



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO**

SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS DO DER/SP

Luiz Antonio da Silva

Campinas

2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO

Luiz Antônio da Silva

Engenheiro Civil, Faculdade de Engenharia das Faculdades Franciscanas, 1978

SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS DO DER/SP

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Transportes.

Orientador: **Prof. Dr. João Virgílio Merighi**

Campinas – SP

2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Si38s Silva, Luiz Antonio da
Sistema de gerência de pavimentos do DER/SP / Luiz
Antonio da Silva. --Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: João Virgilio Merighi.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura.

1. Pavimentos de asfaltos. 2. Pavimentos flexíveis.
3. Pavimentos - Defeitos. I. Merighi, João Virgilio. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil e Arquitetura. III. Título.

Título em Inglês: Pavements Management System (PMS - DER/SP)

Palavras-chave em Inglês: Pavements, asphalt, Pavements flexible, Pavement -
Defects

Área de concentração: Engenharia de Transportes

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Cássio Eduardo Lima de Paiva, Carlos Yukio Suzuki

Data da defesa: 30/09/2008

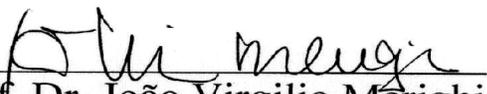
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

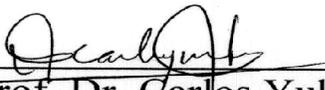
SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS DO DER SP

Autor: Luiz Antonio Da Silva

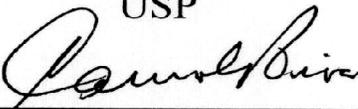
Dissertação de mestrado aprovada pela banca examinadora, constituída por:



Prof. Dr. João Virgílio Merighi
Presidente e Orientador/ FEC-UNICAMP



Prof. Dr. Carlos Yukio Suzuki
USP



Prof. Dr. Cassio Eduardo Lima de Paiva
FEC-UNICAMP

Campinas, 30 de setembro de 2008

Dedicatória

In memoriam, ao Prof. Araken Silveira e aos meus pais.

À minha esposa e aos nossos cinco filhos.

Aos familiares e amigos que me cobraram e torceram por mim.

Agradecimento

Agradeço a Unicamp e em especial as pessoas com as quais me relacionei no período em que fiz a minha inscrição, enquanto completei os créditos, tratei de questões técnicas e administrativas, me alimentei e precisei de orientação e de ajuda especialmente para escrever esta dissertação de mestrado. Agradeço aos professores e a todos que abriram o tesouro de sua inteligência, da sua ciência, da sua perícia, da sua experiência de vida profissional e de vida pessoal, da sua compreensão, da sua bondade e do seu precioso tempo. De modo particular, a minha gratidão aos colegas e amigos da Faculdade de Engenharia Civil – FEC e aos do Departamento de Transportes, que durante este tempo iluminaram o caminho que me levaria ao cume desta conquista.

Em várias oportunidades incluí as pessoas direta ou indiretamente envolvidas com este trabalho em minhas orações e lhes continuarei sempre grato. Em nome de todos, agradeço nominalmente os seguintes professores:

- Prof. Dr. Araken Silveira (in memoriam) – primeiro Orientador (Unicamp)
- Prof. Dr. João Virgílio Merighi – atual Orientador (Unicamp)
- Prof^ª. Dr^a Maria Rita Moura Fortes – Professora da Unicamp
- Prof. Dr. Carlos Yukio Suzuki – Professor da USP
- Prof. Dr. Cássio Eduardo Lima de Paiva – Professor da Unicamp
- Prof. Dr. José Maria Rodriguez Ramos – Coordenador da Área de Economia da FAAP

Resumo

SILVA, Luiz Antonio da. **Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SP**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, 2008. 176 p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2008.

Este trabalho versa sobre métodos de levantamento de defeitos e avaliação das condições estruturais, funcionais e de segurança dos pavimentos asfálticos nas estradas estaduais sob a jurisdição do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP. Aborda também alguns aspectos administrativos da Autarquia Estadual, aonde atuo como engenheiro de carreira na área de planejamento e de projeto. O DER/SP tem como missão administrar o sistema rodoviário estadual, sua integração com as rodovias municipais e federais e a sua interação com os demais modos de transporte, objetivando o atendimento aos usuários no transporte de pessoas e cargas. Para atender o crescimento acelerado da demanda de tráfego do Estado mais desenvolvido da Nação é imprescindível a ininterrupta execução de serviços de manutenção da rede existente e de construção de novas alternativas. Hoje com a relativa facilidade de acesso a uma ampla e variada tecnologia, aliada a uma crescente quantidade de boas empresas consultoras existentes no mercado, o DER/SP vem procurando desenvolver um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP-DER/SP). Enfim, o Estado de São Paulo que já teve no seu órgão rodoviário oficial a mais importante escola de rodoviarismo brasileira, está se adequando a um novo sistema de gestão para fazer jus à sua condição de principal Estado de um País de índole rodoviária.

Palavras chave: Pavimentos de Asfalto; Pavimentos Flexíveis; Pavimentos – Defeitos

Abstract

SILVA, Luiz Antonio da. **Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SP**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, 2008. 176 p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2008.

This master's thesis examines methods for survey and assessment of the structural, functional and safe conditions of asphalt pavements at the roads under the control of the Sao Paulo State Road Department (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP). It also discusses some administrative aspects of the DER/SP, where I have worked as an engineer in the planning and project areas, which has the mission to manage the State road system, its integration with local and national roads and its interaction with other transport modes, aiming at providing transportation for people and cargo. In order to meet the fast growing traffic demand of the State of Sao Paulo, which is the most developed State of the country, it is vital to continuously keep the maintenance of the existing road net and the construction of new alternatives. Nowadays, with a relatively easy access to a wide range of technologies together with a growing supply of good consultancy companies, the DER/SP has attempted to develop a Pavements Management System (PMS-DER/SP). Therefore, the DER/SP, which once had been the most important brazilian road school, it has adapted itself to a new management system in order to be entitled to the position of the Road Department of the main State of the country, which is known for its road tradition.

Key words: Asphalt Pavements; Flexible Pavements; Pavements - Distress

Lista de Figuras

Figura 2.1:	Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo de 1936.....	11
Figura 2.2:	Mapa Rodoviária do Estado de São Paulo de 2005.....	11
Figura 3.1:	Carga de roda e tensões verticais geradas no pavimento.....	14
Figura 3.2:	Bacias de deflexão de pavimento flexível e de pavimento rígido.....	15
Figura 3.3:	Seções transversais tipo de pavimento.....	16
Figura 3.4:	Elementos do Veículo Medidor de Irregularidade.....	47
Figura 3.5:	Perfilômetro dinâmico usado na pesquisa I.C.R.....	48
Figura 3.6:	Simulador de quarto-de-carro.....	48
Figura 3.7:	Transverso – Perfilômetro Strata.....	50
Figura 3.8:	Régua Treliça de 1,20 m de base.....	50
Figura 3.9:	Incidência do feixe de laser do Perfilômetro Cibernétrica.....	53
Figura 3.10:	Ondas micro texturais que definem as asperezas do pavimento..	60
Figura 3.11:	Elementos para Ensaio de Mancha de Areia que mede Aderência/Atrito.....	63
Figura 3.12:	Esquema do Mu-meter	67
Figura 3.13:	Esquema de deflexão provocada pelo carregamento.....	70
Figura 3.14:	Esquematização do deflectômetro de impacto.....	72
Figura 3.15:	Bacia de deflexões medida com o FWD.....	78
Figura 3.16:	Posicionamento da Viga Benkelman e da ponta da prova de carga.....	81
Figura 3.17:	Bacia de deformação e a sua respectiva deformada.....	91
Figura 3.18:	Deformada e raio de curvatura.....	92
Figura 4.1:	Esquema do efeito da carga sobre o pavimento.....	96
Figura 5.1:	Aplicação de cargas pelo cálculo mecanicista do programa ELSYM-5.....	113
Figura 6.1:	Fluxograma do SGP – DER/DP.....	127

Lista de Fotos

Foto 2.1:	Vistas “A” e “B” da Via Appia	6
Foto 3.1:	Detalhes de medidor de irregularidade longitudinal tipo-resposta (SMITR).....	45
Foto 3.2:	Sensores do Perfilômetro Laser no pára-choque dianteiro.....	51
Foto 3.3:	Detalhes do Perfilômetro Laser no pára-choque dianteiro.....	53
Foto 3.4:	Perfilômetro Laser no pára-choque traseiro.....	54
Foto 3.5:	Pêndulo Britânico.....	66
Foto 3.6:	Teste de medida de atrito com roda-presa.....	68
Foto 3.7:	Kuab FWD.....	73
Foto 3.8:	Falling Weight Deflectometer – FWD.....	73
Foto 3.9:	Acompanhamento de trabalho com FWD – Dynatest.....	74
Foto 3.10:	FWD – Detalhe dos geofones.....	74
Foto 3.11:	Dynatest 9000 System Processor.....	77
Foto 3.12:	Controle digital das deflexões nos sete geofones – Dynatest.....	77
Foto 3.13:	Viga Benkelman em processo de medição.....	82
Foto 3.14:	Empresa de construção e de manutenção da Viga Benkelman.....	82

Lista de Tabelas

Tabela 3.1:	Níveis de Serventia e Padrões de Avaliação.....	26
Tabela 3.2:	Faixa de IGG e Conceito do Pavimento pela PRO/DNER – 08/94.....	33
Tabela 3.3:	Limites de IGG sugeridos por Pereira em 1979.....	34
Tabela 3.4:	Limites de IGG sugeridos por Fabrício et al. em 1995.....	34
Tabela 3.5:	Frequência - DNER em 1998 e Felipe et al. em 1998 para IGGE.....	36
Tabela 3.6:	Pesos - DNER em 1998, Fabrício em 1998 e Felipe et al. 1998.....	36
Tabela 3.7:	Valores diferentes para as frequências considerados por Fabrício em 1998	36
Tabela 3.8:	Faixa de PCI e Conceito do Pavimento de Shain e Khon, 1979.....	39
Tabela 3.9:	Valores deduzidos para trincas tipo pele de crocodilo.....	40
Tabela 3.10:	Valores deduzidos para afundamentos em trilhas de roda.....	40
Tabela 3.11:	Descrição de serviços de manutenção em função de valores de ICPF e seus correspondentes conceitos atribuídos pelo DNER, 1998.....	41
Tabela 3.12:	Condição do pavimento em função de QI e de IRI, Queiroz e Domingues.....	44
Tabela 3.13:	Textura ASTM – E867.....	61
Tabela 3.14:	Porcentagem de extensão ou área total com probabilidade de apresentar deflexões superiores à deflexão característica D_c	89
Tabela 5.1:	Ficha Resumo de projeto do trecho da SP 55 (Boissucanga – Boracéia).....	105
Tabela 5.2:	Ficha Resumo do projeto do trecho da SP-304 (SP 330 a Piracicaba).....	106
Tabela 6.1:	Classificação da condição funcional do pavimento.....	119
Tabela 6.2:	Classificação resumida de tipos de relevo utilizada no LVC.....	120
Tabela 6.3:	Classificação de sinuosidade utilizada no LVC.....	120
Tabela 6.4:	Frequência para todos os defeitos, exceto panela e remendo.....	123
Tabela 6.5:	Frequência para panela e remendo (P e R).....	123

Tabela 6.6:	Severidade e peso para trinca isolada (TR).....	123
Tabela 6.7:	Severidade e peso para trincas em bloco e “couro de jacaré” (TB e TJ).....	124
Tabela 6.8:	Severidade e Peso para panela (P).....	124
Tabela 6.9:	Severidade e peso para afundamento (FL).....	124
Tabela 6.10:	Severidade e peso para desgaste (D).....	124
Tabela 6.11:	Severidade e peso para remendo (R).....	125
Tabela 6.12:	Severidade e peso para ondulação (O).....	125
Tabela 6.13:	Severidade e peso para exsudação (EX).....	125
Tabela 6.14:	Conceitos para Valor de Serventia Atual (VSA).....	126
Tabela 6.15:	Com dados colhidos no campo, obtenção do IDS, VSA e ICF.....	128

Lista de Gráficos

Gráfico 3.1: Evolução do Nível de Serventia de um Pavimento.....	23
Gráfico 4.1: Fases de deflexão durante as cargas e os agentes do intemperismo.....	95

Lista de Abreviaturas e Siglas

AASHO	American Association of State Highway Officials
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABPv	Associação Brasileira de Pavimentação
ANFAVEA	Agência Nacional de Distribuição de Veículos Automotores
ANTP	Agência Nacional de Transporte Público
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
APWA	American Public Works Association
ASTM	American Society for Testing and Material
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIRD	Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CIDE	Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
DER	Departamento Estadual de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes Terrestres
ELSYM	Elastic Layered System
ES	Especificação de Serviço (DNER)
EUA	Estados Unidos da América
FAA	Federal Aviation Administration
FHA	Federal Highway Administration
FHWA	Federal Highway Administration

FRN	Fundo Rodoviário Nacional
FWD	Falling Weight Deflectometer
FWDCAL	Falling Weight Deflectometer Relative Calibration Analysis
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
GPS	Global Positioning System
HDM	Highway Design and Maintenance Standards Model
HRB	Highway Research Board
ICF	Índice de Condição Funcional
ICPF	Índice de Condição de Pavimento Flexível
IDS	Índice de Defeitos de Superfície
IES	Índice do Estado da Superfície (Pavimento)
IGG	Índice de Gravidade Global
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
IGI	Índice de Gravidade Individual
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IRI	International Roughness Index
ISA	Índice de Serventia Atual
ISSO	International Standard Organization
LVC	Levantamento Visual Contínuo
MID	Manual para Identificação de Defeitos (Revestimentos Asfálticos)
MR	Módulo de Resiliência
NDT	Non Destructive Testing
NM	Nível e Mira
PDDT	Plano Diretor de Desenvolvimento de Transportes
PCI	Pavement Condition Index
PCR	Pavement Condition Rating
PICR	Pesquisa de Interrelacionamento de Custos de Construção Rodoviária
PMF	Pré Misturado a Frio
PMQ	Pré Misturado a Quente
PQI	Pavement Quality Index
PRO	Procedimento (DNER)

PSI	Present Serviceability Index
PSR	Present Serviceability Ratio
QI	Quarter Car Index
QI	Quociente de Irregularidade
RAPv	Reunião Anual de Pavimentação
RCI	Riding Comfort Index
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
TB	Trinca de Bloco
TBE	Trinca de Bloco com Erosão
TER	Terminologia (DNER)
TRB	Transportation Research Board
TRE	Trilha de Roda Externa
TRI	Trilha de Roda Interna
TRRL	Transport Road Research Laboratory
TS	Tratamento Superficial
USACE	United States Army Corps of Engineers
VDM	Volume Diário Médio (Tráfego)
VRD	Valor de Resistência à Derrapagem
VSA	Valor de Serventia Atual

Sumário

Ficha Catalográfica.....	iii
Folha de Aprovação.....	iv
Dedicatória.....	v
Agradecimentos.....	vi
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Fotos.....	x
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Gráficos.....	xiii
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xiv

1 – Introdução, Objetivo e Justificativa do Trabalho, e Composição do Trabalho

1.1 – Introdução.....	1
1.2 – Objetivo e Justificativa do Trabalho.....	2
1.3 – Composição do Trabalho.....	3

2 – Um Pouco de História

2.1 - Um Pouco de História sobre Pavimentos Rodoviários.....	5
2.2 - Breve Histórico sobre o DER/SP.....	7
2.3 - Evolução da Malha Rodoviária Estadual Paulista.....	9

2.4 - A Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico – CIDE.....	12
--	----

3 – Elementos e Métodos de Avaliação de Pavimento Utilizados pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP.

3.1 - Avaliação dos Pavimentos.....	14
3.2 - Procedimento de Avaliação do Estado do Pavimento.....	18
3.3 - Nível de Serventia da Rodovia.....	21
3.4 - Identificação, Classificação e Caracterização dos Defeitos dos Pavimentos Flexíveis...	27
3.4.1 - Incertezas quanto à Denominação e à Classificação de Defeitos dos Pavimentos.....	30
3.5 - Índice de Qualidade para Pavimentos Asfálticos.....	30
3.6 - Método de Avaliação do Estado de Superfície de Pavimentos Asfálticos.....	31
3.6.1 - Método de Avaliação Funcional.....	43
3.6.2 - Métodos de Avaliação da Segurança de Tráfego.....	57
3.7 - Método de Avaliação Estrutural do Pavimento.....	70

4 – Procedimentos Utilizados na Recuperação Funcional e Estrutural pelo DER/SP

4.1 – DNER (DNIT) - PRO 10/79.....	95
4.2 – DNER (DNIT) - PRO 11/79.....	98
4.3 – DNER (DNIT) - PRO 269/94.....	100
4.4 – Análise Estrutural do Pavimento por Critério Mecanicista.....	102

5 – Estudo de Caso

5.1 – Projeto de reforço de pavimento financiado pelo BID - DER/SP.....	104
5.2 – Projeto de reforço e de reconstrução do pavimento da SP-300.....	107
5.2.1 – Histórico.....	107
5.2.2 – Avaliações subjetiva e objetiva.....	108
5.2.3 – Levantamento da irregularidade.....	109
5.2.4 – Avaliação estrutural.....	109

5.2.4.1 – Análise estrutural do pavimento existente por Critério Mecanicista.....	111
5.2.5 – Número “N” de operações e equivalência de eixo padrão de 8,2 t.....	113
5.2.6 – Resultados das avaliações do desempenho funcional e estrutural.....	114
6 – Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SP (SGP – DER/SP)	
6.1 – Histórico.....	116
6.2 – Método do LVC do DER/SP.....	120
6.2.1 – Índice de Defeitos de Superfície (IDS).....	122
6.2.2 – Valor de Serventia Atual (VSA).....	125
6.2.3 – Índice de Condição Funcional (ICF).....	126
6.2.4 – Fluxograma do SGP do DER/SP.....	126
6.2.5 – Exemplo de cálculo do IDS e com o VSA o cálculo do ICF.....	128
7 – Avaliação Final.....	130
Referências Bibliográficas.....	134
Obras Consultadas.....	144

1 – Introdução, Objetivo e Justificativa do Trabalho, e Composição do Trabalho.

1.1 – Introdução

As duas curvas de um gráfico que expressa a relação entre benefícios e custos são sempre observadas por especialistas em trincheiras diferentes sob a ótica mesmo que bem intencionada de tender para um dos dois lados que seja na oportunidade mais conveniente. Uma análise econômica imparcial que compare cuidadosamente os custos com os benefícios é um trabalho imprescindível também no sistema rodoviário, para que cada unidade monetária seja gasta da forma mais eficiente possível e haja um justo equilíbrio de interesses entre as partes envolvidas. Para suprir a falta de meios é necessário constante aprimoramento da articulação política, do planejamento e da competência técnica e administrativa na utilização dos recursos existentes. A perfeição nos gastos públicos ainda está longe de ser atingida, mas é uma meta na qual a engenharia rodoviária tem grande parcela de responsabilidade.

A construção, manutenção e recuperação das rodovias geralmente estão a cargo do poder público, mesmo que às vezes por intermédio de empresas concessionárias, enquanto que os custos de utilização da rodovia normalmente são suportados pelos usuários. Do ponto de vista operacional, os veículos comerciais são a principal e a maior causa do mau estado dos pavimentos, mas, em compensação, o mau estado de conservação da estrada costuma provocar danos mais graves nesses veículos de maior porte, sobretudo quando carregados.

Na revista *“giro das estradas”*, Março/Abril/2007, distribuída nos pedágios da AutoBan, numa matéria chamada *“O Custo-Brasil”* consta que por um estudo realizado pela pesquisadora Daniela Bartholomeu, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP),

ficou mais uma vez comprovado que rodovias em más condições de uso aumentam o tempo de viagem, o consumo de combustível e o gasto com manutenção de veículos de carga, além de aumentar a emissão de gás carbônico na atmosfera. Em seu trabalho “Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras”, Daniela observou o desempenho de caminhões em rodovias com condições de trânsito bem diferentes. Num primeiro experimento, um caminhão Volvo FH12, ano 2004, fez 48 viagens em quatro rotas diferentes, quando foram observados o consumo de combustível e a variação da velocidade em cada trajeto. No segundo experimento, foram selecionadas duas rotas em diferentes estados de conservação, nas quais dois caminhões de fabricações distintas (Scania R124-420 e MB 1944S) realizaram um total de 40 viagens. A análise mostrou que rodar em rodovias em bom estado de conservação permitiu economia de 5% no consumo de combustível e 18,7% no gasto com manutenção do veículo. Além do retorno financeiro, existem outras questões importantes envolvidas, como o desconforto, a insegurança e a preservação do meio ambiente, já que o setor rodoviário é responsável por quase 90% das emissões de gás carbônico do segmento de transporte.

1.2 - Objetivo e Justificativa do Trabalho

O principal objetivo deste trabalho é apresentar o Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP-DER/SP) com as particularidades regionais do Estado de São Paulo, pelo qual se busca maior eficiência no levantamento de dados e na análise para escolha de soluções técnicas e economicamente mais viáveis, para construção, restauração e conservação de suas rodovias. O trabalho apresenta algumas metodologias utilizadas para levantamento e avaliação das principais características e peculiaridades de defeitos e comportamentos que levam ao estado de degradação dos pavimentos. Com base na experiência do autor, acrescida da utilização de informações, dados, normas e pesquisa bibliográfica, o propósito é ressaltar a necessidade da avaliação correta e sistemática da rede estadual para que as intervenções sejam oportunas, econômicas e tecnicamente corretas. Quando se pretende uma avaliação minuciosa e consistente do estado de sanidade do pavimento existente, a tecnologia avançada dos dias atuais exige, a exemplo do que acontece com o ser humano, muitos exames que tenham relações entre si. O conhecimento de

grande quantidade de variáveis intervenientes possibilita um diagnóstico mais seguro, que justifica e recomenda o tratamento adequado.

Enfim, o presente trabalho pretende apresentar alguns dos principais procedimentos que o DER/SP vem utilizando ou deveria utilizar nos pavimentos de suas estradas, e também apontar algumas perspectivas de desenvolvimento tecnológico que o leve a pelo menos a ser equiparado a outras entidades afins de âmbito nacional e internacional atualmente mais desenvolvidas.

Segundo o *Guia de Gerência de Pavimentos do DNER (1985)*, um sistema de gerência de pavimentos compreende um vasto espectro de atividades, incluindo o planejamento ou programação de investimentos, dimensionamento, construção, manutenção e avaliação periódica de seu comportamento. Os níveis de gerência compreendem tanto os que são responsáveis pelas decisões políticas para um conjunto de projetos, até os que se ocupam dos detalhes relativos a projetos específicos. A função de gerência em todos os níveis envolve a comparação de alternativas, coordenação de atividades e tomadas de decisões, além da verificação de que essas decisões sejam implantadas de um modo eficiente e econômico.

Os benefícios do usuário estão muito relacionados com as características do pavimento, quando interferem favoravelmente na redução do tempo de viagem, na operação dos veículos, na diminuição de acidentes e desconforto. As características do pavimento que devem ser freqüentemente avaliadas incluem a irregularidade, o índice de conforto ao rolamento e o índice de aderência da superfície. Muitas das normas, especificações e procedimentos utilizados pelo DER/SP na avaliação estrutural e funcional são provenientes do antigo DNER (atual DNIT), mas complementadas e/ou adaptadas para satisfazer as peculiaridades do Estado de São Paulo. Considerando que dirigir é um ato também de condicionamento, o autor deste trabalho entende que a uniformidade de normas, procedimentos e especificações proporciona mais economia, conforto e segurança, sobretudo num País de dimensões continentais como o Brasil.

1.3 – Composição do Trabalho

O trabalho é composto ainda do capítulo **2 – Um Pouco de História:** apresenta uma simples citação do início do rodoviarismo mundial com a famosa Via Appia, e um pequeno resumo do

início do rodoviário brasileiro com a não menos famosa para o Estado de São Paulo, Via Anchieta. **Capítulo 3 – Elementos e Métodos de Avaliação de Pavimento Utilizados pelo DER/SP:** o capítulo apresenta de forma resumida quatro métodos conhecidos deste tipo de avaliação de pavimento rodoviário: “Método de Avaliação do Estado de Superfície de Pavimentos Asfálticos”, “Método de Avaliação Funcional”, “Método de Avaliação da Segurança”, e “Método de Avaliação Estrutural”. **Capítulo 4 – Procedimentos Utilizados na Recuperação Funcional e Estrutural do Pavimento pelo DER/SP:** o capítulo é constituído de algumas das normas publicadas pelo antigo DNER, hoje DNIT, que estabelecem procedimentos considerados adequados para avaliar estrutural e funcionalmente os pavimentos flexíveis. Visa apontar as causas das deficiências dos pavimentos em serviço e fornecer elementos para o cálculo estimativo de sua vida restante ou do reforço necessário para suportar novas solicitações. Menciona, também, a Análise Estrutural do Pavimento por Critério Mecanicista **5 – Estudo de Casos:** procura dar ênfase em avaliação e projeto de pavimento flexível financiado parcialmente pelo BID ou pelo BIRD, cujo grau de exigência acaba provocando uma desejável evolução em seus resultados. Atualmente as avaliações e as demais metodologias são mais amplas e mais precisas em razão da tecnologia e dos equipamentos mais avançados. São apresentadas duas fichas resumo de projetos da SP 55 e da SP 304, bem como um memorial descritivo do projeto de reforço de pavimento e de reconstrução da Rodovia Marechal Rondon, trecho entre Tietê e D.M. Pereiras (km 158,600 ao km 184,100). **6 – Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SP:** trata da apresentação de um SGP do DER/SP que está sendo desenvolvido de forma institucionalizada e tem como um dos principais instrumentos um Programa Computacional, cuja operação é de âmbito técnico e administrativo em todo o Estado de São Paulo. O Programa tem um banco de dados que possibilita análises metodológicas periódicas do desempenho e da necessidade de intervenção oportuna nos pavimentos existentes em operação. Este grande banco de dados é formado por bancos de dados específicos menores, dos quais se pode destacar o histórico dos pavimentos, o histórico de acidentes nas rodovias, a composição e o volume de tráfego, bem como as condições funcionais e estruturais dos pavimentos. Portanto, as análises das condições estruturais e funcionais dos pavimentos são feitas a partir de levantamento periódico de campo. **7 – Avaliação Final:** neste último capítulo é feita uma avaliação final do SGP-DER/SP em face da atual fase de desenvolvimento técnico e administrativo do Departamento de Estradas de Rodagem e da importância deste instrumento para este estado atual do DER/SP.

2 – Um Pouco de História

2.1 - Um Pouco de História sobre Pavimentos Rodoviários

Pavimentos Romanos e Caminho do Mar

Uma das questões básicas do homem de todos os tempos sempre foi o seu deslocamento sobre uma superfície terrestre que geralmente é imensamente maior do que a sua capacidade natural de locomoção. Caminhando com suas próprias pernas, por meio de montaria ou com o auxílio de tração animal o homem conseguia atingir distâncias relativamente pequenas, comparativamente com as atingidas hoje particularmente por meio de transporte rodoviário. Assim, as estradas se tornaram um dos mais importantes fatores de desenvolvimento moderno e nas últimas décadas houve uma evolução notável em relação àquilo que existia no começo mais como trilhas ou caminhos, mesmo que pavimentados.

Bem distante daqui, a importante Via Appia das fotos 2.1 (A e B) foi construída na República Romana no ano de 312 a.C e fazia parte de uma extensa malha viária composta de mais de 100 mil km, mais da metade dos cerca de 180 mil km de estradas pavimentadas existentes hoje no Brasil. Recebeu este nome em memória de Appius Claudius Caecus, que autorizou sua construção. Os veículos possuíam rodas muito estreitas e para aquela malha romana apresentar boas condições de trafegabilidade era necessário um bom sistema de gerenciamento de malha viária. Para a nossa civilização, um parâmetro interessante é que a fé cristã chegou cedo a Roma, que era naqueles tempos o centro do mundo civilizado. A paz que se desfrutava naquela época e a excelente rede de comunicações que facilitava as viagens e a rápida transmissão de idéias e notícias foram importantes fatores que favoreceram a expansão do cristianismo: as vias romanas que partindo da Urbe chegavam até os mais remotos confins do Império, assim como os navios

comerciais que cruzavam regularmente as águas do Mediterrâneo foram veículos de difusão da boa nova cristã por toda a extensão do mundo romano (Cfr. J. Orlandis, Historia de la Iglesia).



Fotos 2.1(A e B) - Vistas da Via Appia (ABCP).

A estrutura usada pelos romanos nas suas estradas era composta basicamente de quase um metro de espessura, constituída de uma camada superficial (revestimento) de 10 cm de espessura formada de placas poligonais de rocha e rejuntada com material cimentante. A base tinha 25 cm de espessura e era constituída de uma mistura de agregado graúdo e areia, com material aglutinante. A sub-base era uma mistura de pedra quebrada, agregado miúdo e material cimentante, formando uma estrutura rígida de 40 cm de espessura. E a última camada ou reforço do subleito era constituído de pedras justapostas, numa espessura média de 12,5 cm.

Já por aqui no Brasil, uma crônica de Antonio Penteado Mendonça com o título “Um século de uma bela aventura” (publicada no Jornal da Tarde do dia 26/04/2008), diz que no dia 16/04/2008 se comemorou um século da primeira viagem de automóvel entre São Paulo e Santos. A aventura foi refeita numa caravana composta por quase 40 automóveis antigos, dos mais variados modelos. Evidentemente, a viagem do dia 16 não teve o mesmo roteiro da viagem de 100 anos atrás. Ela seguiu o Caminho do Mar, primeira estrada pavimentada paulista, aberta ao tráfego nos idos da década de 1920, bem depois da viagem pioneira de Antonio Prado Júnior, Francisco Glicério, major Bento Canavarro e o repórter do jornal O Estado de S.Paulo Mario Sergio Cardim. O automóvel que entrou em Santos era um Motobloc de 30 cavalos. Para chegar lá, os aventureiros saíram de São Paulo pela Estrada do Vergueiro, o antigo caminho das carruagens, estrada

costumeiramente em péssimas condições de tráfego, por onde, desde o século 16, grosso modo, se fazia a ligação entre o litoral e o planalto. Em 1908 a estrada – na verdade uma trilha de terra nem vagamente comparável às modernas rodovias paulistas – estava longe de oferecer algum tipo de conforto, cruzando longos trechos de mata fechada, sem nenhuma pavimentação, exceto a terra batida pelo uso, misturada à lama, mais ou menos encascalhada em algum trecho mais íngreme e com manutenção bastante precária.

