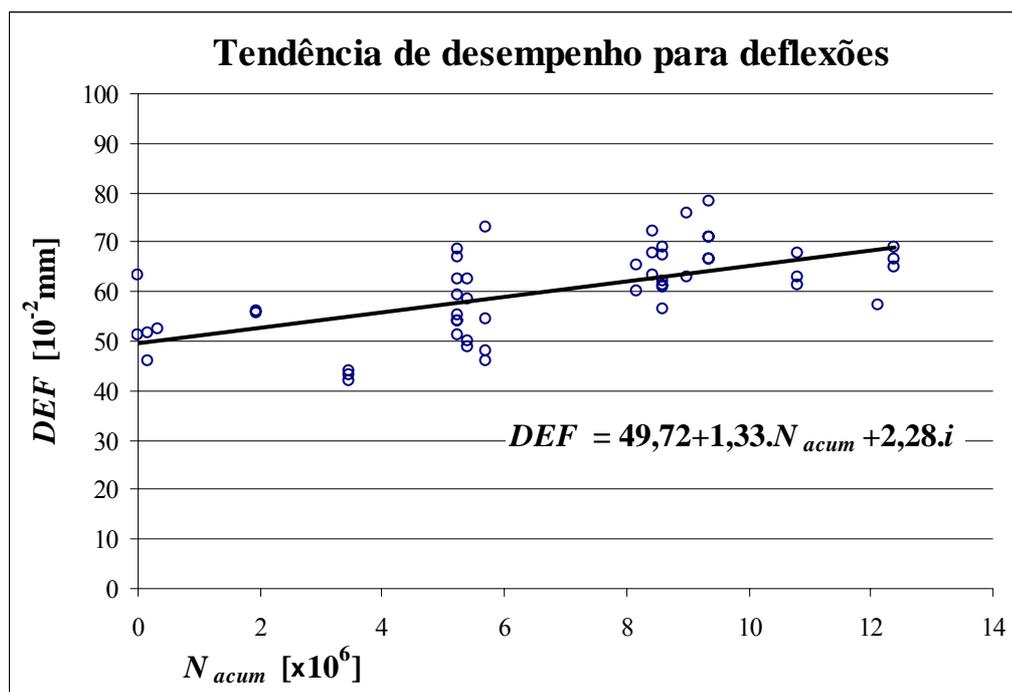


Figura 32: Evolução das deflexões com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios e considerando as intervenções nos pavimentos.

Tabela 11: Resultados estatísticos da relação das deflexões com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios e considerando as intervenções nos pavimentos.

<i>condição</i>		<i>Condição</i>	
R²:	0,37	<i>rejeitado</i>	F: 2,70
REMQP [%]:	7,17	<i>aceito</i>	F crítico: 1,60
F calculado:	14,10	<i>teste rejeitado</i>	t: 0,00
F tabelado:	3,19		t crítico: 1,66

Tais resultados elucidam a não influência direta das intervenções de conservação dos pavimentos, com remendos profundos, nas deflexões. Por não afetar as deflexões, pode-se também concluir que intervenções com remendos, para o caso estudado, não modificam as condições estruturais das estruturas de pavimento em análise.

4.3 LINHAS DE TENDÊNCIAS DE DESEMPENHO DESENVOLVIDA PARA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

Reunindo todos os dados (média por km) de irregularidade longitudinal obtidos para a estrutura em análise, nos levantamentos realizados em 2005, 2006 e 2007, em conjunto com as solicitações equivalentes de tráfego, obteve-se a regressão de tendência de desempenho para irregularidade apresenta na figura 33 com os dados estatísticos descritos na tabela 12.

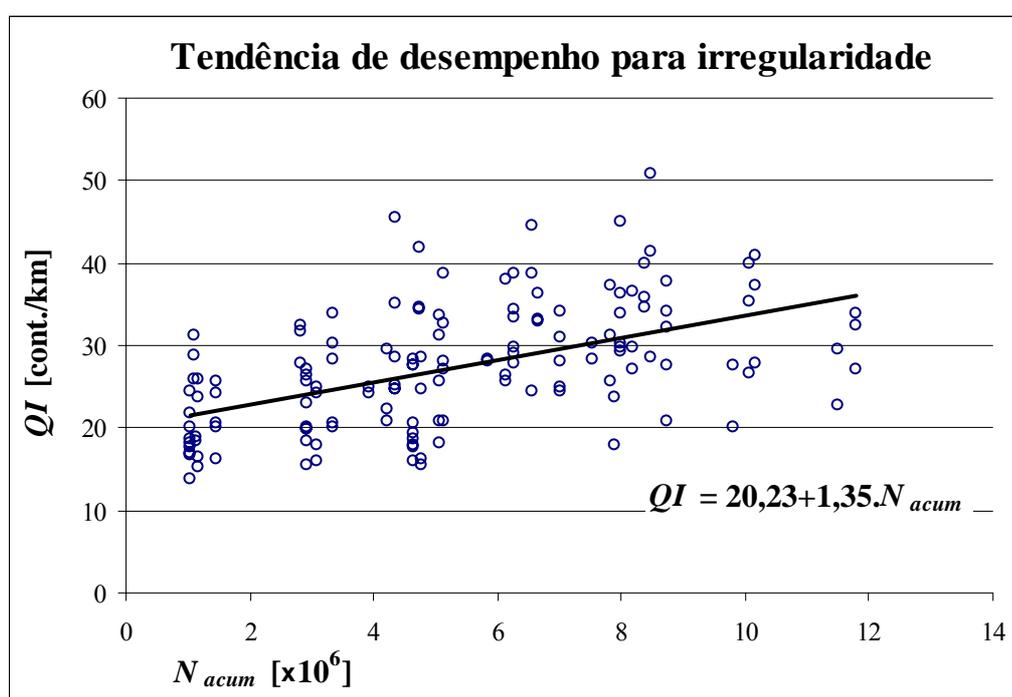


Figura 33: Evolução da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, considerando-se todos os dados.

Tabela 12: Resultados estatísticos da relação da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, considerando-se todos os dados.

		<i>condição</i>			<i>condição</i>
R²:	0,27	<i>rejeitado</i>	F:	3,75	<i>teste rejeitado</i>
REMQP [%]:	6,41	<i>aceito</i>	F crítico:	1,32	
F calculado:	51,27	<i>teste aceito</i>	T:	0,00	<i>teste aceito</i>
F tabelado:	3,91		t crítico:	1,65	

Com a exclusão dos dados espúrios (10 dados), chegou-se a uma regressão com coeficiente de determinação de 0,38, ainda aquém do estabelecido como aceitável para uma boa correlação. A figura 34 e tabela 13 apresentam esses resultados.

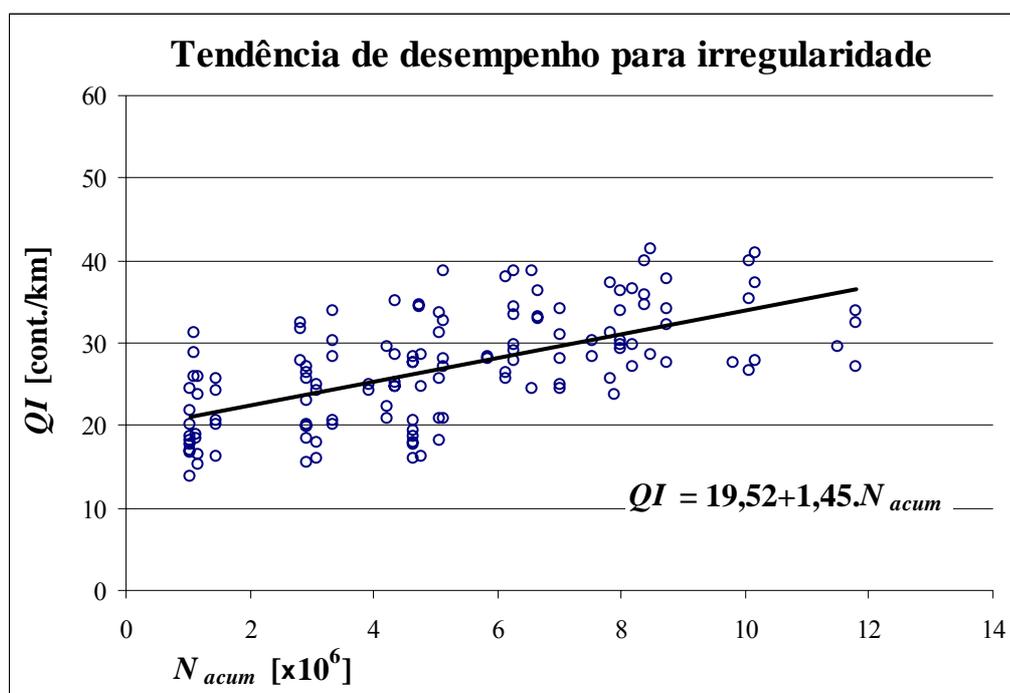


Figura 34: Evolução da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.

Tabela 13: Resultados estatísticos da relação da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.

		<i>condição</i>			<i>condição</i>
R²:	0,38	<i>rejeitado</i>	F:	2,61	<i>teste rejeitado</i>
REMQP [%]:	5,25	<i>aceito</i>	F crítico:	1,33	
F calculado:	81,48	<i>teste aceito</i>	T:	0,00	<i>teste aceito</i>
F tabelado:	3,91		t crítico:	1,65	

Considerou-se, então, a influência das intervenções na irregularidade longitudinal dos pavimentos. Já excluindo os dados considerados espúrios (14 dados), obteve-se a regressão apresentada na figura 35, com dados da análise descritos na tabela 14.

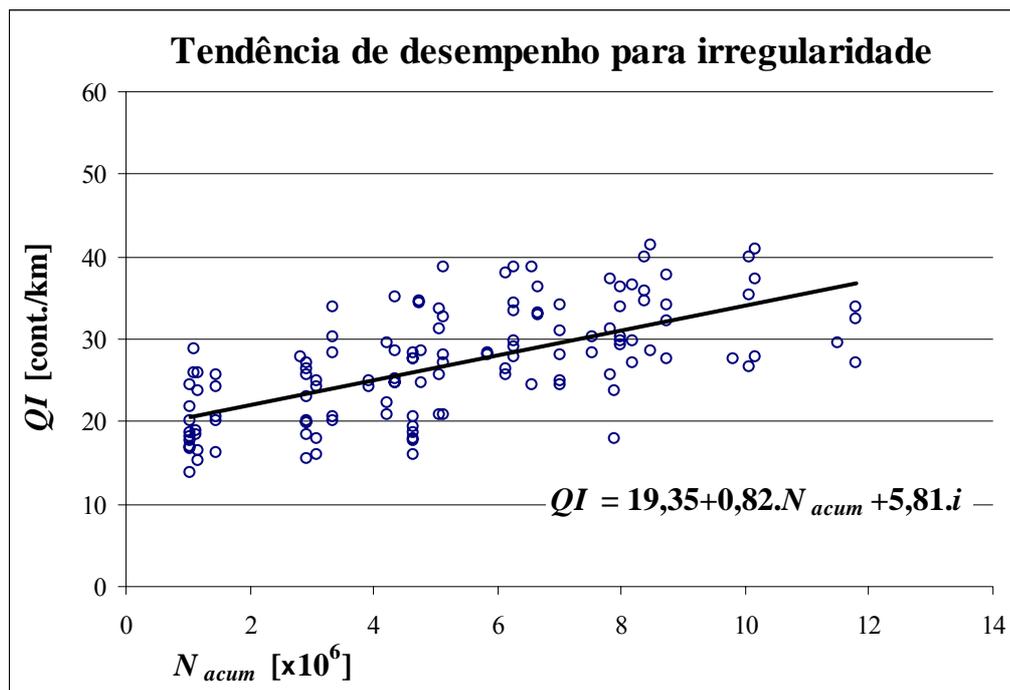


Figura 35: Evolução da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios e considerando as intervenções nos pavimentos.

Tabela 14: Resultados estatísticos da relação da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios e considerando as intervenções nos pavimentos.

<i>condição</i>		<i>Condição</i>	
R²:	0,51	F:	1,94
REMQP [%]:	4,67	F crítico:	1,34
F calculado:	66,84	t:	0,00
F tabelado:	3,07	t crítico:	1,65

Como percebe-se, a regressão melhorou significativamente, atingindo parâmetros desejáveis na análise.

A relação dos dados reais com os previstos (*Scatterplot*) pelo modelo de tendência de desempenho para irregularidade longitudinal é apresentada na figura 36.

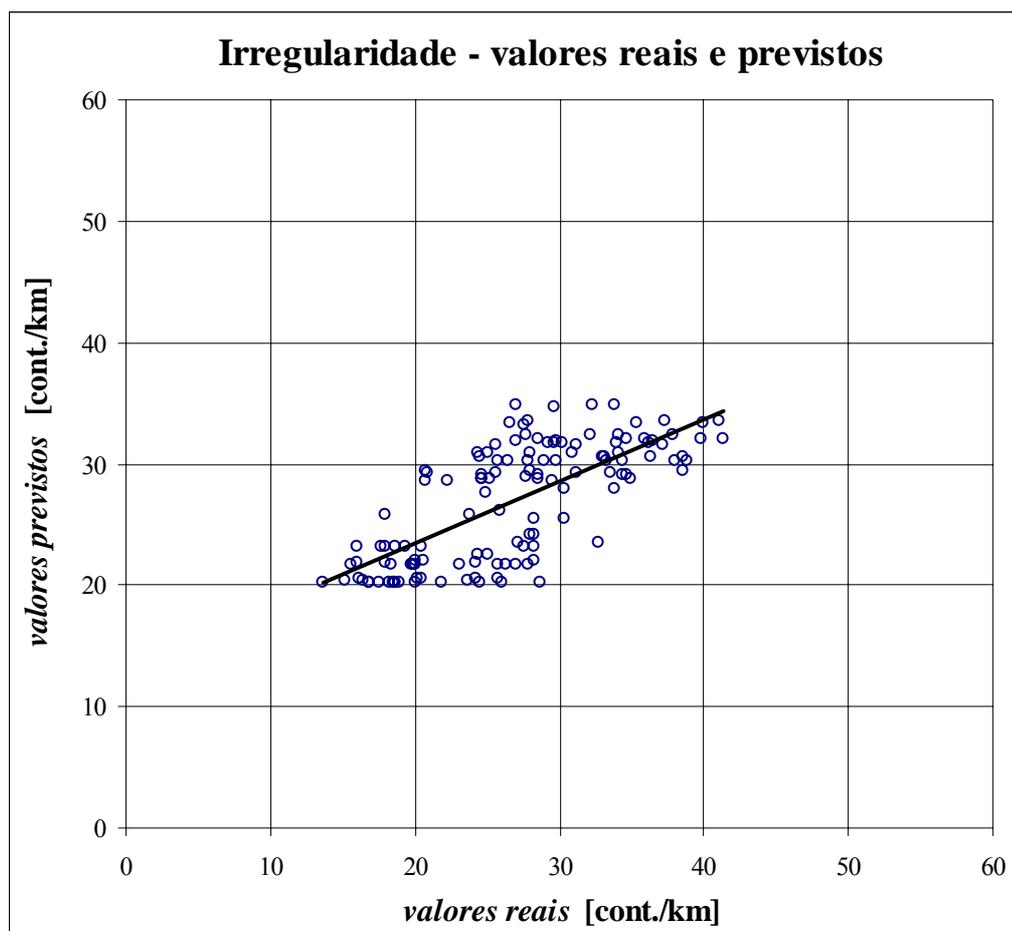


Figura 36: *Scatterplot* para a linha de tendência da irregularidade longitudinal.

No entanto, o levantamento do ano de 2007 foi realizado com um procedimento diferente dos demais, eliminando dois sensores laser. Assim, realizou-se a verificação da influência dessa variação no procedimento de ensaio. Não houve, entretanto, melhora na regressão, como pode ser observado na figura 37 e tabela 15, nos quais os dados espúrios já foram desconsiderados (6 dados).

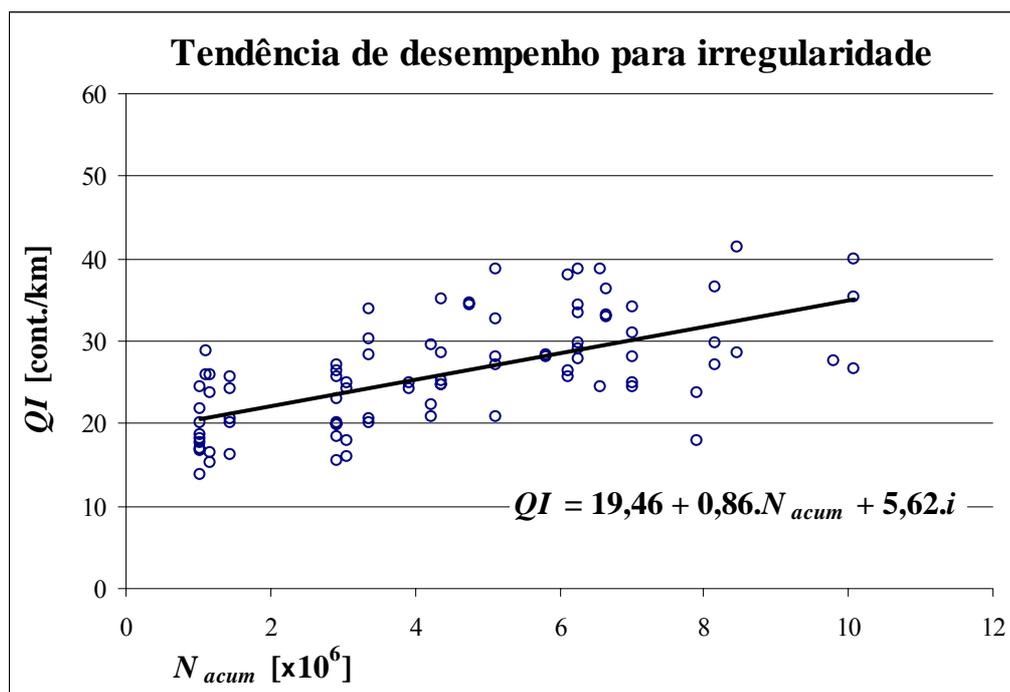


Figura 37: Evolução da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios, considerando as intervenções nos pavimentos e excluindo levantamento ocorrido em 2007.

Tabela 15: Resultados estatísticos da relação da irregularidade longitudinal com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios, considerando as intervenções nos pavimentos e excluindo levantamento ocorrido em 2007.

	<i>condição</i>		<i>Condição</i>
R²: 0,49	<i>rejeitado</i>	F: 2,05	<i>teste rejeitado</i>
REMQP [%]: 4,77	<i>aceito</i>	F crítico: 1,43	
F calculado: 40,06	<i>teste aceito</i>	t: 0,00	<i>teste aceito</i>
F tabelado: 3,11		t crítico: 1,65	

Assim verifica-se que, para a irregularidade, a redução dos sensores laser externos na barra do perfilômetro a laser não é influente nos resultados dos levantamentos, que é coerente, uma vez que a irregularidade é determinada pelos sensores laser das trilhas de roda (sensores 2 e 4 da figura 20 do capítulo 3).

4.4 LINHAS DE TENDÊNCIAS DE DESEMPENHO DESENVOLVIDAS PARA AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA

Para o afundamento de trilha de roda, elaborou-se inicialmente, em conjunto com o número equivalente de solicitações, o modelo de tendência de desempenho com todos os dados dos levantamentos de 2005, 2006 e 2007. Os resultados obtidos são apresentados na figura 38 e tabela 16.

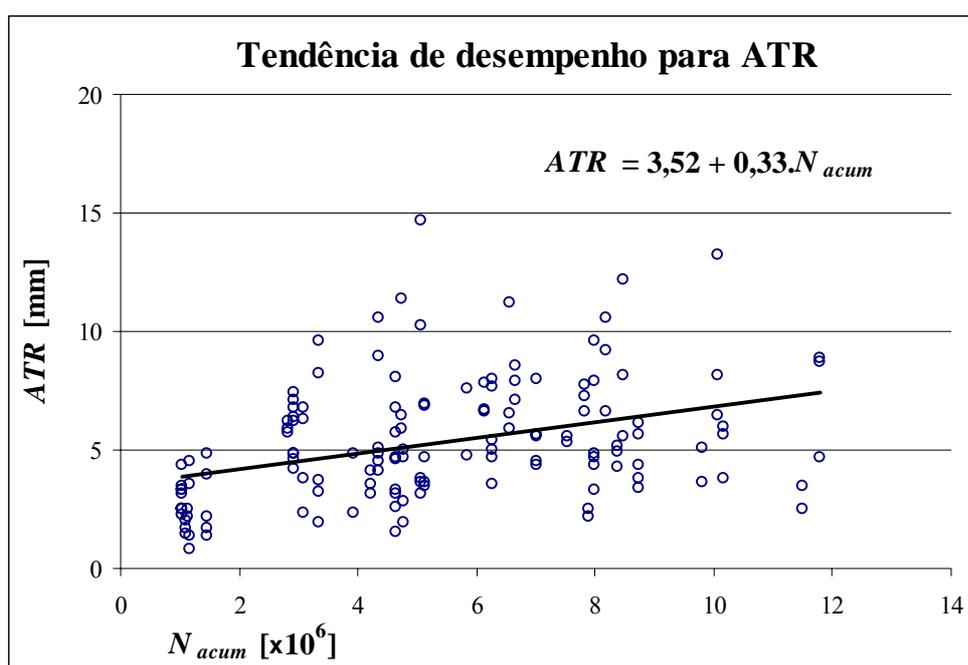


Figura 38: Evolução do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, considerando-se todos os dados.

Tabela 16: Resultados estatísticos da relação do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, considerando-se todos os dados.

		<i>condição</i>			<i>condição</i>
R²:	0,14	<i>rejeitado</i>	F:	7,31	<i>teste rejeitado</i>
REMQP [%]:	2,39	<i>aceito</i>	F crítico:	1,32	
F calculado:	22,33	<i>teste aceito</i>	t:	0,00	<i>teste aceito</i>
F tabelado:	3,91		t crítico:	1,65	

Através da exclusão estatística dos dados espúrios da análise, mesmo eliminando 19 dados, os resultados permaneceram bastante insatisfatórios, conforme ilustrado pela figura 39 e tabela 17.

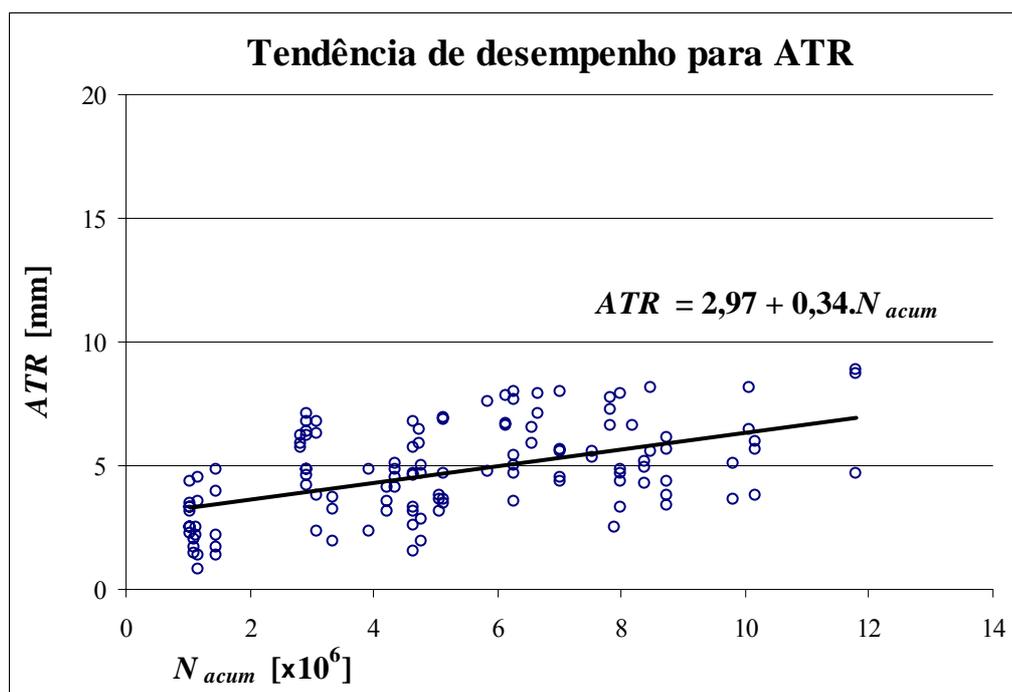


Figura 39: Evolução do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.

Tabela 17: Resultados estatísticos da relação do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios.

	<i>condição</i>		<i>condição</i>	
R²:	0,27	<i>rejeitado</i>	F:	3,69
REMQP [%]:	1,60	<i>aceito</i>	F crítico:	1,35
F calculado:	45,4	<i>teste aceito</i>	t:	0,00
F tabelado:	3,9		t crítico:	1,65

Como já destacado, no levantamento com o perfilômetro a laser realizado em 2007 eliminou-se os sensores externos, com a medição ocorrendo somente com 3 sensores, diferentemente dos realizados anteriormente, em 2005 e 2006, nos quais fez-se uso de 5 sensores. Assim,

realizando-se a análise somente com os dados de 2005 e 2006, já excluindo estatisticamente os dados espúrios (14 dados), chegou-se aos parâmetros estatísticos desejados, sendo apresentados na figura 40 e tabela 18.

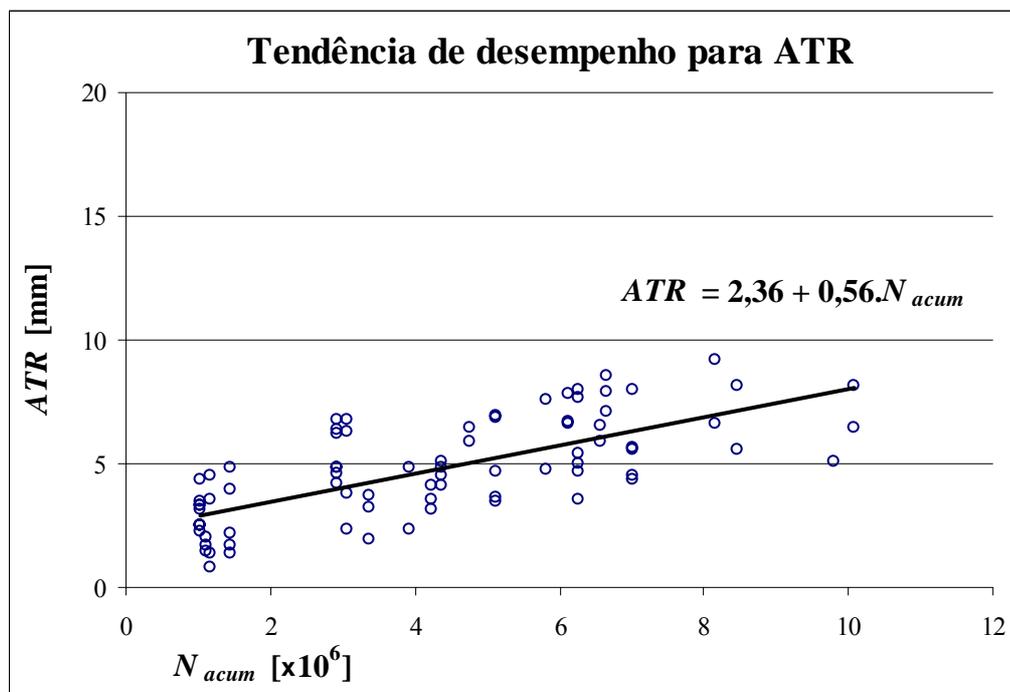


Figura 40: Evolução do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios pavimentos e excluindo levantamento ocorrido em 2007.

Tabela 18: Resultados estatísticos da relação do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios e excluindo levantamento ocorrido em 2007.

		<i>condição</i>			<i>condição</i>
R²:	0,50	<i>aceito</i>	F:	2,03	<i>teste rejeitado</i>
REMQP [%]:	1,45	<i>aceito</i>	F crítico:	1,45	
F calculado:	75,1	<i>teste aceito</i>	t:	0,00	<i>teste aceito</i>
F tabelado:	4,0		t crítico:	1,66	

A figura 41 apresenta o gráfico da relação dos dados reais com os estimado pelo modelo elaborado nesta pesquisa (*Scatterplot*) para o comportamento dos pavimentos em relação ao afundamento de trilha de roda.

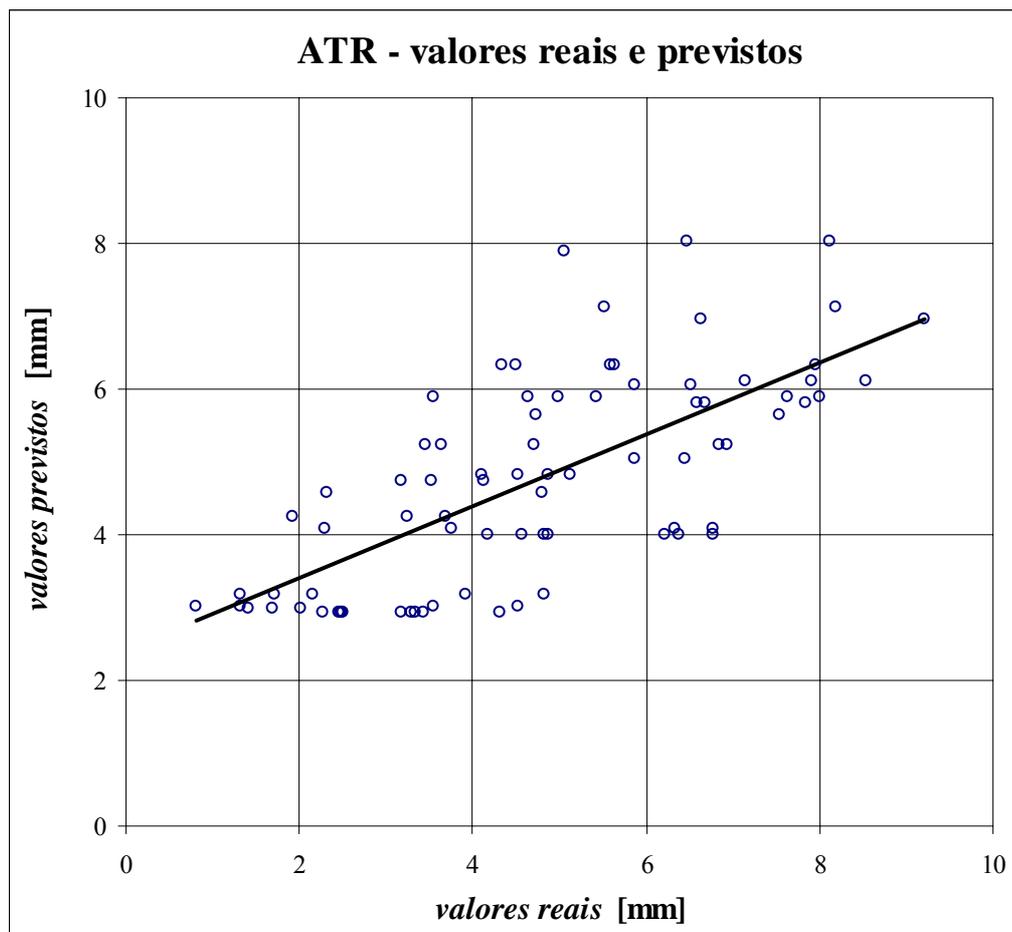


Figura 41: *Scatterplot* para a linha de tendência do afundamento de trilha de roda.

A melhora dos resultados estatísticos evidencia a influência do procedimento do levantamento nas análises. Para a medida dos afundamentos de trilha de roda, diferentemente do levantamento para irregularidade longitudinal, o uso a menos de dois sensores interfere nos resultados. Os sensores externos são realmente utilizados no cálculo da trilha de roda, comprovando a variabilidade dos cálculos das trilhas de roda quando realizados a partir do levantamento com somente o sensor central e quando há os sensores externos, possibilitando a formação de um plano virtual do pavimento para ser comparado com os afundamentos nas trilhas.

Por fim, considerou-se na análise as intervenções com remendos profundos realizadas nos pavimentos, obtendo, com a exclusão dos dados espúrios (11 dados), os resultados apresentados na figura 42 e tabela 19.

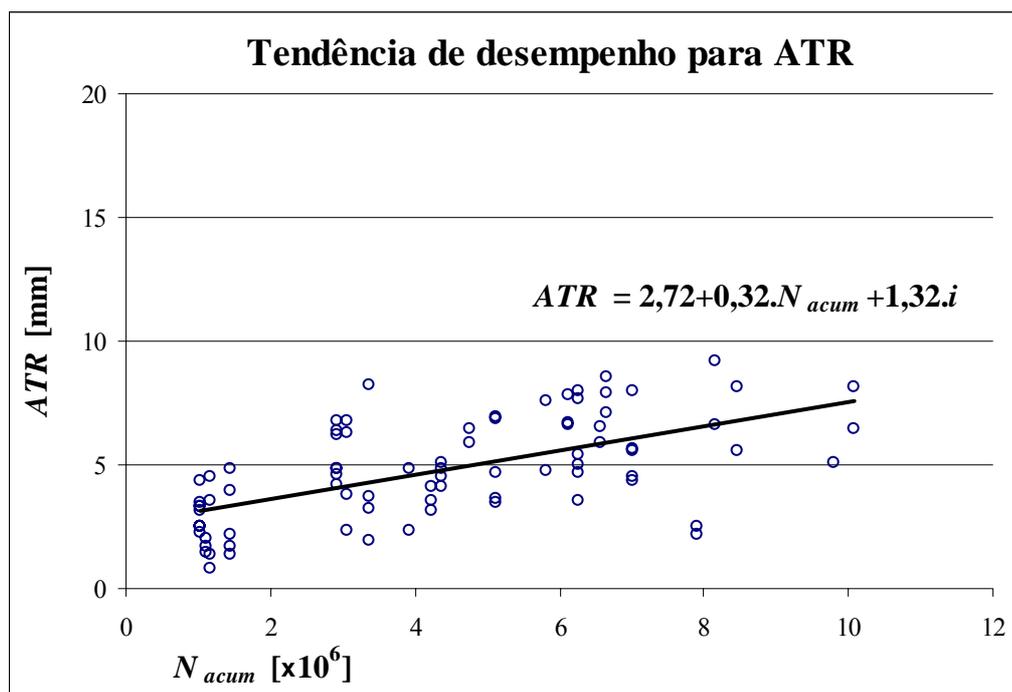


Figura 42: Evolução do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios, considerando as intervenções nos pavimentos e excluindo levantamento ocorrido em 2007.

Tabela 19: Resultados estatísticos da relação do afundamento de trilha de roda com o número de solicitações, excluindo-se os dados espúrios, considerando as intervenções nos pavimentos e excluindo levantamento ocorrido em 2007.

		<i>condição</i>			<i>Condição</i>
R²:	0,43	<i>rejeitado</i>	F:	2,33	<i>teste rejeitado</i>
REMQP [%]:	1,57	<i>aceito</i>	F crítico:	1,44	
F calculado:	29,69	<i>teste aceito</i>	t:	0,00	<i>teste aceito</i>
F tabelado:	3,11		t crítico:	1,66	

Os resultados considerando as intervenções não melhoraram os parâmetros estatísticos. Desse modo, percebe-se que os remendos profundos, realizados no trecho da BR-290/RS em análise, não modificaram os afundamentos de trilha de roda dos pavimentos. Os resultados evidenciam, assim, que os remendos realizados não têm como característica corrigir os afundamentos de trilha de roda. Conversando com técnicos da concessionária que administra a rodovia, bem como em idas a campo, compreendeu-se tal fato observando que os remendos,

por serem, na maioria, realizados somente nas trilhas de roda (remendos do tipo “apenas nas trilhas de roda”, sendo extensos, mas estreitos), acabam tendo que acompanhar as deformações transversais já existentes nos pavimentos, permanecendo os afundamentos.

4.5 COMPARAÇÃO COM MODELOS DE PREVISÃO EXISTENTES

No intuito de avaliar como se comporta as linhas de tendências de desempenho desenvolvidas em particular para a estrutura de ampliação da rodovia BR-290/RS, trecho entre as cidades de Osório e Porto Alegre, quando comparadas com modelos de previsão de desempenho já difundidos no meio técnico, apresentou-se, complementando a pesquisa, os dados e linhas obtidos neste estudo em conjunto com as linhas e curvas desses modelos.

4.5.1 Modelos existentes para deflexões

Na figura 43 é apresentada a comparação da tendência para deflexão que melhor se adequou neste estudo com os modelos desenvolvido por Marcon (1996) e Basílio (2002).

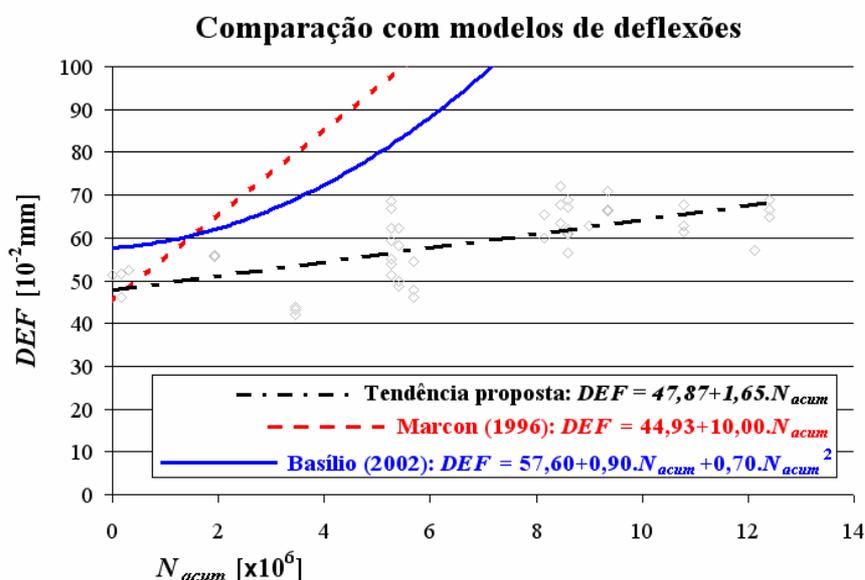


Figura 43: Comparação da linha de tendência proposta com outros modelos existentes para deflexões

As equações de Marcon (1996) e Basílio (2002) comparadas são, respectivamente, a equação 11 e a equação 18 do capítulo 3 desta dissertação, apenas deixando-as, para facilitar a comparação, com o formato semelhante ao da equação da tendência proposta.

Observa-se que nenhum dos modelos se aproximou do elaborado para as condições particulares da estrutura desta pesquisa, enfatizando a importância do desenvolvimento de modelos particulares para a rodovia administrada.

O modelo desenvolvido por Marcon (1996) possui a origem semelhante a da tendência proposta. No entanto, a deflexão evolui, no modelo de Marcon (1996), de forma muito mais acentuada com o acréscimo do número equivalente de operações. As evoluções, por sua vez, dos modelos de Marcon (1996) e Basílio (2002) são semelhantes, destacando que esse último é um modelo polinomial.

4.5.2 Modelos existentes para irregularidade longitudinal

Realizou-se também as comparações da tendência de desempenho para irregularidade longitudinal desenvolvida para esta pesquisa com os modelos de previsão desenvolvidos por Paterson (1987), Marcon (1996) e Basílio (2002), sendo tais comparações apresentadas na figura 44.