2.2 - Breve histórico sobre o DER/SP

O Departamento de Estradas de Rodagem - DER/SP é uma Autarquia Estadual que começou cuidando de algumas estradas de rodagem simples e hoje se orgulha de ter construído cerca de 22.000 quilômetros de estradas pavimentadas em seus mais de 70 anos de existência (dados da Diretoria de Planejamento). No início existiram as picadas ou picadões, pelos quais se embrenharam as bandeiras com os seus primeiros exploradores do interior do país. Depois houve necessidade dos antigos caminhos de rodagem, nos quais o tipo de veículo era o de tração animal. Com o advento dos veículos motorizados, no alvorecer do século passado surgiram as estradas de rodagem e em face desta nova realidade em 1901 Euclides da Cunha afirmava que "o automóvel libertou a velocidade da tribo". Surgia entre nós um novo meio de transporte terrestre que abria aos brasileiros uma nova e fascinante perspectiva de satisfazer o antigo e natural anseio da pessoa humana de poder se deslocar com mais liberdade, conforto, economia e segurança.

Em 2 de julho de 1934, por força do decreto nº. 6.529, foi criado o DER/SP, em substituição à Diretoria de Estradas de Rodagem, criada pela lei nº. 2.187, de 30 de dezembro de 1926 foi criado o DER/SP. Ficava subordinado diretamente ao então secretário estadual dos Negócios da Viação e Obras Públicas. O decreto nº. 17.840, de 31 de dezembro de 1947, aprovou o regulamento do DER e criou uma nova estrutura organizacional. Com a evolução tecnológica do nosso rodoviarismo, acabaram chegando mais recentemente até nós conceitos, metodologias e equipamentos revolucionários que permitiram a construção das nossas primeiras auto-estradas, chamadas nos Estados Unidos de highways. Hoje essas estradas mais importantes, classificadas tecnicamente como de classe especial, são aqui chamadas de rodovias: Rodovia dos Imigrantes, Rodovia Castello Branco, Rodovia Carvalho Pinto, etc

A edição comemorativa dos 70 anos do DER/SP da revista ENGENHARIA fornece, além de dados já mencionados, um panorama que dá boa medida da importância do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. Com superfície geográfica de cerca de 248.000 km², o Estado mais industrializado da Nação tem cerca de 40 milhões de habitantes e aproximadamente 20% da população total do País. Responsável por 40% do PIB e 35% das exportações brasileiras, a economia do Estado de São Paulo depende sobremaneira do seu sistema de transporte rodoviário. A malha paulista pavimentada é constituída por aproximadamente 4.000 km de rodovias estaduais concessionadas e por cerca de 17.000 km a cargo do próprio DER/SP. São cerca de 200 rodovias pavimentadas, além de diversas municipais nas quais também realiza obras. Também estão integrados nesta malha 1.100 km de rodovias federais e cerca de 12.000 km de rodovias municipais pavimentadas. Isto significa que mais de 90% da população paulista está a menos de 5 km de uma rodovia pavimentada. Atuando em todo o Estado de São Paulo o DER/SP tem uma sede gerencial e normativa na capital e mais 14 Diretorias Regionais em cidades estratégicas do Estado.

Cada Diretoria Regional funciona como um pequeno DER, seguindo as orientações e as normas da sede. Cada Diretoria Regional tem as suas Residências de Conservação e Obras, num total de 57, junto das quais estão sendo gradativamente criadas as Unidades Básicas Administrativas – UBÁS, que tem como principal atribuição auxiliar na operação da vida. Cada UBA tem, em média, 300 quilômetros de estradas sob sua jurisdição. Num passado não tão distante o DER/SP era um órgão que administrava, planejava, projetava, construía por administração direta e também fiscalizava obras de construção contratadas com terceiros. Atualmente as suas principais atividades são no campo da administração, normatização e contratação de terceiros.

Autorizado pelo artigo 175 da Constituição Federal, o governo do Estado de São Paulo implantou, através da lei nº 9.361, de 5/07/1996, o Programa Estadual de Desestatização. A justificativa foi que a iniciativa teve a finalidade de reordenar a atuação do Estado, propiciando à iniciativa privada a prestação de serviços públicos e a execução de obras de infra-estrutura e reservando à Administração Pública a concentração de esforços em áreas em que sua presença é indispensável, como educação, saúde e segurança pública. Com base nessa lei, a Secretaria

Estadual de Transportes instituiu o Programa de Concessões Rodoviárias do Estado como sua solução para suprir as necessidades de investimentos na infra-estrutura de transportes.

A partir da década de 90 as principais estradas paulistas foram concessionadas, outras menos importantes tiveram seus serviços de manutenção contratados, permanecendo sob a responsabilidade direta do DER/SP as demais estradas estaduais e algumas vicinais da malha rodoviária paulista. Até cerca de vinte anos atrás o DER/SP ainda contava com equipes técnicas que elaboravam projeto geométrico e de pavimento em todas as suas fases, com laboratórios que realizavam pesquisas sistemáticas em busca de novas tecnologias, e hoje o órgão tem como principal função planejar e gerenciar contratos celebrados com terceiros. Neste ano de 2008 o Departamento teve dotação orçamentária de aproximadamente R\$ 1 bilhão, com emendas de outros valores que somados passam de R\$ 2 bilhões. Para novos programas geralmente há necessidade de financiamentos com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e com o Banco Internacional para a Reconstrução e o Desenvolvimento (BIRD) ou Banco Mundial, com contrapartida do governo do Estado. Atualmente está sendo desenvolvido um programa de recuperação que abrange cerca de 12 mil quilômetros de estradas vicinais do Estado de São Paulo, por enquanto com cerca de R\$ 300 milhões oriundos da CIDE.

2.3 - Evolução da Malha Rodoviária Estadual Paulista

Até a metade do século passado havia predominância de ferrovias no transporte terrestre no Brasil e no Estado de São Paulo, mas a partir de 1920 se iniciou a abertura de mais estradas de melhor qualidade técnica para o trânsito de veículos automotores. Inicialmente foi preciso vencer as dificuldades para a transposição da Serra do Mar em direção ao litoral mais próximo da capital do Estado de São Paulo e também a distância e o desnível em relação à capital da República, na época a cidade do Rio de Janeiro. No final da década de 40 e no início da década de 50 o DER/SP passou a atender novas demandas provocadas pelo desenvolvimento do interior paulista e do aumento acelerado do tráfego para o litoral santista e para o Rio de Janeiro.

Assim foi construída a Via Anchieta, um dos orgulhos da engenharia rodoviária brasileira, e também foi dado início à duplicação da rodovia São Paulo - Rio de Janeiro, partindo da capital

paulista. O primeiro mapa publicado com o nome do DER/SP foi em 1934, mas é na década de 50 que se tem boa noção de que começava a ser formada a malha viária do Estado, que hoje possui 19 das 20 melhores estradas do país. Nas décadas de 50/60/70 foram implantadas novas vias troncos em direção ao interior. Praticamente todas as regiões do estado foram contempladas com novas estradas, que possibilitavam os seus acessos à capital por meio dessa modalidade de transporte rápido e relativamente seguro. A partir de 1970, além da construção de outras estradas troncos de grande importância à formação de uma rede rodoviária estadual mais densa, o Departamento passou a ter também sempre presente a preocupação com a ligação das sedes dos municípios ao esqueleto viário estadual até então existente.

Segundo a Diretoria de Planejamento do Departamento, em 2007 o Estado de São Paulo contava em números precisos com 16.931,51 quilômetros de estradas pavimentadas do DER/SP, mais 4.279,50 quilômetros concessionadas, mais 484,72 quilômetros de auto-estradas administradas pela DERSA, somando 21.695,72 quilômetros. No final de 2007 o Estado contava também com 1.055,49 quilômetros de estradas federais pavimentadas, totalizando 22.751,21 quilômetros de estradas pavimentadas. Com mais 175.807,70 quilômetros de estradas municipais (a grande maioria sem pavimentação), o total geral no Estado no final de 2007 era de 198.559,20 quilômetros. Os mapas rodoviários como o da figura 2.1 eram feitos por meio de fotolito com imensas dificuldades técnicas. Hoje eles são elaborados com base digital, com praticamente todas as estradas georeferenciadas por GPS. Como exemplo tem-se o mapa de 2005, da figura 2.2.



Figura 2.1 - Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo de 1936

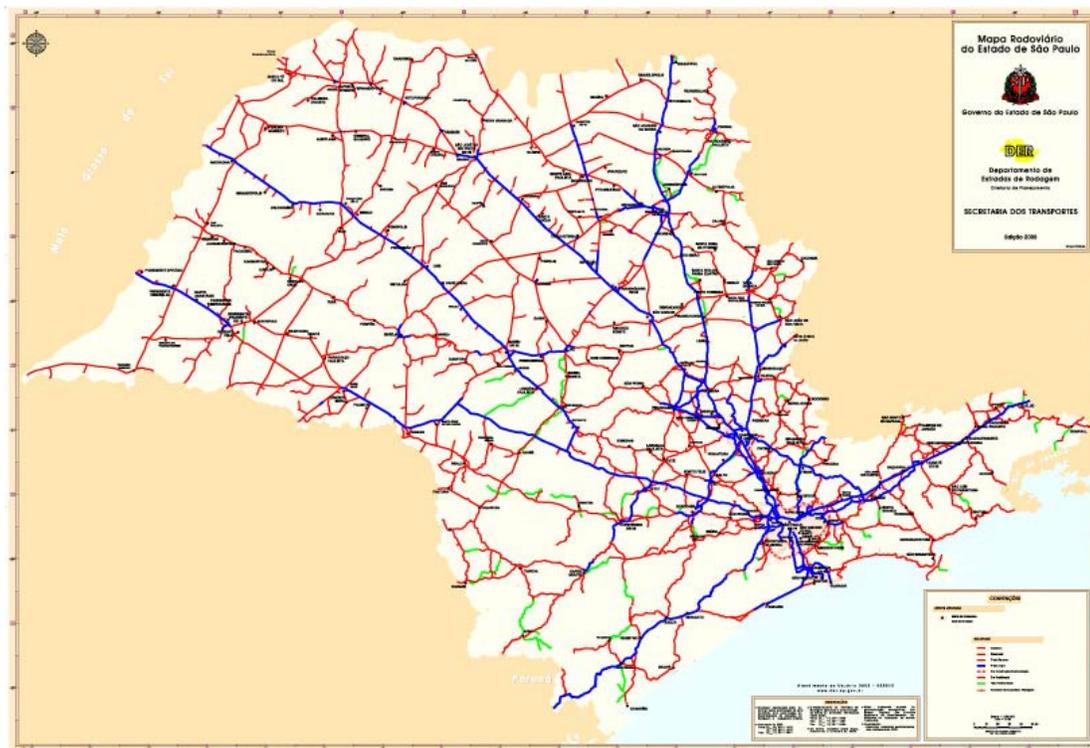


Figura 2.2 - Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo de 2005

Embora não tenha sido possível representar na figura 2.2 muitos elementos que também compõem o mapa rodoviário real de 2005, ele foi elaborado com uma tecnologia moderna, pela qual as estradas são reposicionadas dentro da malha de coordenadas UTM, segundo o Sistema Geodésico de Referência SAD 69 (South American Datum). Em suma, a melhor malha do País está representada num bom mapa rodoviário, que hoje tem versões publicadas anualmente.

No planejamento da Secretaria Estadual dos Transportes para os próximos anos o governo paulista tem buscado trabalhar no foco da intermodalidade, com uma abordagem mais logística da infra-estrutura, o que leva a buscar o inter-relacionamento das diversas formas de transporte. Assim, obras de grande porte como a Rodovia dos Tamoios e o Rodoanel passam a fazer parte de um conjunto integrado de intervenções, que visam recuperar a infra-estrutura já existente e estimular a vocação natural das diferentes regiões do Estado, promovendo o seu desenvolvimento econômico.

2.4 – A Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico - CIDE.

Segundo a Agência Nacional de Transporte Terrestre – ANTT, a malha rodoviária brasileira abrange 1,7 milhão de quilômetros dos quais pouco mais de 10% são pavimentados e este é um coeficiente de pavimentação bastante baixo. Em 1940, no Governo provisório de José Linhares e Ministro de Viação e Obras Públicas Maurício Joppert da Silva, quando foi criado o Fundo Rodoviário Nacional - FRN, o Brasil contava com pouquíssimas estradas. Com o fundo, constituído de um imposto único sobre combustíveis e lubrificantes líquidos, em tempo relativamente curto foi possível construir uma boa malha para os nossos padrões, passando para mais de 50 mil quilômetros necessários ao escoamento da produção agro-industrial.

Como marco histórico daquela fase áurea, em 1965 entrou em operação a maior ponte até então construída em nosso país, com o nome do mencionado Ministro de Viação e Obras Públicas, Maurício Joppert da Silva. Com extensão de 2.250 m, a importante obra transpõe o Rio Paraná na divisa de São Paulo com o Estado vizinho de Mato Grosso. Mais tarde, com a inauguração em 4 de março de 1974, cinco anos e três meses depois do início das obras, a magnífica ponte Rio - Niterói assumiu o lugar de destaque das pontes rodoviárias brasileiras. Sobre as águas da Baía de

Guanabara ela figura entre as mais notáveis realizações da engenharia do século XX, tendo sido considerada na década de 70 como a Oitava Maravilha do Mundo. Dos seus 13.290 m de comprimento, 8.836 m estão sobre o mar, conta com seis faixas de rolamento e dois acostamentos de 1,80 m, perfazendo 26,60 m de largura entre os guarda-corpos laterais. Sua altura máxima é de 72 m acima da superfície do mar.

A Constituição de 1988 acabou com o chamado “dinheiro carimbado” ou com a vinculação de recursos e o importante Fundo Rodoviário Nacional - FRN deixou de existir. O Estado de São Paulo de certa forma transferiu o problema para o usuário por meio de altas taxas de pedágio. Mas, para o restante do País que depende muito mais de dotações federais, isto provocou o escasseamento de obras e de serviços de construção e de conservação de rodovias. Para reverter essa situação, o Congresso Nacional aprovou em dezembro/2001 o projeto de Lei 10.336 que criou a CIDE – Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico. Esta Lei vincula a cobrança de um imposto sobre os combustíveis ao custeio de projetos ambientais ligados a indústria do petróleo e do gás e também ao financiamento de infra-estrutura viária, além de subsídio ao consumo e ao transporte de álcool, petróleo, gás e derivados. Consta que até hoje esta lei depende de uma melhor regulamentação e segundo o “Informativo do Sindicato da Construção Pesada do Estado de São Paulo – SINICESP”, de maio/junho/2008, dos R\$ 49 bilhões arrecadados desde 2002, cerca de R\$ 21 bilhões dos primeiros anos não foram repassados, tendo sido este valor utilizado para compor o superávit primário do Governo Federal.

3 – Elementos e Métodos de Avaliação de Pavimento Utilizados pelo Departamento de Estradas de Rodagem - DER/SP

3.1 - Avaliação dos Pavimentos

Avaliação Estrutural: É o conjunto de atividades que buscam caracterizar aspectos mecânicos das estruturas, como respostas a um carregamento e às propriedades físicas dos componentes do pavimento e do subleito. O pavimento é uma estrutura projetada e construída para suportar a ação de solicitação de carga, que provocam tensões verticais em toda a estrutura. A magnitude dessas tensões depende da espessura das camadas e do módulo de elasticidade dos materiais que compõem a estrutura. Embora a estrutura do pavimento seja projetada para resistir às solicitações de cargas dentro do período de projeto, esta estrutura sofre ruptura ou deformação excessiva quando as tensões tornam-se incompatíveis com a sua resistência, conforme mostrado esquematicamente nas figuras 3.1 e 3.2:

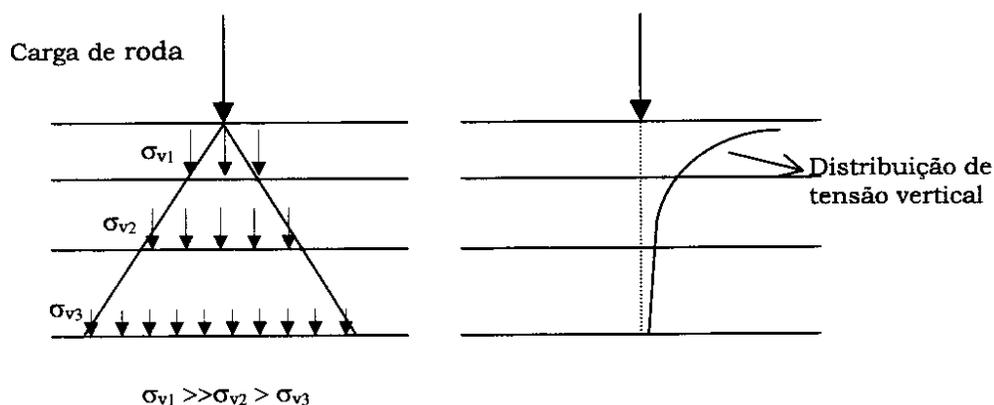


Figura 3.1 - Carga de roda e tensões verticais geradas na estrutura do pavimento (Balbo, 1997)

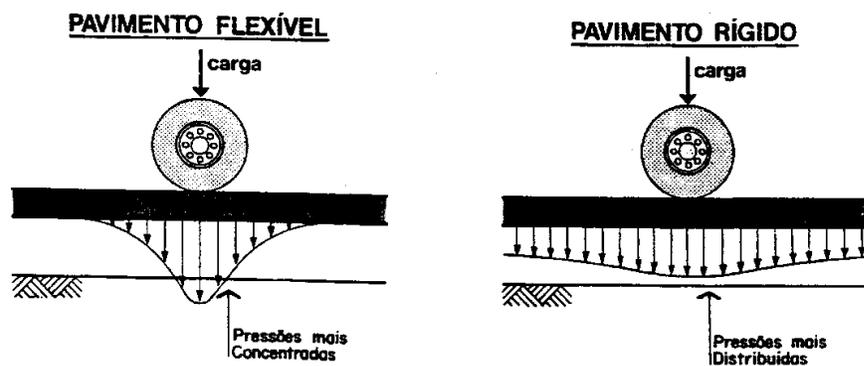


Figura 3.2 Bacias de deflexão de pavimento flexível e de concreto de cimento Portland
(Balbo, 1997)

A avaliação da deterioração estrutural do pavimento existente tem por objetivo conhecer com precisão os elementos necessários à elaboração de um projeto de reforço adequado. É melhor que a restauração ou recuperação do pavimento seja feita numa fase de sua vida em que os danos ainda não tenham atingido a camada de base e até mesmo as camadas subjacentes. Procedimento correto é fazer oportunamente intervenções mais simples como serviços de tapa-buracos, remendos, aplicação de lama-asfáltica para preenchimento de trincas e somente depois vir a colocar uma camada de mistura asfáltica sobreposta (overlay), aplicando antes uma pintura de ligação.

Duas seções transversais de camadas de reforço estrutural e de recuperação das condições funcionais do pavimento existente são apresentadas na figura 3.3: Numa das alternativas é utilizada a técnica de reciclagem da camada de revestimento, podendo haver reaproveitamento da mistura asfáltica existente na recomposição de uma nova camada a ser aplicada. Esta solução também busca preservar os gabaritos mínimos exigidos (altura geométrica livre nas passagens inferiores e também alturas de degraus entre a pista e o acostamento ou os dispositivos de drenagem como sarjeta e meio-fio).

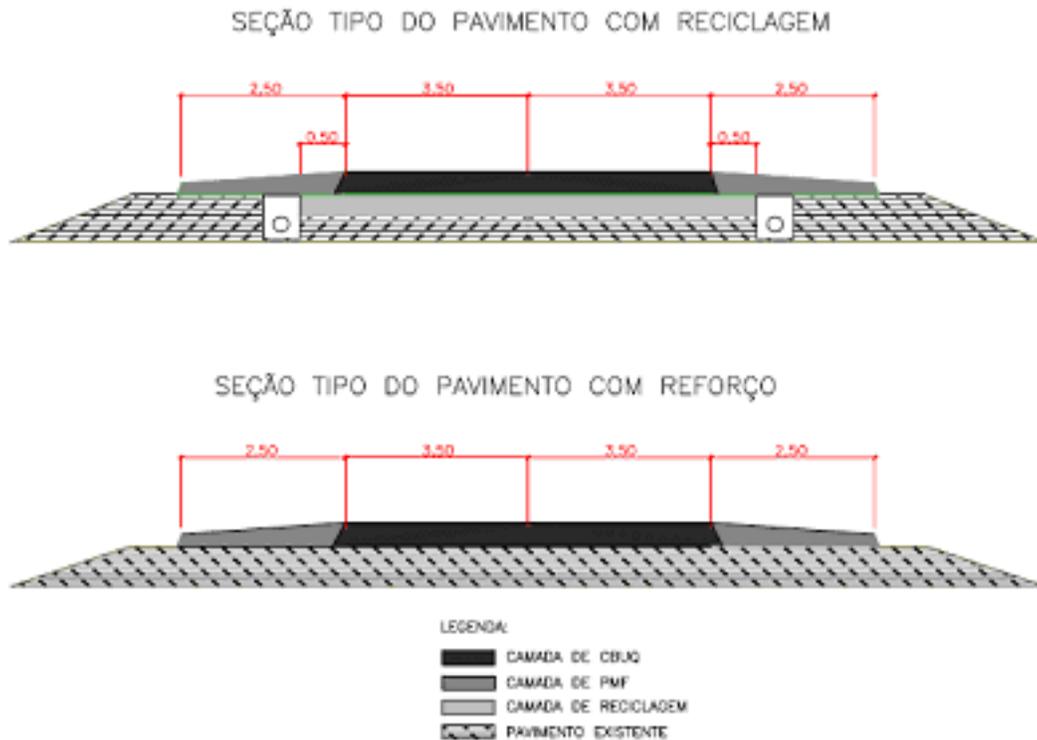


Figura 3.3 - Seções Transversais Tipo

A medição da deformabilidade da estrutura do pavimento em provas de pneus de caminhões, antes sujeita às regras empíricas, foi iniciada na pista experimental da WASHO por volta de 1953, pelo engenheiro norte-americano Alvin C. Benkelman, conforme será descrito com detalhes mais à frente. A prova é feita com um caminhão que tem um lastro que resulta em carga no eixo traseiro de 8,2 t (80 kN), com rodas duplas de pneus à pressão de 5,6 kgf/cm² (0,55 MPa ou 80 psi). Para determinar o raio de curvatura da bacia (R), provocada pelo peso das referidas rodas, deve-se obter além da deflexão máxima (D_0) também a deflexão estando o caminhão com o eixo a 25 cm adiante (D_{25}). As normas, procedimentos e especificações utilizadas para avaliação estrutural dos pavimentos são:

DNIT-PRO 10/78 - Avaliação estrutura de pavimentos flexíveis - Procedimento A;

DNIT-PRO 11/79 - Avaliação estrutural de pavimentos flexíveis - Procedimento B;

DNIT-ME 061/94 - Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformações através da Viga Benkelman;

DNIT-ME 024/94 - Determinação das deflexões pela viga Benkelman;
DNIT-PRO 159/85 - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos;
DNIT-PRO 269/94 - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV;
DNIT-PRO 273/96 - Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo "Falling Weight Deflectometer" (FWD);

Avaliação do Estado da Superfície: Compreendem os levantamentos e estudos necessários à caracterização de falhas correntes no pavimento, detectáveis por inspeção visual da sua superfície. Inclui também a medida das deformações permanentes nas trilhas de roda. As normas, métodos e especificações utilizadas para avaliação do estado da superfície são:

DNIT-PRO - 07/94 - Avaliação subjetiva de superfície de pavimentos;
DNIT-PRO - 08/94 - Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos;
DNIT-ES - 128/83 - Levantamento das condições superficiais de segmentos testemunhas de rodovias com pavimentos flexíveis ou semi-rígidos para gerência de pavimentos em nível de rede;
DNIT-ES - 169/86 - Controle de qualidade de levantamento das condições superficiais de pavimentos flexíveis ou semi-rígidos para gerência de pavimentos em nível de rede.
DNIT-PRO – 182/90 – Medição de irregularidade em segmentos rodoviários.

Avaliação Funcional: É importante porque visa caracterizar o desempenho do pavimento sob o ponto de vista do usuário, especialmente quanto ao conforto e ao rolamento, que usualmente é aferido por meio da medição da irregularidade longitudinal. A irregularidade longitudinal são os desvios da superfície de um pavimento em relação à superfície de referência do projeto geométrico original. Estes desvios afetam a dinâmica dos veículos, a qualidade do conforto ao rolamento, as cargas dinâmicas e as condições de drenagem superficial da via. A irregularidade pode ser levantada com medidas topográficas, por equipamentos medidores de contato ou por meio de raio laser. Também são utilizados equipamentos do tipo "resposta", que fornecem uma somatória de desvios do eixo de um veículo em relação à suspensão. Juntamente com o IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias do antigo DNER), a USP desenvolveu nos anos 80 um equipamento do tipo resposta denominado Integrador IPR/USP. Para esses equipamentos,

inclusive para o Integrador IPR/USP, existem técnicas de calibração e de procedimento de levantamento. As normas e procedimentos vigentes para a medição de irregularidade são:

DNIT-PRO - 182/94 - Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistema de irregularidades IPR/USP e Maysmeter;

DNIT-ES - 173/86 - Método de nível e mira para calibração de sistema de medidores de irregularidade tipo resposta;

DNIT-PRO - 164/94 - Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistema integrador IPR/USP e Maysmeter);

DNIT-PRO - 229/89 - Manutenção de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento-Integrador IPR/USP e Maysmeter.

Avaliação de Segurança: É o conjunto de atividades destinadas a avaliar aspectos ligados à segurança do tráfego, especialmente à resistência à derrapagem. Tem como maior objetivo medir o coeficiente de atrito entre os pneus e os revestimentos dos pavimentos (valor da aderência). Do ponto de vista do pavimento, o coeficiente de atrito está diretamente relacionado às macro e micro-texturas de sua superfície e à presença de água. Este coeficiente de atrito será mais bem detalhado à frente.

3.2 - Procedimentos de Avaliação do Estado do Pavimento

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas com espessuras finitas, onde tradicionalmente a qualidade (resistência) do material de construção dessas camadas decresce com a profundidade. Entretanto, existem casos em que o material da base ou sub-base pode ser mais rígido ou ter módulo de elasticidade maior que os materiais das camadas superiores. Genericamente, existe pavimento rígido, flexível, semi-rígido e semi-flexível.

Um *pavimento flexível* típico tem camada de revestimento asfáltico e as demais camadas inferiores constituídas por materiais granulares. Quando a essas camadas inferiores é adicionado agente cimentantes, pode-se chamar de pavimento semi-flexível ou semi-rígido. O *pavimento rígido ou de concreto de cimento Portland* é composto geralmente por uma camada superficial

constituída de placas de concreto de cimento Portland, armadas ou não, apoiadas sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento (base ou sub-base), que por sua vez é assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito, quando necessário.

Os tipos de defeitos encontrados nos pavimentos sempre têm uma relação direta ou indireta com os modos de ruptura dos materiais de pavimentação, originando as patologias que se manifestam em seu tempo com características peculiares. Uma classificação das rupturas bastante conhecida é encontrada num livro que trata de patologias e manutenção de pavimentos asfálticos, do professor Balbo, da USP: a) Ruptura por Resistência – Quando o material rompe por esforço aplicado igual ou superior à sua resistência específica; b) Ruptura por Fadiga – Quando o material é solicitado a níveis de tensão inferiores àqueles de ruptura, para um dado modo de solicitação. Gradativamente vão desenvolvendo alterações em sua estrutura interna, gerando um processo de micro-fissuração que resulta no desenvolvimento de fraturas, passando a haver um rompimento do material; c) Ruptura por Deformação Plástica ou Permanente – É a capacidade do material em manter deformações residuais depois de cessado o estado dos esforços aplicados; d) Ruptura por Retração Hidráulica – É o resultado de variações volumétricas na massa, acabando por ocasionar o surgimento de fissuras em sua estrutura interna. Analogamente, os materiais de pavimentação estão sujeitos também a outros mecanismos de retração, devendo-se ainda dar destaque à retração térmica; e) Ruptura por Retração Térmica – A retração térmica é conseqüência, sobretudo, das alterações volumétricas dos materiais em razão de variações de temperatura nas misturas, seja para as cimentadas como para as asfálticas; f) Ruptura por Propagação de Trinca – Quando ocorre a chamada reflexão de trincas de uma camada inferior trincada em sua superfície, para a camada superior; g) Ruptura Funcional – Se caracteriza pelo não atendimento das condições relativas de rolamento confortável, seguro e econômico. Inúmeros fatores podem contribuir com o surgimento de deformações plásticas em trilhas de roda, que geram simultaneamente irregularidades superficiais transversais e longitudinais.

Para conhecer o estado de conservação de um pavimento é preciso fazer observação e avaliação criteriosa e sistemática, que evite a emissão de juízo meramente subjetivo e sem valor. Além da qualificação o procedimento de avaliação deve primar também pela quantificação, para resolver dois problemas fundamentais: um que se refere à formulação de parâmetros ou indicadores para

avaliar pormenorizadamente as condições em que se encontra o pavimento. O outro consiste em estabelecer quais são os valores máximos e mínimos que podem ser alcançados dentro de um quadro considerado satisfatório. Para tanto, é imprescindível a formação de banco de dados com elementos dos trechos em estudo. A avaliação que define os defeitos na superfície dos pavimentos é a medida do seu desempenho, podendo ser também considerada como a medida do nível de serviço oferecido aos usuários (serventia). Existem duas técnicas de avaliação: a subjetiva e a objetiva.

Avaliação Subjetiva de Superfície dos Pavimentos

A avaliação subjetiva caracteriza o pavimento quanto ao conforto e a suavidade do rolamento, proporcionados pela sua superfície. As técnicas desenvolvidas pela AASHTO utilizam profissionais experientes para definirem o estado do pavimento a partir de conceitos qualitativos de desempenho. Estas técnicas constituem um processo de avaliação subjetiva das condições de superfície do pavimento chamado Valor de Serventia Atual (VSA), que será mais detalhado no item sobre métodos de avaliação. O procedimento utilizado é o DNIT-PRO – 07/94.