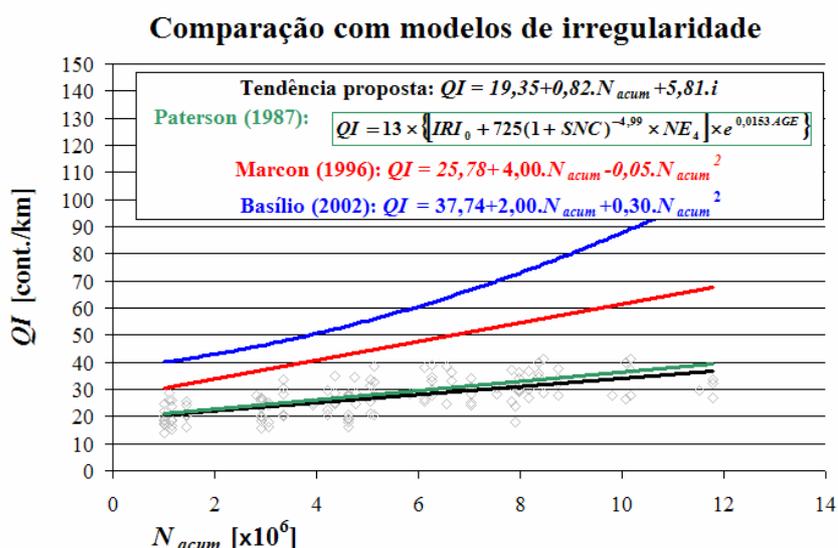


Figura 44: Comparação da linha de tendência proposta com outros modelos existentes para irregularidade

As equações da figura 44 são as descritas no capítulo 3, quando citados os modelos de Paterson (equação 7), Marcon (equação 13) e Basílio (equação 19), sendo as equações dos dois últimos deixadas com o formato semelhante ao da equação da tendência proposta.

Para o modelo de Paterson (1987), assumiu-se o IRI inicial como sendo de 1,5m/km (19,5cont./km), a partir dos dados reais deste estudo, e o número estrutural corrigido (SNC) como sendo igual a 4,9, estimando-se os parâmetros de Módulo de Resiliência e ISC dos materiais da estrutura em análise.

Conforme observa-se na figura 44, o modelo de Paterson (1987) teve um comportamento bastante semelhante ao proposto na pesquisa. Enquanto que os modelos de Marcon (1996) e Basílio (2002) apresentaram resultados bem diferentes desta pesquisa.

4.5.3 Modelos existentes para afundamento de trilha de roda

Do mesmo modo que realizado para as deflexões e para a irregularidade longitudinal, efetuou-se comparações da tendência proposta para a evolução do afundamento de trilha de roda com os modelos já desenvolvidos para esse parâmetro. A figura 45 apresenta as comparações com os modelos de Marcon (1996) e Basílio (2002). Ambos modelos são similares ao proposto nesta dissertação, sendo lineares em função somente do número equivalente de operações.

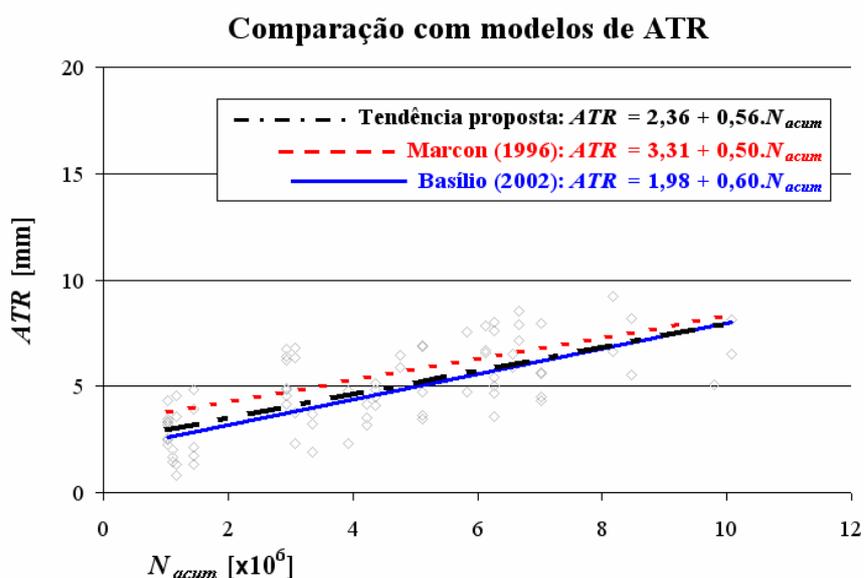


Figura 45: Comparação da linha de tendência proposta com outros modelos existentes para afundamento de trilha de roda

As equações de Marcon (1996) e Basílio (2002) para a evolução do afundamento de trilha de roda apresentadas na figura 45 são, respectivamente, a equação 15 e a equação 20 do capítulo 3 com o formato alterado para ficarem mais semelhantes com a apresentada na tendência proposta.

Percebe-se, com as comparações realizadas, que os modelos de Marcon (1996) e Basílio (2002) seguem a mesma tendência de evolução da proposta neste estudo, principalmente o desenvolvido por Basílio (2002), pois possui um ATR inicial (1,98mm) bem semelhante ao desta pesquisa (2,36mm).

4.6 SÍNTESE DO CAPÍTULO

No presente capítulo, apresentou-se as tendências de desempenho propostas para a estrutura de pavimento da ampliação de trecho da rodovia BR-290/RS. A tabela 20 descreve os levantamentos considerados na análise deste estudo.

Tabela 20: Resumo dos levantamentos considerados nesta pesquisa.

PARÂMETRO	EQUIPAMENTO	PERÍODO DO LEVANTAMENTO		
deflexões	FWD	out-dez/2007		
irregularidade longitudinal	perfilômetro a laser	abr/2005 (5 sensores)	jun/2006 (5 sensores)	jun/2007 (3 sensores)
afundamento de trilha de roda				

Relacionando os dados desses levantamentos com o número equivalente de solicitações exercidas sobre os pavimentos desde a sua construção até o período do levantamento, obteve-se correlações lineares representativas das condições dos pavimentos. A tabela 21 apresenta os dados estatísticos dos melhores ajustes realizados para cada parâmetro, sendo as melhores regressões propostas para descrever a tendência de desempenho da estrutura de pavimento em análise.

Tabela 21: Resumo dos melhores ajustes das linhas de tendências de desempenho propostas nesta dissertação.

PARÂMETRO						
deflexões		irregularidade longitudinal		afundamento de trilha de roda		
equação proposta:	$DEF = 47,87 + 1,65.N_{acum}$	$QI = 19,35 + 0,82.N_{acum} + 5,81.i$		$ATR = 2,36 + 0,56.N_{acum}$		
observação:		$i = 0$, segmento sem intervenção $i = 1$, segmento com intervenção			sem considerar levantamento de ATR de 2007 (3 sensores)	
		<i>condição</i>		<i>Condição</i>		<i>condição</i>
R²:	0,46	<i>rejeitado</i>	0,51	<i>Aceito</i>	0,50	<i>aceito</i>
REMQP [%]:	6,13	<i>aceito</i>	4,67	<i>Aceito</i>	1,45	<i>aceito</i>
F calculado:	37,76		66,84		75,10	
F tabelado:	4,06	<i>teste aceito</i>	3,07	<i>teste aceito</i>	4,00	<i>teste aceito</i>
F:	2,19		1,94		2,03	
F crítico:	1,63	<i>teste rejeitado</i>	1,34	<i>teste rejeitado</i>	1,45	<i>teste rejeitado</i>
t:	0,00		0,00		0,00	
t crítico:	1,66	<i>teste aceito</i>	1,65	<i>teste aceito</i>	1,66	<i>teste aceito</i>

Considerando uma linha de tendência representativa das condições dos pavimentos aquelas estimativas que apresentassem ao menos 4 critérios de avaliações aceitos (dos 5 propostos), apenas para o parâmetro de deflexões o objetivo não foi atingido. No entanto, o coeficiente de determinação para a relação das deflexões, embora não aceito, ficou bem próximo do limite estabelecido.

Os coeficientes de determinação obtidos da análise podem, em um primeiro julgamento, ser considerados baixos estatisticamente. No entanto, quando se trabalha com modelos de

gerência de pavimentos, a referência bibliográfica mostra que valores mais altos são de difícil obtenção.

Por último, foram apresentadas comparações com modelos de previsão de desempenho já desenvolvidos em outros estudos, sendo o resumo das comparações encontrado na tabela 22.

Tabela 22: Resumo das comparações das tendências propostas com modelos desenvolvidos em outros estudos.

PARÂMETRO	MODELOS COMPARADOS	MODELO QUE MELHOR SE AJUSTOU À TENDÊNCIA PROPOSTA
deflexões	Marcon (1996); Basílio (2002)	<i>nenhum</i>
irregularidade longitudinal	Paterson (1987); Marcon (1996); Basílio (2002)	Paterson (1987)
afundamento de trilha de roda	Marcon (1996); Basílio (2002)	Basílio (2002)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados, foi possível identificar algumas conclusões, levando em consideração os objetivos principais deste trabalho. As mesmas estão descritas neste capítulo, e, após, são apresentadas algumas sugestões para futuras pesquisas relacionadas ao tema proposto.

5.1 CONCLUSÕES

Os resultados desta dissertação permitiram a elaboração de linhas de tendências de desempenho de acordo com as condições da rodovia, possibilitando um eficaz gerenciamento dos pavimentos. A seguir, estão descritas as principais conclusões obtidas no estudo.

- A reunião de todos os dados do banco de dados fornecido pela concessionária que administra a rodovia no trecho em análise possibilitou estimar tendências particulares para o pavimento, fato esse essencial na gerência de pavimentos, em que muitas vezes assume-se modelos genéricos de previsão de desempenho, elaborados para condições dos pavimentos diferentes do administrado;
- A partir também do conjunto de dados do histórico da construção dos pavimentos da rodovia, definiu-se o volume de tráfego aos quais os pavimentos foram solicitados e, a partir desses dados, formulou-se tendências de comportamento de desempenho para deflexões, irregularidade longitudinal e afundamento de trilha de roda;
- Para cada parâmetro, realizaram-se análises estatísticas, que se mostraram adequadas com a exclusão de dados não representativos (denominados de dados espúrios), considerados, nesta dissertação, aqueles que possuísem diferença entre o valor real e o estimado superior a duas vezes o desvio padrão da amostra. Houve, seguindo esse procedimento de exclusão de dados não significativos, a melhora significativa dos coeficientes de determinação das regressões lineares propostas;

- No que se refere às deflexões, as intervenções ocorridas na rodovia, com remendos profundos, não mostraram influência na variação do desempenho dos pavimentos analisados;
- Para a irregularidade longitudinal, as intervenções realizadas com remendos profundos influenciaram diretamente na variação do parâmetro QI com a evolução do tráfego, representado pelo número equivalente de operações;
- As intervenções com remendos profundos não acarretaram em variações do afundamento de trilha de roda, em função principalmente das configurações dos remendos típicos executados na rodovia, que caracterizam-se por serem realizados, na grande maioria, apenas nas trilhas de rodas, sendo extensos a ponto de corrigir a irregularidade, mas, por serem apenas nas trilhas, acompanham a deformação transversal da pista, não corrigindo por completo as deformações permanentes das trilhas. Para o afundamento de trilha de rodas os remendos executados não são eficazes.
- A diferenciação do procedimento do ensaio com o perfilômetro a laser, medindo irregularidade longitudinal e afundamento de trilha de roda, passando de 5 para 3 sensores a laser foram determinantes no acompanhamento da variação do ATR, por utilizar, no cálculo do parâmetro, os dados dos 5 sensores, enquanto para a variação do QI tal mudança de procedimento não afetou os resultados, até mesmo pelo fato desse parâmetro ser obtido pelas leituras apenas dos sensores das trilhas.
- Para os parâmetros considerados no estudo, apenas para a linha de tendência de deflexões não foi atingido o objetivo de critérios de aprovação estabelecido na pesquisa, mesmo assim, a linha proposta obteve parâmetros estatísticos satisfatórios (próximos dos limites de aceitação), podendo considerá-la como representativa das condições dos pavimentos.
- Ainda em relação às considerações estatísticas, o Teste da Estatística F se mostrou não útil para esta análise, visto que em todas as condições a regressão não foi aceita por esse teste.

- A tendência de deflexões obtida no estudo não apresentou comportamento similar a nenhum dos modelos já difundidos em estudos anteriores, evidenciando a importância do desenvolvimento de modelos particulares para cada rodovia e estrutura.
- Para a irregularidade, a tendência apresentada no estudo comportou-se significativamente semelhante a do modelo desenvolvido por Paterson (1987).
- Em relação ao afundamento de trilha de roda, o modelo proposto nesta pesquisa, apresentou significativa semelhança com os desenvolvidos por Marcon (1996) e Basílio (2002).
- Todos os modelos desenvolvidos apresentaram uma nítida tendência do desempenho da estrutura analisada, sendo indicado o uso dos mesmos como ferramenta de auxílio para a gestão da malha viária. A confiabilidade dos dados reunidos (estrutura, idade, intervenções ocorridas, tráfego, procedimento adotado nos levantamentos) foi determinante para a elaboração dos modelos propostos.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dentro do escopo deste estudo, diversos temas relacionados podem servir de base para novos trabalhos. Além disso, uma série de complementos para esta mesma linha de pesquisa é sugerida, de acordo com os tópicos a seguir.

- Estabelecimento de proposições não lineares de tendências de desempenho da estrutura de pavimento analisada para os parâmetros de deflexões, irregularidade longitudinal e afundamento de trilha de roda;
- Elaboração de linhas de tendência de desempenho para outros parâmetros, tais como porcentagem de trincamento e resistência à derrapagem;
- Retroalimentação contínua do banco de dados, com inserção de novos levantamentos ocorridos no trecho do estudo, verificando possíveis ajustes das linhas de tendências propostas;
- Verificação do comportamento das linhas propostas em outras rodovias da região que tenham estruturas semelhantes a do estudo;

- Apresentação de linhas de tendências similares às propostas nesta dissertação para outras estruturas de pavimentos da rodovia em estudo;
- Inserção, nas linhas de tendências, de outras variáveis, como número estrutural, tráfego após as intervenções, caso tenham sido executadas, e fatores climáticos, por exemplo;
- Consideração de equações relacionando os parâmetros de desempenho estruturais, funcionais e comportamentais dos pavimentos entre si, avaliando as variações com a evolução do tráfego;
- Comparação das linhas propostas nesta dissertação com as evoluções dos parâmetros de desempenho obtidas por ensaios acelerados com simulador de tráfego (sobre a estrutura do estudo) e por ensaios laboratoriais.

REFERÊNCIAS

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

AASHTO. **Guidelines for Pavement Management Systems**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DCC/USA, 1990.

AASHTO. **Pavement Management Guide**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DCC/USA, 2001.

ALBUQUERQUE, F. S. **Sistema de Gerência de Pavimentos para Departamentos de Estradas do Nordeste Brasileiro**. Tese de doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2007. 128p.

BARELLA, R.M. **Contribuição para a Avaliação da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Perfilômetros Inerciais**. Tese de doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, 2008. 362 p.

BASÍLIO, R. **Análise do Comportamento de Pavimentos de Rodovias Estaduais de Goiás – Estudo de Caso**. 2002. 1987 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BENEVIDES, S. A. S. E. **Modelos de Desempenho de Pavimentos Asfálticos para um Sistema de Gestão de Rodovias Estaduais do Ceará**. 2006. 381 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Petrobrás / ABEDA. Rio de Janeiro - RJ, 2006. 501 p.

BOLIVAR, O. G., ACHÚTEGUI, F. **Development of Tools for PMS in Spanish State Road Network**, 4th International Congress on Managing Pavement, Africa do Sul, CD-ROM, 1998.

CARDOSO, S. H. **Gerência de Pavimentos em Vias Urbanas**. In: 28ª Reunião Anual de Pavimentação, 28ª RAPv, 5, Anais... Associação Brasileira de Pavimentação, Natal - RN, 1994.

CASAGRANDE, F. L. **Estudo da Influência do Teor de Finos na Condutividade Hidráulica e Deformidade Elástica de Brita**. Dissertação de Mestrado, PPGEC/UFRGS. Porto Alegre, RS, 2003.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Boletim Estatístico CNT 2007**. Confederação Nacional do Transporte – CNT, Brasília – DF, 2007. Disponível na Web em: <http://www.cnt.org.br/>. Consultado em Junho de 2008.

CUNHA, C. B. **Estado da Arte e Perspectivas de Pesquisa em Sistemas de Gerência de Pavimentos e Modelos de Simulação do Transporte em Rodovias**. Publicação IPT 1790, São Paulo - SP, 1989

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Guia de Gerência de Pavimentos**. IPR. Rio de Janeiro - RJ, 1983.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Medição da Irregularidade de Superfície de Pavimento com Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter**. DNER-PRO 182/94. Rio de Janeiro - RJ, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**. DNER-PRO 159/85, Rio de Janeiro – RJ, 1985.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Procedimento**. DNIT 006/2003 – PRO. Rio de Janeiro - RJ, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. Rio de Janeiro - RJ, 2005.

DOMINGUES, F. A. A. **MID - Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos**. São Paulo - SP, 96 p, 1993.

DOMINGUES, F. A. A. **Mirr Equipamento para Medição da Irregularidade dos pavimentos**. São Paulo - SP, 70 p, 1999.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Pavement Management Systems**. Disponível em: <http://www.nhi.fhwa.dot.gov/crsmaterial.asp?courseno=FHWA-HNI-131035>. Acesso em: 15/01/2006.

FERNANDES, J. J. L. **Considerações sobre a Importância de Treinamento e Pesquisa para Implantação de Sistemas de Gerência de Pavimentos**, 30º Reunião Anual de Pavimentação, Volume 4, p. 2115-2125, Salvador - BA, 1996.

FERNANDES, J. J. L. **Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos para Cidades de Médio Porte**. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos - SP, 2001.

GRIVAS, D. A., SCHULTZ, B. C. **Condition-Based Treatment Recommendation for Project-level Pavement Management**. Transportation Research Record 1397 – Transportation Research Board, p. 112-119, Washington-DC/USA, 1993.

HAAS, R. *et al.* **Modern Pavement Management**. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida/USA, 1994. 583p.

HAAS, R.; HUDSON, W. R. **Pavement Management System**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1978. 457p.

HDM-4. **Volume 4 – Analytical Framework & Model Descriptions: Part C – Road Deterioration Models**. International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), The World Bank, Washington, USA, 2000.

HUDSON, W. R, HAAS, R, PEDIGO, R. D. **Pavement Management System Development**. National Cooperative Highway Research Program Report 215 – Transportation Research Board, Washington-DC/USA, 32p, 1979.

IPR-720. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. MT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Brasília – DF, 2006.

LERCH, R. L. **Previsão de Irregularidade Pós-recapê em Rodovias do RS: Ajuste do Modelo HDM-4**. 2003. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MARCON, A. F. **Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**. 1996. Tese (Doutorado em Infra-Estrutura Aeronáutica), Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos – SP, Brasil.

NAKAHARA, S. M. **Estudo de Desempenho de Reforços de Pavimentos Asfálticos em Vias Sujeita a Tráfego Comercial Pesado**. Tese de doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, 2005. 312 p.

NUÑEZ, M. M. SHAHIN, M. Y. **Pavement Condition Data Analysis and Modeling**. Transportation Research Record 1070, Transportation Research Board, p. 125-132, Washington-DC, USA, 1986.

PATERSON, W. D. O. **Road Deterioration and Maintenance Effects**. World Bank Publications, Washington-DC, USA, 1987.