Avaliação Objetiva de Superfície dos Pavimentos

A avaliação objetiva é processada por meio de quantificação numérica e da definição de frequência de ocorrências de parâmetros (defeitos) que influem no comportamento da superfície do pavimento. Os defeitos serão vistos num item abaixo e correspondem a trincamentos, panelas, remendos, etc. O procedimento geralmente utilizado é o DNIT-PRO – 08/94, que fixa as condições para inventário, identificação, classificação e caracterização das ocorrências aparentes, bem como das medidas de deformações permanentes nas trilhas de rodas. Também, prescreve a aparelhagem necessária e estabelece conceito de deterioração de pavimento com base em cálculos de frequências absolutas e relativas às ocorrências inventariadas. Fixa o Índice de Gravidade Individual (IGI) e o Índice de Gravidade Global (IGG).

3.3 - Nível de Serventia da Rodovia

Na apresentação da evolução de uma rede rodoviária é comum ressaltar a construção de estradas novas e duplicação de estrada existente. Pouco se fala das obras e serviços de manutenção das estradas existentes. No entanto, a conservação ou manutenção rodoviária é muito importante e tem por objetivo manter as estradas em boas condições, para que a sua utilização pelo usuário seja a mais econômica, segura e confortável. Quando uma rodovia tem um adequado *nível de serventia*, a viagem pode deixar de ser uma aventura para ser uma oportunidade de um deslocamento seguro e até prazeroso. Os principais benefícios proporcionados, particularmente pelo estado do pavimento, são:

- a) Acréscimo da segurança e do conforto;
- b) Redução do custo de operação dos veículos;
- c) Redução dos custos futuros de conservação;
- d) Economia do tempo na viagem de passageiros e cargas;
- e) Redução dos acidentes (custos materiais e custos morais);
- f) Estímulo ao desenvolvimento econômico.

O pavimento é o elemento da rodovia que está mais à vista do motorista e é uma das partes do sistema rodoviário mais estudada e mais presente na mente dos técnicos que cuidam das rodovias. Os pavimentos sofrem deterioração ao longo do tempo e os custos de manutenção crescem rapidamente se não são reparados tempestivamente. Essa estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, capaz de receber, de resistir e de transferir as tensões provenientes das cargas de veículos, deve ser dimensionada para o tráfego previsto no período de projeto e para as condições climáticas a que estará sujeita. Enfim, o pavimento deve ser construído e mantido adequadamente, passando por intervenções devidas em tempos oportunos. Periodicamente é necessária uma avaliação de cada trecho da via para se medir o seu *valor de serventia atual*, como será abordado mais tarde.

A conservação deve ser parte da vida normal dos pavimentos e o conjunto de suas atividades é destinado a manter a rodovia em boas condições de utilização e a prolongar a sua vida útil. Na distinção dos tipos de conservação rodoviária pode-se adotar a seguinte classificação:

a) **Conservação de Rotina (ou corretiva):** É o conjunto de atividades executadas em uma rodovia ao longo do ano, segundo os padrões ou níveis estabelecidos. Visam manter os elementos constituintes da rodovia tão próximo quanto possível das boas condições originais. Nesse tipo de conservação estão incluídos desde serviços de remendos (tapa-buraco), até reparos localizados em camadas inferiores, limpezas de drenos, cuidados com canteiros e com acostamentos, etc.

b) **Conservação Especial:** É o conjunto de serviços e obras executados em uma rodovia, visando preservar o investimento inicial, adaptar a rodovia às novas condições ocorridas em seu entorno, e implantar e/ou complementar pequenas obras que são necessárias. Neste item estão incluídos serviços de aplicação de lama asfáltica, pintura de rejuvenescimento e revestimento asfáltico (recapeamento).

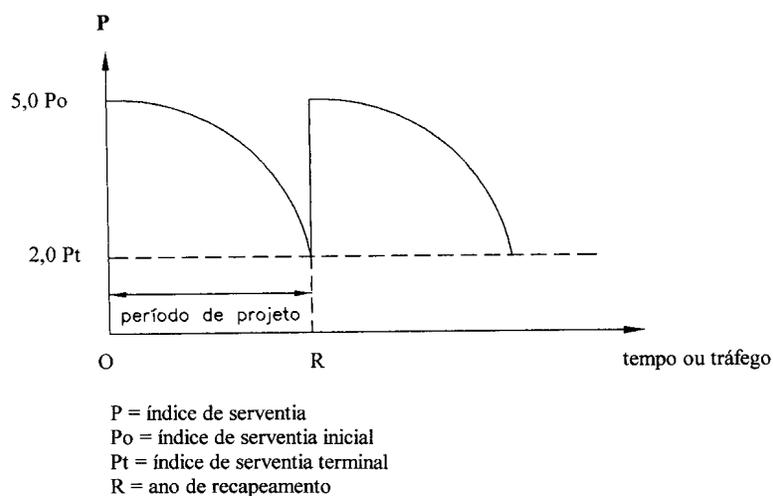
c) **Conservação de Emergência:** É o conjunto de serviços e obras necessárias para reparar, repor, reconstruir ou restaurar trechos ou estruturas de rodovias que tenham sido seccionadas, obstruídas ou danificadas por eventos extraordinários ou catastróficos, havendo a interrupção de tráfego na via.

d) **Recuperação:** É o conjunto de serviços e obras executados em uma rodovia bastante danificada, visando reconstrução parcial ou total para a sua recolocação em boas condições de operação.

e) **Melhoramentos:** É o conjunto de serviços e obras executados em uma rodovia sob tráfego, para melhorar as características originais. Incluem melhora de traçado em trechos críticos, abatimento de rampas longitudinais com inclinação elevada, instalação de faixas adicionais em rampas ascendentes para veículos lentos, construção e/ou pavimentação de acostamentos, etc. Particularmente o pavimento de uma estrada ou de um trecho de estrada em operação precisa ser avaliado periodicamente. Os principais motivos da necessidade de sua avaliação são:

- Verificar se o seu desempenho é satisfatório;
- Fornecer informações para o planejamento de serviços e obras de conservação ou de restauração;
- Fornecer informações para a melhoria da tecnologia de projeto, construção e manutenção;
- Verificar sua capacidade estrutural;
- Verificar sua deterioração física: trincamento, deformação e desgastes;
- Verificar os efeitos relacionados aos usuários: rugosidade ou serventia, aparência e segurança;
- Verificar os custos de operação dos usuários e benefícios associados à variação de serventia e segurança.

Com o passar dos anos, o pavimento que inicialmente apresentava um valor de serventia elevado, perde gradativamente as suas características originais e vai diminuindo o seu nível de serventia original. É importante manter o pavimento dentro de um padrão de aceitabilidade para o usuário, cujo limite depende do tipo de via e de tráfego. A AASHTO (1993) recomenda como limite de aceitabilidade a nota 2,5 para vias de alto volume de tráfego e 2,0 para as demais; conforme gráfico 3.1.



Representação esquemática de uma curva de desempenho de um pavimento

Gráfico 3.1 - Evolução do Nível de Serventia de um Pavimento

O pavimento está a serviço do usuário e para assegurar boas condições de rolamento, independentemente das condições climáticas, deve existir um método que possa medir esta qualidade do atendimento em um dado instante de sua vida. Um método utilizado é o chamado **Valor de Serventia Atual - VSA**, pelo qual a serventia do pavimento é traduzida por um parâmetro subjetivo, a partir da opinião dos próprios usuários. Elaborado na década de 50, a partir das pistas experimentais norte-americanas da AASHTO, busca expressar o conforto percebido pelo usuário e a relação existente entre o estado do pavimento e os custos operacionais dos veículos. O parâmetro pode ser também definido a partir de uma avaliação objetiva, quando é tratada por **Índice de Serventia Atual - ISA** (Present Serviceability Index - PSI).

Como visto no gráfico 3.1, a redução do valor de serventia de um determinado trecho de estrada não é linear com o tempo ou com o número de solicitações do tráfego. Com o aparecimento dos primeiros pequenos defeitos na superfície do pavimento, principalmente os caminhões e ônibus desenvolvem maiores cargas dinâmicas, em relação às suas cargas estáticas, atuando por um período curto de tempo nas proximidades das irregularidades: depressões, corrugações, trilhas de rodas etc. (Fernandes Júnior e Barbosa, 2000). Este aumento na magnitude de solicitação acelera e acentua a progressão do defeito, provocando aumento na irregularidade ou queda de serventia da via. Ainda, a infiltração de água de chuva nas trincas de superfície vai debilitando a estrutura do pavimento e acelerando a degradação por redução de resistência das suas camadas, inclusive do subleito.

O VSA é o valor médio das opiniões individuais emitidas por um painel de avaliadores bem treinados e calibrados, segundo procedimento estabelecido pelo método do DNIT, publicado como "Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos" (DNIT PRO 07/94). O levantamento consiste em percorrer um trecho do pavimento tido como em estado de conservação homogêneo, na velocidade operacional da via, em veículo de passeio médio, e admitindo uma situação em que a viagem duraria hipoteticamente 8 horas. Outras condições, como clima, são estabelecidas pelo método ou procedimento. Os avaliadores do mesmo veículo (exceto o motorista) devem indicar sua sensação quanto ao conforto oferecido pelas condições de rolamento do pavimento, empregando uma escala com precisão máxima de décimos de unidade. Os avaliadores não podem

trocar impressões sobre a sua sensação e não devem levar em consideração os aspectos visuais estéticos.

Para calibrar ou aferir uma equipe normal de avaliação é necessário ter como base um método para quantificar a opinião do usuário sobre a capacidade do pavimento em atender as exigências do tráfego, no momento da avaliação, quanto ao conforto e a segurança, sem se preocupar com as suas características estruturais. A calibração é obtida pela média das avaliações individuais de uma equipe maior de dez a quinze avaliadores competentes, treinados na avaliação de uma série de trechos que apresentem condições de serventia diversas. Assim a equipe normal de avaliação, formada por cinco membros no mínimo, fará a sua avaliação comparativa dos mesmos trechos homogêneos anteriormente avaliados pela equipe de referência. Para que cada grupo reduzido seja apto para o trabalho, a sua média não pode diferir mais de 0,3 em relação ao grupo de referência. Quanto às variações das notas individuais dos membros de cada equipe, não podem ser superior a 1,5 pontos e caso um dos membros de uma equipe apresente divergências constantes, acima desse valor limite, deverá ser substituído para se evitar erros de leniência.

$VSA = \Sigma x/n$; onde Σx = somatório dos valores de serventia atual individuais, conferidos pelos membros da equipe e n = número de membros do grupo de avaliação (5 membros no mínimo)

Quanto ao nível das condições de rolamento oferecido pelo pavimento existente, uma dada população de usuários pode levar ao estabelecimento de valor limite compatível com o seu grau de aceitação. Isto significa que um mesmo trecho homogêneo, quando avaliado por usuários acostumados a trafegar mais próximos de grandes centros urbanos, recebe notas menores do que aquelas que seriam atribuídas por usuários de regiões mais distantes. Neste caso, para uma mesma realidade as avaliações costumam ser diferentes, porque dependem do conceito de bom ou de bem dos avaliadores.

Numa graduação de 0 a 5, a AASHTO (1993) recomenda 4,2 para a serventia inicial e de 2,5 a 3,0 como valores indicativos para intervenção de recapeamento ou reconstrução. Mas, podem ser tolerados valores menores, chegando até 1,5; dependendo, sobretudo, da classe da rodovia. Como um critério de rentabilidade, como a relação “benefício x custo”, deve preponderar numa decisão desta natureza, no estabelecimento dos limites para intervenção não há como se abstrair do

volume de tráfego diário ou VDM. Isto significa que a intervenção num pavimento com VSA = 2,5 pode ser mais prioritária que a intervenção em outro pavimento de VSA = 2,0; dependendo da diferença de VDM a maior que solicita o primeiro em relação ao que solicita o segundo pavimento. A Professora Titular da Poli/USP, Dra. Liedi Bariani Bernucci, adota os Níveis de Serventia e respectivos padrões de avaliação constantes da tabela 3.1:

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Tabela 3.1 Níveis de Serventia e Padrões de Avaliação
(Profa. Dra Liedi Bariani Bernucci – Poli/USP)

Em seus experimentos a AASHTO Road Test estabeleceu uma relação entre as medidas subjetivas do VSA com alguns parâmetros indicadores das condições de rolamento dos pavimentos asfálticos. Esta relação fornece o valor do Índice de Serventia Atual (ISA) ou Present Serviceability Index (PSI), conforme equação (3.1). Os referidos parâmetros constituem a medida objetiva das irregularidades por meio de equipamentos adequados, como a profundidade média dos afundamentos na trilha de roda, a área fissurada e a área de remendos na superfície dos pavimentos de trechos relativamente homogêneos.

$$ISA = VSA = 5,03 - 1,91 \log(1 + SV) - 1,38RD^2 - 0,01(C + P)^{1/2} \quad (3.1)$$

SV (slope variance) = variâncias observadas nas medidas das irregularidades, obtidas por meio do perfilômetro da AASHTO.

RD (ruth depth) = profundidade média dos afundamentos plásticos nas trilhas de roda, medida com régua graduada em polegadas a cada 7,5 m.

C (cracking) = área com fissuras de classe 2 ou 3, medidas em pés quadrados, relativa a uma área de 1.000 pés quadrados.

P (patching) = área de remendos medida em pés quadrados, em relação a uma área de 1000 pés quadrados de pavimento.

3.4 – Identificação, Classificação e Caracterização dos Defeitos dos Pavimentos Flexíveis.

Com base na bibliografia, serão apresentados uma descrição dos diversos tipos de defeitos encontrados, os modos de avaliação e as áreas de amostragem. Alguns dos elementos fundamentais do levantamento terão destaques especiais, como a confiabilidade dos dados e a importância e função dos índices de degradação. José Tadeu Balbo diz em seu livro que “cada tipo de estrutura de pavimento apresentará, no decorrer de sua vida de serviço, patologias (ou defeitos) bastante relacionadas não somente aos materiais empregados como também relacionadas ao seu comportamento mecânico, peculiar de cada pavimento. Assim, não apenas material, mas material e comportamento serão informações muito úteis ao engenheiro na tentativa de entender os problemas que se manifestam em pavimentos e terão bastante influência nas técnicas que serão empregadas para serviços de manutenção”.

O conhecimento da condição do revestimento do pavimento é uma etapa obrigatória à criação de um banco de dados, do qual podem ser extraídas informações adequadas ao projeto de reabilitação de sua estrutura, permitindo selecionar a melhor alternativa do ponto de vista técnico e econômico. Para tanto, é necessária a utilização de um método de avaliação da deterioração particularmente do revestimento, permitindo a identificação de cada defeito ocorrente, visando à determinação dos tipos, das classes, das severidades, das magnitudes e das localizações dos defeitos.

Os defeitos de revestimentos dos pavimentos são divididos em duas classes: **Estrutural** e **Funcional**. Embora os defeitos estruturais apresentem também defeitos funcionais, o pavimento funcionalmente defeituoso - por exemplo, irregular - pode estar estruturalmente adequado.

Os três níveis de severidade dos defeitos representam as diferentes fases de sua progressão e, também, qual o grau de urgência de sua recuperação. São eles: Níveis Baixo, Médio e Alto. O processo de levantamento dos defeitos deve ser o mais preciso possível, com equipamento apropriado e aferido. A terminologia é normatizada pelo antigo DNER e deve ser a principal referência para trabalhos de avaliação em nosso País. Neste trabalho cada defeito está descrito a seguir de forma simples e sumária, quanto à sua forma (morfologia) e à sua origem (gênese).

- a) **Classe Estrutural:** Quando o defeito está associado à capacidade estrutural do pavimento. Por exemplo, quando o revestimento apresenta trinca como consequência de um processo de fadiga em uma ou em mais de suas camadas.
- b) **Classe Funcional:** Quando o defeito está associado às condições de conforto e segurança da sua camada de rolamento. Por exemplo, quando a sua superfície se apresenta tão lisa que o atrito torna-se insuficiente para evitar a derrapagem.

Fenda: É um defeito genérico que quando melhor discriminado recebe o nome de fissura e trinca. A fissura é uma fenda visível a olho nu quando a distância é inferior a 1,5m. A trinca é uma fenda já de maior proporção, classificada como transversal e longitudinal. Quando tem extensão inferior a 1,0 m é considerada curta e quando maior que 1,0 m, é longa. As trincas interligadas são divididas, por sua vez, em duas categorias: trinca couro de jacaré ou pele de crocodilo, com contornos erráticos, e trinca de bloco, com lados bem definidos formando blocos.

Essas trincas interligadas possuem ocorrências de “classe 2”, sem erosão nas bordas, e de “classe 3”, com erosão nas bordas. A fenda pode ser causada por má dosagem da mistura asfáltica, falta de flexibilidade da camada betuminosa, excesso de compactação, insuficiência de suporte, colapso do revestimento asfáltico por repetição de cargas, sobrecarga, envelhecimento da camada betuminosa em consequência da progressiva perda do ligante, fenômeno conhecido como oxidação, além de outras causas. As condições ambientais contribuem para o início e a propagação da fenda e a sua evolução dá origem à panela. A fenda pode ser classificada como defeito estrutural e/ou funcional e o seu nível de severidade pode ser baixo, médio ou alto. A

trinca é medida em metro linear ou em área trincada, devendo ser esta medida por meio de um retângulo circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

Afundamento: É uma deformação irreversível na superfície do pavimento. Quando na lateral do afundamento há elevação, recebe o nome de afundamento plástico e quando não há elevação de afundamento, de consolidação. Até 6,0 m de comprimento é chamado de local e quando é maior e ao longo das trilhas de roda, o afundamento é chamado de afundamento plástico da trilha de roda ou de afundamento de consolidação da trilha de roda.

Corrugação: São deformações transversais que juntas causam ondulações na superfície do pavimento. Também são chamadas de costelas de vaca.

Escorregamento do Revestimento: É o deslocamento do revestimento em relação à base, com aparecimento de fendas em forma de meia lua.

Exsudação: É o excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, resultante da migração do ligante através do revestimento. Geralmente a causa principal é a má dosagem da mistura betuminosa.

Desgaste: É o arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial e provocado por esforços tangenciais do tráfego.

Panela: É uma cavidade decorrente da desagregação da camada superior, às vezes ultrapassando o revestimento. Vulgarmente é chamada de buraco. A formação das panelas está relacionada principalmente com o processo de fadiga do pavimento e com a ação do tráfego, agravada pela presença de umidade. Manifestam-se em qualquer parte do revestimento, mas em particular nas trilhas de roda. São considerados defeitos funcionais e os níveis de severidade estão em proporção com a área e com a profundidade da panela. O método de medição é em função da profundidade e da área do retângulo circunscrito, com um lado paralelo ao eixo da rodovia.

Remendo: É a recolocação de material apropriado no lugar de outro material original removido, limitado a uma porção do revestimento. Quando é feito sem muito rigor técnico e de forma mais

expedita pode se caracterizar como resultado de uma operação tapa-buraco. Geralmente tem forma retangular. É chamado de remendo profundo quando ocorre substituição de camadas além do revestimento. É medido em metros quadrados de área retangular circunscrita, com um lado paralelo ao eixo da rodovia. A deterioração do remendo pode ser classificada como defeito funcional e estrutural, e sua severidade baixa, média ou alta.

3.4.1 - Incertezas quanto à Denominação e à Classificação de Defeitos dos Pavimentos.

Freqüentemente existe dificuldade para se decidir qual o melhor nome e qual a melhor classe para um determinado defeito constatado na superfície do pavimento em questão. Porém, o mais importante é que uma má descrição do defeito não comprometa a qualidade do serviço de manutenção que será feito com base no levantamento. Portanto, é importante que a equipe técnica preparada para o levantamento tenha experiência no desenvolvimento de cada fase, tenha sensibilidade e boa percepção quanto à coleta e utilização dos dados, e tenha em mente à realização do trabalho como um todo. É altamente recomendável o conhecimento das características das camadas que compõem a estrutura do pavimento e também do subleito. Uma trinca transversal manifestada na superfície do pavimento pode ser um reflexo da propagação de trincas de retração de uma base cimentada e não propriamente do revestimento asfáltico.

3.5 - Índices de Qualidade para Pavimentos Asfálticos

Existem vários métodos para se estabelecer o índice de qualidade das condições operacionais do pavimento asfáltico, com base no levantamento e análise dos defeitos encontrados em sua superfície. Existem métodos para qualificar as condições do pavimento do ponto de vista puramente operacional e outros que qualificam e quantificam, de forma simples ou ponderada, chegando-se a um chamado índice de qualidade. Por enquanto, alguns métodos de determinação do índice de qualidade para pavimentos mais utilizados pelos engenheiros rodoviários brasileiros serão apresentados resumidamente abaixo. Este assunto será mais esmiuçado depois quando for tratado o Sistema de Gerência de Pavimentos específico do DER, o SGP/SP.

3.6 - Métodos de Avaliação do Estado de Superfície de Pavimentos Asfálticos

Neste item é feita uma abordagem dos métodos de levantamento de defeitos e deficiências que podem se manifestar particularmente na superfície dos pavimentos asfálticos em operação.

Índice de Gravidade Global (IGG)

O método IGG preconizado pelo DNER por meio da PRO-08/94 – Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos – é muito utilizado no Brasil. Inicialmente o procedimento foi estabelecido pela DNER-PRO-78, com base em um trabalho elaborado pelo engenheiro Armando Martins Pereira, apresentado na 11ª Reunião das Organizações Rodoviárias realizada em setembro/1972 na cidade de Brasília (Pereira, 1979).

O IGG é representado por um valor numérico obtido a partir da avaliação de defeitos na superfície dos pavimentos com o objetivo de refletir o seu estado geral. Conforme a citada norma, o IGG deve ser aplicado como uma análise prévia para se conhecer a necessidade de uma avaliação da condição estrutural do pavimento ou, de acordo com Gontijo et al. (1994), para complementação de resultados obtidos por análise deflectométrica. Ao índice se chega a partir da análise dos registros de defeitos inventariados sobre a superfície do pavimento e em função dos afundamentos observados em trilhas de roda.

Para se fazer o inventário amostral utiliza-se uma planilha de campo relativamente simples, na qual se coloca na vertical o tipo de defeito através de sigla e o seu respectivo grupo (oito grupos). Acrescentam-se ainda os valores obtidos das médias das flechas medidas em mm nas trilhas de roda interna e externa (TRI e TRE), totalizando dez ocorrências que são utilizadas no cálculo do IGG. Na horizontal se coloca o grau de severidade, representado por números. Para preenchimento da planilha caminha-se a pé, ao lado da via, e deve ser anotado também qual o tipo de seção de terraplenagem em cada estação: aterro, corte, seção mista (lado do aterro ou lado do corte), ponto de passagem e se é corte em rocha.

Cada estação (área de superfície de levantamento) deve ter 6 m de comprimento e mesma largura da faixa de tráfego em levantamento. O inventário ocorre a cada 20 m de pista simples, alternando-se a faixa de rolamento, ou a cada 20 m na faixa mais solicitada por veículos comerciais de cada pista, quando pista dupla. A análise deve ser feita em separado quando se tratar de superfície com características diferenciadas, como faixa ascendente para veículos pesados. Como regra geral, a superfície amostrada corresponde a cerca de 15% da área total avaliada. Gontijo et al. (1994) recomenda que o IGG seja calculado a partir de segmentos homogêneos (com defeitos semelhantes) e não por vias, repetindo-se assim o processo para cada trecho que foi definido numa primeira fase, que tem por finalidade homogeneizar os segmentos. O procedimento do DNER (1994) estabelece que a extensão de cada segmento homogêneo não ultrapasse 1 (um) quilômetro, embora essa limitação possa ser revista em função do caso.

É atribuído um fator de ponderação (f_p) que estabelece a severidade relativa de um tipo de defeito em relação aos outros, cujo valor mais altos corresponde igualmente aos defeitos panela e ondulação (1,0). O valor mais baixo (0,2) é atribuído à fissura (FI) e às trincas independente transversal (TT), longitudinal (TL) e de retração (TRR). Geralmente, esses dois tipos de defeitos e o de deformação de trilha de roda são os que mais causam prejuízos à qualidade de rolamento do pavimento. Se em uma mesma estação são verificados mais de um tipo de classe de fendas (fissuras e trincas), apenas aquela mais grave compõe o índice. Porém, a anotação de todos os tipos de fendas encontradas em cada estação é necessária para efeito de verificação da homogeneidade dos segmentos.

Do ponto de vista prático, o cálculo do IGG é feito como se segue. Consideradas as N estações inventariadas dentro do mesmo segmento homogêneo, se calcula a frequência relativa (fr) de cada tipo de defeito observado, tomando-se o número de observações desse defeito nas estações de ensaio, frequência absoluta (f_a), pela expressão (3.2):

$$fr = (f_a / N) \cdot 100 \quad (3.2)$$

Para cada tipo de defeito é atribuído *a priori* um fator de ponderação f_p , que estabelece a severidade de um tipo de defeito em relação aos demais, tomando-se as panelas e ondulações

como defeitos mais graves. O índice de gravidade individual (IGI) imposto ao pavimento por cada tipo de defeito verificado é definido pela expressão (3.3).

$$IGI = fr \cdot f_p \quad (3.3)$$

O IGI das trilhas de roda deve ser calculado em função da média e da variância dos valores medidos com régua própria em ambas as trilhas, conforme o tipo de pista (cada uma das pistas duplas e também a terceira faixa deve ser tratada separadamente). Assim, o IGI das trilhas de roda é calculado em duas parcelas:

1ª) Se a média for superior a 30 mm, é adotado IGI igual a 40. Quando for inferior a 30 mm, o IGI é o produto da média por 4/3.

2ª) Se a variância dos valores for superior a 50, o IGI causado por tal variância será igual a 50. Quando inferior ou igual a 50, o IGI será o valor dessa variância.

O IGG é o resultado do somatório dos valores dos IGI impostos pelos tipos de defeitos e pela média e variância das trilhas de roda. Segundo esta metodologia, o conceito de deterioração do pavimento é o que corresponde ao IGG obtido, dentro dos limites estabelecidos nas tabelas 3.2, 3.3 ou 3.4:

Faixa de IGG	Conceito
0 – 20	Bom
20 – 80	Regular
80 – 150	Mau
150 – 500	Péssimo

Tabela 3.2 Faixa de IGG e Conceito do Pavimento pela PRO/DNER – 08/94

Limites de IGG	Conceitos
0 – 10	Ótimo
10 - 30	Bom
30 – 80	Regular
80 – 150	Mau
150 – 500	Péssimo

Tabela 3.3 Limites de IGG sugeridos por Pereira (1979)

Limites de IGG	Conceitos
0 – 35	Ótimo
35 – 65	Bom
65 – 110	Regular
110 – 160	Mau
160 – 230	Péssimo

Tabela 3.4 - Limites de IGG sugeridos por Fabrício et al.(1995)

Estudos, análises e observações provenientes de aplicações práticas do método levam a algumas considerações que devem ser lembradas. Algumas delas são:

Balbo (1997) diz que o IGG tem sido tradicionalmente aplicado em nível de projeto, o que demanda morosos trabalhos de levantamento visual em campo. Em situações de gerência em nível de rede tem sido adotado um critério estimativo do DNER para a obtenção do IGG, que é o Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE).

Bertollo (1997) afirma que o IGG apresenta limitações por não considerar a severidade dos defeitos, excetuando-se as trincas, e por considerar o número de ocorrências sem levar em conta a extensão de cada uma delas.

Santana (1992) propõe que o valor máximo do IGG de 500 seja reduzido para 320, quando o pavimento deve ser reconstruído. Acrescenta que um pavimento com valor de IGG igual a 60 deva sofrer intervenção de restauração.

Duarte (1984) recomenda reavaliação do método para pavimentos semi-rígidos, que poderia atingir valor máximo de IGG igual a 270; quase metade do valor máximo para pavimentos flexíveis. Isto porque não ocorrerão defeitos como afundamentos plásticos e adensamentos, ocorrendo os defeitos como FC-1, FC-2, FC-3, P, D e R.

Aranovich (1983) comenta que a norma dá pouca importância aos tratamentos superficiais e não considera a irregularidade longitudinal na avaliação do desempenho. Alega que a avaliação da irregularidade longitudinal, por meio da variância dos afundamentos de trilha de roda, não corresponde com a sua experiência prática em pavimentos de baixo custo.

DNER (1979-b) estabelece um critério para o valor de IGG com diretrizes para projeto de restauração, como segue: se $IGG \geq 180$ corresponde a substituição parcial ou total do pavimento existente por nova estrutura. Se $IGG \leq 180$ as medidas variam em função das deflexões, do valor médio das flechas nas trilhas de roda e da percentagem de afundamentos plásticos locais ou na trilha de roda.

Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE)

O IGGE é um índice de avaliação funcional subjetivo da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos, para levantamento contínuo, isto é, levantamento mais rápido e menos preciso que o do PRO-08/94 do DNER (1979-a). O procedimento da aplicação do método é semelhante ao do Levantamento Visual Contínuo – LVC do DNER (1998).

De acordo com Fabrício (1998), o método consiste em avaliar a condição da superfície de rolamento de um pavimento de um modo contínuo, utilizando veículo numa velocidade média constante de 30 a 40 km/h. Um técnico anota em planilha própria as severidades e a frequência dos defeitos do pavimento, dividindo visualmente em segmentos homogêneos de no máximo

1(um) quilômetro. Balbo (1997) ressalta a importância da experiência do avaliador, porque a frequência é um valor subjetivo que depende dessa experiência, da velocidade do veículo e das condições visuais no momento da avaliação. O IGGE é dado pela expressão (3.4).

$$IGGE = P_t \cdot F_t + P_{oap} \cdot F_{oap} + P_{rp} \cdot F_{rp} \quad (3.4)$$

Onde: t = trincas; o = ondulações; ap = afundamentos plásticos; r = remendos; p = panelas; F = frequência da ocorrência dos defeitos; P = pesos correspondentes à severidade dos defeitos.

As frequências e os pesos são obtidos em função da densidade e da severidade, conforme tabelas 3.5, 3.6 e 3.7:

Nível	Frequência (%)
B (baixa)	5
M (média)	30
A (alta)	75

Tabela 3.5 Frequência - DNER (1998) e Felipe et al. (1998)

Severidade	Pt	Poap	prp
1	0,30	0,60	0,70
2	0,45	0,70	0,80
3	0,65	1,00	1,00

Tabela 3.6 Pesos - DNER (1998), Fabrício (1998) e Felipe et al. (1998)

Nível	Frequência (%)	
	F _t e F _{oap}	F _{rp}
B (baixa)	≤ 10	≤ 2
M (média)	10 – 50	2 – 5
A (alta)	≥ 50	≥ 5

Tabela 3.7 Valores diferentes para as frequências considerados por Fabrício (1998)

Pavement Condition Index (PCI) ou Índice de Condição do Pavimento (ICP)

Desenvolvido pelo Construction Engineering Research Laboratory (CERL), este índice ou escala de qualidade foi publicada em 1979 pelo United States Army Corps of Engineers (USACE). Adotado inicialmente para pavimentos de aeroportos, o método foi posteriormente adaptado para rodovias, ruas e estacionamentos. Segundo Shain e Khon (1979) e Shain e Walther (1990), o objetivo do método é calcular um índice numérico que expressa a condição do pavimento analisado. O PCI visa estabelecer padrões para:

- Classificar a condição de integridade estrutural e operacional da superfície dos pavimentos;
- Estabelecer prioridades de manutenção;
- Determinar necessidades de reabilitação e prioridades por comparação de trechos;
- Acompanhar e prever desempenho do pavimento pela determinação periódica do PCI

Embora o método contemple pavimentos asfálticos e de concreto de cimento Portland (simples e armado), para veículos de pneus e reboques, como já dito anteriormente o presente trabalho dá ênfase aos pavimentos asfálticos. Segundo Shaim e Khon (1979), vários fatores afetam a condição do pavimento, como:

- Integridade estrutural: permanência da integridade sob a ação do tráfego;
- Capacidade estrutural: capacidade máxima de carga sem ruptura;
- Irregularidade superficial: define qualidade operacional do pavimento;
- Resistência à derrapagem: atrito (aderência) entre pneu e superfície de pavimento;
- Necessidade de manutenção: grau de desgaste e de falência.

Os sistemas de gerência de pavimentos que mais utilizam o PCI são o PAVER e o MicroPAVER, desenvolvidos pelo USACE (década de 1970), para utilização nos computadores militares da época e microcomputadores, respectivamente. Este sistema foi utilizado por diversos órgãos como a American Public Works Association (APWA) e Federal Aviation Administration (FAA), da Federal Highway Administration (FHWA), entre outros.

Para maior precisão do PCI é necessária uma inspeção detalhada do pavimento, visando determinar tipos, quantidades e severidade dos defeitos. Nos dois métodos de inspeção existentes, utilizam-se unidades de 225 m². No primeiro procedimento avaliam-se todas as unidades e no segundo avaliam-se amostras escolhidas aleatoriamente ou sistematicamente. Os dados referentes a cada tipo de defeito são anotados em planilha. O PCI é calculado como uma função do tipo de defeito observado (T_j), de sua severidade (S_j) e de sua densidade (D_{ij}), de acordo com a expressão (3.5).

$$PCI = 100 - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^{m_i} a(T_j, S_j, D_{ij}) \cdot F(t, q) \quad (3.5)$$

Onde:

a = valor deduzido dependente das variáveis relativas ao defeito (tipo, severidade e densidade);

i = um contador de defeitos;

j = um contador de níveis de severidade;

p = número total de tipos de defeitos para o pavimento em questão;

m_i = número de níveis de severidade para o i-ésimo tipo de defeito;

F (t,q) = uma função de ajuste para múltiplos defeitos que varia em função da soma de valores deduzidos (t) e do número de deduções (q).

Os tipos de defeitos, suas severidades e a forma de medida para definição de sua densidade são catalogados pelo USACE. Os níveis de severidade são alto, médio e baixo. Por exemplo, para afundamentos e trilha de roda, esses níveis são considerados assim: alta para valores de mais de 25 mm; média para valores entre 13 e 25 mm; baixa para valores entre 6 e 13 mm. Foi selecionada uma escala graduada para a comparação entre os diferentes pavimentos, com valores variando de 0 a 100. Os conceitos dados pelo método PCI (Shain e Khon, 1979) são os da tabela 3.8:

PCI	Conceito
100 – 86	Excelente
85 – 71	Muito Bom
70 – 56	Bom
55 – 41	Regular
40 – 26	Ruim
25 – 11	Muito Ruim
10 – 0	Péssimo

Tabela 3.8 Faixa de PCI e Conceito do Pavimento (Shain e Khon, 1979)

Nas tabelas 3.9 e 3.10 são apresentados valores deduzidos para trincas do tipo pele de crocodilo e para afundamentos em trilhas de roda, respectivamente, adaptados de gráficos específicos fornecidos no manual do USACE. Para calcular o PCI de um trecho que apresentasse somente trincas classe 3 do tipo pele de jacaré em 75% de sua área, o valor deduzido seria então 58 (alta severidade), sendo $PCI = 100 - 58 = 42$, que equivale a um pavimento de qualidade regular. Isto denota que trinca de classe 3 são altamente prejudiciais à integridade estrutural de pavimentos asfálticos. Mas, o índice geral “regular” somente seria útil para efeito comparativo em um conjunto de vias em processo de avaliação. Para um pavimento que em 100% de sua área (ou extensão) apresentasse afundamento médio de trilha de roda de 15 mm como defeito exclusivo, o valor deduzido seria 67 (para média severidade), dando um $PCI = 100 - 67 = 33$, equivalente a um pavimento ruim. Isto significa que o PCI está mais relacionado com a suavidade de rolamento do que com a integridade estrutural do pavimento.

Densidade (%)	Severidade: ALTA	Severidade: MÉDIA	Severidade: BAIXA
1	11	21	30
5	25	38	52
10	32	47	62
25	43	58	73
50	52	67	82
75	58	73	87
100	61	76	90

Tabela 3.9 - Valores deduzidos para trincas tipo pele de crocodilo

Densidade (%)	Severidade: ALTA	Severidade: MÉDIA	Severidade: BAIXA
1	8	18	27
5	21	35	48
10	27	44	61
25	38	56	76
50	46	62	85
75	48	65	88
100	50	67	

Tabela 3.10 - Valores deduzidos para afundamentos em trilhas de roda

Índice de Condição do Pavimento Flexível (ICPF)

O ICPF é calculado em função de uma avaliação subjetiva do estado de superfície do pavimento asfáltico. Dentro de um veículo a uma velocidade entre 20 e 40 km/h o avaliador percorre cada segmento homogêneo procedendo a sua avaliação visual, atribuindo notas de 0 a 5 para o pavimento dependendo da quantidade e da qualidade dos defeitos observados. Esta metodologia

foi utilizada pelo DNER em rodovias federais na década de 90, para a implantação do sistema de gerência de pavimentos.

A extensão máxima de cada segmento homogêneo é de no máximo 6 km e o procedimento do levantamento é conforme o Levantamento Visual Contínuo (LVC), segundo o DNER (1998). É um método simplificado e o valor do índice é a média do resultado de dois ou mais avaliadores. O ICPF foi publicado no relatório de gerência do DNER em 1992, visando à verificação da consistência dos dados obtidos pelo levantamento com o IGGE. Fabrício et al. (1995) correlacionaram IGG e ICPF, utilizando a expressão (3.6).

$$\text{ICPF} = 18,384 - 7,642 \cdot \log(\text{IGG} + 50) \quad (3.6)$$

Na tabela 3.11 tem-se a descrição dos diversos serviços de manutenção em função de valores de ICPF e seus correspondentes conceitos atribuídos pelo DNER (1998):

Conceito	Descrição	ICPF
Excelente	Necessidade apenas de conservação rotineira	5,0 – 4,5
Bom	Aplicação de lama asfáltica: desgaste superficial e trincas não muito severas em áreas não muito extensas.	4,0 – 3,5
Regular	Correção de pontos localizados ou recapeamento: pavimento trincado, com “painéis” pouco frequentes e com irregularidade longitudinal e/ou transversal.	3,0 – 2,5
Mau	Recapeamento com correções prévias: defeitos generalizados com correções prévias em área localizadas; remendos localizados ou profundos.	2,0 – 1,5
Péssimo	Reconstrução: defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão; deterioração do revestimento e das demais camadas; infiltração de água e descompactação da base.	1,0 – 0

Tabela 3.11 - Diversos serviços de manutenção em função de valores de ICPF e seus correspondentes conceitos atribuídos pelo DNER (1998)

Coleta de Dados: Confiabilidade das Avaliações

Quer seja o levantamento de “precisão” objetiva ou subjetiva, qualquer literatura séria conhecida diz que os dados obtidos no campo devem ser os mais adequados possíveis. É o que consta, por exemplo, em Grivas et al. (1991).

Existem três métodos de obtenção de dados de defeitos em campo (Haas, 1995), a saber:

- 1º) Manual: os formulários padrão preenchidos no campo são transportados para o escritório;
- 2º) Semi-automatizado: em um veículo a uma velocidade de aproximadamente 30 km/h os defeitos são registrados em equipamentos eletrônicos especiais;
- 3º) Automatizados: imagens são gravadas e submetidas à análise de técnicos. A tendência é a de que o próprio equipamento faça a análise das imagens (mais ou menos a exemplo do que faz a fotogrametria).

Existe uma busca constante pela minimização dos erros humanos, visando maior precisão, repetibilidade e reprodutibilidade. Isto é, busca por erros menores, por repetição de resultados de avaliação de trechos de condições semelhantes e por resultados próximos para avaliadores diversos para um mesmo trecho, respectivamente.

Na avaliação manual, mesmo técnicos experientes estão sujeitos à influência de ambiente adverso no resultado de seu trabalho. A fadiga mental e física, as condições ambientais como calor ou frio excessivo, a insegurança pessoal, o posicionamento do avaliador inclusive em relação ao sol, são alguns dos fatores que causam tal influência.

Quando a avaliação é feita dentro de um veículo em movimento, o fator que mais afeta é a parte física do avaliador relacionada com o conforto. Autores como Hass e Hudson (1978), Marcon (1996) e Bodi (1998) citam que esses tipos de avaliações estão sujeitas a erros como:

- Leniência: o avaliador, frequentemente, atribui valores muito elevados ou baixos;
- Efeito halo: fatores que não têm significado para a avaliação, como as características da via, afetam a percepção do avaliador;

- Tendência central: o avaliador atribui valores próximos da média, hesitando julgar os extremos;
- Lógica de avaliação: o avaliador associa de maneira aparentemente lógica alguns valores que podem ocorrer consecutivamente, mas não ocorrem simultaneamente.

3.6.1 – Métodos de Avaliação Funcional

Irregularidade de Superfície

A avaliação das características de deformação permanente é comumente feita por meio do levantamento do grau de irregularidade dos perfis longitudinal e transversal da superfície do pavimento. A irregularidade longitudinal pode ser conceituada como o conjunto dos desvios da superfície em relação a um plano de referência e geralmente afetam a qualidade do rolamento, a dinâmica dos veículos e a ação dinâmica das cargas sobre a via (DNER-PRO 182/94). A segurança e o conforto ao rolamento que um pavimento proporciona estão relacionados ao perfil longitudinal, à existência ou não de trilhas de roda severas e à suavidade que a superfície apresenta, ou seja, são inversamente proporcionais ao grau de irregularidade dessa superfície.

A irregularidade também afeta a drenagem dos pavimentos, podendo contribuir para retenção de água e formação de poças. Portanto, ela pode prejudicar a dirigibilidade além de causar desconforto ao rolamento, insegurança à operação de veículos, bem como diminuir a durabilidade e o desempenho do pavimento pelo aumento de ação de cargas dinâmicas. A irregularidade quer longitudinal quer transversal, pode ser oriunda do processo construtivo e/ou pode ser resultado da ação do tráfego, além do clima e de outros fatores. A qualidade do rolamento depende também do sistema de suspensão do veículo e do grau de sensibilidade dos usuários e da carga transportada. O grau de irregularidade do pavimento pode ser considerado como uma medida indireta do seu nível de serventia.

No Brasil o parâmetro indicador de irregularidade é o Quociente de Irregularidade (QI), expresso em contagens/km. QI de valores maiores corresponde a maior irregularidade e, conseqüentemente, maior desconforto. No caso das concessões rodoviárias no Estado de São

Paulo, foi estabelecido que o valor máximo admissível de QI é de 35 contagens/km. Também, este mesmo valor de QI é o limite máximo aceitável pelas normas do DNER para efeito de aceitação de revestimentos asfálticos usinados a quente, os CBUQ e PMQ. Os conceitos de QI e IRI são bastante parecidos e muito correlacionados na prática. Uma relação aproximada entre os dois parâmetros mais utilizada pelo DER/SP é $QI = 14.IRI - 10$. Mas, hoje parece ser usual $QI = 13.IRI - 10$. A tabela 3.12 classifica o estado do pavimento em função do valor de irregularidade longitudinal em termos de QI ou IRI

Condição do pavimento	QI (cont/km)	IRI (m/km)
Ótimo	< 29	< 2,2
Bom	30 a 44	2,2 a 3,4
Regular	45 a 59	3,4 a 4,5
Ruim	60 a 74	4,5 a 5,7
Péssimo	> 75	> 5,7

Tabela 3.12 Condição do Pavimento em relação ao QI e ao IRI
(Queiroz e Domingues – XVIII Congresso Mundial de Rodovias em Bruxelas/1987)

A irregularidade longitudinal pode ser avaliada com o auxílio de perfilômetro tipo-resposta, que se baseia na reação da suspensão do veículo às irregularidades existentes. Numa explicação simples é a transformação de impulsos mecânicos em impulsos eletros-magnéticos. A medição da Irregularidade longitudinal é um importante parâmetro na avaliação do estado do pavimento, visando melhor definição da solução de restauração e manutenção a ser aplicada. É utilizado também como subsídio para cálculo de custos de operação de veículos, no controle de qualidade na execução, nos sistemas de gerência de pavimentos e na atualização e realimentação de modelos de previsão de desempenho de pavimentos. A medição da irregularidade, ou quociente de irregularidade, pode ser realizada com a utilização de perfilômetro inercial com sensores laser, com medidas realizadas em segmentos de, por exemplo, 200 metros de extensão.

Embora a avaliação da irregularidade longitudinal com medidor tipo-resposta (SMITR), mostrado na foto 3.1, seja usual, exige constantes e incômodas calibrações em trechos-testes previamente

nivelados. Diversos equipamentos ou processos já foram concebidos dentro de quatro grupos fundamentais: a) Sistema direto de nivelamento geométrico, com nível de precisão e mira (Aby Beam do TRRL - Transport Road Research Laboratory); b) Sistema de medida indireta do perfil, com o perfilômetro dinâmico de superfície GMR (perfilômetro AASHTO; APL do Laboratoire Central des Ponts et Chaussées); perfilômetro Chloe; Merlin do TRRL; c) Sistemas do tipo-resposta com rugosímetro BPR; Bump Integrador, conforme foto 3.2; Maysmeter; sistema IPR/USP; d) Sistemas de medida de sonda sem contato com perfilômetro “ laser” do TRRL; perfilômetro “acústico” FELT; perfilômetro K.J.Law Inc.

Irregularidade – TIPO RESPOSTA

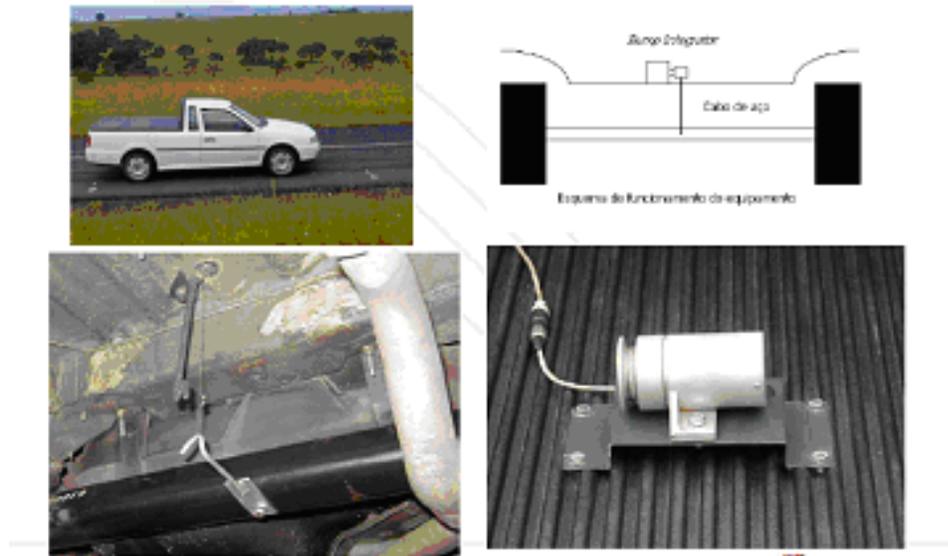


Foto 3.1 – Detalhes de medidor de irregularidade longitudinal tipo-resposta (SMITR)

Na pista da AASHO estabeleceram-se correlações do Índice de Serventia Atual (ISA) para pavimentos flexíveis com a variância das inclinações longitudinais, SV (slope variance), profundidade ou afundamento de trilha de roda, RD (rut depth), área com trincas de classes 2 e 3, C (cracking) e área remendada, P (patching), pela equação (3.7) do ISA = VSA = p

$$p = 5,03 - 1,91 \cdot \log(1 + SV) - 1,38(RD)^2 - 0,01\sqrt{C + P} \quad (3.7)$$

RD em polegadas, C e R em $pe^2/1000$ pe^2

Estudos posteriores reduziram a correlação de p à irregularidade superficial R (roughness) que se media com o rugosímetro BPR, em polegadas por milha, conforme equação (3.8):

$$p = 5,00 - 0,015R - 0,140 \cdot \log R \quad (3.8)$$

Na “pesquisa de inter-relacionamento de custos rodovias” (PICR), realizada no Brasil de 1975 a 1980 pelo GEIPOT, Ministério dos Transportes, com apoio financeiro do PNUD das Nações Unidas e consultoria estrangeira, utilizou-se o perfilômetro dinâmico, de operação delicada, e o equipamento maysmeter, simples e instalado em automóvel de passeio.

O maysmeter é um equipamento de resposta, em que se mede o efeito da massa oscilante do veículo, suspensa por amortecedores aos eixos das rodas, produzido pelos altos e baixos de diferentes amplitudes da superfície do pavimento. Deve ser calibrado periodicamente e na PICR a calibração era feita inicialmente em trechos sob o controle do perfilômetro dinâmico - GMR e, depois, por meio do nível e mira a cada meio metro da superfície do pavimento usado na calibração. Este procedimento está consagrado internacionalmente com a criação da escala IRI (International Roughness Index) a partir de nivelamentos topográficos.

O IRI é definido matematicamente a partir de um perfil levantado por nível e mira ou equipamento similar, nas trilhas de roda, visando simular os movimentos verticais induzidos do deslocamento de um quarto-de-carro. É um índice estatístico expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à superfície de projeto. O automóvel com o maysmeter (mays-ride-meter) ou com o Integrador IPR/USP, que é a versão brasileira do maysmeter, percorre a estrada a velocidade constante, entre 50 e 80 km/h (tolerância de ± 2 km/h), e que deve ser a mesma da calibração. O antigo rugosímetro BPR (Bureau of Public Roads) desloca-se a velocidade entre 15 e 20 km/h.

Para a avaliação do grau de deformação longitudinal com sistema medidor de irregularidade tipo-resposta, pode-se utilizar também o RoughRider Computer, controlado por microprocessador que utiliza um microcomputador tipo laptop, para automatizar a coleta dos dados fornecidos pelo Sistema Medidor de Irregularidade Tipo-Resposta. A irregularidade e os sinais provenientes do

sensor de distância são automaticamente acumulados e armazenados no laptop acoplado, conforme figura 3.4.

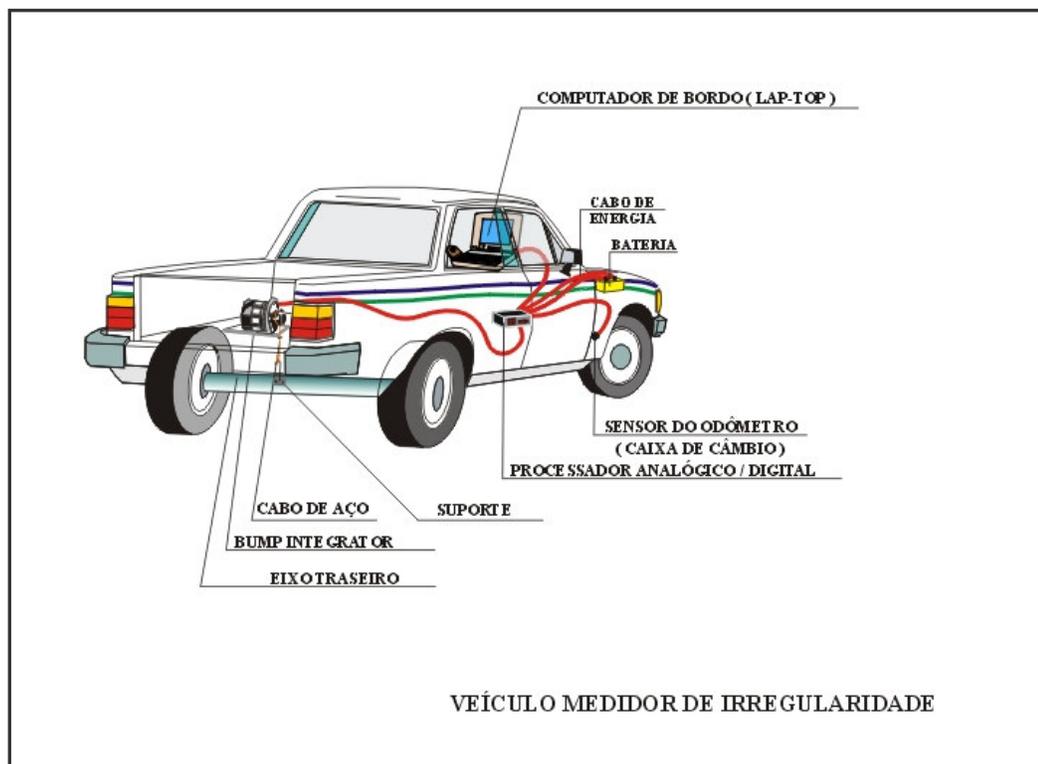


Figura 3.4 - Elementos do Veículo Medidor de Irregularidade

Estando calibrado o sistema medidor de irregularidade tipo-resposta, a medição é feita com grande rapidez por apenas duas pessoas, o motorista e um técnico. A velocidade de medição deve ser compatível com o tráfego e as características geométricas da via, e com velocidade constante. Geralmente a cada 320 m o aparelho emite um sinal sonoro e um mostrador informa a leitura L , correspondente à irregularidade acumulada nesse lance. O valor do “Quociente de Irregularidade”, QI , é posteriormente calculado em escritório, empregando-se a equação de correlação correspondente. A PRO-182/90 do antigo DNER é a que trata da medição de irregularidade em segmentos rodoviários.

No Brasil, a escala padrão de medição adotada é o QI ou o “Índice de Quarto de Carro”, reconhecido internacionalmente, a partir do uso do perfilômetro dinâmico de superfície – GMR.

A figura 3.5 mostra que o modelo de quarto-de-carro consiste em um sistema formado por uma massa, uma roda, um amortecedor e uma mola. A resposta à irregularidade, obtida pela simulação dos movimentos no quarto-de-carro, conforme figura 3.6, é aceita como uma medida padrão de irregularidade e é expressa em contagem por quilômetro (cont./km). Na PICR obteve-se QI entre 20 e 100 em trechos de tratamento superficial.

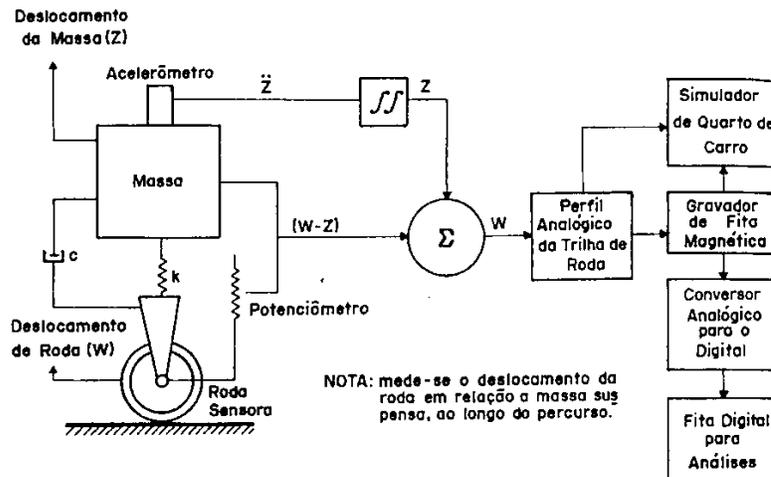


Figura 3.5 - Perfilômetro dinâmico usado na pesquisa PICR.

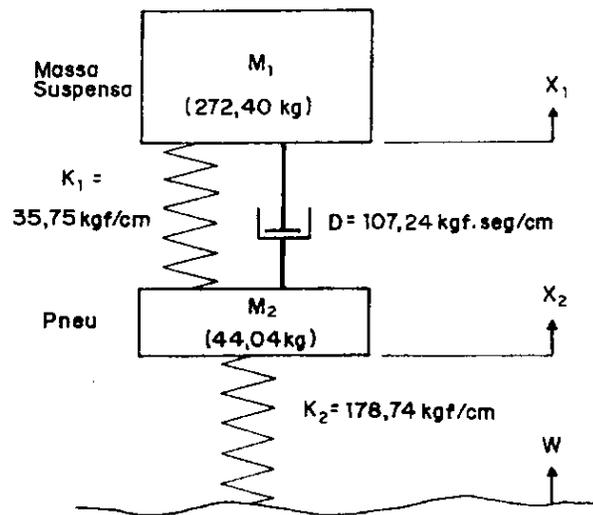


Figura 3.6 - Simulador de quarto-de-carro

Como foi dito anteriormente com outras palavras, em face da existência de numerosos índices obtidos pelos diversos equipamentos denominados perfilômetros ou perfilógrafos, com medidas em diversas escalas padronizadas, a entidade "The International Road Roughness" estabeleceu um índice chamado de IRI - International Roughness Index. O estabelecimento deste índice de irregularidade foi baseado numa pesquisa internacional de medição de irregularidade, realizada em Brasília em 1982. Os valores de IRI variam de 1 m/km, para estradas pavimentadas excelentes, até valores superiores a 5 m/km, para estradas pavimentadas muito ruins. Índice de até 1,5 a 2,5 tem sido utilizado para o controle de recebimento de obras contratadas de pavimentação. Hoje não é incomum conceder bônus ao empreiteiro quando o IRI é mais baixo e até rejeitar a obra quando é mais alto. Como já dito, a relação entre QI e IRI pode ser expressa também pela fórmula (3.9).

$$IRI = \frac{QI + 10}{14} \quad (3.9)$$

No âmbito das características de deformação em superfície mais acentuadas, que se apresentam particularmente nas trilhas de roda, além da irregularidade longitudinal atribuída aos afundamentos plásticos ou de consolidação, ondulações e corrugações, tem-se também a irregularidade do perfil transversal. Para a avaliação desta irregularidade transversal do pavimento, pode-se proceder ao levantamento de seções transversais equidistantes, por exemplo de estaca em estaca. Neste caso, um equipamento preconizado é o "Transverso-Perfilômetro Strata". Conforme consta do Método Paragon para Avaliação, trata-se de um equipamento simples, com dispositivo provido de roda apalpadora que faz desenhar em escala a respectiva semi-seção transversal. Para medir as flechas máximas nas trilhas de roda, utiliza-se a conhecida "Régua-Treliça", com base de 1,20 m. Estes dois equipamentos são apresentados nas figuras 3.7 e 3.8.

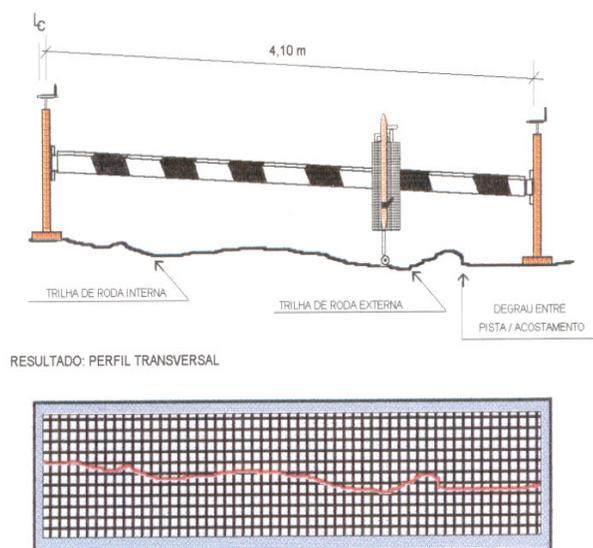


Figura 3.7 - Transverso-Perfilômetro Strata

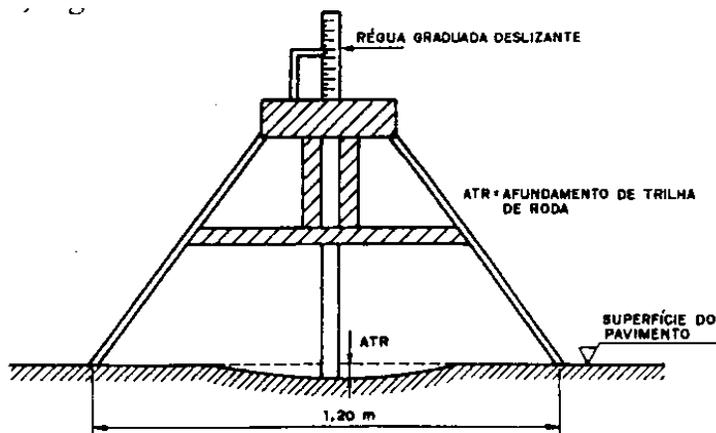


Figura 3.8 - Régua Treliça de 1,20m de base

O Perfilômetro Laser (Laser Perfilometer) é um equipamento que tem sido utilizado para medição de irregularidade, inclusive tendo sido objeto de contrato do DER/SP para levantamento de grande parte da rede paulista, concluído em 2005. No presente trabalho, mais tarde haverá detalhamento deste levantamento. Este equipamento mede e armazena os perfis longitudinal e transversal do pavimento a uma velocidade de 30 a 110 km/h. O sistema emprega dois acelerômetros de precisão para eliminar a influência dos movimentos do veículo em relação à

rodovia. Também um número variável (3 a 7) de sensores laser infravermelhos, para medir as distancias entre a régua e a superfície do pavimento. Os sensores vão montados no pára-choque dianteiro do veículo e um computador laptop armazena todas as informações necessárias ao desenho dos perfis da superfície do pavimento.