PEDROSA, A. B dos S. O. **Calibração de Modelos de Previsão de Desempenho da AASHTO com Base na Pesquisa FHWA-LTPP**. 2002. Dissertação (Mestrado em Infra-Estrutura Aeronáutica), Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos – SP, Brasil.

PEREIRA, D. R. AL-CHUEYR M. **Contribuição ao Estudo dos Fatores de Equivalência de Cargas**. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia). EPUSP, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.

PROGRAMA DE EXPLORAÇÃO DA RODOVIA (PER) – Revisão nº 15. Concessionária da Rodovia Osório – Porto Alegre S/A. Porto Alegre - RS, 2005.

PROGRAMA DE EXPLORAÇÃO DA RODOVIA (PER). Engenharia, consultoria e economia S/A. Rio de Janeiro - RJ, 1994.

QUEIROZ, C. A. V. **Performance Prediction Models for Pavement Management in Brazil**. Dissertation for the Degree of Philosophy Doctor, University of Texas, Austin – Texas, USA. 317 p. 1981.

QUEIROZ, C. A. V. **Modelos de Previsão do Desempenho de Pavimento: Desenvolvimento e Aplicação**. Publicação 692/50, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro - RJ, 66 p. 1982.

QUEIROZ, C. A. V., HUDSON, W. R., HAAS, R. **A Standardization of Pavement Management Systems in Brazil and other Developing Countries**. Transportation Research Record 1344, Transportation Research Board, p. 31-37, Washington-DC/USA, 1992.

QUEIROZ, C. A. V. **Modelos de Previsão do Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil**. Ministério dos Transportes – Empresa Brasileira de planejamento de Transportes (GEIPOT), Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), Brasília - DF, 1984.

RAUHUT, J. B.; GENDELL, D. S. **Proposed Development of Pavement Performance Prediction Models from SHTP/LTTP Data**. Second North American Conference on Managing Pavements, Toronto, Canadá, 1987.

RODRIGUES, R. M. **Gerência de Pavimentos**. Apostilas da Disciplina de Gerência de Pavimentos. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. São Carlos – SP, 2003.

ROHDE, Luciana. **Estudo de Misturas Asfálticas de Módulo Elevado para Camadas Estruturais de Pavimentos**. Tese de Doutorado, PPGEC/UFRGS. Porto Alegre, RS, 2007.

SCHLIESSLER, A.; BULL, A. **Seminário Internacional sobre Gerência e Conservação Rodoviária**. CEPAL / ANEOR / ABDER. Curitiba - PR, 1992.

SHAHIN, M. Y. **Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots**. New York, USA, Ed. Chapman & Hall, 223 p., 1994.

SHAHIN, M. Y, *et al.* **Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets and Parking Lot**. CERL-TR-M-268, U.S.Army, vol. 1 e 2, 1979.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**, Schaum McGraw-Hill, 3ª Edição, 1994.

VILLELA, A. R. A. **Análise da Base de Banco de Dados de um Grupo de Rodovias para Aplicação em Projetos de Reabilitação**. Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis - SC, 270 p. 1999.

VISCONTI, T. S. **O Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Divisão de Apoio Tecnológico, Brasil, 84 p, 2000. Disponível na Web em: <http://fec.unicamp.br/~zuffo/>. Consultado em Janeiro de 2007.

WATANATADA, T., HARRAL, C. G., PATERSON, W. D. O., DHARESHWAR, A. M., BHANDARI, A., TSUNOKAWA, K. **The Highway Design and Maintenance Standards Model – Volume 1: Description of the HDM-III Model**. World Bank Publications, Washington D.C., USA, 1987. Disponível na Web em: <http://worldbank.org>. Consultado em fevereiro de 2008.

YSHIBA, J. K. **Modelo de Desempenho de Pavimentos: Estudo de Rodovias do Estado do Paraná**. 2003. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - SP.

APÊNDICE A – ANÁLISES ESTATÍSTICAS

DEFLEXÕES

ANÁLISE ESTATÍSTICA

$$y=a+b.x$$

a: 50,8

b: 1,45

F calculado: 19,2

F tabelado: 4,0

teste rejeitado

nº de dados: 54

dados espúrios: -

F: 3,70

F crítico: 1,58

teste rejeitado

R²: 0,27

rejeitado

t: 0,00

REMOP [%]: 8,18

rejeitado

t crítico: 1,66

teste aceito

dado	Pista	período do levantamento	km		Deflexões [10 ⁻² mm]	N (x10 ⁶)	período da construção	intervenções	Deflexões [10 ⁻² mm]
1	PN	out/07	2,00	3,00	54	5,25	out/04	0	58
2	PN	out/07	3,00	4,00	51	5,25	out/04	0	58
3	PN	out/07	4,00	5,00	59	5,25	out/04	0	58
4	PN	out/07	5,00	6,00	62	5,25	out/04	0	58
5	PN	out/07	6,00	7,00	69	5,25	out/04	0	58
6	PN	out/07	7,00	8,00	54	5,25	out/04	0	58
7	PN	out/07	8,00	9,00	55	5,25	out/04	0	58
8	PN	out/07	9,00	10,00	67	5,25	out/04	1	58
9	PN	out/07	10,00	11,00	73	5,68	jul/04	1	59
10	PN	out/07	11,00	12,00	77	5,68	jul/04	1	59
11	PN	out/07	12,00	13,00	46	5,68	jul/04	1	59
12	PN	out/07	13,00	14,00	48	5,68	jul/04	1	59
13	PN	out/07	14,00	15,00	54	5,68	jul/04	1	59
14	PN	out/07	15,00	16,00	62	5,40	set/04	1	59
15	PN	out/07	16,00	17,00	58	5,40	set/04	1	59
16	PN	out/07	17,00	18,00	49	5,40	set/04	1	59
17	PN	out/07	18,00	19,00	50	5,40	set/04	1	59
18	PN	out/07	20,00	21,00	68	8,45	nov/02	1	63
19	PN	out/07	21,00	22,00	63	8,45	nov/02	1	63
20	PN	out/07	22,00	23,00	72	8,45	nov/02	1	63
21	PN	out/07	30,00	31,00	51	12,13	set/00	1	68
22	PN	out/07	31,00	32,00	57	12,13	set/00	1	68
23	PN	out/07	40,00	41,00	78	9,35	abr/02	1	64
24	PN	out/07	41,00	42,00	71	9,35	abr/02	1	64
25	PN	out/07	42,00	43,00	66	9,35	abr/02	1	64
26	PN	out/07	43,00	44,00	67	9,35	abr/02	1	64
27	PN	out/07	44,00	45,00	71	9,35	abr/02	1	64
28	PN	out/07	46,00	47,00	65	8,16	jan/03	0	63
29	PN	out/07	47,00	48,00	60	8,16	jan/03	0	63
30	PN	out/07	55,00	56,00	82	8,99	jul/02	1	64
31	PN	out/07	56,00	57,00	76	8,99	jul/02	1	64
32	PN	out/07	57,00	58,00	63	8,99	jul/02	1	64
33	PN	out/07	58,00	59,00	69	8,59	out/02	1	63
34	PN	out/07	59,00	60,00	67	8,59	out/02	1	63
35	PN	out/07	60,00	61,00	61	8,59	out/02	1	63
36	PN	out/07	61,00	62,00	62	8,59	out/02	1	63
37	PN	out/07	62,00	63,00	57	8,59	out/02	1	63
38	PN	out/07	63,00	64,00	61	8,59	out/02	1	63
39	PN	out/07	64,00	65,00	63	10,79	jun/01	1	66
40	PN	out/07	65,00	66,00	68	10,79	jun/01	1	66
41	PN	out/07	66,00	67,00	61	10,79	jun/01	1	66
42	PN	out/07	67,00	68,00	66	12,40	jul/00	1	69
43	PN	out/07	68,00	69,00	65	12,40	jul/00	1	69
44	PN	out/07	69,00	70,00	69	12,40	jul/00	1	69
45	PS	out/07	37,00	36,00	42	3,44	nov/05	0	56
46	PS	out/07	36,00	35,00	44	3,44	nov/05	0	56
47	PS	out/07	35,00	34,00	43	3,44	nov/05	0	56
48	PS	dez/07	33,00	32,00	46	0,17	nov/07	0	51
49	PS	dez/07	32,00	31,00	51	0,17	nov/07	0	51
50	PS	dez/07	31,00	30,00	63	0,00	dez/07	0	51
51	PS	dez/07	30,00	29,00	51	0,00	dez/07	0	51
52	PS	dez/07	28,00	27,00	56	1,93	nov/06	0	54

DEFLEXÕES

ANÁLISE ESTATÍSTICA

$$y=a+b.x$$

a: 47,9

b: 1,65

F calculado: 37,76

F tabelado: 4,06

teste aceito

nº de dados: 47

dados espúrios: 7

F: 2,19

F crítico: 1,63

teste rejeitado

R²: 0,46

rejeitado

t: 0,00

REMOP [%]: 6,13

aceito

t crítico: 1,66

teste aceito

dado	Pista	período do levantamento	km		Deflexões [10 ⁻² mm]	N (x10 ⁶)	período da construção	intervações	Deflexões [10 ⁻² mm]
1	PN	out/07	2,00	3,00	54	5,25	out/04	0	57
2	PN	out/07	3,00	4,00	51	5,25	out/04	0	57
3	PN	out/07	4,00	5,00	59	5,25	out/04	0	57
4	PN	out/07	5,00	6,00	62	5,25	out/04	0	57
5	PN	out/07	6,00	7,00	69	5,25	out/04	0	57
6	PN	out/07	7,00	8,00	54	5,25	out/04	0	57
7	PN	out/07	8,00	9,00	55	5,25	out/04	0	57
8	PN	out/07	9,00	10,00	67	5,25	out/04	1	57
11	PN	out/07	12,00	13,00	46	5,68	jul/04	1	57
12	PN	out/07	13,00	14,00	48	5,68	jul/04	1	57
13	PN	out/07	14,00	15,00	54	5,68	jul/04	1	57
14	PN	out/07	15,00	16,00	62	5,40	set/04	1	57
15	PN	out/07	16,00	17,00	58	5,40	set/04	1	57
16	PN	out/07	17,00	18,00	49	5,40	set/04	1	57
17	PN	out/07	18,00	19,00	50	5,40	set/04	1	57
18	PN	out/07	20,00	21,00	68	8,45	nov/02	1	62
19	PN	out/07	21,00	22,00	63	8,45	nov/02	1	62
20	PN	out/07	22,00	23,00	72	8,45	nov/02	1	62
22	PN	out/07	31,00	32,00	57	12,13	set/00	1	68
24	PN	out/07	41,00	42,00	71	9,35	abr/02	1	63
25	PN	out/07	42,00	43,00	66	9,35	abr/02	1	63
26	PN	out/07	43,00	44,00	67	9,35	abr/02	1	63
27	PN	out/07	44,00	45,00	71	9,35	abr/02	1	63
28	PN	out/07	46,00	47,00	65	8,16	jan/03	0	61
29	PN	out/07	47,00	48,00	60	8,16	jan/03	0	61
32	PN	out/07	57,00	58,00	63	8,99	jul/02	1	63
33	PN	out/07	58,00	59,00	69	8,59	out/02	1	62
34	PN	out/07	59,00	60,00	67	8,59	out/02	1	62
35	PN	out/07	60,00	61,00	61	8,59	out/02	1	62
36	PN	out/07	61,00	62,00	62	8,59	out/02	1	62
37	PN	out/07	62,00	63,00	57	8,59	out/02	1	62
38	PN	out/07	63,00	64,00	61	8,59	out/02	1	62
39	PN	out/07	64,00	65,00	63	10,79	jun/01	1	66
40	PN	out/07	65,00	66,00	68	10,79	jun/01	1	66
41	PN	out/07	66,00	67,00	61	10,79	jun/01	1	66
42	PN	out/07	67,00	68,00	66	12,40	jul/00	1	68
43	PN	out/07	68,00	69,00	65	12,40	jul/00	1	68
44	PN	out/07	69,00	70,00	69	12,40	jul/00	1	68
45	PS	out/07	37,00	36,00	42	3,44	nov/05	0	54
46	PS	out/07	36,00	35,00	44	3,44	nov/05	0	54
47	PS	out/07	35,00	34,00	43	3,44	nov/05	0	54
48	PS	dez/07	33,00	32,00	46	0,17	nov/07	0	48
49	PS	dez/07	32,00	31,00	51	0,17	nov/07	0	48
51	PS	dez/07	30,00	29,00	51	0,00	dez/07	0	48
52	PS	dez/07	28,00	27,00	56	1,93	nov/06	0	51
53	PS	dez/07	27,00	26,00	56	1,93	nov/06	0	51
54	PS	out/07	25,00	24,00	52	0,32	set/07	0	48

DEFLEXÕES

ANÁLISE ESTATÍSTICA

$$y = a + b \cdot x + c \cdot z$$

a: 49,72

b: 1,33

c: 2,28

F calculado: 14,10

F tabelado: 3,19

teste rejeitado

nº de dados: 51

dados espúrios: 3

F: 2,70

F crítico: 1,60

teste rejeitado

R²: 0,37

rejeitado

t: 0,00

REMOP [%]: 7,17

t crítico: 1,66

aceito

teste aceito

dado	Pista	período do levantamento	km		Deflexões [10 ⁻² mm]	N (x10 ⁶)	período da construção	intervenções	Deflexões [10 ⁻² mm]
1	PN	out/07	2,00	3,00	54	5,25	out/04	0	57
2	PN	out/07	3,00	4,00	51	5,25	out/04	0	57
3	PN	out/07	4,00	5,00	59	5,25	out/04	0	57
4	PN	out/07	5,00	6,00	62	5,25	out/04	0	57
5	PN	out/07	6,00	7,00	69	5,25	out/04	0	57
6	PN	out/07	7,00	8,00	54	5,25	out/04	0	57
7	PN	out/07	8,00	9,00	55	5,25	out/04	0	57
8	PN	out/07	9,00	10,00	67	5,25	out/04	1	59
9	PN	out/07	10,00	11,00	73	5,68	jul/04	1	60
11	PN	out/07	12,00	13,00	46	5,68	jul/04	1	60
12	PN	out/07	13,00	14,00	48	5,68	jul/04	1	60
13	PN	out/07	14,00	15,00	54	5,68	jul/04	1	60
14	PN	out/07	15,00	16,00	62	5,40	set/04	1	59
15	PN	out/07	16,00	17,00	58	5,40	set/04	1	59
16	PN	out/07	17,00	18,00	49	5,40	set/04	1	59
17	PN	out/07	18,00	19,00	50	5,40	set/04	1	59
18	PN	out/07	20,00	21,00	68	8,45	nov/02	1	63
19	PN	out/07	21,00	22,00	63	8,45	nov/02	1	63
20	PN	out/07	22,00	23,00	72	8,45	nov/02	1	63
22	PN	out/07	31,00	32,00	57	12,13	set/00	1	68
23	PN	out/07	40,00	41,00	78	9,35	abr/02	1	64
24	PN	out/07	41,00	42,00	71	9,35	abr/02	1	64
25	PN	out/07	42,00	43,00	66	9,35	abr/02	1	64
26	PN	out/07	43,00	44,00	67	9,35	abr/02	1	64
27	PN	out/07	44,00	45,00	71	9,35	abr/02	1	64
28	PN	out/07	46,00	47,00	65	8,16	jan/03	0	61
29	PN	out/07	47,00	48,00	60	8,16	jan/03	0	61
31	PN	out/07	56,00	57,00	76	8,99	jul/02	1	64
32	PN	out/07	57,00	58,00	63	8,99	jul/02	1	64
33	PN	out/07	58,00	59,00	69	8,59	out/02	1	63
34	PN	out/07	59,00	60,00	67	8,59	out/02	1	63
35	PN	out/07	60,00	61,00	61	8,59	out/02	1	63
36	PN	out/07	61,00	62,00	62	8,59	out/02	1	63
37	PN	out/07	62,00	63,00	57	8,59	out/02	1	63
38	PN	out/07	63,00	64,00	61	8,59	out/02	1	63
39	PN	out/07	64,00	65,00	63	10,79	jun/01	1	66
40	PN	out/07	65,00	66,00	68	10,79	jun/01	1	66
41	PN	out/07	66,00	67,00	61	10,79	jun/01	1	66
42	PN	out/07	67,00	68,00	66	12,40	jul/00	1	69
43	PN	out/07	68,00	69,00	65	12,40	jul/00	1	69
44	PN	out/07	69,00	70,00	69	12,40	jul/00	1	69
45	PS	out/07	37,00	36,00	42	3,44	nov/05	0	54
46	PS	out/07	36,00	35,00	44	3,44	nov/05	0	54
47	PS	out/07	35,00	34,00	43	3,44	nov/05	0	54
48	PS	dez/07	33,00	32,00	46	0,17	nov/07	0	50
49	PS	dez/07	32,00	31,00	51	0,17	nov/07	0	50
50	PS	dez/07	31,00	30,00	63	0,00	dez/07	0	50
51	PS	dez/07	30,00	29,00	51	0,00	dez/07	0	50
52	PS	dez/07	28,00	27,00	56	1,93	nov/06	0	52
53	PS	dez/07	27,00	26,00	56	1,93	nov/06	0	52
54	PS	out/07	25,00	24,00	52	0,32	set/07	0	50

IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

ANÁLISE ESTATÍSTICA

$$y=a+b.x$$

a: 20,2

b: 1,35

F calculado: 51,27

F tabelado: 3,91

teste aceito

nº de dados: 143

dados espúrios: -

F: 3,75

F crítico: 1,32

teste rejeitado

R²: 0,27

rejeitado

t: 0,00

REMOP [%]: 6,41

aceito

t crítico: 1,65

teste aceito

dado	Pista	período do levantamento	km		QI [cont. / km]	N (x10 ⁶)	período da construção	intervações	QI estimado [cont. / km]
1	PN	abr/05	1,00	2,00	25	1,02	out/04	0	22
2	PN	abr/05	2,00	3,00	18	1,02	out/04	0	22
3	PN	abr/05	3,00	4,00	14	1,02	out/04	0	22
4	PN	abr/05	4,00	5,00	20	1,02	out/04	0	22
5	PN	abr/05	5,00	6,00	19	1,02	out/04	0	22
6	PN	abr/05	6,00	7,00	17	1,02	out/04	0	22
7	PN	abr/05	7,00	8,00	17	1,02	out/04	0	22
8	PN	abr/05	8,00	9,00	18	1,02	out/04	0	22
9	PN	abr/05	9,00	10,00	22	1,02	out/04	0	22
10	PN	abr/05	10,00	11,00	24	1,45	jul/04	0	22
11	PN	abr/05	11,00	12,00	26	1,45	jul/04	0	22
12	PN	abr/05	12,00	13,00	20	1,45	jul/04	0	22
13	PN	abr/05	13,00	14,00	21	1,45	jul/04	0	22
14	PN	abr/05	14,00	15,00	16	1,45	jul/04	0	22
15	PN	abr/05	15,00	16,00	15	1,17	set/04	0	22
16	PN	abr/05	16,00	17,00	16	1,17	set/04	0	22
17	PN	abr/05	17,00	18,00	24	1,17	set/04	0	22
18	PN	abr/05	18,00	19,00	26	1,17	set/04	1	22
19	PN	abr/05	20,00	21,00	21	4,22	nov/02	1	26
20	PN	abr/05	21,00	22,00	22	4,22	nov/02	1	26
21	PN	abr/05	22,00	23,00	30	4,22	nov/02	1	26
22	PN	abr/05	30,00	31,00	18	7,90	set/00	0	31
23	PN	abr/05	31,00	32,00	24	7,90	set/00	0	31
24	PN	abr/05	40,00	41,00	33	5,12	abr/02	0	27
25	PN	abr/05	41,00	42,00	27	5,12	abr/02	0	27
26	PN	abr/05	42,00	43,00	39	5,12	abr/02	1	27
27	PN	abr/05	43,00	44,00	28	5,12	abr/02	1	27
28	PN	abr/05	44,00	45,00	21	5,12	abr/02	1	27
29	PN	abr/05	46,00	47,00	25	3,93	jan/03	0	26
30	PN	abr/05	47,00	48,00	24	3,93	jan/03	0	26
31	PN	abr/05	55,00	56,00	34	4,76	jul/02	1	27
32	PN	abr/05	56,00	57,00	35	4,76	jul/02	1	27
33	PN	abr/05	57,00	58,00	42	4,76	jul/02	1	27
34	PN	abr/05	58,00	59,00	46	4,37	out/02	1	26
35	PN	abr/05	59,00	60,00	29	4,37	out/02	1	26
36	PN	abr/05	60,00	61,00	25	4,37	out/02	1	26
37	PN	abr/05	61,00	62,00	25	4,37	out/02	1	26
38	PN	abr/05	62,00	63,00	25	4,37	out/02	1	26
39	PN	abr/05	63,00	64,00	35	4,37	out/02	1	26
40	PN	abr/05	64,00	65,00	39	6,56	jun/01	1	29
41	PN	abr/05	65,00	66,00	45	6,56	jun/01	1	29
42	PN	abr/05	66,00	67,00	25	6,56	jun/01	1	29
43	PN	abr/05	67,00	68,00	37	8,17	jul/00	1	31
44	PN	abr/05	68,00	69,00	30	8,17	jul/00	1	31
45	PN	abr/05	69,00	70,00	27	8,17	jul/00	1	31
46	PN	jun/06	1,00	2,00	26	2,93	out/04	0	24
47	PN	jun/06	2,00	3,00	20	2,93	out/04	0	24
48	PN	jun/06	3,00	4,00	16	2,93	out/04	0	24
49	PN	jun/06	4,00	5,00	26	2,93	out/04	0	24
50	PN	jun/06	5,00	6,00	23	2,93	out/04	0	24
51	PN	jun/06	6,00	7,00	20	2,93	out/04	0	24
52	PN	jun/06	7,00	8,00	18	2,93	out/04	0	24
53	PN	jun/06	8,00	9,00	20	2,93	out/04	0	24