Foto 3.2 - Sensores do Perfilômetro Laser no pára-choque dianteiro

Perfilômetro Laser Cibernétrica (CiberLaser)

Este equipamento para medida de irregularidade longitudinal e do afundamento plástico em trilhas de roda foi desenvolvido e montado no Brasil com o uso de componentes importados. É resultado de um trabalho realizado por profissionais da área da engenharia rodoviária, microeletrônica e software.

Trata-se de um sistema de medição com auxílio de medidores de distância a laser, sem contato, de medidores de aceleração vertical do veículo (acelerômetros) e de um sistema preciso de medição de deslocamento/velocidade. Tudo é gerenciado por um sistema microprocessado, que coordena a aquisição dos dados enviados a um computador portátil, em tempo real, por meio de uma porta do tipo USB.

O sistema é capaz de realizar medições no período noturno à frequência de aproximadamente 1700 medidas por segundo, em cada um dos sensores (trabalhando com 5 módulos a laser e 2 acelerômetros). A velocidade de deslocamento do veículo pode variar durante as medições e não tem um limite superior, o que permite que o levantamento seja realizado a 120 km/h, resguardadas as medidas de segurança. Como limite inferior, recomenda-se que os levantamentos sejam realizados a velocidades superiores a 30 km/h.

Conforme figura 3.9, os medidores de distância a laser trabalham com feixes de laser de média potência apontados perpendicularmente para o pavimento, tendo suas posições registradas por um sensor especial que recebe o reflexo das ondas que lhe são direcionadas. Conhecida a distância constante entre o sensor e a lente, bem como as distâncias $\overline{1-2-3}$, é possível entender o funcionamento deste tipo de medidor. Os segmentos $\overline{1-1}$, $\overline{2-2}$ e $\overline{3-3}$ representam distâncias possíveis do veículo até o pavimento e sua representação no sensor especial.

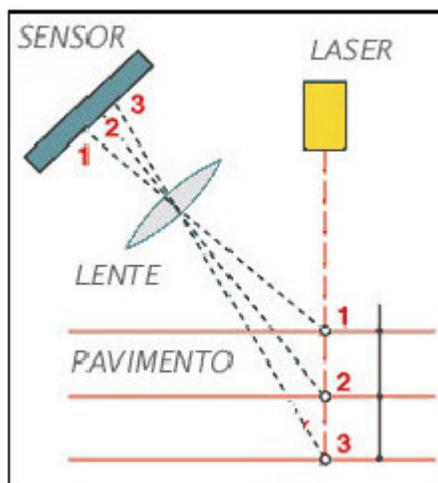


Figura 3.9 - Incidência do feixe de laser do Perfilômetro Cibernétrica

Cada um dos medidores de distância laser tem internamente um sistema eletrônico micro controlado que gerencia a execução e a transmissão dos dados de cada medida, de acordo com as solicitações do sistema gerenciador. O curso útil de cada sensor é de 200 mm e a sensibilidade das medidas é de 0,2 mm. Os sensores de aceleração vertical ficam instalados dentro de dois dos

módulos a laser e são responsáveis pelo registro realizado na mesma frequência, com que se realizam as medições de distância, da aceleração vertical do veículo. Depois de processada, essa informação permitirá conhecer a posição relativa do veículo ao longo de todo o levantamento, o que permite a correção das medidas de todos os sensores, que é o perfil elaborado pelo equipamento.

O sistema de medição do deslocamento do veículo é composto de um sensor que é acoplado à roda do veículo e que gera 1200 pulsos por rotação, permitindo o acompanhamento preciso do deslocamento e conseqüentemente da velocidade. O sistema gerenciador é o sistema eletrônico micro controlado, ao qual os sensores (laser, aceleração e deslocamento) são conectados. Esse sistema controla a aquisição/recebimento das informações pelos sensores e consolida as informações para enviar ao computador. O Perfilômetro Laser pode ser afixado no pára-choque dianteiro (foto 3.3) ou no pára-choque traseiro (foto 3.4).



Foto 3.3 - Detalhes do Perfilômetro Laser no pára-choque dianteiro



Foto 3.4 - Perfilômetro Laser no pára-choque traseiro

Características Técnicas do Sistema

- Número de Módulos de Distância (Lasers): 1 a 14
- Curso Útil dos Sensores: 20 cm
- Número de Sensores de Aceleração: 2
- Sistema de Medição da Distância: 1200 pulsos/volta
- Taxa de Aquisição de Dados: 1700/s (com 5 módulos)
- Software de Coleta de Dados
- Software de Compensação Vertical
- Software de Cálculo da Irregularidade

A **instalação** do *Perfilômetro Laser Cibernétrica* pode ser feita em diferentes tipos de veículos e o equipamento transportado sem maiores dificuldades. Pode ser montado no local da execução dos trabalhos, utilizando como pontos de fixação na parte traseira do veículo os locais onde normalmente são aparafusados os engates para reboque. Neste caso, os primeiros passos para a instalação do equipamento no veículo de passeio, que será destinado à realização das medições, são: a fixação do suporte traseiro, a fixação do suporte do sistema de medição de distância em uma das rodas traseiras e por fim a conexão de um cabo para a alimentação do sistema à bateria do veículo.

Depois, o técnico de campo acompanhado de um motorista deve se dirigir ao trecho a ser levantado para então finalizar a montagem do equipamento. É neste momento que deve ser fixada

ao veículo a viga suporte dos sensores e que pode ser montada num comprimento adequado às medidas pretendidas, que varia de 200 a 300 cm. Com a viga posicionada, devem ser posicionados e fixados os módulos a Laser em número e em posições que respeitem as características da via e das informações que se pretende extrair. Em seguida deve ser fixado o sensor de deslocamento no suporte da roda e por fim devem ser conectados os cabos no sistema de gerenciamento. O sistema é ligado e seu funcionamento é verificado no computador. Estando todas as partes operando sem erros, é realizada a “zeragem” dos sensores em relação a um plano imaginário nivelado, com o auxílio de um dispositivo especial. O equipamento está pronto para a realização das medições.

A **operação** do equipamento deve ser feita no período noturno em dias sem chuva, por um operador técnico e um motorista, opcionalmente auxiliados por 1 ou 2 veículos batedores dependendo do comprimento da barra requerido para o serviço. Para a barra montada com o comprimento máximo (300 cm) é recomendada a presença de 2 veículos batedores, um à frente e outro atrás do veículo de medição. Durante um levantamento realizado com o equipamento, o operador técnico é capaz de visualizar na tela do software se todo o sistema está funcionando corretamente. A qualquer momento o software permite que se abra um arquivo com informações de todos os sensores, que são continuamente gravadas.

A calibração do sensor de deslocamento é feita concomitantemente com o levantamento, mediante a inclusão da localização de algumas das placas quilométricas e/ou de alguns marcos com distância conhecida. Esta metodologia apresenta uma vantagem muito grande à utilização de hodômetro tradicionais, uma vez que desta maneira é muito mais fácil localizar posteriormente os trechos medidos em campo, permitindo intervenções mais pontuais. Durante o levantamento, além de o operador técnico poder visualizar as medições dos sensores em tempo real, ele também pode registrar no sistema todas as observações que julgar pertinente, tais como: uma ultrapassagem, a passagem por obras de arte e/ou outras ocorrências que possam alterar os perfis e conseqüentemente os valores de Irregularidade em relação àqueles calculados para trechos anteriores e posteriores. Finalizada a coleta de dados de campo, os arquivos com os registros devem ser processados por algoritmos específicos para que, levando-se em conta os dados da aceleração, possam ser obtidos os perfis levantados por cada um dos módulos. Definidos os perfis

os dados são novamente processados para a determinação do QI e dos afundamentos plásticos em uma ou nas duas trilhas de roda, conforme o caso.

É um sistema de medida primário que mede o perfil do pavimento de forma similar à medida com nível e mira, com comprimentos de onda que interessam para o cálculo de índices de irregularidade. A irregularidade é calculada *a posteriori com a mesma* equação que é utilizada para calcular a irregularidade de um trecho medido com nível e mira. As medições não são afetadas pela velocidade variável do veículo, cujo valor mínimo recomendado é 30 km/h. As medidas independem de trechos de calibração. O que é calibrado num perfilômetro laser antes do início de cada levantamento, são os sensores laser e os acelerômetros. As medidas de irregularidade podem ser feitas sobre as trilhas de roda, o que normalmente não acontece em um medidor tipo resposta, atrelado a um eixo de veículo de passeio.

O sistema gera medidas de irregularidade independentes em cada uma das trilhas de roda. O registro do perfil do pavimento é útil na determinação dos locais de deformações em cada trecho, permitindo correções mais pontuais. A localização posterior dos trechos levantados é facilitada em função dos marcos presentes na rodovia.

A medida do afundamento plástico nas trilhas de roda é realizado durante a mesma passagem do veículo e representa menos risco aos técnicos que caminhassem ao longo dos trechos, ainda com economia de tempo e de recursos. Não interfere com o tráfego que seria desviado ou interrompido temporariamente, causando aborrecimentos e insegurança ao usuário. Permite medidas mais confiáveis, pois são calculados valores médios de muitas medições ao longo da pista a cada 10 metros, e não somente uma medida a cada 20 ou 40 metros. É fornecido como resultado o desvio padrão, além da média, permitindo aos técnicos analisar a variação da medida de cada uma das médias.

3.6.2 – Métodos de Avaliação da Segurança de Tráfego

Este item procura abordar alguns aspectos relacionados com a segurança do tráfego rodoviário, levando-se em consideração as condições de operação oferecidas pela superfície do pavimento em serviço.

Aderência na Segurança Rodoviária

Um acidente de trânsito rodoviário raramente pode ser atribuído a um único fator. Em geral, ele é resultante da interação de uma multiplicidade de causas interligadas:

- Em relação aos usuários: falta de aptidão, de experiência ou mau comportamento.
- Em relação às características dos veículos: mau desempenho ou falta de manutenção.
- Em relação à infra-estrutura: geometria e revestimento inadequados.
- Em relação às circunstâncias particulares: meteorologia, má visibilidade e intensidade do tráfego.

Todavia, qualquer que seja a causa primeira pela quebra da estabilidade é preciso ter em mente que o motorista vai tentar dominar o veículo agindo com base numa superfície do tamanho de uma folha de papel formato A4 (210mm x 297mm), correspondente à superfície de contato entre o pneu e o revestimento da rodovia. Portanto, é da qualidade desse contato e da maneira como ele vai ser utilizado que vai depender freqüentemente da possibilidade do usuário evitar ou não um acidente de pequena ou de grande proporção.

A principal dificuldade para que o usuário seja prudente e diminua a velocidade ou tome outras providências necessárias, é que fora de casos muito particulares a má aderência dificilmente é perceptível em condições normais de utilização da rodovia. Assim, cabe ao projetista, construtor, órgão responsável e ao técnico neste assunto oferecer aos usuários um nível de aderência compatível com as dificuldades encontradas no itinerário, para que um bom grau de segurança seja oferecido no trecho. Pontos nos quais se verifica que desgraçadamente ocorrem amiúde problemas de falta de aderência devem passar a ser considerados como pontos críticos e uma

atenção especial deve ser dispensada, para que os defeitos sejam corrigidos com urgência. Alguns indicadores devem ser considerados para que a investigação técnica consiga identificar com mais precisão esses seguimentos, como trechos sujeitos a maiores esforços tangenciais, curvas horizontais e pontos de frenagem. Nestes pontos singulares há uma degradação característica mais rápida, quanto ao polimento superficial do revestimento.

Acidente por Derrapagem

Consta que cerca de 15% dos acidentes rodoviários ocorrem por falta de aderência e deles 5% causam vítimas fatais. Considerando que o aumento da velocidade operacional é um fator importante utilizado para diminuir o tempo de viagem e também para atender uma maior demanda de usuários, uma atuação rigorosa para diminuir os acidentes rodoviários inclui aumentar cada vez mais o conhecimento e controle de suas causas.

“A derrapagem é o resultado do comportamento dinâmico do veículo, manifestada pela incapacidade do motorista de manter o controle vetorial da trajetória em qualquer manobra”. Cabe ao motorista estabelecer o controle tanto da velocidade, quanto da trajetória do veículo. Caso contrário o veículo entrará em regime de derrapagem. Em geral, a derrapagem ocorre em pavimento na condição molhada, uma vez que o pavimento em condições secas não oferece problema de falta de aderência. Sobre o revestimento seco e limpo, os coeficientes de atrito são elevados e a velocidade influi pouco. Sobre o revestimento molhado, geralmente há uma diminuição muito nítida do coeficiente de atrito com a velocidade. Este decréscimo do coeficiente de atrito é muito mais acentuado sobre revestimentos polidos e/ou quando os pneus estão lisos. Porém, existem outros fatores que podem igualmente contribuir para a diminuição da aderência e conseqüentemente aumentarem o risco de derrapagem, que são a irregularidade da superfície de rolamento, a velocidade de operação crescente, a natureza do revestimento e a sua textura, o tráfego, etc.

Textura

Existem diversos tipos de revestimentos rodoviários cujo uso está relacionado às condições de contato com o pneu do veículo. Assim, a aderência sobre o revestimento molhado, as projeções d'água, o ruído do contato do pneu com o revestimento, a resistência ao rolamento estão diretamente relacionados à forma geométrica da superfície de rolamento, desde uma escala de alguns milímetros até alguns centímetros e à percepção desta superfície pelo referido pneu. Esta geometria deve ser estudada com o objetivo de se propor melhorias em suas características normais e também para se propor técnicas rodoviárias que venham oferecer gradativamente melhor desempenho desta relação entre o pneu do veículo e a superfície do revestimento da rodovia.

Um dos principais fatores para a diminuição da aderência é a qualidade da interação entre pneu e pavimento, que pode estar mais centrada nas propriedades do revestimento ou nas condições de operação do pneu, ou em ambos. Quanto ao revestimento, o que mais se destaca é o grau de regularização (aspereza) da textura da superfície de contato.

Principalmente os autores anglo-saxônicos definem a textura superficial do revestimento como sendo as asperezas da superfície do pavimento. Assim, a textura é uma característica do revestimento do pavimento, que se refere aos materiais dispostos e observáveis na superfície de rolamento. A textura superficial é uma característica do revestimento e pelas observações registradas por diversos pesquisadores ela é uma propriedade transiente (que muda suas características a cada instante). Então é válido dizer que a cada instante o revestimento apresenta um estado diferente de textura superficial, observável, por exemplo, por meios óticos e táteis.

Em relação a uma superfície plana de referência, ajustada ao greide da superfície de rolamento, três grandezas podem ser consideradas: altura média das asperezas, distância média entre asperezas consecutivas e o fator de forma das asperezas. Elas são os parâmetros micro texturais. Vide figuras 3.10 e equações (3.10; 3.11 e 3.12).

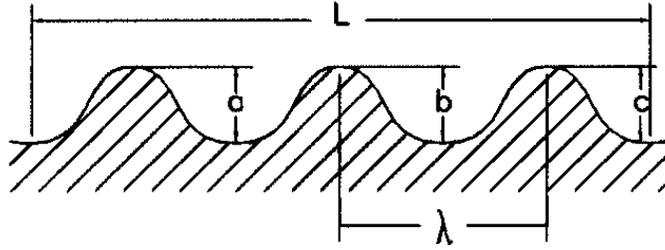


Figura 3.10 - Ondas micro texturais que definem as asperezas da superfície do pavimento

Comprimento de Onda Associada = λ

$$\text{Densidade Média de Aspereza} = \frac{\text{Número de Picos}}{\text{Comprimento do Perfil}} = \frac{3}{L} \quad (3.10)$$

$$\text{Altura Média de Aspereza} = \frac{\text{Somadas Alturas}}{\text{Número de Picos}} = \frac{a + b + c}{3} \quad (3.11)$$

$$\text{Fator de Forma Médio de Aspereza} = \frac{\text{Altura Média}}{\text{Largura Média}} = \frac{\frac{a + b + c}{3}}{\frac{L}{3}} \quad (3.12)$$

Parâmetros Micro Texturais

Classes de Textura

Três séries de texturas podem ser consideradas: a microtextura, a macrotextura e a irregularidade. O pesquisador Guy Descornet afirma que quanto ao atrito a essência do desempenho do pavimento é determinada pelas asperezas superficiais em escalas diferentes e acrescenta que pesquisas revelaram uma parte representativa, nesse desempenho, de uma classe de rugosidade geométrica denominada megatextura.

A norma americana ASTM-E867 estabelece um critério de onda associada à irregularidade de superfícies de pavimentos rodoviários, cujos parâmetros característicos são: o comprimento de

onda (λ), que é a distância horizontal, e a amplitude de onda (b), que é a distância vertical. Vide tabela 3.13.

Domínio		Intervalo de dimensões	
		Horizontal (λ)	Vertical (b)
Microtextura		0 - 0,5 mm	0 - 0,2 mm
Macrotextura		0,5 - 50 mm	0,2 - 10 mm
Megatextura		50 - 500 mm	1 - 50 mm
Irregularidade	Curtas	0,5 - 5 m	1 - 20 mm
	Médias	5 - 15 m	0,5 - 5 cm
	Longas	15 - 50 m	1 - 20 cm

Tabela 3.13 - Textura ASTM – E867

Megatextura

A descrição de uma superfície é complexa. Toda representação contém as aproximações ligadas ao modo de aquisição de dados e à representação ou ao tratamento que são feitos os desenhos e os cálculos. Segundo a característica normal considerada, tal modo de aquisição e tratamento dos dados é mais importante que as demais coisas. Em particular, os modos atuais de descrição das camadas superficiais e dos polimentos tradicionais são melhor adaptáveis à superfície das camadas drenantes e das camadas bem finas. Em contato com as qualidades normais, várias escalas são utilizadas. Concebe-se que elas sejam diferentes pelas propriedades do pneu e da via. Entretanto, uma melhor comunicação entre as práticas logo permite a compreensão das particularidades de cada um e em seguida a harmonia das análises, quando esta é realizada.

A megatextura, com gama (λ) de 50 a 500 mm horizontalmente, corresponde aos desníveis verticais de 1 a 50 mm. Esta megatextura está relacionada principalmente à heterogeneidade granular, como, por exemplo, a tolerância pela dimensão máxima de uma camada e a sua aplicação na obra. Os pneus dos veículos de passeio e os de veículos de carga pesada recebem esta característica por seu aro de contato, de 200 mm para os veículos leves (VL) a 300 mm para

os veículos pesados (VP), com as dimensões das formas da borracha com as mesmas proporções, de 20 mm de passeio a 30 mm de carga. Os desníveis associados provocam deslustres e sobrecargas. A megatextura está também associada à geração de ruído de rolamento pelo emprego da vibração dos flancos dos pneus. Estas questões ainda são pouco estudadas, porque os defeitos correspondentes são raros. O desenvolvimento dos revestimentos delgados pode conduzir a reativar a pesquisa sobre este assunto.

Macrotextura

É a distribuição espacial do agregado na mistura do revestimento capaz de interagir com a banda de rodagem do pneu, num dado instante e numa dada seção do pavimento. Os três parâmetros discriminados na figura acima são características geométricas da textura do revestimento, numa dada seção do pavimento. No caso de macrotextura, são características da textura da mistura (e não especificamente do agregado) constituída de agregados rochosos estabilizados pelo aglomerante. Em suma, a macrotextura possibilita restabelecer os valores de atrito que têm características do revestimento seco e assim contribui para que não ocorra o fenômeno da hidroplanagem.

Veith ressalta a importância da macrotextura na preservação da aderência à velocidade mais alta e no regime de lubrificação elastohidrodinâmica. Na teoria de hidroplanagem visco-elastohidrodinâmica combinada, N.B. Horne e F. Buhlmann esclarecem o mecanismo da preservação da aderência pela ação drenante de um volume de fluido aprisionado pelo pneu deformado na zona de contato. Um pneu de 10 cm de largura de contato, a 90 km/h sobre uma pista molhada com 1 mm de película de água desloca 150 l/min ou 9000 l/h. Na aderência, a macrotextura está relacionada com o ruído de rolamento, projeção de água e com o desgaste dos pneus.

Pode-se medir a macrotextura com o ensaio da *Mancha de Areia*, conforme elementos constantes da figura 3.11. Consiste em preencher os vazios da textura superficial do pavimento com um volume conhecido de uma areia especificada. A areia é espalhada com movimentos circulares, de modo que o diâmetro final da mancha seja função da altura média e consequentemente do volume

consumido. O equipamento consiste de um recipiente de volume conhecido, preenchido com uma areia de granulometria padrão, um dispositivo próprio para o espalhamento da areia e uma régua para medir o diâmetro da mancha de areia espalhada. A relação entre o diâmetro medido e o volume de areia conhecido dá a macrotextura da superfície do pavimento. Por último, pode-se medir a macrotextura com um "molde de gesso". O processo consiste em reproduzir a superfície do pavimento em gesso e em seguida medir a sua macrotextura.

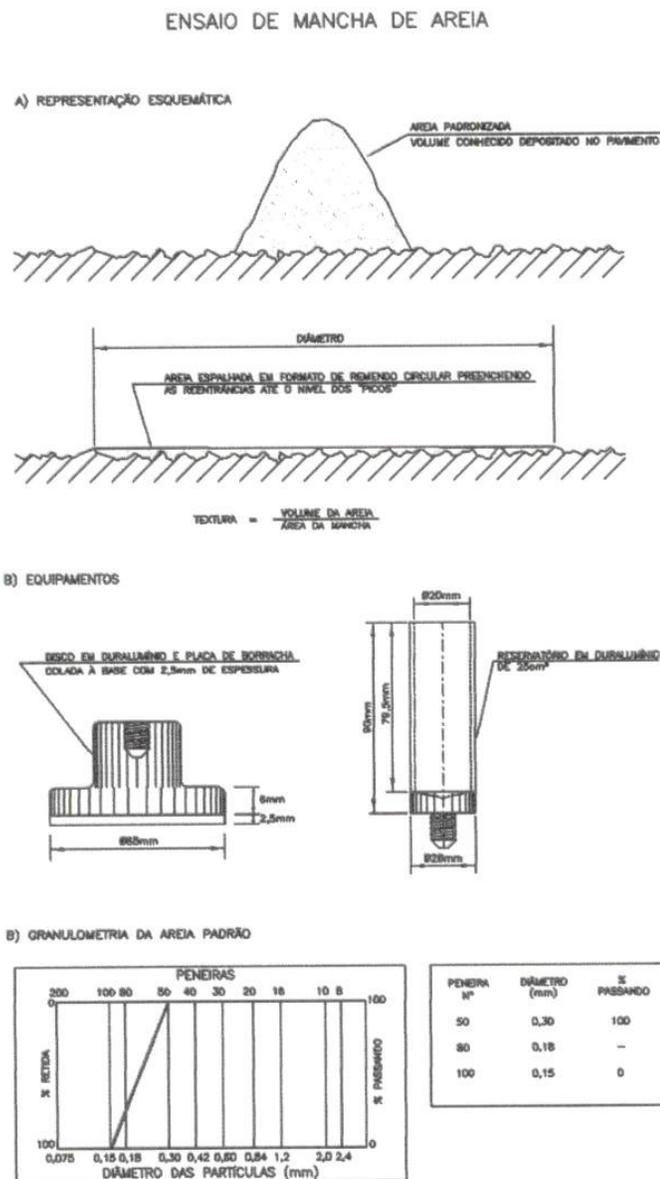


Figura 3.11 - Para Ensaio de Mancha Areia que mede a Macrotextura (Atrito Superficial)

Microtextura

É a distribuição espacial das asperezas na superfície do agregado capaz de interagir com a borracha da banda de rodagem do pneu, num dado instante. Podem-se distinguir três parâmetros análogos aos anteriores, em relação a uma superfície plana de referência ajustada à superfície de contato entre o pneu e as asperezas do agregado. Esses parâmetros são suficientes para caracterizar a textura do material rochoso (do agregado e não genericamente da mistura) na superfície de contato.

Enquanto as asperezas da macrotextura são representadas pelo volume distribuído de parte do agregado saliente na superfície da mistura (concreto asfáltico ou concreto de cimento Portland), as asperezas da microtextura são representadas pelas arestas salientes da estrutura cristalina emergente, na superfície de cada agregado gerador da macrotextura.

Em resumo, a macrotextura é uma característica ligada à estrutura da mistura como revestimento e a microtextura é uma característica do agregado ligado às propriedades petrográficas de gênese da rocha que lhe deu origem.

Na hipótese de haver boa regularidade na direção transversal do pavimento, por exemplo, com ausência de trilhas de roda, verifica-se que o intervalo de textura capaz de garantir um satisfatório coeficiente de atrito em pista molhada é a microtextura. É a microtextura a responsável pela ruptura da película de água no topo das asperezas do pavimento e que permite o contato com a borracha do pneu. Portanto, o fenômeno da lubrificação da camada limite realizada por uma fina película de água (que é o melhor lubrificante da borracha) é de certa forma anulado pela presença da microtextura na superfície do revestimento, pelas seguintes razões: **a)** Pela capacidade drenante da fina camada de água. **b)** Pela capacidade de romper a fina camada de fluido de espessura da ordem de poucas moléculas que separam o pneu do topo das asperezas. Isto se realiza pelo desenvolvimento de elevadas pressões de contato da borracha do pneu em presença de intensas forças moleculares de coesão entre as moléculas de água.

Outras Medidas

A medida da espessura da película de água aderente ao pavimento quantifica a capacidade drenante da superfície do pavimento de modo a se ter uma avaliação da possibilidade de ocorrência dos fenômenos de viscoplanagem ou hidropianagem, que são parcelas do fenômeno chamado aquaplanagem.

O equipamento para a medida da espessura da película de água aderente ao pavimento consiste de uma série de tubos capilares dispostos fixamente a distâncias conhecidas do chão. A película de água presente na superfície a ser avaliada, segundo sua espessura, toca a extremidade do tubo e com isso lhe modifica a cor. Assim, visto de cima, tem-se escalarmente a espessura da película de água num dado momento.

Medição do Coeficiente de Atrito

Medir o coeficiente de atrito ou de aderência significa determinar, por meio de uma medida escalar, o grau de escorregamento (ou derrapagem) presente na superfície de um pavimento. O coeficiente de atrito transversal pode ser medido com o Pêndulo Britânico, cujo resultado é conhecido como VRD (Valor de Resistência à Derrapagem). O coeficiente de atrito também pode ser medido indiretamente com a chamada "Mancha de Areia", medindo-se a macrotextura da superfície do pavimento.

O **Pêndulo Britânico** da foto 3.5 é constituído por uma placa de borracha que simula a superfície de um pneumático “careca” de veículo automotor, montada no extremo de um pêndulo que, liberado em queda livre, descreve um arco circular tangenciando a superfície do pavimento onde se coloca o aparelho para o ensaio. A diferença de altura entre o centro de gravidade da placa de borracha tomada antes e depois que ela desliza sobre a superfície do revestimento é utilizada para se calcular a perda de energia devido à fricção. As condições do ensaio foram definidas de tal forma que os valores apresentados no mostrador do equipamento correspondem ao “Valor de Resistência à Derrapagem” (VRD) de um pneumático padrão derrapando sobre o pavimento a 48 km/h.



Foto 3.5 - Pêndulo Britânico

O ensaio é realizado sobre uma superfície uniformemente molhada e os pontos de ensaio podem ser espaçados entre si de 5 m, de modo a se poder extrair um valor médio das leituras. Podem ser realizados 5 ensaios e obtidas 5 leituras em cada uma das unidades de amostragem das quais se obtém um valor médio. Os Valores de Coeficiente de Atrito obtidos, traduzíveis também em Valores de Resistência à Derrapagem (VRD) devem ser analisados à luz dos limites aceitáveis segundo os padrões estabelecidos pelo “Marshall Committee” e pela Norma Britânica.

Uso do Mu-Meter para avaliação do coeficiente de atrito em pavimentos rodoviários.

O Mu-Meter é um equipamento rebocável (figura 3.12), com dimensões em torno de 150 cm de comprimento, 80 cm de largura e 85 cm de altura. O equipamento conta com três rodas, sendo que a central estima a distância percorrida e ao mesmo tempo é responsável pela rotação do cilindro do dispositivo registrador numérico, que acumula o atrito medido em toda a extensão considerada e de um hodômetro que indica a distância percorrida em múltiplos de 6m (20ft), nas versões antigas.

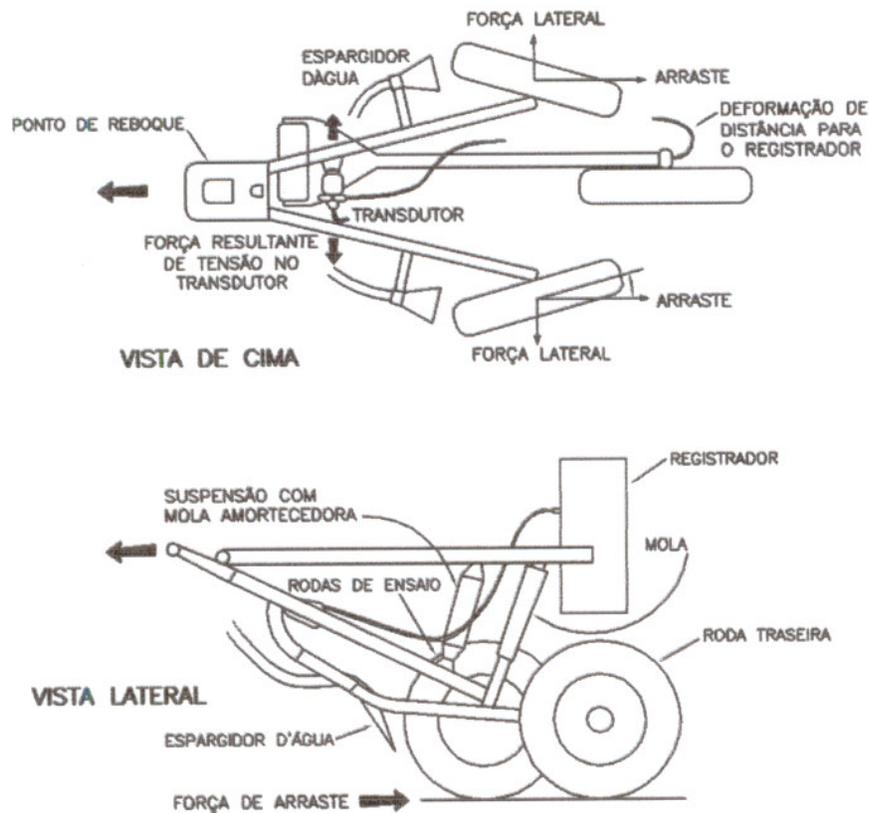


Figura 3.12 - Esquema do Mu-meter (29ª RAPv)

Das três rodas, as duas laterais são responsáveis pela medida do atrito e são montadas em braços móveis independentes, articulados numa argola de reboque e ajustadas para trabalharem num ângulo de deslizamento lateral de 7,5 graus. O princípio de funcionamento é a medida do atrito por meio da avaliação da força criada contra as duas rodas “medidoras”, pelo deslizamento devido ao ângulo de divergência de 7,5 graus das duas rodas em relação ao sentido longitudinal do deslocamento. A força é medida através da célula de carga, que é localizada entre os braços fixos e os braços móveis, nos quais estão adaptadas as rodas medidoras.

O peso total do equipamento é de aproximadamente 245 kgf. Os pneus são lisos e têm 40 cm de diâmetro, 10 cm de largura e são operados com uma pressão de inflação de 70 kpa (10 psi). Para esta pressão dos pneus, o coeficiente de atrito máximo de uma pista é obtido a uma velocidade de 65 km/h, o que equivale a 0,9 vezes a velocidade de aquaplanagem dinâmica do equipamento. Conta, ainda, com um sistema espargidor de água, capaz de manter uma lâmina de água de 1 mm

de espessura, em frente a cada uma das rodas medidoras, que é suficiente para simular as condições de uma pista molhada.

Um sistema hidráulico foi também adaptado ao equipamento, tornando-o capaz de mover as rodas “sensoras” (de ensaio) para dentro e para fora, além de poder mover a roda que registra a distância para cima e para baixo. Isto permite que os ensaios sejam conduzidos pelo operador da própria cabine do veículo rebocador, permitindo-se fazer ensaios sem interrupções.

Considerações Importantes

A derrapagem é um fenômeno mais típico da condição molhada do pavimento. Na solicitação, quer seja ela de tração e de frenagem (Foto 3.6) ou de mudança de direção (rodas soltas), há necessidade de atrito suficiente que garanta a sua estabilidade na velocidade operacional, compatível com as características da rodovia. Portanto, a oferta desta condição é uma atribuição dos técnicos rodoviários que deve ser conseguida na fase de projeto, de execução, de operação e de manutenção. Os esforços que têm sido desenvolvidos nos centros de pesquisas em matéria de revestimentos drenantes, de aparelhos de medição de aderência, de tecnologia de construção dos pneus, entre outros, têm permitido um progresso notável neste campo considerado de importância vital.



Foto 3.6 - Teste de medida de atrito com roda-presa

Como contribuição, pode-se sugerir que nas obras rodoviárias as dosagens das misturas asfálticas visem sempre dotar a superfície de rolamento com adequadas características de resistência à derrapagem, como por exemplo, cuidando bem da forma e da qualidade dos agregados, além do conhecido teor de betume em proporção correta. Para atendimento às normas existentes é recomendável adoção da faixa granulométrica “B” do DNER para CBUQ, de forma a se ter mistura com a desejável macrotextura.

Como o coeficiente de atrito é um atributo que muda especialmente com o tempo de exposição ao tráfego, é importante o monitoramento periódico da resistência à derrapagem dos pavimentos para que medidas corretivas sejam tomadas antes de ocorrerem acidentes fatais. Se for o caso deve-se intensificar a sinalização de algum segmento singular, obrigando a diminuição de velocidade operacional até que as medidas mais efetivas sejam tomadas.

Como comentário adicional, talvez valha a pena lembrar que os técnicos rodoviários não podem ser vencidos pelo pessimismo, uma vez que são profissionais que devem procurar iluminar a parte mais escura deste quadro sombrio que se tem particularmente no Brasil. Para evitar acidentes, qualquer medida possível num determinado momento deve ser adotada, seja ela com tecnologia avançada ou com apenas alguns recursos disponíveis, sem deixar de estar comprometido com os avanços que tornam possível oferecer aos usuários das rodovias cada vez mais conforto e segurança. São bem lembrados e reconhecidos casos que se configuram como exemplos aparentemente banais, mas que às vezes servem para ilustrar a importância da atuação do engenheiro ou de outro profissional responsável pela sinalização de uma rodovia, quando ocorre um acidente ou surge inesperadamente um buraco na pista, ou outra anomalia qualquer. Até galhos quebrados de uma árvore e/ou um aviso escrito mesmo à mão, com tinta comum sobre uma tábua improvisada, enquanto não há possibilidade de uma sinalização tecnicamente mais eficiente, é sempre melhor do que permanecer passivo e não fazer nada para mitigar a insegurança.

3.7 – Métodos de Avaliação Estrutural

Uma das tarefas mais importantes e mais trabalhosas do engenheiro rodoviário é procurar saber o momento mais oportuno do ponto de vista técnico e econômico para intervir no pavimento de uma rodovia em serviço, visando à sua adequada conservação. A medição da deflexão de um pavimento é fundamental para caracterizar a capacidade de resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento. A aplicação repetitiva de cargas num ponto ou numa área da superfície do pavimento leva a que todas as camadas passem por um processo de flexão e deflexão, devido às tensões e deformações provocadas pelo carregamento. O valor da flexão ou deflexão geralmente diminui com a profundidade e com o distanciamento do ponto de aplicação da carga, dependendo do módulo de elasticidade das camadas constituintes da estrutura do pavimento. Os pavimentos mais resistentes estruturalmente fletam menos do que os mais fracos, o que significa que os pavimentos com deflexões mais baixas suportam maior número de solicitações de tráfego.

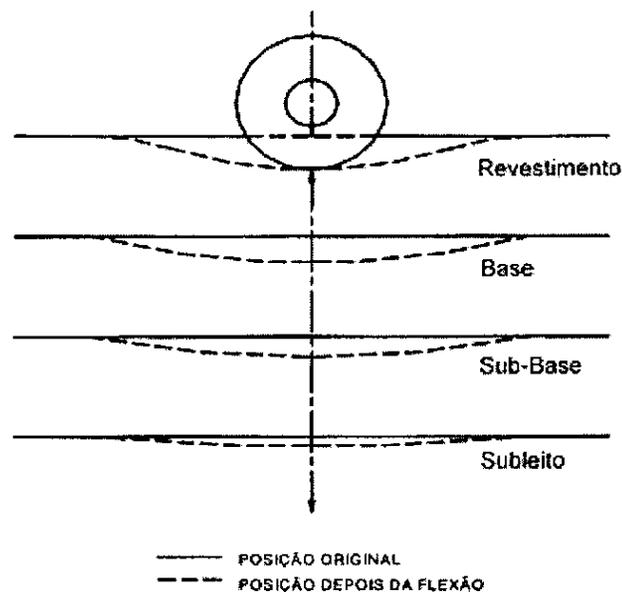


Figura 3.13 - Deflexão provocada pelo carregamento

Como a capacidade de carga de pavimento está relacionada também com a deformação elástica das camadas, a utilização de ensaios não-destrutivos (END) deve desempenhar papel preponderante nas análises para elaboração de projeto estrutural. Entre os ensaios não-destrutivos estão incluídos os deflectométricos, que consistem em medições dos deslocamentos verticais recuperáveis na superfície do pavimento quando submetido à aplicação de cargas transientes, que interpretados adequadamente auxiliam na avaliação da capacidade das camadas do pavimento em resistir aos efeitos decorrentes das cargas de tráfego (SCULLION, 1999).

Três classes de equipamentos são empregadas rotineiramente para obtenção de dados deflectométricos na estrutura do pavimento:

1^a) *Equipamentos de carregamento quase-estático.* Mede a deflexão do pavimento sob carregamento de veículos com deslocamento lento, o suficiente para que não ocorra influência de forças inerciais. A velocidade varia entre 1,6 e 18 km. Nesta classe estão incluídos os equipamentos conhecidos como Viga Benkelman, Curviômetro, Deflectógrafo Lacroix e o "Califórnia Travelling Deflectometer".

2^a) *Equipamentos de carregamento dinâmico em regime permanente.* Aplicam uma carga estática na superfície do pavimento, para que o caráter dinâmico do ensaio seja obtido a partir da indução de uma vibração harmônica estável. Há dois tipos de geradores de força dinâmica: o Dynaflect, o Road Ratter nas suas várias versões e o vibrador WES-16 Kip, do Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE);

3^a) *Equipamentos que medem a deflexão a partir de carregamentos por impulso,* conhecidos como ***Falling Weight Deflectometer*** – FWD. Aplicam uma força transiente ao pavimento por meio de um impacto causado por um peso, que é elevado a uma determinada altura em um sistema guia e em seguida liberado. O peso em queda choca-se com uma placa que transmite a força ao pavimento, força esta que pode ser variada pela alteração do conjunto de massas e/ou pela altura de queda, num processo de tentativa e erro. Nesta classe de equipamentos estão incluídos o Dynatest FWD, Dynatest HWD, Phoenix FWD, Kuab FWD (versão Sueca) e o Nagaoka Kuab FWD (versão japonesa). Todos os equipamentos FWD comercialmente

disponíveis operam sob o mesmo princípio de funcionamento, mas existem três diferenças importantes: a) Forma de geração da carga impulsiva (um peso ou dois pesos em queda); b) Forma de distribuir a carga à superfície do pavimento (placa segmentada ou contínua); c) Tipo de transdutor utilizado para medir as deflexões (geofones, LVDTs, acelerômetros).

Avaliação Deflectométrica com FWD

Os deflectômetros de impacto do tipo *Falling Weight Deflectometer* (FWD), incorporados ao meio rodoviário no início da década de 1980, têm a sua utilização crescente no mundo. Atualmente encontram-se entre nós vários equipamentos em operação e representa uma nova fase de ensaios não-destrutivos para avaliação estrutural de pavimentos asfálticos e de concreto de pistas de aeroportos e de rodovias. É uma evolução dos procedimentos de prova de carga quase-estática (Viga Benkelman) para ensaios dinâmicos através de impacto, que procuram simular um pulso de carga semelhante à passagem de veículo com velocidade entre 60 e 80 km/h, num ponto na superfície do pavimento. Vide esquema na figura 3.14.

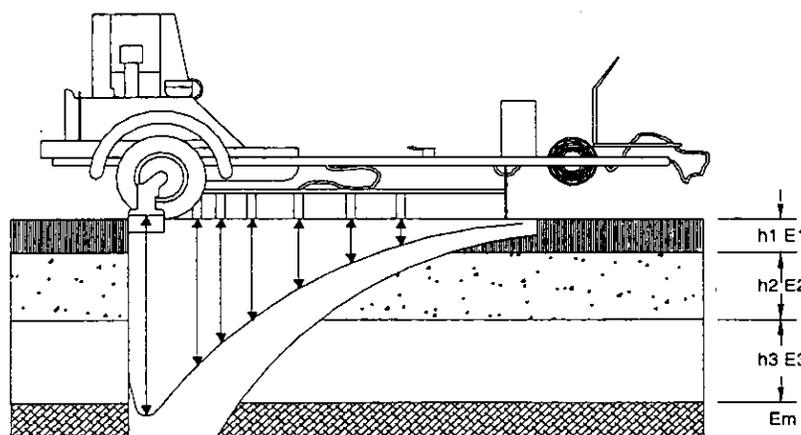


Figura 3.14 - Esquematização do deflectômetro de impacto

O Brasil conta com esta tecnologia desde 1988 e possui equipamentos versão sueca do tipo KUAB (foto 3.7) e versão norte-americana do tipo FWD, da Dynatest (fotos 3.8 e 3.9). O deflectômetro de impacto do tipo *Falling Weight Deflectometer* é montado num trailer que pode ser rebocado por qualquer veículo devidamente equipado, com capacidade média de carga. O

pulso de carga transiente é gerado pela queda de um conjunto de massas metálicas sobre um sistema de colchões amortecedores de borracha, que transmite a carga ao pavimento por meio de uma placa apoiada sobre uma membrana de borracha. A operação de elevação e queda do conjunto de massas sobre os amortecedores de borracha é controlada por um sistema eletro-hidráulico (PITTA et al., 1998).



Foto 3.7 - Kuab FWD



Foto 3.8 - *Falling Weight Deflectometer* - FWD

Fonte: Dynatest Engenharia (2004)



Foto 3.9 - Acompanhamento de trabalho com FWD – Dynatest

Acompanha o aparelho uma placa com 300 milímetros de diâmetro, equivalente à área de contato do eixo padrão rodoviário brasileiro, e outra de 450 milímetros. Ambas são inclináveis em até seis graus em relação a horizontal, para facilitar o ajuste à superfície do pavimento. A força aplicada ao pavimento pode variar de 1500 lb (7 kN) a 25000 lb (111 kN), pela modificação da altura de queda e/ou pela alteração da configuração do conjunto de massas utilizado. Na placa circular existe uma célula de carga que mede a carga do impacto proveniente da queda do conjunto de massas. Em suma, no Brasil a carga empregada deve simular a passagem do semi-eixo padrão rodoviário, representado pelo eixo simples de roda dupla carregado com 8,2 tf. Portanto, a carga empregada em cada aplicação deve ser de 4,1 tf. Vide detalhe da placa na foto 3.10.



Foto 3.10 - FWD - Detalhe dos geofones - Fonte: Dynatest Engenharia (2004)

Os deslocamentos gerados na superfície do pavimento (deflexões) são medidos por sete geofones (com capacidade máxima de medição de 2 milímetros), instalados na placa de carga e ao longo de uma barra metálica de 2,25 metros de comprimento, que é abaixada automaticamente com a placa de carga. Neste equipamento e também em todos seus congêneres, a distância de cada geofone ao centro da placa de carga deve ser fixada visando maximizar a acurácia em função da estrutura do pavimento ensaiado. Deve-se procurar posicionar os geofones de forma que as deflexões neles registradas reflitam a contribuição das diversas camadas na deformabilidade do pavimento, e que o último seja instalado numa distância tal que a geometria da bacia fique bem definida.

Segundo o manual para operação do FWD elaborado no programa de pesquisas SHRP (1989), a diferença na geometria das bacias devido à rigidez dos diversos tipos de pavimento é mais significativa até 60-90 cm da placa de carga, e recomenda-se uma configuração de sensores no seguinte espaçamento: 0, 20, 30, 45, 60, 90 cm para pavimentos flexíveis e rígidos. Entretanto, sempre que utilizado o último geofone, este é posicionado a 120 cm do ponto de aplicação da carga (PITTA et al., 1998).

Segundo Macedo (1996), teoricamente a força de pico pode ser calculada igualando-se a energia potencial da massa antes de sua queda, com o trabalho desenvolvido pelos amortecedores de borracha depois da queda. A força de pico P é dada pela equação (3.13).

$$P = \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot m \cdot k} \quad (3.13)$$

Sendo:

P - força de pico, em N;

g - aceleração da gravidade, em m/s;

h - altura de queda da massa, em m;

m - massa do peso que cai, em kg;

k - constante de mola do sistema amortecedor, em N/m.

Deve-se distinguir o nível de carga nominal do nível de carga real. O nível de carga nominal é determinado através da fórmula acima, ao passo que o nível de carga real é medido pela célula de carga, que é função não somente da massa e da altura de queda, mas também da rigidez e temperatura do pavimento. Quanto mais rígido o pavimento, maior a carga real para uma dada massa e altura de queda.

As informações dos sete geofones, da célula de carga e os sinais de controle são enviadas ao processador de sinais ("Dynatest 9000 System Processor"), por meio de um cabo de sinais múltiplos. Este processador transforma cada sinal analógico em digital e os transmite ao computador, que grava as informações obtidas e controla toda operação do ensaio. Pela tela do computador pode-se observar a variação ao longo do tempo das deflexões lidas nos sete geofones, além da forma do pulso de carga aplicado. Verifica-se que o pulso de carga tem duração de 0,25 a 0,30 s, o que equivale aproximadamente a um veículo em movimento a 70 km/h. Verifica-se também que o pico das deflexões apresenta uma defasagem em relação à carga e que é tanto maior quanto mais afastado se encontra o geofone do centro da placa de carregamento. Este efeito é significativo até mesmo em pavimentos rígidos, onde o atraso de fase é bem menor que nos pavimentos flexíveis e, provavelmente, caracteriza o comportamento visco-elástico dos materiais da estrutura analisada.

Para a execução da retroanálise pode ser utilizado um software específico para cálculo mecanicista. Comumente os programas calculam os módulos de resiliência por meio de dois processos de retroanálise. O primeiro leva em consideração apenas o ajuste do raio da bacia de deflexão. O segundo, mais complexo, calcula os módulos por meio do ajuste das bacias de campo e teórica (calculada). Para que se possa usufruir a máxima eficiência, é necessário o cálculo por meio dos dois processos, sendo que o primeiro é essencial à calibração das relações constituintes, e o segundo para cálculo de fato os módulos de resiliência. Na foto 3.11 é mostrada a posição do processador atrás do banco do motorista do veículo rebocador e na foto 3.12 o computador, que controla os sete geofones.



Foto 3.11 - Dynatest 9000 System Processor



Foto 3.12 - Controle digital das deflexões nos sete geofones

O conjunto de dados medidos (valores de pico das respostas) é mostrado no monitor do computador para inspeção, sendo em seguida armazenado em disco magnético e/ou enviado para a impressora com as identificações necessárias. O equipamento também registra a posição do ensaio e as temperaturas da superfície do pavimento e do ambiente.

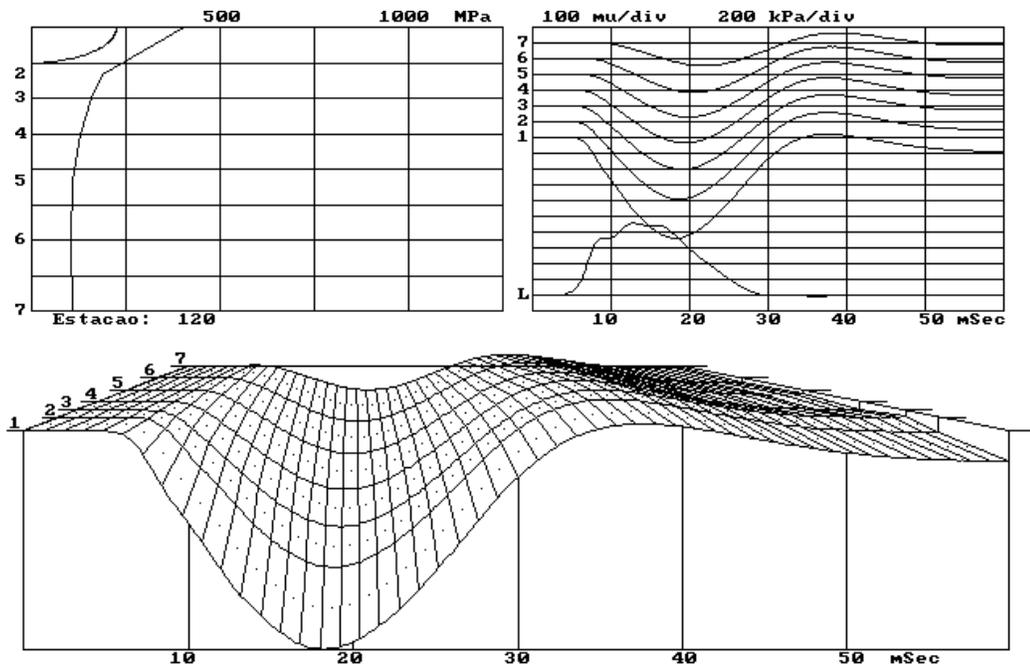


Figura 3.15 - Bacia de deflexões medida com o FWD

Fonte: *Dynatest 8000 FWD Test System Owner's Manual Technical Description*

A parte esquerda superior da figura 3.14 (pg. 71) mostra a "rigidez total" do pavimento, através de um módulo equivalente calculado como se o pavimento fosse um semi-espaço elástico homogêneo, em termos de deflexão. Este módulo é calculado sob cada geofone pela equação de Boussinesq (equação 3.14 abaixo):

$$E = \frac{\sigma \cdot (1 - \mu^2) a^2}{r \cdot d(r)} \quad (3.14)$$

Sendo:

E = módulo, em kgf/cm²

σ - pressão aplicada, em kgf/cm²;

a - raio da área carregada, em cm;

r - distância radial, em cm;

μ - coeficiente de Poisson, adimensional;

d(r) - deflexão, na distância r, em cm.

Este gráfico permite detectar rapidamente, após análise qualitativa ainda em campo, alguma anomalia na bacia de deflexões, caso em que se pode repetir o ensaio ou anotar alguma observação julgada pertinente a situação encontrada. A relação (Df_1-Df_4), ou seja, a diferença entre as leituras de deflexão sob a ação da carga e a leitura a 45 centímetros de distância, permite uma avaliação das condições das camadas de base ou sub-base. A partir desses valores é possível estabelecer as áreas que necessitam de reparos superficiais, reparos profundos e reconstituição da camada de base e/ou sub-base. Já os valores de Df_7 , leituras deflectométricas realizadas a 120 centímetros do ponto de aplicação da carga, fornecem indicações de possíveis deficiências no subleito (módulo do subleito) do pavimento, indicando ainda necessidades de correções no sistema de drenagem profunda.

O procedimento de ensaio é realizado na seguinte seqüência:

- a) Move-se o trailer para o local do ensaio e posiciona-se o FWD na estação desejada, geralmente na trilha de roda externa;
- b) Liga-se o microcomputador e o processador, que ficam na cabine do veículo rebocador;
- c) Seleciona-se a configuração de massas a ser utilizada na campanha de ensaios, fixando-a nos locais apropriados;
- d) Aciona-se no microcomputador o programa de campo, onde é definido o tipo de ensaio desejado e comandadas todas as operações:
 - Abaixamento da placa de carga e da barra de geofones;
 - Elevação dos pesos para altura de queda pré-determinada;
 - Liberação dos pesos para a queda; e
 - Elevação da placa conjuntamente com a barra de sensores para o deslocamento do equipamento em direção ao próximo ponto de medida.

A operação completa pode ser controlada por uma pessoa situada no veículo rebocador e uma seqüência de ensaio dura 45 segundos, em média. A cada golpe programado e aplicado vão sendo exibidos na tela, na linha relativa à altura de queda, o pico de pressão na placa, a força correspondente e os picos de deflexão registrados em cada geofone. Depois de concluída a seqüência de golpes, a placa e os sensores são suspensos hidraulicamente e o sistema emite um

sinal sonoro ("beep"), indicando que o trailer pode ser deslocado para a próxima estação de ensaio.

A capacidade de produção do FWD modelo Dynatest 8000E é de 500 a 700 pontos de ensaios por dia, dependendo da distância entre os pontos. Dentre as grandes vantagens desses equipamentos, destacam-se:

- a) As deflexões por eles produzidas são as que mais se aproximam das deflexões produzidas por um caminhão carregado em movimento, medidas a partir de acelerômetros instalados no pavimento;
- b) Rapidez para variar a carga aplicada e para realizar o ensaio, permitindo avaliar a não-linearidade no comportamento tensão-deformação dos materiais constituintes das camadas do pavimento;
- c) Maior acurácia e repetibilidade na medida das cargas e deflexões, em qualquer tipo de estrutura de pavimento;
- d) Medição e registro automático das temperaturas do ar e da superfície do pavimento e da distância percorrida entre os pontos de ensaios; e
- e) Redução ou mesmo eliminação da necessidade de coletas de amostras para ensaios em laboratório (SCULLION, 1999).

Destaca-se que os valores de deflexão máxima (Df_1) representam a condição estrutural do pavimento como um todo. A análise desses valores baseia-se na comparação com níveis deflectométricos admissíveis em função do tráfego, ou seja, a partir dos valores de Df_1 é possível calcular as espessuras de reforço necessárias por segmento homogêneo.

Entretanto, há limitações como possíveis interferências no ajuste da bacia de deflexões e, conseqüentemente, os módulos obtidos por retroanálise depende da profundidade da camada rígida, e também da existência de lençol d'água a pequenas profundidades.

Avaliação Deflectométrica com Viga Benkelman

Atualmente existem equipamentos eletro-mecânico tecnologicamente avançados que são fundamentais para o conhecimento do comportamento estrutural do pavimento, mas a conhecida Viga Benkelman tradicional continua sendo utilizada como um bom auxiliar particularmente para o engenheiro de conservação na avaliação estrutural dos pavimentos existentes. Idealizada pelo engenheiro norte-americano Alvim C. Benkelman, do Bureau of Public Roads, foi utilizada pela primeira vez nas pistas experimentais da WASHO, no Oeste dos EUA, em 1953. Na década de 60, o pioneiro e grande entusiasta da utilização da Viga Benkelman no Brasil foram os engenheiros rodoviários Nestor Aratangy (DER/SP) e Francisco Bolívar Lobo Carneiro.

A Viga Benkelman se compõe essencialmente de uma parte fixa e uma viga móvel. A parte fixa é apoiada no pavimento por meio de três pés reguláveis, sendo um traseiro e dois dianteiros. A viga móvel é acoplada à parte fixa por meio de uma articulação, ficando uma das extremidades (ponta de prova) em contato com o pavimento no local onde se deseja medir a deflexão inicial, conforme visto na figura 3.16 e foto 3.13. A outra extremidade fica em contato com um extensômetro que acusa qualquer movimento vertical da ponta de prova. A parte fixa é provida ainda de um vibrador, cuja função é reduzir ao mínimo o atrito entre todas as peças móveis durante a operação de medida. Na foto 3.14 se vê parte das instalações da empresa Solotest, especializada em construção e manutenção de Viga Benkelman.

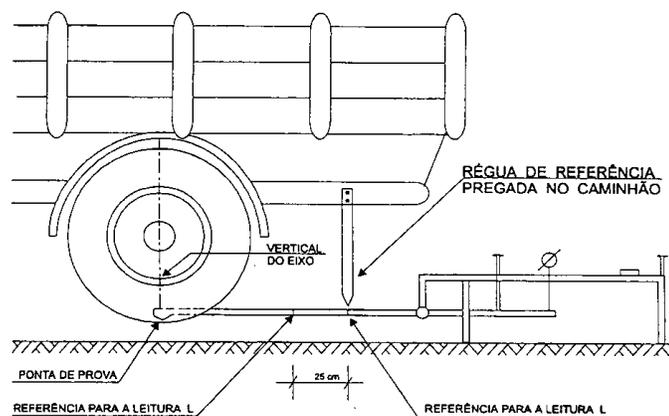


Figura 3.16 - Posicionamento da Viga Benkelman e da ponta da prova de carga



Foto 3.13 - Viga Benkelman em processo de medição



Foto 3.14 – Empresa de construção e de manutenção da Viga Benkelman

O método original de medida de deflexões com a Viga Benkelman, adotado nas pistas experimentais da WASHO, consistia basicamente no seguinte:

- a) Introduzir a parte móvel da Viga entre os pneus de uma das rodas duplas de um caminhão carregado com certa carga por roda padronizada, apoiando a ponta de prova na superfície do pavimento a uma distância de aproximadamente 4,5 pés (1,50 m) à frente do eixo traseiro do caminhão.
- b) Ligar o vibrador e fazer a leitura inicial (L_o) no deflectômetro.
- c) Deslocar o caminhão lentamente para frente, fazendo a leitura máxima (L_{max}) quando a roda dupla passar pela ponta de prova da viga.
- d) Fazer a leitura final (L_f) quando o caminhão tiver ultrapassado uma distância mínima de 3 metros a ponta de prova.
- e) A deflexão real (D) é definida como sendo N (relação de braço que depende de cada VB), multiplicado pela diferença entre as leituras máxima e inicial. Admitindo que $N=2$, tem-se:
$$D = 2 (L_{max} - L_o)$$
- f) No caso da fórmula anterior, a deflexão residual (D_r) é definida como sendo o dobro da diferença entre as leituras final e inicial: $D_r = 2 (L_f - L_o)$

A Viga foi projetada considerando que no instante da leitura inicial a área deformada do pavimento não atinge nem os pés dianteiros nem a ponta de prova. É de se supor que tenha raio inferior a 1,50 m. A deflexão residual (ou resíduo) era considerada como deformação permanente ou deformação transitória de recuperação muito lenta.

Vários engenheiros começaram a se preocupar com a grande ocorrência de deflexões residuais e procuraram uma explicação para a existência desses resíduos, porquanto não deveriam ocorrer deformações permanentes no pavimento com uma única passagem da carga do caminhão de prova. De um trabalho dos engenheiros texanos Wayne e Stark, veio a resposta. "Não era raro pavimentos em bom estado apresentarem resíduos de até 0,010 pol (0,254 mm). Na maioria desses pavimentos a média das dez cargas por roda diárias mais pesadas excedia de 1000 libras (453 kg) a 3000 libras (1.359 kg) a carga por roda do caminhão de prova. Como esses pavimentos haviam suportado milhares de repetições dessas cargas mais pesadas, suspeitou-se que o valor residual fosse falso ou que se recuperava após certo período de tempo desconhecido. Caso contrário os pavimentos mais antigos já teriam recalçado vários pés devido à ação do tráfego".

"Foram feitos estudos para dirimir a dúvida surgida, começando por variar a maneira de deslocar o veículo carregado. Três ciclos designados como A, B e C (três maneiras diferentes de deslocar o mesmo caminhão em relação à posição da viga) foram usados em diferentes locais. Chegou-se finalmente à conclusão de que a única razão para a discrepância entre os valores obtidos para as deflexões residuais foi que a maneira usual de colocar a roda do veículo no início da determinação causava um afundamento dos pés dianteiros e da ponta de prova da Viga. Isto conduzia a uma leitura inicial falsa. Foram feitas outras experiências para verificar que extensão do pavimento era influenciada pela carga de roda do veículo de prova. Nestas novas experiências a roda dupla iniciava o movimento a aproximadamente 20 pés (6,50 m) da ponta de prova, aproximando-se lentamente de ré da Viga Benkelman. Ao se notar o primeiro movimento perceptível do ponteiro do extensômetro, e também quando aquele ponteiro se deslocava uma divisão, marcava-se a posição da roda do veículo. Os resultados obtidos em vários locais indicaram áreas de influência muito maiores do que as mencionadas na literatura existente".