54	PN	jun/06	9,00	10,00	27	2,93	out/04	0	24
55	PN	jun/06	10,00	11,00	34	3,36	jul/04	1	25
56	PN	jun/06	11,00	12,00	30	3,36	jul/04	1	25
57	PN	jun/06	12,00	13,00	28	3,36	jul/04	0	25
58	PN	jun/06	13,00	14,00	21	3,36	jul/04	0	25
59	PN	jun/06	14,00	15,00	20	3,36	jul/04	0	25
60	PN	jun/06	15,00	16,00	16	3,07	set/04	0	24
61	PN	jun/06	16,00	17,00	18	3,07	set/04	0	24
62	PN	jun/06	17,00	18,00	24	3,07	set/04	0	24
63	PN	jun/06	18,00	19,00	25	3,07	set/04	1	24
64	PN	jun/06	20,00	21,00	26	6,12	nov/02	1	28
65	PN	jun/06	21,00	22,00	26	6,12	nov/02	1	28
66	PN	jun/06	22,00	23,00	38	6,12	nov/02	1	28
67	PN	jun/06	30,00	31,00	20	9,80	set/00	1	33
68	PN	jun/06	31,00	32,00	28	9,80	set/00	1	33
69	PN	jun/06	40,00	41,00	31	7,03	abr/02	1	30
70	PN	jun/06	41,00	42,00	25	7,03	abr/02	1	30
71	PN	jun/06	42,00	43,00	34	7,03	abr/02	1	30
72	PN	jun/06	43,00	44,00	28	7,03	abr/02	1	30
73	PN	jun/06	44,00	45,00	24	7,03	abr/02	1	30
74	PN	jun/06	46,00	47,00	28	5,83	jan/03	0	28
75	PN	jun/06	47,00	48,00	28	5,83	jan/03	0	28
76	PN	jun/06	55,00	56,00	33	6,66	jul/02	1	29
77	PN	jun/06	56,00	57,00	33	6,66	jul/02	1	29
78	PN	jun/06	57,00	58,00	36	6,66	jul/02	1	29
79	PN	jun/06	58,00	59,00	39	6,27	out/02	1	29
80	PN	jun/06	59,00	60,00	28	6,27	out/02	1	29
81	PN	jun/06	60,00	61,00	33	6,27	out/02	1	29
82	PN	jun/06	61,00	62,00	30	6,27	out/02	1	29
83	PN	jun/06	62,00	63,00	29	6,27	out/02	1	29
84	PN	jun/06	63,00	64,00	34	6,27	out/02	1	29
85	PN	jun/06	64,00	65,00	41	8,47	jun/01	1	32
86	PN	jun/06	65,00	66,00	51	8,47	jun/01	1	32
87	PN	jun/06	66,00	67,00	29	8,47	jun/01	1	32
88	PN	jun/06	67,00	68,00	40	10,08	jul/00	1	34
89	PN	jun/06	68,00	69,00	35	10,08	jul/00	1	34
90	PN	jun/06	69,00	70,00	27	10,08	jul/00	1	34
91	PS	jun/06	37,00	36,00	26	1,12	nov/05	0	22
92	PS	jun/06	36,00	35,00	29	1,12	nov/05	0	22
93	PS	jun/06	35,00	34,00	31	1,12	nov/05	0	22
94	PN	jun/07	1,00	2,00	28	4,64	out/04	0	26
95	PN	jun/07	2,00	3,00	21	4,64	out/04	0	26
96	PN	jun/07	3,00	4,00	16	4,64	out/04	0	26
97	PN	jun/07	4,00	5,00	28	4,64	out/04	0	26
98	PN	jun/07	5,00	6,00	19	4,64	out/04	0	26
99	PN	jun/07	6,00	7,00	19	4,64	out/04	0	26
100	PN	jun/07	7,00	8,00	18	4,64	out/04	0	26
101	PN	jun/07	8,00	9,00	18	4,64	out/04	0	26
102	PN	jun/07	9,00	10,00	28	4,64	out/04	1	26
103	PN	jun/07	10,00	11,00	31	5,07	jul/04	1	27
104	PN	jun/07	11,00	12,00	34	5,07	jul/04	1	27
105	PN	jun/07	12,00	13,00	26	5,07	jul/04	1	27
106	PN	jun/07	13,00	14,00	21	5,07	jul/04	1	27
107	PN	jun/07	14,00	15,00	18	5,07	jul/04	1	27
108	PN	jun/07	15,00	16,00	16	4,78	set/04	1	27
109	PN	jun/07	16,00	17,00	16	4,78	set/04	1	27
110	PN	jun/07	17,00	18,00	25	4,78	set/04	1	27
111	PN	jun/07	18,00	19,00	29	4,78	set/04	1	27
112	PN	jun/07	20,00	21,00	26	7,83	nov/02	1	31
113	PN	jun/07	21,00	22,00	31	7,83	nov/02	1	31
114	PN	jun/07	22,00	23,00	37	7,83	nov/02	1	31
115	PN	jun/07	30,00	31,00	23	11,51	set/00	1	36
116	PN	jun/07	31,00	32,00	30	11,51	set/00	1	36
117	PN	jun/07	40,00	41,00	32	8,74	abr/02	1	32
118	PN	jun/07	41,00	42,00	28	8,74	abr/02	1	32
119	PN	jun/07	42,00	43,00	38	8,74	abr/02	1	32
120	PN	jun/07	43,00	44,00	34	8,74	abr/02	1	32
121	PN	jun/07	44,00	45,00	21	8,74	abr/02	1	32
122	PN	jun/07	46,00	47,00	28	7,54	jan/03	0	30
123	PN	jun/07	47,00	48,00	30	7,54	jan/03	0	30
124	PN	jun/07	55,00	56,00	36	8,37	jul/02	1	31
125	PN	jun/07	56,00	57,00	35	8,37	jul/02	1	31
126	PN	jun/07	57,00	58,00	40	8,37	jul/02	1	31
127	PN	jun/07	58,00	59,00	45	7,98	out/02	1	31
128	PN	jun/07	59,00	60,00	36	7,98	out/02	1	31
129	PN	jun/07	60,00	61,00	30	7,98	out/02	1	31
130	PN	jun/07	61,00	62,00	30	7,98	out/02	1	31
131	PN	jun/07	62,00	63,00	29	7,98	out/02	1	31
132	PN	jun/07	63,00	64,00	34	7,98	out/02	1	31

133	PN	jun/07	64,00	65,00	37	10,18	jun/01	1	34
134	PN	jun/07	65,00	66,00	41	10,18	jun/01	1	34
135	PN	jun/07	66,00	67,00	28	10,18	jun/01	1	34
136	PN	jun/07	67,00	68,00	32	11,79	jul/00	1	36
137	PN	jun/07	68,00	69,00	34	11,79	jul/00	1	36
138	PN	jun/07	69,00	70,00	27	11,79	jul/00	1	36
139	PS	jun/07	37,00	36,00	28	2,83	nov/05	0	24
140	PS	jun/07	36,00	35,00	32	2,83	nov/05	0	24
141	PS	jun/07	35,00	34,00	33	2,83	nov/05	0	24
142	PS	jun/07	28,00	27,00	19	1,15	nov/06	0	22
143	PS	jun/07	27,00	26,00	19	1,15	nov/06	0	22

IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

ANÁLISE ESTATÍSTICA

$$y=a+b.x$$

a: 19,5

b: 1,45

F calculado: 81,48

F tabelado: 3,91

teste aceito

nº de dados: 133

dados espúrios: 10

F: 2,61

F crítico: 1,33

teste rejeitado

R²: 0,38

rejeitado

t: 0,00

REMOP [%]: 5,25

aceito

t crítico: 1,65

teste aceito

dado	Pista	período do levantamento	km		QI [cont. / km]	N (x10 ⁶)	período da construção	intervações	QI estimado [cont. / km]
1	PN	abr/05	1,00	2,00	25	1,02	out/04	0	21
2	PN	abr/05	2,00	3,00	18	1,02	out/04	0	21
3	PN	abr/05	3,00	4,00	14	1,02	out/04	0	21
4	PN	abr/05	4,00	5,00	20	1,02	out/04	0	21
5	PN	abr/05	5,00	6,00	19	1,02	out/04	0	21
6	PN	abr/05	6,00	7,00	17	1,02	out/04	0	21
7	PN	abr/05	7,00	8,00	17	1,02	out/04	0	21
8	PN	abr/05	8,00	9,00	18	1,02	out/04	0	21
9	PN	abr/05	9,00	10,00	22	1,02	out/04	0	21
10	PN	abr/05	10,00	11,00	24	1,45	jul/04	0	22
11	PN	abr/05	11,00	12,00	26	1,45	jul/04	0	22
12	PN	abr/05	12,00	13,00	20	1,45	jul/04	0	22
13	PN	abr/05	13,00	14,00	21	1,45	jul/04	0	22
14	PN	abr/05	14,00	15,00	16	1,45	jul/04	0	22
15	PN	abr/05	15,00	16,00	15	1,17	set/04	0	21
16	PN	abr/05	16,00	17,00	16	1,17	set/04	0	21
17	PN	abr/05	17,00	18,00	24	1,17	set/04	0	21
18	PN	abr/05	18,00	19,00	26	1,17	set/04	1	21
19	PN	abr/05	20,00	21,00	21	4,22	nov/02	1	26
20	PN	abr/05	21,00	22,00	22	4,22	nov/02	1	26
21	PN	abr/05	22,00	23,00	30	4,22	nov/02	1	26
23	PN	abr/05	31,00	32,00	24	7,90	set/00	0	31
24	PN	abr/05	40,00	41,00	33	5,12	abr/02	0	27
25	PN	abr/05	41,00	42,00	27	5,12	abr/02	0	27
26	PN	abr/05	42,00	43,00	39	5,12	abr/02	1	27
27	PN	abr/05	43,00	44,00	28	5,12	abr/02	1	27
28	PN	abr/05	44,00	45,00	21	5,12	abr/02	1	27
29	PN	abr/05	46,00	47,00	25	3,93	jan/03	0	25
30	PN	abr/05	47,00	48,00	24	3,93	jan/03	0	25
31	PN	abr/05	55,00	56,00	34	4,76	jul/02	1	26
32	PN	abr/05	56,00	57,00	35	4,76	jul/02	1	26
35	PN	abr/05	59,00	60,00	29	4,37	out/02	1	26
36	PN	abr/05	60,00	61,00	25	4,37	out/02	1	26
37	PN	abr/05	61,00	62,00	25	4,37	out/02	1	26
38	PN	abr/05	62,00	63,00	25	4,37	out/02	1	26
39	PN	abr/05	63,00	64,00	35	4,37	out/02	1	26
40	PN	abr/05	64,00	65,00	39	6,56	jun/01	1	29
42	PN	abr/05	66,00	67,00	25	6,56	jun/01	1	29
43	PN	abr/05	67,00	68,00	37	8,17	jul/00	1	31
44	PN	abr/05	68,00	69,00	30	8,17	jul/00	1	31
45	PN	abr/05	69,00	70,00	27	8,17	jul/00	1	31
46	PN	jun/06	1,00	2,00	26	2,93	out/04	0	24
47	PN	jun/06	2,00	3,00	20	2,93	out/04	0	24
48	PN	jun/06	3,00	4,00	16	2,93	out/04	0	24
49	PN	jun/06	4,00	5,00	26	2,93	out/04	0	24
50	PN	jun/06	5,00	6,00	23	2,93	out/04	0	24
51	PN	jun/06	6,00	7,00	20	2,93	out/04	0	24
52	PN	jun/06	7,00	8,00	18	2,93	out/04	0	24
53	PN	jun/06	8,00	9,00	20	2,93	out/04	0	24
54	PN	jun/06	9,00	10,00	27	2,93	out/04	0	24
55	PN	jun/06	10,00	11,00	34	3,36	jul/04	1	24
56	PN	jun/06	11,00	12,00	30	3,36	jul/04	1	24
57	PN	jun/06	12,00	13,00	28	3,36	jul/04	0	24

58	PN	jun/06	13,00	14,00	21	3,36	jul/04	0	24
59	PN	jun/06	14,00	15,00	20	3,36	jul/04	0	24
60	PN	jun/06	15,00	16,00	16	3,07	set/04	0	24
61	PN	jun/06	16,00	17,00	18	3,07	set/04	0	24
62	PN	jun/06	17,00	18,00	24	3,07	set/04	0	24
63	PN	jun/06	18,00	19,00	25	3,07	set/04	1	24
64	PN	jun/06	20,00	21,00	26	6,12	nov/02	1	28
65	PN	jun/06	21,00	22,00	26	6,12	nov/02	1	28
66	PN	jun/06	22,00	23,00	38	6,12	nov/02	1	28
68	PN	jun/06	31,00	32,00	28	9,80	set/00	1	34
69	PN	jun/06	40,00	41,00	31	7,03	abr/02	1	30
70	PN	jun/06	41,00	42,00	25	7,03	abr/02	1	30
71	PN	jun/06	42,00	43,00	34	7,03	abr/02	1	30
72	PN	jun/06	43,00	44,00	28	7,03	abr/02	1	30
73	PN	jun/06	44,00	45,00	24	7,03	abr/02	1	30
74	PN	jun/06	46,00	47,00	28	5,83	jan/03	0	28
75	PN	jun/06	47,00	48,00	28	5,83	jan/03	0	28
76	PN	jun/06	55,00	56,00	33	6,66	jul/02	1	29
77	PN	jun/06	56,00	57,00	33	6,66	jul/02	1	29
78	PN	jun/06	57,00	58,00	36	6,66	jul/02	1	29
79	PN	jun/06	58,00	59,00	39	6,27	out/02	1	29
80	PN	jun/06	59,00	60,00	28	6,27	out/02	1	29
81	PN	jun/06	60,00	61,00	33	6,27	out/02	1	29
82	PN	jun/06	61,00	62,00	30	6,27	out/02	1	29
83	PN	jun/06	62,00	63,00	29	6,27	out/02	1	29
84	PN	jun/06	63,00	64,00	34	6,27	out/02	1	29
85	PN	jun/06	64,00	65,00	41	8,47	jun/01	1	32
87	PN	jun/06	66,00	67,00	29	8,47	jun/01	1	32
88	PN	jun/06	67,00	68,00	40	10,08	jul/00	1	34
89	PN	jun/06	68,00	69,00	35	10,08	jul/00	1	34
90	PN	jun/06	69,00	70,00	27	10,08	jul/00	1	34
91	PS	jun/06	37,00	36,00	26	1,12	nov/05	0	21
92	PS	jun/06	36,00	35,00	29	1,12	nov/05	0	21
93	PS	jun/06	35,00	34,00	31	1,12	nov/05	0	21
94	PN	jun/07	1,00	2,00	28	4,64	out/04	0	26
95	PN	jun/07	2,00	3,00	21	4,64	out/04	0	26
96	PN	jun/07	3,00	4,00	16	4,64	out/04	0	26
97	PN	jun/07	4,00	5,00	28	4,64	out/04	0	26
98	PN	jun/07	5,00	6,00	19	4,64	out/04	0	26
99	PN	jun/07	6,00	7,00	19	4,64	out/04	0	26
100	PN	jun/07	7,00	8,00	18	4,64	out/04	0	26
101	PN	jun/07	8,00	9,00	18	4,64	out/04	0	26
102	PN	jun/07	9,00	10,00	28	4,64	out/04	1	26
103	PN	jun/07	10,00	11,00	31	5,07	jul/04	1	27
104	PN	jun/07	11,00	12,00	34	5,07	jul/04	1	27
105	PN	jun/07	12,00	13,00	26	5,07	jul/04	1	27
106	PN	jun/07	13,00	14,00	21	5,07	jul/04	1	27
107	PN	jun/07	14,00	15,00	18	5,07	jul/04	1	27
108	PN	jun/07	15,00	16,00	16	4,78	set/04	1	26
110	PN	jun/07	17,00	18,00	25	4,78	set/04	1	26
111	PN	jun/07	18,00	19,00	29	4,78	set/04	1	26
112	PN	jun/07	20,00	21,00	26	7,83	nov/02	1	31
113	PN	jun/07	21,00	22,00	31	7,83	nov/02	1	31
114	PN	jun/07	22,00	23,00	37	7,83	nov/02	1	31
116	PN	jun/07	31,00	32,00	30	11,51	set/00	1	36
117	PN	jun/07	40,00	41,00	32	8,74	abr/02	1	32
118	PN	jun/07	41,00	42,00	28	8,74	abr/02	1	32
119	PN	jun/07	42,00	43,00	38	8,74	abr/02	1	32
120	PN	jun/07	43,00	44,00	34	8,74	abr/02	1	32
122	PN	jun/07	46,00	47,00	28	7,54	jan/03	0	30
123	PN	jun/07	47,00	48,00	30	7,54	jan/03	0	30
124	PN	jun/07	55,00	56,00	36	8,37	jul/02	1	32
125	PN	jun/07	56,00	57,00	35	8,37	jul/02	1	32
126	PN	jun/07	57,00	58,00	40	8,37	jul/02	1	32
128	PN	jun/07	59,00	60,00	36	7,98	out/02	1	31
129	PN	jun/07	60,00	61,00	30	7,98	out/02	1	31
130	PN	jun/07	61,00	62,00	30	7,98	out/02	1	31
131	PN	jun/07	62,00	63,00	29	7,98	out/02	1	31
132	PN	jun/07	63,00	64,00	34	7,98	out/02	1	31
133	PN	jun/07	64,00	65,00	37	10,18	jun/01	1	34
134	PN	jun/07	65,00	66,00	41	10,18	jun/01	1	34
135	PN	jun/07	66,00	67,00	28	10,18	jun/01	1	34
136	PN	jun/07	67,00	68,00	32	11,79	jul/00	1	37
137	PN	jun/07	68,00	69,00	34	11,79	jul/00	1	37
138	PN	jun/07	69,00	70,00	27	11,79	jul/00	1	37
139	PS	jun/07	37,00	36,00	28	2,83	nov/05	0	24
140	PS	jun/07	36,00	35,00	32	2,83	nov/05	0	24
141	PS	jun/07	35,00	34,00	33	2,83	nov/05	0	24
142	PS	jun/07	28,00	27,00	19	1,15	nov/06	0	21
143	PS	jun/07	27,00	26,00	19	1,15	nov/06	0	21

IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

ANÁLISE ESTATÍSTICA

$$y = a + b \cdot x + c \cdot z$$

a: 19,35

b: 0,82

c: 5,81

F calculado: 66,84

F tabelado: 3,07

teste aceito

nº de dados: 129
dados espúrios: 14

F: 1,94

F crítico: 1,34

teste rejeitado

t: 0,00

R²: 0,51

aceito

REMOP [%]: 4,67

aceito

t crítico: 1,65

teste aceito

dado	Pista	período do levantamento	km		QI [cont. / km]	N (x10 ⁶)	período da construção	intervações	QI estimado [cont. / km]
1	PN	abr/05	1,00	2,00	25	1,02	out/04	0	20
2	PN	abr/05	2,00	3,00	18	1,02	out/04	0	20
3	PN	abr/05	3,00	4,00	14	1,02	out/04	0	20
4	PN	abr/05	4,00	5,00	20	1,02	out/04	0	20
5	PN	abr/05	5,00	6,00	19	1,02	out/04	0	20
6	PN	abr/05	6,00	7,00	17	1,02	out/04	0	20
7	PN	abr/05	7,00	8,00	17	1,02	out/04	0	20
8	PN	abr/05	8,00	9,00	18	1,02	out/04	0	20
9	PN	abr/05	9,00	10,00	22	1,02	out/04	0	20
10	PN	abr/05	10,00	11,00	24	1,45	jul/04	0	21
11	PN	abr/05	11,00	12,00	26	1,45	jul/04	0	21
12	PN	abr/05	12,00	13,00	20	1,45	jul/04	0	21
13	PN	abr/05	13,00	14,00	21	1,45	jul/04	0	21
14	PN	abr/05	14,00	15,00	16	1,45	jul/04	0	21
15	PN	abr/05	15,00	16,00	15	1,17	set/04	0	20
16	PN	abr/05	16,00	17,00	16	1,17	set/04	0	20
17	PN	abr/05	17,00	18,00	24	1,17	set/04	0	20
18	PN	abr/05	18,00	19,00	26	1,17	set/04	1	26
19	PN	abr/05	20,00	21,00	21	4,22	nov/02	1	29
20	PN	abr/05	21,00	22,00	22	4,22	nov/02	1	29
21	PN	abr/05	22,00	23,00	30	4,22	nov/02	1	29
22	PN	abr/05	30,00	31,00	18	7,90	set/00	0	26
23	PN	abr/05	31,00	32,00	24	7,90	set/00	0	26
24	PN	abr/05	40,00	41,00	33	5,12	abr/02	0	24
25	PN	abr/05	41,00	42,00	27	5,12	abr/02	0	24
26	PN	abr/05	42,00	43,00	39	5,12	abr/02	1	29
27	PN	abr/05	43,00	44,00	28	5,12	abr/02	1	29
28	PN	abr/05	44,00	45,00	21	5,12	abr/02	1	29
29	PN	abr/05	46,00	47,00	25	3,93	jan/03	0	23
30	PN	abr/05	47,00	48,00	24	3,93	jan/03	0	23
31	PN	abr/05	55,00	56,00	34	4,76	jul/02	1	29
32	PN	abr/05	56,00	57,00	35	4,76	jul/02	1	29
35	PN	abr/05	59,00	60,00	29	4,37	out/02	1	29
36	PN	abr/05	60,00	61,00	25	4,37	out/02	1	29
37	PN	abr/05	61,00	62,00	25	4,37	out/02	1	29
38	PN	abr/05	62,00	63,00	25	4,37	out/02	1	29
39	PN	abr/05	63,00	64,00	35	4,37	out/02	1	29
40	PN	abr/05	64,00	65,00	39	6,56	jun/01	1	31
42	PN	abr/05	66,00	67,00	25	6,56	jun/01	1	31
43	PN	abr/05	67,00	68,00	37	8,17	jul/00	1	32
44	PN	abr/05	68,00	69,00	30	8,17	jul/00	1	32
45	PN	abr/05	69,00	70,00	27	8,17	jul/00	1	32
46	PN	jun/06	1,00	2,00	26	2,93	out/04	0	22
47	PN	jun/06	2,00	3,00	20	2,93	out/04	0	22
48	PN	jun/06	3,00	4,00	16	2,93	out/04	0	22
49	PN	jun/06	4,00	5,00	26	2,93	out/04	0	22
50	PN	jun/06	5,00	6,00	23	2,93	out/04	0	22
51	PN	jun/06	6,00	7,00	20	2,93	out/04	0	22
52	PN	jun/06	7,00	8,00	18	2,93	out/04	0	22
53	PN	jun/06	8,00	9,00	20	2,93	out/04	0	22
54	PN	jun/06	9,00	10,00	27	2,93	out/04	0	22
55	PN	jun/06	10,00	11,00	34	3,36	jul/04	1	28
56	PN	jun/06	11,00	12,00	30	3,36	jul/04	1	28

57	PN	jun/06	12,00	13,00	28	3,36	jul/04	0	22
58	PN	jun/06	13,00	14,00	21	3,36	jul/04	0	22
59	PN	jun/06	14,00	15,00	20	3,36	jul/04	0	22
60	PN	jun/06	15,00	16,00	16	3,07	set/04	0	22
61	PN	jun/06	16,00	17,00	18	3,07	set/04	0	22
62	PN	jun/06	17,00	18,00	24	3,07	set/04	0	22
63	PN	jun/06	18,00	19,00	25	3,07	set/04	1	28
64	PN	jun/06	20,00	21,00	26	6,12	nov/02	1	30
65	PN	jun/06	21,00	22,00	26	6,12	nov/02	1	30
66	PN	jun/06	22,00	23,00	38	6,12	nov/02	1	30
68	PN	jun/06	31,00	32,00	28	9,80	set/00	1	33
69	PN	jun/06	40,00	41,00	31	7,03	abr/02	1	31
70	PN	jun/06	41,00	42,00	25	7,03	abr/02	1	31
71	PN	jun/06	42,00	43,00	34	7,03	abr/02	1	31
72	PN	jun/06	43,00	44,00	28	7,03	abr/02	1	31
73	PN	jun/06	44,00	45,00	24	7,03	abr/02	1	31
74	PN	jun/06	46,00	47,00	28	5,83	jan/03	0	24
75	PN	jun/06	47,00	48,00	28	5,83	jan/03	0	24
76	PN	jun/06	55,00	56,00	33	6,66	jul/02	1	31
77	PN	jun/06	56,00	57,00	33	6,66	jul/02	1	31
78	PN	jun/06	57,00	58,00	36	6,66	jul/02	1	31
79	PN	jun/06	58,00	59,00	39	6,27	out/02	1	30
80	PN	jun/06	59,00	60,00	28	6,27	out/02	1	30
81	PN	jun/06	60,00	61,00	33	6,27	out/02	1	30
82	PN	jun/06	61,00	62,00	30	6,27	out/02	1	30
83	PN	jun/06	62,00	63,00	29	6,27	out/02	1	30
84	PN	jun/06	63,00	64,00	34	6,27	out/02	1	30
85	PN	jun/06	64,00	65,00	41	8,47	jun/01	1	32
87	PN	jun/06	66,00	67,00	29	8,47	jun/01	1	32
88	PN	jun/06	67,00	68,00	40	10,08	jul/00	1	33
89	PN	jun/06	68,00	69,00	35	10,08	jul/00	1	33
90	PN	jun/06	69,00	70,00	27	10,08	jul/00	1	33
91	PS	jun/06	37,00	36,00	26	1,12	nov/05	0	20
92	PS	jun/06	36,00	35,00	29	1,12	nov/05	0	20
94	PN	jun/07	1,00	2,00	28	4,64	out/04	0	23
95	PN	jun/07	2,00	3,00	21	4,64	out/04	0	23
96	PN	jun/07	3,00	4,00	16	4,64	out/04	0	23
97	PN	jun/07	4,00	5,00	28	4,64	out/04	0	23
98	PN	jun/07	5,00	6,00	19	4,64	out/04	0	23
99	PN	jun/07	6,00	7,00	19	4,64	out/04	0	23
100	PN	jun/07	7,00	8,00	18	4,64	out/04	0	23
101	PN	jun/07	8,00	9,00	18	4,64	out/04	0	23
102	PN	jun/07	9,00	10,00	28	4,64	out/04	1	29
103	PN	jun/07	10,00	11,00	31	5,07	jul/04	1	29
104	PN	jun/07	11,00	12,00	34	5,07	jul/04	1	29
105	PN	jun/07	12,00	13,00	26	5,07	jul/04	1	29
106	PN	jun/07	13,00	14,00	21	5,07	jul/04	1	29
110	PN	jun/07	17,00	18,00	25	4,78	set/04	1	29
111	PN	jun/07	18,00	19,00	29	4,78	set/04	1	29
112	PN	jun/07	20,00	21,00	26	7,83	nov/02	1	32
113	PN	jun/07	21,00	22,00	31	7,83	nov/02	1	32
114	PN	jun/07	22,00	23,00	37	7,83	nov/02	1	32
116	PN	jun/07	31,00	32,00	30	11,51	set/00	1	35
117	PN	jun/07	40,00	41,00	32	8,74	abr/02	1	32
118	PN	jun/07	41,00	42,00	28	8,74	abr/02	1	32
119	PN	jun/07	42,00	43,00	38	8,74	abr/02	1	32
120	PN	jun/07	43,00	44,00	34	8,74	abr/02	1	32
122	PN	jun/07	46,00	47,00	28	7,54	jan/03	0	26
123	PN	jun/07	47,00	48,00	30	7,54	jan/03	0	26
124	PN	jun/07	55,00	56,00	36	8,37	jul/02	1	32
125	PN	jun/07	56,00	57,00	35	8,37	jul/02	1	32
126	PN	jun/07	57,00	58,00	40	8,37	jul/02	1	32
128	PN	jun/07	59,00	60,00	36	7,98	out/02	1	32
129	PN	jun/07	60,00	61,00	30	7,98	out/02	1	32
130	PN	jun/07	61,00	62,00	30	7,98	out/02	1	32
131	PN	jun/07	62,00	63,00	29	7,98	out/02	1	32
132	PN	jun/07	63,00	64,00	34	7,98	out/02	1	32
133	PN	jun/07	64,00	65,00	37	10,18	jun/01	1	34
134	PN	jun/07	65,00	66,00	41	10,18	jun/01	1	34
135	PN	jun/07	66,00	67,00	28	10,18	jun/01	1	34
136	PN	jun/07	67,00	68,00	32	11,79	jul/00	1	35
137	PN	jun/07	68,00	69,00	34	11,79	jul/00	1	35
138	PN	jun/07	69,00	70,00	27	11,79	jul/00	1	35
139	PS	jun/07	37,00	36,00	28	2,83	nov/05	0	22
142	PS	jun/07	28,00	27,00	19	1,15	nov/06	0	20
143	PS	jun/07	27,00	26,00	19	1,15	nov/06	0	20

IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

ANÁLISE ESTATÍSTICA

$$y = a + b \cdot x + c \cdot z$$

a: 19,46

b: 0,86

c: 5,62

F calculado: 40,06

F tabelado: 3,11

teste aceito

nº de dados: 87

dados espúrios: 6

F: 2,05

F crítico: 1,43

teste rejeitado

R²: 0,49

rejeitado

t: 0,00

REMOP [%]: 4,77

t crítico: 1,65

aceito

teste aceito

dado	Pista	período do levantamento	km		QI [cont. / km]	N (x10 ⁶)	período da construção	intervações	QI estimado [cont. / km]
1	PN	abr/05	1,00	2,00	25	1,02	out/04	0	20
2	PN	abr/05	2,00	3,00	18	1,02	out/04	0	20
3	PN	abr/05	3,00	4,00	14	1,02	out/04	0	20
4	PN	abr/05	4,00	5,00	20	1,02	out/04	0	20
5	PN	abr/05	5,00	6,00	19	1,02	out/04	0	20
6	PN	abr/05	6,00	7,00	17	1,02	out/04	0	20
7	PN	abr/05	7,00	8,00	17	1,02	out/04	0	20
8	PN	abr/05	8,00	9,00	18	1,02	out/04	0	20
9	PN	abr/05	9,00	10,00	22	1,02	out/04	0	20
10	PN	abr/05	10,00	11,00	24	1,45	jul/04	0	21
11	PN	abr/05	11,00	12,00	26	1,45	jul/04	0	21
12	PN	abr/05	12,00	13,00	20	1,45	jul/04	0	21
13	PN	abr/05	13,00	14,00	21	1,45	jul/04	0	21
14	PN	abr/05	14,00	15,00	16	1,45	jul/04	0	21
15	PN	abr/05	15,00	16,00	15	1,17	set/04	0	20
16	PN	abr/05	16,00	17,00	16	1,17	set/04	0	20
17	PN	abr/05	17,00	18,00	24	1,17	set/04	0	20
18	PN	abr/05	18,00	19,00	26	1,17	set/04	1	26
19	PN	abr/05	20,00	21,00	21	4,22	nov/02	1	29
20	PN	abr/05	21,00	22,00	22	4,22	nov/02	1	29
21	PN	abr/05	22,00	23,00	30	4,22	nov/02	1	29
22	PN	abr/05	30,00	31,00	18	7,90	set/00	0	26
23	PN	abr/05	31,00	32,00	24	7,90	set/00	0	26
24	PN	abr/05	40,00	41,00	33	5,12	abr/02	0	24
25	PN	abr/05	41,00	42,00	27	5,12	abr/02	0	24
26	PN	abr/05	42,00	43,00	39	5,12	abr/02	1	29
27	PN	abr/05	43,00	44,00	28	5,12	abr/02	1	29
28	PN	abr/05	44,00	45,00	21	5,12	abr/02	1	29
29	PN	abr/05	46,00	47,00	25	3,93	jan/03	0	23
30	PN	abr/05	47,00	48,00	24	3,93	jan/03	0	23
31	PN	abr/05	55,00	56,00	34	4,76	jul/02	1	29
32	PN	abr/05	56,00	57,00	35	4,76	jul/02	1	29
35	PN	abr/05	59,00	60,00	29	4,37	out/02	1	29
36	PN	abr/05	60,00	61,00	25	4,37	out/02	1	29
37	PN	abr/05	61,00	62,00	25	4,37	out/02	1	29
38	PN	abr/05	62,00	63,00	25	4,37	out/02	1	29
39	PN	abr/05	63,00	64,00	35	4,37	out/02	1	29
40	PN	abr/05	64,00	65,00	39	6,56	jun/01	1	31
42	PN	abr/05	66,00	67,00	25	6,56	jun/01	1	31
43	PN	abr/05	67,00	68,00	37	8,17	jul/00	1	32
44	PN	abr/05	68,00	69,00	30	8,17	jul/00	1	32
45	PN	abr/05	69,00	70,00	27	8,17	jul/00	1	32
46	PN	jun/06	1,00	2,00	26	2,93	out/04	0	22
47	PN	jun/06	2,00	3,00	20	2,93	out/04	0	22
48	PN	jun/06	3,00	4,00	16	2,93	out/04	0	22
49	PN	jun/06	4,00	5,00	26	2,93	out/04	0	22
50	PN	jun/06	5,00	6,00	23	2,93	out/04	0	22
51	PN	jun/06	6,00	7,00	20	2,93	out/04	0	22
52	PN	jun/06	7,00	8,00	18	2,93	out/04	0	22
53	PN	jun/06	8,00	9,00	20	2,93	out/04	0	22
54	PN	jun/06	9,00	10,00	27	2,93	out/04	0	22
55	PN	jun/06	10,00	11,00	34	3,36	jul/04	1	28
56	PN	jun/06	11,00	12,00	30	3,36	jul/04	1	28

57	PN	jun/06	12,00	13,00	28	3,36	jul/04	0	22
58	PN	jun/06	13,00	14,00	21	3,36	jul/04	0	22
59	PN	jun/06	14,00	15,00	20	3,36	jul/04	0	22
60	PN	jun/06	15,00	16,00	16	3,07	set/04	0	22
61	PN	jun/06	16,00	17,00	18	3,07	set/04	0	22
62	PN	jun/06	17,00	18,00	24	3,07	set/04	0	22
63	PN	jun/06	18,00	19,00	25	3,07	set/04	1	28
64	PN	jun/06	20,00	21,00	26	6,12	nov/02	1	30
65	PN	jun/06	21,00	22,00	26	6,12	nov/02	1	30
66	PN	jun/06	22,00	23,00	38	6,12	nov/02	1	30
68	PN	jun/06	31,00	32,00	28	9,80	set/00	1	34
69	PN	jun/06	40,00	41,00	31	7,03	abr/02	1	31
70	PN	jun/06	41,00	42,00	25	7,03	abr/02	1	31
71	PN	jun/06	42,00	43,00	34	7,03	abr/02	1	31
72	PN	jun/06	43,00	44,00	28	7,03	abr/02	1	31
73	PN	jun/06	44,00	45,00	24	7,03	abr/02	1	31
74	PN	jun/06	46,00	47,00	28	5,83	jan/03	0	24
75	PN	jun/06	47,00	48,00	28	5,83	jan/03	0	24
76	PN	jun/06	55,00	56,00	33	6,66	jul/02	1	31
77	PN	jun/06	56,00	57,00	33	6,66	jul/02	1	31
78	PN	jun/06	57,00	58,00	36	6,66	jul/02	1	31
79	PN	jun/06	58,00	59,00	39	6,27	out/02	1	30
80	PN	jun/06	59,00	60,00	28	6,27	out/02	1	30
81	PN	jun/06	60,00	61,00	33	6,27	out/02	1	30
82	PN	jun/06	61,00	62,00	30	6,27	out/02	1	30
83	PN	jun/06	62,00	63,00	29	6,27	out/02	1	30
84	PN	jun/06	63,00	64,00	34	6,27	out/02	1	30
85	PN	jun/06	64,00	65,00	41	8,47	jun/01	1	32
87	PN	jun/06	66,00	67,00	29	8,47	jun/01	1	32
88	PN	jun/06	67,00	68,00	40	10,08	jul/00	1	34
89	PN	jun/06	68,00	69,00	35	10,08	jul/00	1	34
90	PN	jun/06	69,00	70,00	27	10,08	jul/00	1	34
91	PS	jun/06	37,00	36,00	26	1,12	nov/05	0	20
92	PS	jun/06	36,00	35,00	29	1,12	nov/05	0	20

AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA

ANÁLISE ESTATÍSTICA

$$y=a+b.x$$

a: 3,52

b: 0,33

F calculado: 22,33

F tabelado: 3,91

teste aceito

nº de dados: 143

dados espúrios: -

F: 7,31

F crítico: 1,32

teste rejeitado

R²: 0,14

rejeitado

t: 0,00

REMOP [%]: 2,39

aceito

t crítico: 1,65

teste aceito

dado	Pista	período do levantamento	km		ATR [mm]	N (x10 ⁶)	período da construção	intervações	ATR estimado [mm]
1	PN	abr/05	1,00	2,00	2,49	1,02	out/04	0	3,86
2	PN	abr/05	2,00	3,00	2,52	1,02	out/04	0	3,86
3	PN	abr/05	3,00	4,00	4,32	1,02	out/04	0	3,86
4	PN	abr/05	4,00	5,00	3,34	1,02	out/04	0	3,86
5	PN	abr/05	5,00	6,00	3,30	1,02	out/04	0	3,86
6	PN	abr/05	6,00	7,00	3,45	1,02	out/04	0	3,86
7	PN	abr/05	7,00	8,00	2,46	1,02	out/04	0	3,86
8	PN	abr/05	8,00	9,00	2,27	1,02	out/04	0	3,86
9	PN	abr/05	9,00	10,00	3,18	1,02	out/04	0	3,86
10	PN	abr/05	10,00	11,00	3,92	1,45	jul/04	0	4,01
11	PN	abr/05	11,00	12,00	4,82	1,45	jul/04	0	4,01
12	PN	abr/05	12,00	13,00	1,72	1,45	jul/04	0	4,01
13	PN	abr/05	13,00	14,00	2,15	1,45	jul/04	0	4,01
14	PN	abr/05	14,00	15,00	1,33	1,45	jul/04	0	4,01
15	PN	abr/05	15,00	16,00	0,81	1,17	set/04	0	3,91
16	PN	abr/05	16,00	17,00	1,33	1,17	set/04	0	3,91
17	PN	abr/05	17,00	18,00	3,54	1,17	set/04	0	3,91
18	PN	abr/05	18,00	19,00	4,53	1,17	set/04	1	3,91
19	PN	abr/05	20,00	21,00	3,53	4,22	nov/02	1	4,92
20	PN	abr/05	21,00	22,00	3,17	4,22	nov/02	1	4,92
21	PN	abr/05	22,00	23,00	4,13	4,22	nov/02	1	4,92
22	PN	abr/05	30,00	31,00	2,17	7,90	set/00	0	6,14
23	PN	abr/05	31,00	32,00	2,47	7,90	set/00	0	6,14
24	PN	abr/05	40,00	41,00	6,85	5,12	abr/02	0	5,22
25	PN	abr/05	41,00	42,00	3,47	5,12	abr/02	0	5,22
26	PN	abr/05	42,00	43,00	6,94	5,12	abr/02	1	5,22
27	PN	abr/05	43,00	44,00	4,72	5,12	abr/02	1	5,22
28	PN	abr/05	44,00	45,00	3,64	5,12	abr/02	1	5,22
29	PN	abr/05	46,00	47,00	4,81	3,93	jan/03	0	4,83
30	PN	abr/05	47,00	48,00	2,31	3,93	jan/03	0	4,83
31	PN	abr/05	55,00	56,00	11,39	4,76	jul/02	1	5,10
32	PN	abr/05	56,00	57,00	5,86	4,76	jul/02	1	5,10
33	PN	abr/05	57,00	58,00	6,44	4,76	jul/02	1	5,10
34	PN	abr/05	58,00	59,00	8,99	4,37	out/02	1	4,97
35	PN	abr/05	59,00	60,00	5,12	4,37	out/02	1	4,97
36	PN	abr/05	60,00	61,00	4,86	4,37	out/02	1	4,97
37	PN	abr/05	61,00	62,00	4,10	4,37	out/02	1	4,97
38	PN	abr/05	62,00	63,00	4,52	4,37	out/02	1	4,97
39	PN	abr/05	63,00	64,00	10,56	4,37	out/02	1	4,97
40	PN	abr/05	64,00	65,00	6,52	6,56	jun/01	1	5,70
41	PN	abr/05	65,00	66,00	11,20	6,56	jun/01	1	5,70
42	PN	abr/05	66,00	67,00	5,87	6,56	jun/01	1	5,70
43	PN	abr/05	67,00	68,00	10,53	8,17	jul/00	1	6,23
44	PN	abr/05	68,00	69,00	9,20	8,17	jul/00	1	6,23
45	PN	abr/05	69,00	70,00	6,64	8,17	jul/00	1	6,23
46	PN	jun/06	1,00	2,00	4,17	2,93	out/04	0	4,49
47	PN	jun/06	2,00	3,00	4,83	2,93	out/04	0	4,49
48	PN	jun/06	3,00	4,00	7,44	2,93	out/04	0	4,49
49	PN	jun/06	4,00	5,00	6,38	2,93	out/04	0	4,49
50	PN	jun/06	5,00	6,00	7,08	2,93	out/04	0	4,49
51	PN	jun/06	6,00	7,00	6,77	2,93	out/04	0	4,49
52	PN	jun/06	7,00	8,00	4,57	2,93	out/04	0	4,49
53	PN	jun/06	8,00	9,00	4,87	2,93	out/04	0	4,49

54	PN	jun/06	9,00	10,00	6,22	2,93	out/04	0	4,49
55	PN	jun/06	10,00	11,00	8,23	3,36	jul/04	1	4,64
56	PN	jun/06	11,00	12,00	9,58	3,36	jul/04	1	4,64
57	PN	jun/06	12,00	13,00	3,69	3,36	jul/04	0	4,64
58	PN	jun/06	13,00	14,00	3,24	3,36	jul/04	0	4,64
59	PN	jun/06	14,00	15,00	1,93	3,36	jul/04	0	4,64
60	PN	jun/06	15,00	16,00	2,31	3,07	set/04	0	4,54
61	PN	jun/06	16,00	17,00	3,77	3,07	set/04	0	4,54
62	PN	jun/06	17,00	18,00	6,78	3,07	set/04	0	4,54
63	PN	jun/06	18,00	19,00	6,33	3,07	set/04	1	4,54
64	PN	jun/06	20,00	21,00	6,60	6,12	nov/02	1	5,55
65	PN	jun/06	21,00	22,00	6,69	6,12	nov/02	1	5,55
66	PN	jun/06	22,00	23,00	7,85	6,12	nov/02	1	5,55
67	PN	jun/06	30,00	31,00	3,61	9,80	set/00	1	6,77
68	PN	jun/06	31,00	32,00	5,05	9,80	set/00	1	6,77
69	PN	jun/06	40,00	41,00	4,35	7,03	abr/02	1	5,85
70	PN	jun/06	41,00	42,00	4,50	7,03	abr/02	1	5,85
71	PN	jun/06	42,00	43,00	5,59	7,03	abr/02	1	5,85
72	PN	jun/06	43,00	44,00	5,63	7,03	abr/02	1	5,85
73	PN	jun/06	44,00	45,00	7,96	7,03	abr/02	1	5,85
74	PN	jun/06	46,00	47,00	7,55	5,83	jan/03	0	5,46
75	PN	jun/06	47,00	48,00	4,73	5,83	jan/03	0	5,46
76	PN	jun/06	55,00	56,00	7,92	6,66	jul/02	1	5,73
77	PN	jun/06	56,00	57,00	8,53	6,66	jul/02	1	5,73
78	PN	jun/06	57,00	58,00	7,14	6,66	jul/02	1	5,73
79	PN	jun/06	58,00	59,00	7,63	6,27	out/02	1	5,60
80	PN	jun/06	59,00	60,00	8,00	6,27	out/02	1	5,60
81	PN	jun/06	60,00	61,00	5,44	6,27	out/02	1	5,60
82	PN	jun/06	61,00	62,00	4,64	6,27	out/02	1	5,60
83	PN	jun/06	62,00	63,00	5,00	6,27	out/02	1	5,60
84	PN	jun/06	63,00	64,00	3,55	6,27	out/02	1	5,60
85	PN	jun/06	64,00	65,00	5,53	8,47	jun/01	1	6,33
86	PN	jun/06	65,00	66,00	12,15	8,47	jun/01	1	6,33
87	PN	jun/06	66,00	67,00	8,18	8,47	jun/01	1	6,33
88	PN	jun/06	67,00	68,00	13,26	10,08	jul/00	1	6,86
89	PN	jun/06	68,00	69,00	8,13	10,08	jul/00	1	6,86
90	PN	jun/06	69,00	70,00	6,48	10,08	jul/00	1	6,86
91	PS	jun/06	37,00	36,00	2,02	1,12	nov/05	0	3,90
92	PS	jun/06	36,00	35,00	1,42	1,12	nov/05	0	3,90
93	PS	jun/06	35,00	34,00	1,69	1,12	nov/05	0	3,90
94	PN	jun/07	1,00	2,00	2,59	4,64	out/04	0	5,06
95	PN	jun/07	2,00	3,00	4,68	4,64	out/04	0	5,06
96	PN	jun/07	3,00	4,00	8,07	4,64	out/04	0	5,06
97	PN	jun/07	4,00	5,00	6,73	4,64	out/04	0	5,06
98	PN	jun/07	5,00	6,00	3,13	4,64	out/04	0	5,06
99	PN	jun/07	6,00	7,00	3,33	4,64	out/04	0	5,06
100	PN	jun/07	7,00	8,00	4,61	4,64	out/04	0	5,06
101	PN	jun/07	8,00	9,00	1,52	4,64	out/04	0	5,06
102	PN	jun/07	9,00	10,00	5,75	4,64	out/04	1	5,06
103	PN	jun/07	10,00	11,00	10,24	5,07	jul/04	1	5,20
104	PN	jun/07	11,00	12,00	14,71	5,07	jul/04	1	5,20
105	PN	jun/07	12,00	13,00	3,83	5,07	jul/04	1	5,20
106	PN	jun/07	13,00	14,00	3,63	5,07	jul/04	1	5,20
107	PN	jun/07	14,00	15,00	3,18	5,07	jul/04	1	5,20
108	PN	jun/07	15,00	16,00	2,81	4,78	set/04	1	5,11
109	PN	jun/07	16,00	17,00	1,97	4,78	set/04	1	5,11
110	PN	jun/07	17,00	18,00	4,66	4,78	set/04	1	5,11
111	PN	jun/07	18,00	19,00	5,01	4,78	set/04	1	5,11
112	PN	jun/07	20,00	21,00	7,23	7,83	nov/02	1	6,12
113	PN	jun/07	21,00	22,00	7,75	7,83	nov/02	1	6,12
114	PN	jun/07	22,00	23,00	6,58	7,83	nov/02	1	6,12
115	PN	jun/07	30,00	31,00	3,44	11,51	set/00	1	7,34
116	PN	jun/07	31,00	32,00	2,46	11,51	set/00	1	7,34
117	PN	jun/07	40,00	41,00	3,41	8,74	abr/02	1	6,42
118	PN	jun/07	41,00	42,00	5,66	8,74	abr/02	1	6,42
119	PN	jun/07	42,00	43,00	6,09	8,74	abr/02	1	6,42
120	PN	jun/07	43,00	44,00	4,36	8,74	abr/02	1	6,42
121	PN	jun/07	44,00	45,00	3,77	8,74	abr/02	1	6,42
122	PN	jun/07	46,00	47,00	5,33	7,54	jan/03	0	6,02
123	PN	jun/07	47,00	48,00	5,54	7,54	jan/03	0	6,02
124	PN	jun/07	55,00	56,00	4,26	8,37	jul/02	1	6,30
125	PN	jun/07	56,00	57,00	5,19	8,37	jul/02	1	6,30
126	PN	jun/07	57,00	58,00	4,94	8,37	jul/02	1	6,30
127	PN	jun/07	58,00	59,00	7,93	7,98	out/02	1	6,17
128	PN	jun/07	59,00	60,00	9,63	7,98	out/02	1	6,17
129	PN	jun/07	60,00	61,00	4,84	7,98	out/02	1	6,17
130	PN	jun/07	61,00	62,00	3,30	7,98	out/02	1	6,17
131	PN	jun/07	62,00	63,00	4,64	7,98	out/02	1	6,17
132	PN	jun/07	63,00	64,00	4,34	7,98	out/02	1	6,17

133	PN	jun/07	64,00	65,00	5,62	10,18	jun/01	1	6,90
134	PN	jun/07	65,00	66,00	5,96	10,18	jun/01	1	6,90
135	PN	jun/07	66,00	67,00	3,76	10,18	jun/01	1	6,90
136	PN	jun/07	67,00	68,00	4,67	11,79	jul/00	1	7,43
137	PN	jun/07	68,00	69,00	8,86	11,79	jul/00	1	7,43
138	PN	jun/07	69,00	70,00	8,71	11,79	jul/00	1	7,43
139	PS	jun/07	37,00	36,00	5,74	2,83	nov/05	0	4,46
140	PS	jun/07	36,00	35,00	6,24	2,83	nov/05	0	4,46
141	PS	jun/07	35,00	34,00	5,93	2,83	nov/05	0	4,46
142	PS	jun/07	28,00	27,00	2,49	1,15	nov/06	0	3,91
143	PS	jun/07	27,00	26,00	2,19	1,15	nov/06	0	3,91

AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA

ANÁLISE ESTATÍSTICA

$$y = a + b \cdot x$$

a: 2,97

b: 0,34

F calculado: 45,4

F tabelado: 3,92

teste aceito

nº de dados: 124

dados espúrios: 19

F: 3,69

F crítico: 1,35

teste rejeitado

R²: 0,27

rejeitado

t: 0,00

REMOP [%]: 1,60

aceito

t crítico: 1,65

teste aceito

dado	Pista	período do levantamento	km		ATR [mm]	N (x10 ⁶)	período da construção	intervações	ATR estimado [mm]
1	PN	abr/05	1,00	2,00	2,49	1,02	out/04	0	3,32
2	PN	abr/05	2,00	3,00	2,52	1,02	out/04	0	3,32
3	PN	abr/05	3,00	4,00	4,32	1,02	out/04	0	3,32
4	PN	abr/05	4,00	5,00	3,34	1,02	out/04	0	3,32
5	PN	abr/05	5,00	6,00	3,30	1,02	out/04	0	3,32
6	PN	abr/05	6,00	7,00	3,45	1,02	out/04	0	3,32
7	PN	abr/05	7,00	8,00	2,46	1,02	out/04	0	3,32
8	PN	abr/05	8,00	9,00	2,27	1,02	out/04	0	3,32
9	PN	abr/05	9,00	10,00	3,18	1,02	out/04	0	3,32
10	PN	abr/05	10,00	11,00	3,92	1,45	jul/04	0	3,47
11	PN	abr/05	11,00	12,00	4,82	1,45	jul/04	0	3,47
12	PN	abr/05	12,00	13,00	1,72	1,45	jul/04	0	3,47
13	PN	abr/05	13,00	14,00	2,15	1,45	jul/04	0	3,47
14	PN	abr/05	14,00	15,00	1,33	1,45	jul/04	0	3,47
15	PN	abr/05	15,00	16,00	0,81	1,17	set/04	0	3,37
16	PN	abr/05	16,00	17,00	1,33	1,17	set/04	0	3,37
17	PN	abr/05	17,00	18,00	3,54	1,17	set/04	0	3,37
18	PN	abr/05	18,00	19,00	4,53	1,17	set/04	1	3,37
19	PN	abr/05	20,00	21,00	3,53	4,22	nov/02	1	4,40
20	PN	abr/05	21,00	22,00	3,17	4,22	nov/02	1	4,40
21	PN	abr/05	22,00	23,00	4,13	4,22	nov/02	1	4,40
23	PN	abr/05	31,00	32,00	2,47	7,90	set/00	0	5,65
24	PN	abr/05	40,00	41,00	6,85	5,12	abr/02	0	4,71
25	PN	abr/05	41,00	42,00	3,47	5,12	abr/02	0	4,71
26	PN	abr/05	42,00	43,00	6,94	5,12	abr/02	1	4,71
27	PN	abr/05	43,00	44,00	4,72	5,12	abr/02	1	4,71
28	PN	abr/05	44,00	45,00	3,64	5,12	abr/02	1	4,71
29	PN	abr/05	46,00	47,00	4,81	3,93	jan/03	0	4,30
30	PN	abr/05	47,00	48,00	2,31	3,93	jan/03	0	4,30
32	PN	abr/05	56,00	57,00	5,86	4,76	jul/02	1	4,59
33	PN	abr/05	57,00	58,00	6,44	4,76	jul/02	1	4,59
35	PN	abr/05	59,00	60,00	5,12	4,37	out/02	1	4,45
36	PN	abr/05	60,00	61,00	4,86	4,37	out/02	1	4,45
37	PN	abr/05	61,00	62,00	4,10	4,37	out/02	1	4,45
38	PN	abr/05	62,00	63,00	4,52	4,37	out/02	1	4,45
40	PN	abr/05	64,00	65,00	6,52	6,56	jun/01	1	5,20
42	PN	abr/05	66,00	67,00	5,87	6,56	jun/01	1	5,20
45	PN	abr/05	69,00	70,00	6,64	8,17	jul/00	1	5,75
46	PN	jun/06	1,00	2,00	4,17	2,93	out/04	0	3,97
47	PN	jun/06	2,00	3,00	4,83	2,93	out/04	0	3,97
49	PN	jun/06	4,00	5,00	6,38	2,93	out/04	0	3,97
50	PN	jun/06	5,00	6,00	7,08	2,93	out/04	0	3,97
51	PN	jun/06	6,00	7,00	6,77	2,93	out/04	0	3,97
52	PN	jun/06	7,00	8,00	4,57	2,93	out/04	0	3,97
53	PN	jun/06	8,00	9,00	4,87	2,93	out/04	0	3,97
54	PN	jun/06	9,00	10,00	6,22	2,93	out/04	0	3,97
57	PN	jun/06	12,00	13,00	3,69	3,36	jul/04	0	4,11
58	PN	jun/06	13,00	14,00	3,24	3,36	jul/04	0	4,11
59	PN	jun/06	14,00	15,00	1,93	3,36	jul/04	0	4,11
60	PN	jun/06	15,00	16,00	2,31	3,07	set/04	0	4,01
61	PN	jun/06	16,00	17,00	3,77	3,07	set/04	0	4,01
62	PN	jun/06	17,00	18,00	6,78	3,07	set/04	0	4,01
63	PN	jun/06	18,00	19,00	6,33	3,07	set/04	1	4,01