Outra conclusão importante obtida nos estudos efetuados no Texas foi que o pavimento se deformava imediatamente após a aplicação e se recuperava logo após a retirada da carga. Para chegar a esta conclusão parava-se a roda do caminhão várias vezes, por um período de até 3 minutos, durante a execução da medida de deflexão, de acordo com o método da WASHO. Foi observado que cada vez que o caminhão parava o ponteiro do extensômetro interrompia seu movimento imediatamente, mantendo-se imóvel (leitura constante) até o caminhão se deslocar novamente.

Da análise de 1.114 determinações os engenheiros do Texas verificaram que 40% dos locais apresentavam área de influência com raio superior a 18 pés (6,0 m); 50% dos locais com raio superior a 16 pés (5,2 m); e 82% com raio superior a 10 pés (3,3 m). Se tivesse sido adotado o método original da WASHO, a maioria das deflexões medidas estaria afetada de um erro, pois os pés dianteiros e a ponta de prova da viga estariam dentro da área de influência da carga da roda dupla do caminhão usado na determinação.

A Canadian Good Roads Association apresentou um trabalho na Conferência sobre Projeto Estrutural de Pavimentos Asfálticos, realizada na Universidade de Michigan em 1962, do qual são extraídas as seguintes observações:

a) A Viga Benkelman foi empregada pela primeira vez no Canadá em 1954, tendo-se difundido rapidamente pelos diversos Departamentos Provinciais de Estradas de Rodagem, que seguiram o método adotado na WASHO, para medida de deflexões. A grande ocorrência de deflexões residuais definidas como o dobro da diferença entre as leituras final e inicial do extensômetro, começou a preocupar os engenheiros do Comitê de Análise e Projeto de Pavimentos da Canadian Good Roads Association.

b) Ficou comprovado que uma grande percentagem de determinações apresentava deflexões residuais, e que o valor do resíduo aumentava quando a resistência do pavimento diminuía. A ocorrência de resíduos positivos indicava, aparentemente, que o pavimento sofria uma deformação permanente após uma única aplicação da carga de 18.000 lb (aproximadamente 8,2 t) por eixo do caminhão de prova. Os resíduos negativos indicavam, aparentemente, que a superfície do revestimento se levantava após a passagem da roda dupla.

Tendo em vista o fato de que os pavimentos estavam suportando substancial volume de tráfego com carga por eixo igual ou superior a 18.000 lb (8,2 t) foram iniciados, em 1959, estudos para investigar o problema do aparecimento de resíduos. Os estudos exaustivos feitos pelo Canadian Good Roads Association (CGRA) concluíram que o método WASHO só fornece resultados reais de deflexões quando os pés e a ponta de prova da Viga Benkelman estão fora da área fletida do pavimento, isto é, quando a ponta de prova é colocada a 4 pés e 5 polegadas (1,45 m) do eixo da roda dupla, a área fletida pode ter um raio máximo de 4 pés e 5 polegadas, sem afetar o aparelho de medida.

Como a experiência mostrou que predominavam no oeste do Canadá tipos de deformações com área fletida de raio superior a 4 pés e 5 polegadas (1,35 m), o método WASHO foi então modificado para o método apresentado como Método da Canadian Good Roads Association - CGRA. Em resumo, o novo método passou a determinar a deflexão recuperável de um pavimento

submetido a uma carga por eixo padrão de 18.000 lb (8,2 t) nas seguintes condições: a) Leitura inicial feita quando a ponta de prova fica exatamente entre os pneus da roda dupla; b) Leitura intermediária quando o caminhão se desloca 8 pés e 10 polegadas (2,65 m) para frente; c) A leitura final é feita quando o veículo se desloca novamente para frente pelo menos 30 pés (10 m). As leituras são feitas somente quando a velocidade de deformação do pavimento é menor do que 0,001 pol/min (0,00254 cm/min).

Os cálculos são feitos pelas equações (3.15; 3.16 e 3.17):

$$D_a = \text{Deflexão aparente} = 2 (L_f - L_o) \quad (3.15)$$

$$\Delta = \text{Deslocamento vertical dos pés dianteiros} = 2 (L_f - L_i) \quad (3.16)$$

$$D = \text{Deflexão real ou verdadeira} = D_a + 2,91. \Delta \quad (3.17)$$

Comparando-se as leituras intermediárias e final verifica-se a existência ou não de deformação aparente. Se a diferença entre essas leituras for superior a 0,001 pol. a deflexão é aparente e deve ser corrigida, para se obter a deflexão recuperável verdadeira.

A fórmula para correção da deflexão aparente foi deduzida para os casos onde o pé traseiro não é afetado pela deformação do pavimento durante a execução da medida de deflexão, isto é, quando a área fletida do pavimento tem um raio inferior a 13 pés e 5,5 polegadas (4,40 m). Os estudos feitos no Canadá indicaram que apenas em um número reduzido de pontos o pé traseiro da viga estava dentro daquela área. Nestes pontos foi constatada a existência de pavimentos de elevada rigidez (camada espessa de concreto asfáltico a baixa temperatura, base com cimento, base de concreto magro, base de solo-cimento etc.) construídos sobre subleitos de pouca resistência. No entanto, mesmo nestes casos a deflexão aparente era muito grande em relação ao movimento do pé traseiro e que, portanto, uma segunda correção devido ao movimento daquele pé não tinha significado e podia, via de regra, ser desprezada. Caso haja necessidade, o movimento do pé traseiro pode ser facilmente medido mediante o emprego de uma segunda viga.

Quando a leitura intermediária não coincide com a leitura final, a fórmula para correção da deflexão aparente é a equação (3.18):

$$D = D_a + K\Delta \quad (3.18)$$

D = Deflexão real ou verdadeira

$D_a = N (L_f - L_o) =$ Deflexão aparente

$\Delta = N (L_f - L_i) =$ Deslocamento vertical dos pés dianteiros

K = Constante da Viga.

Influência da Temperatura do Revestimento na Medida das Deflexões

A rigidez das misturas betuminosas varia bastante com a temperatura. Quando a temperatura diminui o ligante se torna mais viscoso e a mistura betuminosa mais rígida, aumentando a capacidade de distribuição de carga da estrutura do pavimento e diminuindo o valor da deflexão.

Além da variação da rigidez da mistura betuminosa com a temperatura, o revestimento é comprimido entre os pneus das rodas duplas durante a aplicação da carga, sofrendo certa deformação que também depende da temperatura e que é composta de duas parcelas: uma deformação transitória, do tipo visco elástica, que se recupera após a retirada da carga, e uma deformação plástica permanente. Essa distorção do revestimento, principalmente a temperaturas elevadas, influi na medida de deflexões quando é empregado o método da WASHO, mas pode ser desprezada quando se mede a deflexão recuperável pelo método da CGRA.

A correção da deflexão devido à variação da rigidez da mistura betuminosa com a temperatura, depende da deflexão do pavimento e é maior para as deflexões mais elevadas. A correção deve ser feita quando a temperatura do revestimento betuminoso for inferior a 25⁰C. Experiências feitas pelo Engenheiro Armando Martins Pereira, no Paraná, e pelo Engenheiro Francisco Bolívar Lobo Carneiro, no Estado do Rio de Janeiro, mostraram que para temperaturas superiores a 25⁰C não há praticamente influência da temperatura do revestimento na medida das deflexões. Também, alguns cuidados são importantes para evitar deformações diferenciais das peças da viga em função da temperatura e também quanto à sua aferição periódica em laboratório.

Deflexão Característica de um Trecho

Para verificar o estado estrutural de um pavimento em serviço, deve-se considerar certa extensão ou área do pavimento e não pontos isolados. No caso de recapeamento, por razões construtivas a espessura da nova capa deve ser constante ao longo de uma dada extensão. Não seria prático variar a espessura do recapeamento a cada medida da resistência estrutural do pavimento em serviço, acompanhando todas as variações das deflexões medidas a intervalos relativamente pequenos. A resistência dos pavimentos varia de ponto para ponto, devido à heterogeneidade do solo do subleito e dos materiais constituintes das diversas camadas do pavimento, bem como à falta de uniformidade nos processos de sua execução. Portanto, fixa-se para cada trecho ou área de pavimento uma deflexão que seja representativa e que é denominada deflexão característica do trecho.

As deflexões medidas ao longo de um trecho apresentam aproximadamente uma distribuição normal ou de Gauss. Conhecendo-se um determinado número (η) de deflexões (D), medidas ao longo de um trecho, pode-se calcular a deflexão média (D_m), o desvio padrão (σ) e o coeficiente de variação (v), com as expressões (3.19 e 3.20):

$$D_m = \frac{\sum D}{\eta} \quad (3.19)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_m - D)^2}{\eta - 1}} \quad (3.20)$$

$$v = \frac{\sigma}{D_m}$$

D - deflexão em cada ponto

D_m - deflexão média

η - número de determinações

σ - desvio padrão

v - coeficiente de variação

Seguindo os critérios adotados normalmente na análise estatística pode-se fixar como **Deflexão Característica** de um determinado trecho a deflexão que melhor representa aquele trecho (3.21):

$$D_c = D_m + t \cdot \sigma \quad (3.21)$$

Considerando que cada deflexão medida representa certa extensão ou área do pavimento, a cada valor de t corresponde uma percentagem da extensão ou área total com probabilidade de apresentar deflexões superiores à deflexão característica D_c , como consta da tabela 3.14.

Deflexão Característica ($D_c = D_m + t\sigma$)	Extensão ou área do pavimento em % com $D > D_c$
$D_c = D_m$	50%
$D_c = D_m + \sigma$	15%
$D_c = D_m + 1,3\sigma$	10%
$D_c = D_m + 1,65\sigma$	5%
$D_c = D_m + 2\sigma$	2%
$D_c = D_m + 3\sigma$	0,1%

Tabela 3.14 - Porcentagem de extensão ou área total com probabilidade de apresentar deflexões superiores à deflexão característica D_c

A espessura do reforço no projeto de recapeamento deve permitir que apenas uma pequena área ou extensão do trecho fique subdimensionada. Não se deve dimensionar o reforço considerando como deflexão característica do trecho a deflexão média ($D_c = D_m$), porque neste caso o recapeamento ficaria provavelmente subdimensionado em 50% de sua extensão e a nova capa sujeita a apresentar defeitos pouco tempo após a abertura do trecho ao tráfego. Já adotando $D_c = D_m + 3\sigma$, a espessura projetada seria exagerada e antieconômica. Adotar como deflexão característica um valor intermediário, que corresponda a correr o risco de apenas uma pequena área do pavimento apresentar defeitos depois de decorrido certo tempo de utilização, acaba sendo mais vantajoso economicamente. Reforçar ou remendar esses pontos alguns anos depois da execução do recapeamento compensa mais do que um recapeamento com espessura exagerada no início.

E.B. Wilkins e Gordon D. Campbell no trabalho “Pavement Design Base on Benkelman Beam Rebound Measurements”, apresentado à Reunião da “Association of Asphalt Paving

Technologists” em 1963, recomendam fazer no mínimo 10 determinações para cada trecho de cerca de 300 metros de extensão e tomar como deflexão característica o valor representado pela expressão (3.22), para que apenas 2% da extensão do recapeamento possa ficar subdimensionado e com possibilidade de apresentar defeitos.

$$D_c = D_m + 2\sigma \quad (3.22)$$

Em seu trabalho “Sobre el calculo de espesores para refuerzo de pavimentos” apresentado à V Reunião Anual de Pavimentação da ABPv, em 1964, o Dr. Celestino Ruiz recomenda fazer no mínimo 30 determinações por trecho e toma para deflexão característica o valor dado pela formula (3.23), para que haja a probabilidade de aproximadamente 5% da extensão do recapeamento ficar subdimensionado.

$$D_c = D_m + 1,65\sigma \quad (3.23)$$

Seguindo as recomendações dos canadenses, esta última equação (3.32) costumava ser adotada pelo DER/SP para obter a deflexão característica nos projetos de recapeamento de pavimento flexível. Mas a PRO-11 recomenda a equação (3.24):

$$D_c = D_m + \sigma \quad (3.24)$$

Influência da Bacia de Deformação.

A deflexão máxima obtida por intermédio da Viga Benkelman tornou-se insuficiente para caracterizar a condição estrutural dos pavimentos. Então, foram incorporadas leituras adicionais que permitiam determinar a deformação de superfície, caracterizando o raio de curvatura da bacia de deflexões. Assim, os parâmetros deflexão máxima (D_0) e raio de curvatura (R_c) têm sido considerados pelos especialistas bastante confiáveis nas avaliações estruturais. O raio de curvatura permite uma análise da capacidade da estrutura do pavimento em receber e distribuir para as camadas subjacentes as tensões das cargas do tráfego. Permite também avaliar o efeito

dos esforços de tração que atuam na fibra inferior das camadas asfálticas e seus reflexos na vida de fadiga do pavimento.

Assim, se pode determinar a linha de influência longitudinal da bacia de deformação com leituras a diferentes distâncias do caminhão, visando à determinação do seu raio de curvatura. Cada leitura de deflexão elástica ou recuperável depois do deslocamento do caminhão é feita depois de três minutos, espera esta necessária à manifestação de deformações dependentes do tempo. A deflexão recuperável máxima $D_{máx}$ é um parâmetro importante para a compreensão do comportamento elástico ou resiliente quanto ao comprometimento da estrutura, mas não é o único. Sabe-se que estruturas de pavimentos distintos podem apresentar a mesma deflexão máxima, mas com formas de bacias diferentes. Esquema da bacia de deformação e a sua respectiva deformada encontra-se na figura 3.17.

O parâmetro ligado à forma da bacia e da sua linha de influência longitudinal que melhor auxilia na avaliação estrutural é o raio de curvatura R_c na sua porção mais crítica, considerada a 25 cm do centro de carga. Um raio de curvatura baixo indica uma bacia de perfil longitudinal mais côncavo e uma pior condição estrutural. Os pavimentos mais robustos estruturalmente fletam menos do que os pavimentos de estrutura mais frágil. A análise conjunta dos dois parâmetros citados, deflexão máxima e raio de curvatura do perfil longitudinal da bacia, permite uma melhor compreensão do comportamento da estrutura do pavimento e é possível uma relação entre eles, chamada de produto $D_{máx} \times R_c$ ou quociente $D_{máx}/R_c$.

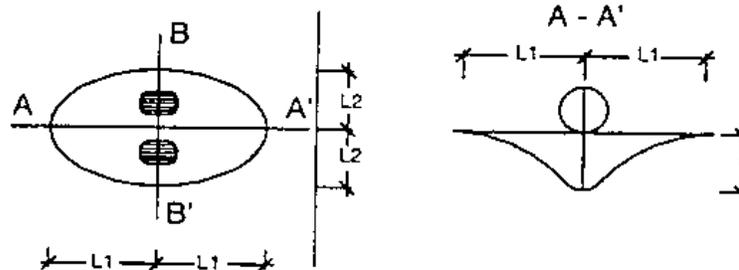


Figura 3.17 - Bacia de deformação e a sua respectiva deformada

Para se determinar o raio de curvatura R_c (m), além da deflexão máxima $D_{\text{máx}}$ (precisão de 1/100 mm) é necessário obter a deflexão quando o caminhão se encontra com o eixo a 25 cm adiante do centro de carga, D_{25} (1/100 mm). Como já mencionado, um cuidado nas medições é verificar se a posição dos pés dianteiros cai dentro da bacia de deflexão, visto pela leitura quando a carga se encontra a 2,65 m (distância dos pés dianteiros à ponta auscultadora da viga mais usual de relação de braços 2:1 da parte móvel em relação à rótula) da ponta. Em caso afirmativo é preciso fazer a correção da deflexão. Em estruturas mais rígidas (base de solo-cimento) a bacia de deformação é mais larga e os pés dianteiros da Viga podem ficar dentro dela. Na figura 3.18 são apresentados elementos relacionados à linha de influência longitudinal da bacia de deformação (hoje chamada de deformada conforme Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos do IPR/DNER, 1998) e à determinação de seu raio de curvatura, conforme as equações (3.25 e 3.26).

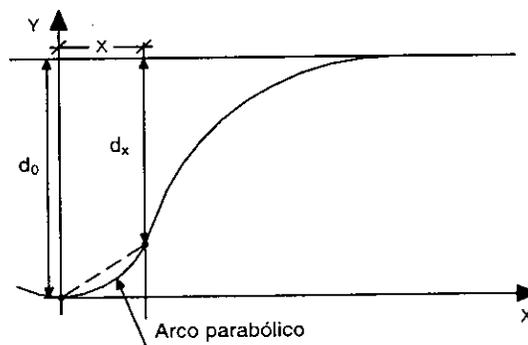


Figura 3.18 - Deformada e raio de curvatura

$$R = \frac{10x^2}{2(d_0 - d_x)} \quad (3.25) \Rightarrow \text{Quando } x = 25 \text{ cm} \Rightarrow R = \frac{3125}{(D_{\text{máx}} - D_{25})} \quad (3.26)$$

Onde: $R = (\text{m})$; D_0 e $D_{25} = 10^{-2}\text{mm}$

A Viga Benkelman hoje no Brasil

Muitos anos passaram e o estudo da mecânica dos pavimentos avançou sobremaneira também no Brasil. Como visto, até os anos 60 a avaliação estrutural era feita por meio de provas de carga, em ensaios estáticos, exigindo montagens custosas, praticamente inviáveis para a utilização

sistemática em pavimentos rodoviários. Assim, em pavimentos de estradas predominavam regras empíricas, subsidiadas por coletas de amostras e ensaios de laboratório. A medição da deformabilidade da estrutura do pavimento em provas de pneus de caminhões, por meio da Viga Benkelman, iniciada por volta de 1953 na pista experimental da WASHO, desde que chegou ao país nunca mais deixou de ser utilizada particularmente pelo engenheiro de conservação de nossas estradas. Hoje, juntamente com o FWD, faz parte dos ensaios não-destrutivos (“non-destructive testing” - NDT) mais utilizados no Brasil, porque são bastante apropriados para a avaliação estrutural quando empregados corretamente.

Uma das mais importantes utilizações de parâmetros deflectométricos na atualidade é a avaliação dos valores modulares das camadas dos pavimentos, para as suas condições *in situ*, utilizando técnicas de retroanálise. O procedimento consiste inicialmente em levantar as deformadas (perfil longitudinal da bacia de deformação) representativas de um dado segmento homogêneo, preferencialmente com o uso da Viga Eletrônica (Deflectógrafo Digital para Pavimentos) ou do FWD. Por tentativas sucessivas, procura-se determinar o conjunto de valores de módulos das camadas que reproduza a deformada levantada no campo, com o auxílio de um programa computacional que calcule as tensões, deformações e deslocamentos em pavimentos. Os valores encontrados correspondem aos módulos para as condições de campo de cada camada, podendo ser utilizados em análise mecanicista da estrutura existente.

Foi visto que a ação das cargas de tráfego sobre os pavimentos flexíveis e semi-rígidos provoca deformações dos tipos permanentes e recuperáveis, além de eventuais rupturas por cisalhamento. As deformações permanentes são aquelas que permanecem mesmo após cessar o efeito da atuação da carga, ou seja, têm caráter residual. Estas deformações permanentes e as rupturas de natureza plástica são mais comuns nas trilhas de roda, regiões sujeitas aos maiores esforços oriundos do tráfego pesado. As deformações ou deflexões recuperáveis representam o comportamento elástico da estrutura e transitariamente se manifestam sob os efeitos das cargas, sendo fundamentalmente responsáveis pelo fenômeno da fadiga das camadas betuminosas e cimentadas. O entendimento das condições em que ocorrem as deflexões dos pavimentos flexíveis e semi-rígidos é fundamental à compreensão do comportamento estrutural de suas camadas e também do seu subleito.

Para melhor compreensão, vale a pena lembrar que as deformações recuperáveis têm magnitude variável e dependente do valor da carga, do valor da pressão de inflação dos pneus e da posição do ponto de medida em relação à posição da carga. Considerando-se a aplicação de uma roda dupla estática, a área que sofre deformação recuperável assume a forma aproximada de uma elipse. O perfil do eixo maior da elipse que representa a bacia de deformação recebe o nome de **deformada** e a sua curvatura ou arqueamento é menor que a transversal, o que explica que as trincas de fadiga têm inicialmente sentido longitudinal. Os equipamentos de medição foram desenvolvidos para determinar a **deformada** no sentido longitudinal, que é o sentido natural do tráfego.

A Viga Eletrônica com um sensor de leitura das deformações tipo LVDT, com sensibilidade de 0,0025mm, mais o registro do deslocamento do caminhão, tornam a operação mais eficaz e a análise dos dados mais rápida. Além da agilidade na leitura e no armazenamento de resultados de forma confiável (software compatível com Windows), não há interferência do operador. É muito mais vantajosa que a viga tradicional, possibilitando a tomada da bacia deflectográfica em uma única passagem com o caminhão, com uma ótima definição por meio de mais de cinquenta pontos. Trabalha em conjunto com um computador (note book) e um hodômetro eletrônico adaptado a uma roda auxiliar. O que leva à continuidade de utilização da viga tradicional é a diferença de preço, uma vez que enquanto esta custa cerca de mil dólares a eletrônica tem custo em torno de dez vezes mais.

O deflectógrafo móvel da Califórnia e o deflectógrafo La Croix utilizam Vigas Benkelman de acionamento e registro automáticos. Deslocam-se a 0,8 a 5 km/h nas medições. O primeiro faz de 1500 a 2000 medições por dia e desloca-se a 0,8 km/h. Medem-se deflexões simultâneas nas duas trilhas de rodas. O La Croix é muito utilizado na Europa e consiste em um veículo de teste carregado com 5.442 kgf a 11.791 kgf, que se move a uma velocidade constante de 3 km/h, quando as deflexões são medidas por vigas móveis. A operação é automática e as medidas de deflexão são gravadas.

4 – Procedimentos Utilizados na Recuperação Funcional e Estrutural de Pavimentos pelo DER/SP

4.1 – DNER - PRO 10/79

Norma que estabelece procedimento para avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. Tem por objetivo apontar as causas das deficiências dos pavimentos em serviço e fornecer elementos para o cálculo estimativo de sua vida restante ou do reforço necessário para suportar um novo número de solicitações especialmente do tráfego pesado.

Conceitualmente estes procedimentos foram baseados no critério de deformabilidade, porque a experiência demonstra haver uma relação entre a grandeza das deflexões recuperáveis e o desempenho dos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Considerando-se um pavimento bem projetado e construído, a evolução do seu nível de deflexão durante a exposição às cargas e aos agentes do intemperismo envolve a consideração de três fases distintas, conforme mostrado no gráfico 4.1.

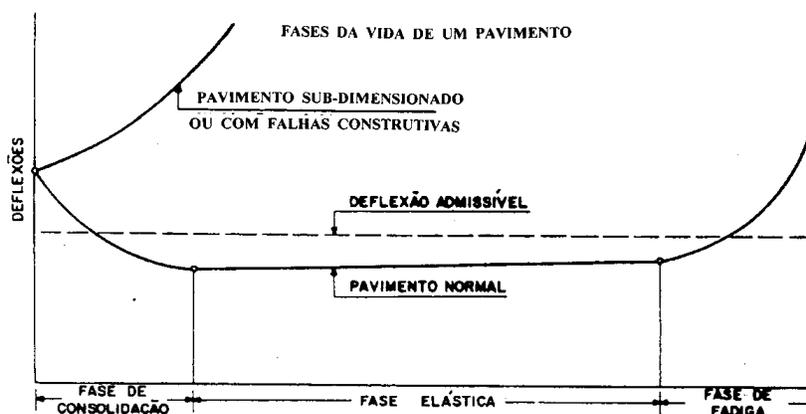


Gráfico 4.1 - Fases de deflexão durante as cargas e os agentes do intemperismo

A **fase de consolidação** sucede imediatamente após à construção e é caracterizada por um decréscimo desacelerado do valor da deflexão, em razão da compactação adicional proporcionada pelo tráfego. A deflexão tende a se estabilizar ao fim da primeira fase.

A **fase elástica** sucede à fase de consolidação e nela o valor da deflexão do pavimento se mantém aproximadamente constante ou cresce ligeiramente, se não houver influências sazonais. Essa fase define a vida útil do pavimento e sua duração depende da diferença verificada entre a deflexão admissível e a deflexão suportada pelo pavimento. Uma prolongada fase elástica do pavimento é uma evidência de que o seu projeto e a sua construção obedeceram a padrões de boa qualidade técnica e econômica, desde que não tenham sido superdimensionadas..

A **fase de fadiga** sucede à fase elástica e se caracteriza por um crescimento acelerado do nível de deflexão do pavimento, à medida que a estrutura começa a exteriorizar os efeitos da fadiga por meio de aparecimento de fissuras, trincas e acúmulos de deformações permanentes sob cargas repetidas. O processo de degradação passa a ser acelerado, caso não haja intervenção tempestiva no sentido de reabilitar o pavimento.

As solicitações das cargas de roda atuam em um pavimento flexível ou semi-rígido, conforme o esquema da figura 4.1. A ação de uma carga de roda P , aplicada sobre a superfície da estrutura promove, na face inferior do revestimento betuminoso, o desenvolvimento de uma tensão de tração σ_t , responsável pela decorrente deformação de tração ϵ_t e na superfície do subleito, uma pressão vertical σ_z .

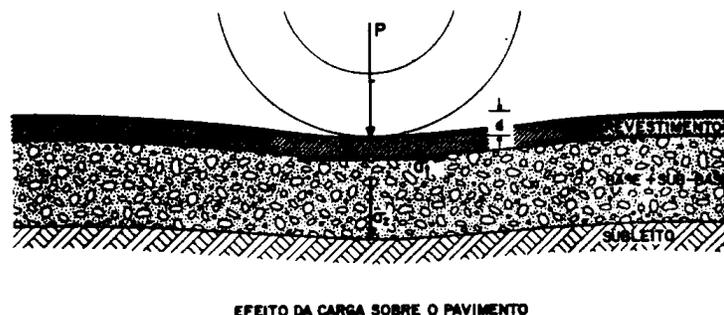


Figura 4.1 - Efeito de carga sobre o pavimento

Se o material de cada camada do pavimento atender as especificações quanto à resistência ao cisalhamento, a possibilidade de deformações plásticas ou rupturas estará restrita ao subleito. As rupturas são evitadas quando o valor da pressão vertical atuante, σ_t , for mantido abaixo do valor da pressão vertical admissível pelo material do subleito, σ_{adm} . Para garantir essa condição, o pavimento deve ter espessura igual ou superior à dimensionada, por exemplo, em função do Índice de Suporte Califórnia (ISC) do subleito.

Para que não surjam trincas no revestimento é necessário manter a deflexão, d , abaixo de um valor máximo, d_{adm} , e o raio de curvatura, R , da bacia do pavimento acima de certo valor mínimo. Isto garante que a tensão de tração σ_t , correspondente à deformação ϵ_t , na face inferior do revestimento, não ultrapasse um determinado valor acima do qual o revestimento betuminoso rompe por fadiga.

Os estudos para a avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis e de suas deficiências compreendem primeiramente os estudos preliminares (levantamento histórico do pavimento existente e prospecção preliminar do pavimento existente). Depois, vêm os estudos definitivos: demarcações das estações de ensaio, determinação das deflexões recuperáveis, inventário do estado da superfície do pavimento existente, sondagens complementares a pá e picareta, sondagem rotativa processada nas camadas betuminosas da superestrutura do pavimento, representação gráfica dos resultados dos estudos, definições dos limites dos segmentos homogêneos, análise estatística das deflexões recuperáveis e avaliação das deflexões recuperáveis características, e deflexão de projeto com correção sazonal.

Depois dos estudos, a norma prevê as considerações sobre os critérios de projeto do reforço do pavimento existente – cálculo da vida restante, com a definição das medidas a serem tomadas no sentido de restaurar as condições de serventia da estrutura, mediante decisões sobre algumas questões básicas, como aproveitamento ou não do valor residual parcial ou total. Por último, consta da norma o projeto de reforço do pavimento existente com base no critério de deformabilidade.

4.2 - DNER - PRO 11/79

Norma que estabelece procedimento para avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis existentes. Tem por objetivo apontar as causas das deficiências dos pavimentos em serviço e fornecer elementos para o cálculo estimativo de sua vida restante ou do reforço necessário para suportar um novo número de solicitações, especialmente do tráfego pesado.

Conceitualmente estes procedimentos foram baseados no critério de deformabilidade dos pavimentos flexíveis e semi-rígidos, que na prática são expressos pela medida de deflexões recuperáveis, porque a experiência demonstra haver uma relação entre a grandeza destas deflexões e o desempenho dos referidos pavimentos. Em razão da grande variação de comportamento estrutural observado nos pavimentos mesmo que bem construídos, usa-se critério estatístico para interpretação das medidas.

No Brasil existe boa experiência com medida de deflexão e é usual a interpretação do comportamento de um pavimento por meio dessas medidas, pelo menos numa primeira fase da avaliação estrutural. As fases deflectométricas da vida do pavimento, já vistas no desenho esquemático da DNER-PRO 010/79, são importantes na consideração do comportamento de um pavimento em serviço. A fadiga de sua estrutura é função dos esforços diversos de compressão, cisalhamento e flexão, além de fatores climáticos como precipitações pluviométricas e mudança de temperatura.

A descrição resumida das três fases, de consolidação, elástica e de fadiga, aponta as principais falhas e deficiências de projeto e de construção que podem abreviar a vida estrutural do pavimento, particularmente no que diz respeito à sua limitação na fase elástica.

Os estudos recomendados nesta norma de avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis e semi-rígidos e das suas deficiências, também compreendem os mesmos passos da DNER-PRO 010/79, exceto a sondagem rotativa processada nas camadas betuminosas da superestrutura do pavimento.

Na seqüência, a próxima preocupação da norma é com o valor da deflexão admissível (d_{adm}), que limita superiormente a deflexão do pavimento para que não surjam trincas no revestimento. O valor da d_{adm} depende dos materiais constituintes do revestimento e da base do pavimento, bem como do número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 tf (número N).

Para pavimentos com revestimentos de concreto betuminoso executado sobre base granular, o valor da deflexão admissível (em 0,01 mm) é dado pela seguinte expressão correspondente às deflexões medidas com a carga padrão de 8,2 tf por eixo, conforme equação (4.1):

$$\log d_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N \quad (4.1)$$

Para pavimentos semi-rígidos, com base de solo-cimento ou base de brita tratada com cimento, que não apresente fissuração exagerada, deve ser adotada como deflexão admissível a metade do valor obtido pela expressão, independentemente do tipo de revestimento.