64	PN	jun/06	20,00	21,00	6,60	6,12	nov/02	1	5,05
65	PN	jun/06	21,00	22,00	6,69	6,12	nov/02	1	5,05
66	PN	jun/06	22,00	23,00	7,85	6,12	nov/02	1	5,05
67	PN	jun/06	30,00	31,00	3,61	9,80	set/00	1	6,30
68	PN	jun/06	31,00	32,00	5,05	9,80	set/00	1	6,30
69	PN	jun/06	40,00	41,00	4,35	7,03	abr/02	1	5,36
70	PN	jun/06	41,00	42,00	4,50	7,03	abr/02	1	5,36
71	PN	jun/06	42,00	43,00	5,59	7,03	abr/02	1	5,36
72	PN	jun/06	43,00	44,00	5,63	7,03	abr/02	1	5,36
73	PN	jun/06	44,00	45,00	7,96	7,03	abr/02	1	5,36
74	PN	jun/06	46,00	47,00	7,55	5,83	jan/03	0	4,95
75	PN	jun/06	47,00	48,00	4,73	5,83	jan/03	0	4,95
76	PN	jun/06	55,00	56,00	7,92	6,66	jul/02	1	5,23
78	PN	jun/06	57,00	58,00	7,14	6,66	jul/02	1	5,23
79	PN	jun/06	58,00	59,00	7,63	6,27	out/02	1	5,10
80	PN	jun/06	59,00	60,00	8,00	6,27	out/02	1	5,10
81	PN	jun/06	60,00	61,00	5,44	6,27	out/02	1	5,10
82	PN	jun/06	61,00	62,00	4,64	6,27	out/02	1	5,10
83	PN	jun/06	62,00	63,00	5,00	6,27	out/02	1	5,10
84	PN	jun/06	63,00	64,00	3,55	6,27	out/02	1	5,10
85	PN	jun/06	64,00	65,00	5,53	8,47	jun/01	1	5,85
87	PN	jun/06	66,00	67,00	8,18	8,47	jun/01	1	5,85
89	PN	jun/06	68,00	69,00	8,13	10,08	jul/00	1	6,39
90	PN	jun/06	69,00	70,00	6,48	10,08	jul/00	1	6,39
91	PS	jun/06	37,00	36,00	2,02	1,12	nov/05	0	3,35
92	PS	jun/06	36,00	35,00	1,42	1,12	nov/05	0	3,35
93	PS	jun/06	35,00	34,00	1,69	1,12	nov/05	0	3,35
94	PN	jun/07	1,00	2,00	2,59	4,64	out/04	0	4,55
95	PN	jun/07	2,00	3,00	4,68	4,64	out/04	0	4,55
97	PN	jun/07	4,00	5,00	6,73	4,64	out/04	0	4,55
98	PN	jun/07	5,00	6,00	3,13	4,64	out/04	0	4,55
99	PN	jun/07	6,00	7,00	3,33	4,64	out/04	0	4,55
100	PN	jun/07	7,00	8,00	4,61	4,64	out/04	0	4,55
101	PN	jun/07	8,00	9,00	1,52	4,64	out/04	0	4,55
102	PN	jun/07	9,00	10,00	5,75	4,64	out/04	1	4,55
105	PN	jun/07	12,00	13,00	3,83	5,07	jul/04	1	4,69
106	PN	jun/07	13,00	14,00	3,63	5,07	jul/04	1	4,69
107	PN	jun/07	14,00	15,00	3,18	5,07	jul/04	1	4,69
108	PN	jun/07	15,00	16,00	2,81	4,78	set/04	1	4,59
109	PN	jun/07	16,00	17,00	1,97	4,78	set/04	1	4,59
110	PN	jun/07	17,00	18,00	4,66	4,78	set/04	1	4,59
111	PN	jun/07	18,00	19,00	5,01	4,78	set/04	1	4,59
112	PN	jun/07	20,00	21,00	7,23	7,83	nov/02	1	5,63
113	PN	jun/07	21,00	22,00	7,75	7,83	nov/02	1	5,63
114	PN	jun/07	22,00	23,00	6,58	7,83	nov/02	1	5,63
117	PN	jun/07	40,00	41,00	3,41	8,74	abr/02	1	5,94
118	PN	jun/07	41,00	42,00	5,66	8,74	abr/02	1	5,94
119	PN	jun/07	42,00	43,00	6,09	8,74	abr/02	1	5,94
120	PN	jun/07	43,00	44,00	4,36	8,74	abr/02	1	5,94
121	PN	jun/07	44,00	45,00	3,77	8,74	abr/02	1	5,94
122	PN	jun/07	46,00	47,00	5,33	7,54	jan/03	0	5,53
123	PN	jun/07	47,00	48,00	5,54	7,54	jan/03	0	5,53
124	PN	jun/07	55,00	56,00	4,26	8,37	jul/02	1	5,81
125	PN	jun/07	56,00	57,00	5,19	8,37	jul/02	1	5,81
126	PN	jun/07	57,00	58,00	4,94	8,37	jul/02	1	5,81
127	PN	jun/07	58,00	59,00	7,93	7,98	out/02	1	5,68
129	PN	jun/07	60,00	61,00	4,84	7,98	out/02	1	5,68
130	PN	jun/07	61,00	62,00	3,30	7,98	out/02	1	5,68
131	PN	jun/07	62,00	63,00	4,64	7,98	out/02	1	5,68
132	PN	jun/07	63,00	64,00	4,34	7,98	out/02	1	5,68
133	PN	jun/07	64,00	65,00	5,62	10,18	jun/01	1	6,43
134	PN	jun/07	65,00	66,00	5,96	10,18	jun/01	1	6,43
135	PN	jun/07	66,00	67,00	3,76	10,18	jun/01	1	6,43
136	PN	jun/07	67,00	68,00	4,67	11,79	jul/00	1	6,97
137	PN	jun/07	68,00	69,00	8,86	11,79	jul/00	1	6,97
138	PN	jun/07	69,00	70,00	8,71	11,79	jul/00	1	6,97
139	PS	jun/07	37,00	36,00	5,74	2,83	nov/05	0	3,93
140	PS	jun/07	36,00	35,00	6,24	2,83	nov/05	0	3,93
141	PS	jun/07	35,00	34,00	5,93	2,83	nov/05	0	3,93
142	PS	jun/07	28,00	27,00	2,49	1,15	nov/06	0	3,36
143	PS	jun/07	27,00	26,00	2,19	1,15	nov/06	0	3,36

AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA

ANÁLISE ESTATÍSTICA

$$y=a+b.x$$

a: 2,4

b: 0,56

F calculado: 75,1

F tabelado: 4,0

teste aceito

nº de dados: 79
dados espúrios: 14

F: 2,03

F crítico: 1,45

teste rejeitado

R²: 0,50

aceito

t: 0,00

REMOP [%]: 1,45

aceito

t crítico: 1,66

teste aceito

dado	Pista	período do levantamento	km		ATR [mm]	N (x10 ⁶)	período da construção	intervações	ATR estimado [mm]
1	PN	abr/05	1,00	2,00	2,49	1,02	out/04	0	2,94
2	PN	abr/05	2,00	3,00	2,52	1,02	out/04	0	2,94
3	PN	abr/05	3,00	4,00	4,32	1,02	out/04	0	2,94
4	PN	abr/05	4,00	5,00	3,34	1,02	out/04	0	2,94
5	PN	abr/05	5,00	6,00	3,30	1,02	out/04	0	2,94
6	PN	abr/05	6,00	7,00	3,45	1,02	out/04	0	2,94
7	PN	abr/05	7,00	8,00	2,46	1,02	out/04	0	2,94
8	PN	abr/05	8,00	9,00	2,27	1,02	out/04	0	2,94
9	PN	abr/05	9,00	10,00	3,18	1,02	out/04	0	2,94
10	PN	abr/05	10,00	11,00	3,92	1,45	jul/04	0	3,18
11	PN	abr/05	11,00	12,00	4,82	1,45	jul/04	0	3,18
12	PN	abr/05	12,00	13,00	1,72	1,45	jul/04	0	3,18
13	PN	abr/05	13,00	14,00	2,15	1,45	jul/04	0	3,18
14	PN	abr/05	14,00	15,00	1,33	1,45	jul/04	0	3,18
15	PN	abr/05	15,00	16,00	0,81	1,17	set/04	0	3,02
16	PN	abr/05	16,00	17,00	1,33	1,17	set/04	0	3,02
17	PN	abr/05	17,00	18,00	3,54	1,17	set/04	0	3,02
18	PN	abr/05	18,00	19,00	4,53	1,17	set/04	1	3,02
19	PN	abr/05	20,00	21,00	3,53	4,22	nov/02	1	4,74
20	PN	abr/05	21,00	22,00	3,17	4,22	nov/02	1	4,74
21	PN	abr/05	22,00	23,00	4,13	4,22	nov/02	1	4,74
24	PN	abr/05	40,00	41,00	6,85	5,12	abr/02	0	5,25
25	PN	abr/05	41,00	42,00	3,47	5,12	abr/02	0	5,25
26	PN	abr/05	42,00	43,00	6,94	5,12	abr/02	1	5,25
27	PN	abr/05	43,00	44,00	4,72	5,12	abr/02	1	5,25
28	PN	abr/05	44,00	45,00	3,64	5,12	abr/02	1	5,25
29	PN	abr/05	46,00	47,00	4,81	3,93	jan/03	0	4,57
30	PN	abr/05	47,00	48,00	2,31	3,93	jan/03	0	4,57
32	PN	abr/05	56,00	57,00	5,86	4,76	jul/02	1	5,04
33	PN	abr/05	57,00	58,00	6,44	4,76	jul/02	1	5,04
35	PN	abr/05	59,00	60,00	5,12	4,37	out/02	1	4,82
36	PN	abr/05	60,00	61,00	4,86	4,37	out/02	1	4,82
37	PN	abr/05	61,00	62,00	4,10	4,37	out/02	1	4,82
38	PN	abr/05	62,00	63,00	4,52	4,37	out/02	1	4,82
40	PN	abr/05	64,00	65,00	6,52	6,56	jun/01	1	6,06
42	PN	abr/05	66,00	67,00	5,87	6,56	jun/01	1	6,06
44	PN	abr/05	68,00	69,00	9,20	8,17	jul/00	1	6,96
45	PN	abr/05	69,00	70,00	6,64	8,17	jul/00	1	6,96
46	PN	jun/06	1,00	2,00	4,17	2,93	out/04	0	4,01
47	PN	jun/06	2,00	3,00	4,83	2,93	out/04	0	4,01
49	PN	jun/06	4,00	5,00	6,38	2,93	out/04	0	4,01
51	PN	jun/06	6,00	7,00	6,77	2,93	out/04	0	4,01
52	PN	jun/06	7,00	8,00	4,57	2,93	out/04	0	4,01
53	PN	jun/06	8,00	9,00	4,87	2,93	out/04	0	4,01
54	PN	jun/06	9,00	10,00	6,22	2,93	out/04	0	4,01
57	PN	jun/06	12,00	13,00	3,69	3,36	jul/04	0	4,25
58	PN	jun/06	13,00	14,00	3,24	3,36	jul/04	0	4,25
59	PN	jun/06	14,00	15,00	1,93	3,36	jul/04	0	4,25
60	PN	jun/06	15,00	16,00	2,31	3,07	set/04	0	4,09
61	PN	jun/06	16,00	17,00	3,77	3,07	set/04	0	4,09
62	PN	jun/06	17,00	18,00	6,78	3,07	set/04	0	4,09
63	PN	jun/06	18,00	19,00	6,33	3,07	set/04	1	4,09
64	PN	jun/06	20,00	21,00	6,60	6,12	nov/02	1	5,81

65	PN	jun/06	21,00	22,00	6,69	6,12	nov/02	1	5,81
66	PN	jun/06	22,00	23,00	7,85	6,12	nov/02	1	5,81
68	PN	jun/06	31,00	32,00	5,05	9,80	set/00	1	7,88
69	PN	jun/06	40,00	41,00	4,35	7,03	abr/02	1	6,32
70	PN	jun/06	41,00	42,00	4,50	7,03	abr/02	1	6,32
71	PN	jun/06	42,00	43,00	5,59	7,03	abr/02	1	6,32
72	PN	jun/06	43,00	44,00	5,63	7,03	abr/02	1	6,32
73	PN	jun/06	44,00	45,00	7,96	7,03	abr/02	1	6,32
74	PN	jun/06	46,00	47,00	7,55	5,83	jan/03	0	5,64
75	PN	jun/06	47,00	48,00	4,73	5,83	jan/03	0	5,64
76	PN	jun/06	55,00	56,00	7,92	6,66	jul/02	1	6,11
77	PN	jun/06	56,00	57,00	8,53	6,66	jul/02	1	6,11
78	PN	jun/06	57,00	58,00	7,14	6,66	jul/02	1	6,11
79	PN	jun/06	58,00	59,00	7,63	6,27	out/02	1	5,89
80	PN	jun/06	59,00	60,00	8,00	6,27	out/02	1	5,89
81	PN	jun/06	60,00	61,00	5,44	6,27	out/02	1	5,89
82	PN	jun/06	61,00	62,00	4,64	6,27	out/02	1	5,89
83	PN	jun/06	62,00	63,00	5,00	6,27	out/02	1	5,89
84	PN	jun/06	63,00	64,00	3,55	6,27	out/02	1	5,89
85	PN	jun/06	64,00	65,00	5,53	8,47	jun/01	1	7,13
87	PN	jun/06	66,00	67,00	8,18	8,47	jun/01	1	7,13
89	PN	jun/06	68,00	69,00	8,13	10,08	jul/00	1	8,03
90	PN	jun/06	69,00	70,00	6,48	10,08	jul/00	1	8,03
91	PS	jun/06	37,00	36,00	2,02	1,12	nov/05	0	2,99
92	PS	jun/06	36,00	35,00	1,42	1,12	nov/05	0	2,99
93	PS	jun/06	35,00	34,00	1,69	1,12	nov/05	0	2,99

AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA

ANÁLISE ESTATÍSTICA

$$y = a + b \cdot x + c \cdot z$$

a: 2,72

b: 0,32

c: 1,32

F calculado: 29,69

F tabelado: 3,11

teste aceito

nº de dados: 82

nº espúrios: 11

F: 2,33

F crítico: 1,44

teste rejeitado

t: 0,00

R²: 0,43

rejeitado

REMOP [%]: 1,57

t crítico: 1,66

aceito

teste aceito

dado	Pista	período do levantamento	km		ATR [mm]	N (x10 ⁶)	período da construção	intervações	ATR estimado [mm]
1	PN	abr/05	1,00	2,00	2,49	1,02	out/04	0	3,05
2	PN	abr/05	2,00	3,00	2,52	1,02	out/04	0	3,05
3	PN	abr/05	3,00	4,00	4,32	1,02	out/04	0	3,05
4	PN	abr/05	4,00	5,00	3,34	1,02	out/04	0	3,05
5	PN	abr/05	5,00	6,00	3,30	1,02	out/04	0	3,05
6	PN	abr/05	6,00	7,00	3,45	1,02	out/04	0	3,05
7	PN	abr/05	7,00	8,00	2,46	1,02	out/04	0	3,05
8	PN	abr/05	8,00	9,00	2,27	1,02	out/04	0	3,05
9	PN	abr/05	9,00	10,00	3,18	1,02	out/04	0	3,05
10	PN	abr/05	10,00	11,00	3,92	1,45	jul/04	0	3,18
11	PN	abr/05	11,00	12,00	4,82	1,45	jul/04	0	3,18
12	PN	abr/05	12,00	13,00	1,72	1,45	jul/04	0	3,18
13	PN	abr/05	13,00	14,00	2,15	1,45	jul/04	0	3,18
14	PN	abr/05	14,00	15,00	1,33	1,45	jul/04	0	3,18
15	PN	abr/05	15,00	16,00	0,81	1,17	set/04	0	3,09
16	PN	abr/05	16,00	17,00	1,33	1,17	set/04	0	3,09
17	PN	abr/05	17,00	18,00	3,54	1,17	set/04	0	3,09
18	PN	abr/05	18,00	19,00	4,53	1,17	set/04	1	4,41
19	PN	abr/05	20,00	21,00	3,53	4,22	nov/02	1	5,38
20	PN	abr/05	21,00	22,00	3,17	4,22	nov/02	1	5,38
21	PN	abr/05	22,00	23,00	4,13	4,22	nov/02	1	5,38
22	PN	abr/05	30,00	31,00	2,17	7,90	set/00	0	5,22
23	PN	abr/05	31,00	32,00	2,47	7,90	set/00	0	5,22
24	PN	abr/05	40,00	41,00	6,85	5,12	abr/02	0	4,34
25	PN	abr/05	41,00	42,00	3,47	5,12	abr/02	0	4,34
26	PN	abr/05	42,00	43,00	6,94	5,12	abr/02	1	5,66
27	PN	abr/05	43,00	44,00	4,72	5,12	abr/02	1	5,66
28	PN	abr/05	44,00	45,00	3,64	5,12	abr/02	1	5,66
29	PN	abr/05	46,00	47,00	4,81	3,93	jan/03	0	3,96
30	PN	abr/05	47,00	48,00	2,31	3,93	jan/03	0	3,96
32	PN	abr/05	56,00	57,00	5,86	4,76	jul/02	1	5,55
33	PN	abr/05	57,00	58,00	6,44	4,76	jul/02	1	5,55
35	PN	abr/05	59,00	60,00	5,12	4,37	out/02	1	5,42
36	PN	abr/05	60,00	61,00	4,86	4,37	out/02	1	5,42
37	PN	abr/05	61,00	62,00	4,10	4,37	out/02	1	5,42
38	PN	abr/05	62,00	63,00	4,52	4,37	out/02	1	5,42
40	PN	abr/05	64,00	65,00	6,52	6,56	jun/01	1	6,12
42	PN	abr/05	66,00	67,00	5,87	6,56	jun/01	1	6,12
44	PN	abr/05	68,00	69,00	9,20	8,17	jul/00	1	6,62
45	PN	abr/05	69,00	70,00	6,64	8,17	jul/00	1	6,62
46	PN	jun/06	1,00	2,00	4,17	2,93	out/04	0	3,65
47	PN	jun/06	2,00	3,00	4,83	2,93	out/04	0	3,65
49	PN	jun/06	4,00	5,00	6,38	2,93	out/04	0	3,65
51	PN	jun/06	6,00	7,00	6,77	2,93	out/04	0	3,65
52	PN	jun/06	7,00	8,00	4,57	2,93	out/04	0	3,65
53	PN	jun/06	8,00	9,00	4,87	2,93	out/04	0	3,65
54	PN	jun/06	9,00	10,00	6,22	2,93	out/04	0	3,65
55	PN	jun/06	10,00	11,00	8,23	3,36	jul/04	1	5,10
57	PN	jun/06	12,00	13,00	3,69	3,36	jul/04	0	3,78
58	PN	jun/06	13,00	14,00	3,24	3,36	jul/04	0	3,78
59	PN	jun/06	14,00	15,00	1,93	3,36	jul/04	0	3,78
60	PN	jun/06	15,00	16,00	2,31	3,07	set/04	0	3,69
61	PN	jun/06	16,00	17,00	3,77	3,07	set/04	0	3,69

62	PN	jun/06	17,00	18,00	6,78	3,07	set/04	0	3,69
63	PN	jun/06	18,00	19,00	6,33	3,07	set/04	1	5,01
64	PN	jun/06	20,00	21,00	6,60	6,12	nov/02	1	5,98
65	PN	jun/06	21,00	22,00	6,69	6,12	nov/02	1	5,98
66	PN	jun/06	22,00	23,00	7,85	6,12	nov/02	1	5,98
68	PN	jun/06	31,00	32,00	5,05	9,80	set/00	1	7,14
69	PN	jun/06	40,00	41,00	4,35	7,03	abr/02	1	6,26
70	PN	jun/06	41,00	42,00	4,50	7,03	abr/02	1	6,26
71	PN	jun/06	42,00	43,00	5,59	7,03	abr/02	1	6,26
72	PN	jun/06	43,00	44,00	5,63	7,03	abr/02	1	6,26
73	PN	jun/06	44,00	45,00	7,96	7,03	abr/02	1	6,26
74	PN	jun/06	46,00	47,00	7,55	5,83	jan/03	0	4,56
75	PN	jun/06	47,00	48,00	4,73	5,83	jan/03	0	4,56
76	PN	jun/06	55,00	56,00	7,92	6,66	jul/02	1	6,15
77	PN	jun/06	56,00	57,00	8,53	6,66	jul/02	1	6,15
78	PN	jun/06	57,00	58,00	7,14	6,66	jul/02	1	6,15
79	PN	jun/06	58,00	59,00	7,63	6,27	out/02	1	6,02
80	PN	jun/06	59,00	60,00	8,00	6,27	out/02	1	6,02
81	PN	jun/06	60,00	61,00	5,44	6,27	out/02	1	6,02
82	PN	jun/06	61,00	62,00	4,64	6,27	out/02	1	6,02
83	PN	jun/06	62,00	63,00	5,00	6,27	out/02	1	6,02
84	PN	jun/06	63,00	64,00	3,55	6,27	out/02	1	6,02
85	PN	jun/06	64,00	65,00	5,53	8,47	jun/01	1	6,72
87	PN	jun/06	66,00	67,00	8,18	8,47	jun/01	1	6,72
89	PN	jun/06	68,00	69,00	8,13	10,08	jul/00	1	7,22
90	PN	jun/06	69,00	70,00	6,48	10,08	jul/00	1	7,22
91	PS	jun/06	37,00	36,00	2,02	1,12	nov/05	0	3,08
92	PS	jun/06	36,00	35,00	1,42	1,12	nov/05	0	3,08
93	PS	jun/06	35,00	34,00	1,69	1,12	nov/05	0	3,08