Para avaliação de pavimento com revestimento do tipo tratamento superficial, executados sobre base granular, a deflexão admissível deve ser o dobro do valor obtido pela expressão apresentada. No caso de ser projetado reforço com revestimento em CBUQ, a deflexão admissível será a correspondente a este material.

O número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 tf a ser considerado na determinação da deflexão admissível, depende do tipo de análise submetida pelo pavimento. Na fase elástica, o número N corresponde às cargas por eixos suportadas pelo pavimento desde a sua abertura ao tráfego até a data das medidas das deflexões.

O número N para a deflexão admissível de um determinado projeto de reforço de pavimento, corresponde às cargas por eixo suportadas desde a liberação deste reforço ao tráfego até o final arbitrado para o período de projeto.

Quanto à estimativa de vida restante do pavimento em serviço, depende da deflexão de projeto (d_p). Se d_p estiver abaixo da deflexão admissível, para um valor N correspondente ao tráfego já

suportado pelo pavimento existente, desde que com $R \geq 100$ m, este pavimento ainda não atingiu a fase de fadiga e possui, portanto, um período de vida restante.

Para a avaliação estrutural, seria lícito aceitar os métodos de projeto baseados no critério deflectométrico quando a estrutura subjacente ao reforço estivesse funcionando em regime aproximadamente elástico. Ou seja, quando as cargas incidentes ocasionassem exclusivamente deformações de caráter transitório.

Porém, a verificação de deformações plásticas significativas, decorrentes da evolução de processos de ruptura por cisalhamento, evidencia a presença de problemas que transcende a esta tese. Para contornar as dificuldades que cercam o problema, a norma propõe critério fixando diretrizes adotadas na avaliação estrutural do pavimento.

São formulados cinco casos típicos, supondo que a maioria das situações que ocorrem nos subtrechos homogêneos possa se enquadrar, aproximadamente, em uma das hipóteses. Para isto, consideram-se os seguintes parâmetros: I) Número N; II) Deflexão de projeto; III) Raio de curvatura; IV) Deflexão admissível; e V) Índice de Gravidade Global (IGG).

Numa tabela de dupla entrada constante da norma, com os parâmetros acima se chega a: a) Fixar quando serão necessários estudos complementares; b) Definir o critério para a avaliação estrutural e o cálculo do reforço; e c) Fazer recomendações quanto às medidas corretivas.

Por último, a norma apresenta o dimensionamento de reforço do pavimento pelos dois critérios: 1º) Critério deflectométrico ou de deformabilidade; e 2º) Critério de resistência.

4.3 – DNER-PRO 269/94

Norma técnica que define um procedimento a ser utilizado no projeto de restauração de pavimentos flexíveis, apresentando alternativas em concreto asfáltico, em camadas integradas de concreto asfáltico e pré-misturado, em tratamento superficial e em lama asfáltica – Método da

Resiliência – TECNAPAV, desenvolvido pelos engenheiros Salomão Pinto e Ernesto S. Preussler.

Esta norma adota algumas definições, como trincamento (TR), espessura efetiva (h_{ef}), número equivalente de operações do eixo padrão simples de 8,2 tf (N_p), vida de fadiga (N_f), subtrechos homogêneos, período de análise, indicadores de desempenho, e restrições econômicas. A outra fase é a de levantamento dos dados do pavimento existente, junto aos órgãos rodoviários encarregados de sua construção e conservação.

Também tem o levantamento de campo com a demarcação do trecho, determinação das deflexões recuperáveis, levantamento da condição do pavimento, sondagem a pá e picareta e coleta de amostras, sondagens rotativas no revestimento e coleta de amostras, e caracterização do tráfego.

O cálculo dos parâmetros do trecho inclui a deflexão recuperável, trincamento, irregularidade, Índice de Suporte Califórnia, percentagem de silte na fração que passa na peneira de 0,075 mm de abertura (peneira nº 200), classificação dos solos, espessura da camada granular (Hcg), e número N. A divisão do trecho em subtrechos homogêneos é feita em função do quociente de irregularidade (QI), trincamento (TR), e deflexão recuperável (d_{rec}).

Por último, a norma apresenta o projeto de restauração com a determinação dos parâmetros de projeto, análise da condição do pavimento existente, dimensionamento do reforço do pavimento, considerações complementares, e dimensionamento do reforço do pavimento contemplando a reciclagem. Para o sucesso da avaliação do comportamento do pavimento por meio das suas características funcionais é necessário um bom levantamento do estado de degradação dos defeitos superficiais visíveis, como trincas, panelas, remendos, exsudação, etc. Também, das deformações permanentes, como afundamento nas trilhas de roda, ondulação e corrugação. Ainda, devem ser verificadas as anormalidades relacionadas à deformabilidade do pavimento, manifestadas quando da aplicação de cargas que costumam ocasionar as deflexões características reversíveis máximas e as respectivas bacias de deformação.

Para a verificação do conforto e segurança da via, normalmente se utiliza dados referentes ao tipo de pavimento e às condições da sua superfície de rolamento. Quanto às condições da superfície

de rolamento é mais usual a avaliação em face do estado funcional do pavimento, ficando a investigação estrutural mais condicionada à sua manutenção e reabilitação. Antes o DER/SP utilizava o método de dimensionamento de reforço para uma estrutura existente em operação, baseado no método de dimensionamento do DNER de 1966, com algumas reformulações que levavam em consideração a experiência do Departamento Estadual Paulista. Mas, os procedimentos e normas que foram surgindo passaram a constituir parte importante de um incipiente Sistema de Gerência de Pavimentos, que somente aos poucos foi se articulando. E estes procedimentos têm sido aprimorados no sentido de auxiliar na difícil administração de recursos orçamentários que assegure o melhor resultado para uma receita sempre inferior à crescente demanda de novas necessidades.

A norma DNER-PRO 011/79 foi publicada pelo DNER em 1979, para avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. À medida que ela foi se tornando conhecida nos meios técnicos rodoviários, o DER/SP passou a utilizá-la juntamente com o seu método em vigor. Àquela época a rede paulista era menor e relativamente jovem, razão pela qual existia maior preocupação pela construção de estradas e de pavimentos novos. Na questão da avaliação funcional dos pavimentos em operação, o mais empregado era o que se pode chamar de levantamento visual empírico e daí começaram aos poucos a utilização dos critérios técnicos formalmente estabelecidos a partir das reuniões da ABPv e de outros encontros em diversos âmbitos. Os experientes técnicos do Departamento tinham como parte importante de seu trabalho observar o estado do pavimento em suas constantes viagens, enquanto hoje este trabalho é feito utilizando-se metodologias e equipamentos modernos já mencionados, por empresas contratadas ou através de terceirização. Quanto à avaliação estrutural, trabalhava-se com número de dados de campo reduzido, obtidos com relativa dificuldade por meio da tradicional Viga Benkelman.

4.4 – Análise Estrutural do Pavimento por Critério Mecanicista

A chamada estrutura do pavimento é um sistema de diferentes camadas que trabalham solidariamente. Para dimensionar o reforço adequado de um pavimento em serviço é conveniente conhecer a rigidez dessas camadas e também do subleito. Isto pode ser feito por meio de avaliação destrutiva com abertura de poços, para coleta de amostras para determinação destes

parâmetros em laboratório, ou pela chamada retroanálise. A retroanálise é um método pelo qual podem ser calculados os módulos de elasticidade das camadas do pavimento e do subleito, por interpretação das bacias de deformação, similar aos módulos de resiliência calculados em laboratório.

A norma utilizada para a utilização deste método é a ASTM D 5858 e no Brasil o Manual de Reabilitação do DNER (1998) fornece diretrizes algumas diretrizes. No item 5.2.4.1 do capítulo seguinte deste trabalho são fornecidos elementos sobre a aplicação desta metodologia no Projeto de Reforço de Pavimento e de Reconstrução da Rodovia Marechal Rondon, trecho entre Tietê (km 158,600) e D.M. Pereiras (km 184,100), a partir do ano de 2002. No caso foi utilizado o programa ELSYM-5 (Elastic Layered System) para análise das medidas deflectométricas determinadas com a Viga Benkelman. Este programa tem como principal vantagem o seu baixo tempo de processamento e a facilidade de uso rotineiro.

5 – Estudo de Caso

5.1 – Projeto de reforço de pavimento do DER/SP financiado pelo BID

O conceito de SGP nasceu com o envelhecimento natural da imensa rede de pavimento particularmente dos EUA e a necessidade de sua manutenção, reposição e ampliação a partir de uma sistemática que fornecesse os melhores resultados, dentro de um critério de rentabilidade como do tipo relação benefício x custo. Antes do computador se tornar técnica e economicamente mais acessível, era dispendioso e muito difícil criar Banco de Dados adequado que pudesse servir de suporte para novos estudos, prática que hoje se tornou corrente. Isto chegou ao Brasil e hoje se pode dizer que estamos bem melhor do que antes, mas ainda com um longo caminho a percorrer.

Quer nos programas financiados parcialmente (sempre há necessidade de uma contrapartida do Estado) pelo Bando Interamericano de Desenvolvimento - BID, quer nos financiados parcialmente pelo Banco Mundial – BIRD, sempre há um bom grau de exigência para os levantamentos de dados e elaboração de projetos, que acaba provocando desejável evolução em seus resultados. Para um determinado programa financiado pelo BID, dados de levantamento de campo e resultados do dimensionamento do reforço para o pavimento em serviço encontram-se em duas fichas resumo incorporadas como exemplo no presente trabalho, conforme quadros representados pelas tabelas 5.1 e 5.2 a seguir, utilizando método hoje vigente no DER/SP. Atualmente, são levadas em conta particularmente a condição funcional e a condição estrutural do pavimento a partir de tecnologias avançadas e dados abundantes e precisos, conseguidos com diferentes equipamentos disponíveis a custos mais acessíveis no mercado brasileiro.

FICHA RESUMO DO PROJETO POR LOTE DE OBRA															
RODOVIA: SP-055			TRECHO: BOISSUCANGA - BORACÉIA						LOTE: 16A						
SUBTRECHO: km 162,310 AO km 190,907			EXTENSÃO: 28,60 km						CONSULTORA: ENGEVIX ENGENHARIA S/A						
TRAFFEGO	ANO LEVANTAM.: 2000/2001		TOTAL	AUTOMÓVEIS		ÔNIBUS	CAMINHÃO 2 C		CAMINHÃO 3 C		SEMI-REBOQUE		REBOQUE		
	ANO ABERTURA: 2.003		8.733	7977		198	352		193		10		3		
	Auto	Com.	FV	2,47 (USACE) e 1,36 (AASHTO)											
			3,2E+6 (USACE) e 1,7E+6 (AASHTO)												
QUILOMETRAGEM															
EXTENSÕES (km)															
ESTAQUEAMENTO															
PAVIMENTO EXISTENTE	REVEST. ATUAL	CBUQ	CBUQ	CBUQ	CBUQ	CBUQ	CBUQ	CBUQ	CBUQ	CBUQ	CBUQ	CBUQ	CBUQ	CBUQ	
	ESPESSURA	4,0	3,0	5,0	8,0	7,0	9,0	9,0	4,0	3,0	3,0	8,0	9,0	9,0	
	BASE	GRAN.	GRAN.	GRAN.	GRAN.	GRAN.	GRAN.	GRAN.	GRAN.	GRAN.	GRAN.	GRAN.	GRAN.	GRAN.	
	ESPESSURA	8	10	11	13	13	15	10	6	15	14	12	10	10	
	REFORÇO S.LEITO	SOLO		SOLO		SOLO		SOLO	SOLO				SOLO	SOLO	
	ESPESSURA	34		55		40		50	30				40	40	
	ISC REF. S.LEITO (%)	15		21		25		47	21				36	36	
	ISC SUBLEITO (%)	26	8	18	23	21	18	6	6	13	23	30	19	19,0	
IDADE PAVIMEN	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19		
DEFLEXÕES BENKELMAN (0,01 mm)															
DEFLEXÕES (x0,01 mm)		183	213	154	170	107	153	141	200	149	208	141	190	134	216
Raio (m)		107	94	97	125	173	124	118	100	170	87	148	96	174	89
FC3 (%)		72	53	46	51	8	50	23	49	39	48	17	70	42	42
FC2 (%)		2				15		1	1	7	20	1		5	12
Flecha Trilha de roda (mm)		1,5	1,4	1,1	3,6	1,3	5,7	1,3	1,4	1,6	2,1	0,9	3,7	1,8	2,0
QI (cont/km)		104	90	69	68	44	44	50	53	64	74	54	55	53	55
IGG		221	149	123	242	101	246	137	160	119	175	97	202	148	210
QUALIDADE ESTRUTURAL		REGULAR	MÁ	MÁ	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR	MÁ	REGULAR	MÁ	REGULAR	MÁ	REGULAR	MÁ
ESTADO FUNCIONAL		MAU	MAU	MAU	PÉSSIMO	MAU	PÉSSIMO	MAU	PÉSSIMO	MAU	PÉSSIMO	MAU	PÉSSIMO	MAU	PÉSSIMO
DIAGNÓSTICO		IE - INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL - PF - PROBLEMAS FUNCIONAIS													
OBSERVAÇÃO															
SOLUÇÃO PROPOSTA	TIPO	TSD: Tratamento Sup. Duplo			CBUQ: Concreto Bet. Usinado a Quente			RSM: Reciclagem s/ Adição de Material			RAB: Reciclagem c/ adição de Brita				
		BGS: Brita Graduada Simples			Massa Fina Asfáltica			REP. PROF.: Reparo Profundo							
	PISTA	CBUQ	9	11	9	11	6	10	7	9	11	7	11	11	11
		TSD	2		2		2		2	2	2	2		2	
		BGS		15		15		15			15		15		15
		RSAM		15							15				
		Massa Fina Asf.				-2		-2						-2	
	REP.PROF. (% da Área)	5%		5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%		5%	5%	5%	
	ACOST	CBUQ	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		BGS			-19		-21		-20				-19		-21
RAB		-15		-15		-15		-15	-15	-15		-15		-15	
3ª FAIXA															
SEÇÕES TRANSVERSAIS															
OBSERVAÇÃO		RECUP. PISTA / CONST. ACOSTAMENTO													
DISCRIMINAÇÃO DOS CUSTOS E RESUMO DOS INDICADORES ECONÔMICOS															
DISCRIMINAÇÃO		CÚSTO FINANCEIRO DO PROJETO						DATA BASE ORÇAMENTO: abril/2002							
1 - PAVIMENTAÇÃO		R\$ 14.469.131,59						obs. O custo da obra é de R\$ 15.016.314,22							

Tabela 5.1 - Ficha Resumo de projeto do trecho da SP 55 (Boissucanga – Boracéia)

FICHA RESUMO DO PROJETO POR LOTE DE OBRA																
RODOVIA: SP-304			TRECHO: SP-330 - Piracicaba					PISTA: LESTE			LOTE: 30					
SUBTRECHO: Km 120,8 - Km 160,010			EXTENSÃO: 39,210 km					CONSULTORA: DYNATEST								
TRÁFEGO	TAXA CRESCIM:	TOTAL	AUTOMÓVEIS		ÔNIBUS		CAM 2C		CAM 3C		SEMI-REBOQUES		REBOQUES			
	ANO LEVANTAM:	2.001														
	ANO ABERTURA:															
	FV e NÚMERO "N"	FV (AASHTO) = 3,28					N (AASHTO) = 2,58,E+07									
		FV (USACE) = 9,51					N (USACE) = 7,46E+07									
QUILOMETRAGEM																
EXTENSÕES (km)																
ESTAQUEAMENTO																
		100	185	279	335	360	417	447	469	495	541	605	635	689	757	829
PAVIMENTO EXISTENTE	REVESTIMENTO	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	
	ESPESSURA	4	4	4	4	4	4	11	11	11	11,0	11,0	10,0	10,0	4,0	
	BASE	SB cim	SB cim	SB cim	SB cim	SB cim	SB cim	BGS	BGS	BGS	BGS	BGS	SB cim	SB cim	SB cim	
	ESPESSURA	20	20	20	20	20	20	12	12	12	12,0	12,0	20,0	20,0	20,0	
	ISC SUBLEITO	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
IDADE PAVIMEN		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
DEFLEXÕES BENKELMAN (0,01 mm)																
DEFLEXOES		73	80	87	40	66	63	59	72	49	102	75	50	44	61	
FC2 (%)		6	31	78	5	8	40	90	71	60	37		85	20	69	
FC3 (%)		48	44		70	58		9			50	80		61		
FLECHAS (mm)				7,3		0,6	0,2			0,6	5,1	8,8	6,1	0,4	12,3	
IRI (mm/m)		4,8	4,8	4,8	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	3,9	3,9	3,9	4,7	
IGG		117	189	103	154	121	115	170	110	122	143	172	103	130	122	
QUALIDADE ESTRUTURAL		MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	BOA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	BOA	FRACA	MÉDIA	BOA	BOA	MÉDIA	
ESTADO		MAU	PÉSSIMO	MAU	PÉSSIMO	MAU	MAU	PÉSSIMO	MAU	MAU	MAU	PÉSSIMO	MAU	MAU	MAU	
DIAGNÓSTICO		PF / IE	PF / IE	PF / IE	PF / IE	PF / IE	PF / IE	PF / IE	PF / IE	PF / IE	PF / IE	PF / IE	PF / IE	PF / IE	PF / IE	
OBSERVAÇÃO		IE - INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL -- PF - PROBLEMAS FUNCIONAIS														
SOLUÇÃO PROPOSTA	TIPO	REC 2	REC 2	REC 2	REFOR	REC 1	REC 1	REFOR	REFOR	REFOR	REC 1	REC 1	REFOR	REFOR	REFOR	
		(REFOR) REFORÇO - (REC) RECICLAGEM - (TSD) TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO														
	PISTA	Reciclagem c/ cim	X	X	X		X	X				X	X			
		FS Contínua e Recomposição							6,0	6,0	4,0	6,0	6,0	6,0		
		TSD c/ polímero														
		Pintura de Ligação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		CBUQ - 1ª CAMADA	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	7,0
	ACOST	CBUQ - 2ª CAMADA														4,0
		Pintura de Ligação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		CBUQ - 1ª CAMADA	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0
CBUQ - 2ª CAMADA															3,0	
SEÇÕES TRANSVERSAIS																
		REC 1 - Reciclagem com cimento em uma das Faixas							REC 2 - Reciclagem com cimento nas duas Faixas							
OBSERVAÇÃO		X RECICLAGEM EXECUTADA COM 20 CM							X RECICLAGEM A EXECUTAR COM 17 CM							

Tabela 5.2 - Ficha Resumo de projeto de trecho da SP-304 (SP 330 a Piracicaba)

5.2 – Projeto de Reforço de Pavimento e de Reconstrução da Rodovia Marechal Rondon – SP 300. Trecho: Tietê – Jumirim – Laranjal Paulista – D.M. Pereiras (km 158,600 ao km 184,100)

5.2.1. Histórico

O DER/SP contratou firmas conhecidas no mercado para elaborar projetos executivos para as obras e serviços de recuperação dos trechos rodoviários inseridos no programa de recuperação de rodovias do Estado de São Paulo, objeto de solicitação de financiamento junto ao Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID – Programa BR0295. Um dos contratos relativamente recente que será tratado agora é o da SP-300.

Conforme informações fornecidas pela Residência de Conservação do DER/SP – RC.2.6, no município de Tietê, o trecho dessa Região Oeste do Estado foi construído entre 1958 e 1960. Com investigações por broqueamento, se constatou que a estrutura original do pavimento, mais posteriores recapeamentos, é constituída das camadas e espessuras constantes da tabela abaixo, incluindo um recapeamento feito em 1990.

Recapeamento em concreto asfáltico feito em 1990	Espessura média	8,0 cm
Revestimento asfáltico em concreto betuminoso, usinado à quente		10,0 cm
Base granular estabilizada granulometricamente		20,0 cm
Reforço do subleito com solo selecionado		20,0 cm

Os levantamentos de defeitos da superfície foram efetuados para a pista principal e a faixa adicional (3ª faixa) a partir dos procedimentos do DNER PRO-07/94 – “Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos” e PRO-08/94 – “Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos”. Para avaliação da condição da irregularidade longitudinal dos pavimentos se utilizou os procedimentos da PRO-182/94 – “Medição de Irregularidade de Superfícies de Rodovias com Medidores Tipo Resposta” e PRO-229/94 – “Manutenção de Sistemas Medidores de Irregularidade”. Também, para determinar as áreas que necessitam de

reparos prévios, tanto superficiais como profundos, antes de intervenção especial foi executado um Levantamento Visual Detalhado (LVD) dos pavimentos, apresentado em forma de planilha.

5.2.2. Avaliações subjetiva e objetiva

Além da avaliação subjetiva, como o LVD procedido de acordo com a PRO-07/94, foi feita a avaliação objetiva de acordo com a PRO-08/94, tudo visando a obtenção de dados necessários à análise técnico-econômico com o programa HDM. Como a rodovia é de pista simples, as inspeções foram realizadas em estações demarcadas a cada 40 metros, alternadas em relação ao eixo da pista de rolamento, ou a cada 80 metros em cada faixa de tráfego. As medições das flechas em ambas as trilhas de roda foram feitas em todas as estações.

Em cada estação foi avaliada uma área retangular de 18 m², delimitada longitudinalmente pela pintura de sinalização de bordo e pela divisão de fluxo de tráfego, bem como transversalmente por duas seções situadas a mais 3 m e menos 3 m da estação considerada. A partir do inventário de defeitos, o cálculo do IGG foi realizado em termos de segmentos homogêneos, delimitados ao longo do estaqueamento à medida da comprovação da continuidade e da similaridade das condições da superfície.

Os segmentos homogêneos foram definidos como subtrechos com características semelhantes quanto ao tráfego, suporte de fundação, estrutura do pavimento, traçado e greide da rodovia e outros parâmetros julgados oportunos e convenientes. Para estes segmentos homogêneos procurou-se uma mesma solução dentro da previsão de que apresentarão o mesmo comportamento de desempenho ao longo do tempo de observação e análise. Para definir os segmentos homogêneos se utilizou critérios estatísticos, dentro da metodologia preconizada pela AASHTO, denominada “Análise e Determinação de Segmentos Homogêneos pelas Diferenças Acumuladas”. Mesmo sendo comum no Brasil a utilização da deflectometria como critério predominante para a definição dos segmentos homogêneos, neste caso se adotou também como parâmetros a irregularidade e os defeitos superficiais.

5.2.3. Levantamento da irregularidade

O levantamento da irregularidade do perfil longitudinal do pavimento foi feito com a utilização do equipamento BUMP INTEGRATOR de outra empresa, especializada. O equipamento foi instalado em um veículo Pick-up Ford Courier e considerado um sistema Medidor de Irregularidade Tipo Resposta (SMITR), classe III. Seus três conjuntos principais, são:

- Sensor eletrônico: que quantificou os deslocamentos verticais entre o chassi e o eixo traseiro da Courier, gerados pelo movimento do veículo.
- Hodômetro de precisão: que mediu a distância percorrida pelo equipamento durante o levantamento.
- Quantificador de irregularidade: que calculou o quociente entre a distância percorrida horizontalmente e os deslocamentos verticais da suspensão totalizados a cada 200m.

O procedimento seguido foi a PRO 182-94, apropriada para medição de irregularidade de superfície com Medidores Tipo Resposta; e a PRO 229/94, para Manutenção de Sistemas Medidores de Irregularidade. A calibração do equipamento obedeceu a especificação estabelecida na PRO-164/94 e foi feita na base da empresa, na região de Araraquara/SP, em 11/07/2002, para segmentos de extensão de 200 m.

A medição foi realizada por um motorista e um técnico, com o veículo percorrendo o segmento sobre as trilhas de roda, a velocidades constantes de: 80 ± 2 km/h; 50 ± 2 km/h e 30 ± 2 km/h. O sistema possui um software para automatizar a aquisição de dados do integrador BUMP INTEGRATOR chamado ROMDAS, que elimina qualquer tipo de erro proveniente de anotação ou digitação, uma vez que as informações do integrador são transmitidas diretamente a um computador de bordo pela entrada RS-232. Dispositivos do equipamento verificam a consistência dos valores captados, seja distância – DMI, seja do BUMP INTEGRATOR.

5.2.4. Avaliação estrutural

Para a avaliação da condição estrutural do pavimento se utilizou da análise das medidas de deslocamentos verticais recuperáveis da sua superfície. Os deslocamentos verticais recuperáveis

foram tecnicamente interpretados como resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento. Estes levantamentos deflectométricos foram realizados com a Viga Benkelman, em meses de baixa incidência de chuvas e seguindo as instruções DNER ME-024. O raio de curvatura foi obtido utilizando as instruções DNER ME-061 (1994). A calibração do extensômetro da Viga Benkelman foi efetuada conforme o prescrito pela DNER PRO-175 (1994). As deflexões recuperáveis com a VB guardaram espaçamento de 60 m, alternados em relação ao eixo da pista, ou seja, a cada 120 m em uma mesma faixa de tráfego. Foram efetuadas medidas da linha de influência longitudinal, “Bacia de Deformação”, a cada 2,5 km por faixa, totalizando onze Bacias ao longo do trecho em epígrafe.

A avaliação estrutural do pavimento existente realizado com o emprego da VB resultou em valores de deflexão características para os 14 segmentos homogêneos oscilando entre 81 e 119 x 10⁻² mm. Considerando “N” igual a 2,3 x 10⁷ de solicitações, obtido pelo modelo do USACE para um período de projeto de 10 anos, pela PRO-11/94 e PRO-269/94 do DNER se chegou a valores de deflexão máxima admissível de 51 e 58 x 10⁻² mm, respectivamente. Assim se verificou que para os 14 segmentos homogêneos definidos, haveria necessidade de execução de um reforço estrutural do pavimento existente.

Pela PRO-11/94 se chegou às espessuras de reforço entre 8,0 e 14,0 cm; sem considerar um fator sazonal nas deflexões características, visto que o levantamento deflectométrico foi feito em período seco. Observou-se também que os segmentos homogêneos apresentaram comportamento semelhante quanto aos valores das deflexões características e dos IGGs, ou seja, segmentos homogêneos com valores mais elevados de deflexão característica apresentaram valores mais elevados de IGG.

Em alguns segmentos homogêneos com valores Dc e IGG exageradamente elevados, houve necessidade de reconstrução total ou restauração pesada, como fresagem acrescida de reforço estrutural considerável ou reciclagem. Para efeito deste tipo de avaliação preliminar, se considerou os seguintes parâmetros e respectivos limites: Dc > 100 x 10⁻² mm e IGG > 150. Este valor limite adotado de 100 x 10⁻² mm corresponde a uma espessura aproximada de reforço estrutural de 11,0 cm, pela PRO-11/94.

Esta espessura de 11,0 cm foi entendida como o máximo alteamento do greide possível, sem ocasionar problemas do tipo gabarito vertical insuficiente sob as obras de arte, degrau elevado entre pista e acostamento, possibilidade de afundamentos excessivos nas trilhas de roda, etc. Também, de acordo com a PRO-08/94 (Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimento Flexíveis e Semi-Rígidos), valores de IGG superiores a 150 indicam que a superfície do revestimento asfáltico se encontra em péssimo estado, precisando mesmo de uma restauração moderada ou reconstrução parcial ou total. Concluiu-se preliminarmente que cerca de 79% da extensão total do trecho necessitava de uma intervenção pesada de restauração.

5.2.4.1 – Análise estrutural do pavimento existente por Critério Mecanicista.

Procedeu-se a retroanálise da condição estrutural do pavimento existente por meio da Teoria da Elasticidade. É um procedimento bastante utilizado com valores obtidos nas medidas das bacias de deformação recuperável da superfície do pavimento, permitindo a obtenção de valores modulares das camadas em suas condições “in situ”, como umidade, densidade, temperatura, estado de tensões e modo de sollicitação a que os materiais das camadas estão sujeitos no momento da realização do ensaio. Com a avaliação mecanicista da estrutura é possível estimar a vida útil remanescente do pavimento existente.

A retroanálise das bacias de deformação consiste em um sistema iterativo onde, a partir dos deslocamentos recuperáveis medidos em campo das espessuras das camadas e respectivos coeficientes de Poisson (função do tipo de material de cada camada), se faz o cálculo por meio da Teoria da Elasticidade de um sistema de módulos para as diversas camadas constituintes da estrutura do pavimento. Assim, se pode obter por meio de tentativas uma boa comparação entre a bacia de deformação teórica (calculada) e aquela obtida em campo.

Os módulos retroanalizados podem ser descritos como sendo os módulos de elasticidade em resposta ao carregamento de sistemas estruturados, pois a deformação total da estrutura é composta basicamente pelas deformações particulares de cada material constituinte da estrutura, relacionada às características de sua rigidez. É importante considerar que os valores obtidos de módulo são aproximações do comportamento real, porque os materiais de pavimentação se

apresentam de forma heterogênea (exceto o concreto de cimento Portland), além de existir descontinuidades como fronteiras, juntas e trincas, bem como as condições de interfaces (grau de aderência) não serem bem conhecidas. Ainda, os materiais asfálticos apresentam deformações visco-elástico-plásticas, se alterando em função das condições climáticas sazonais diárias e anuais e do tipo de carregamento estático ou dinâmico, afetando o comportamento de toda a estrutura do pavimento.

O cálculo de retroanálise de módulos é feito por programas computacionais, principalmente quando se trata de mais de duas camadas. Neste caso se empregou o programa ELSYM-5 (Elastic Layered System) para análise das medidas deflectométricas determinadas com a VB, visto que a maioria dos programas existentes como o Módulos, Retroana, específicos para retroanálise utilizam valores obtidos com o FWD (carga dinâmica). O programa ELSYM-5 aplica o método das diferenças finitas, que consiste na aproximação por derivadas das equações diferenciais, mediante fórmulas aproximadas, numa série de pontos escolhidos sobre o domínio de integração do problema. Assim, se obtém um sistema de equações algébricas, que calcula os valores das incógnitas nos pontos selecionados. Com um número maior de pontos as soluções aproximadas vão convergindo para a solução exata. Porém, a solução para o problema não é contínua e sim discreta, isto é, somente nos pontos considerados.

O programa aplica este procedimento no cálculo de tensões, deformações e deslocamento produzidos por uma carga em pontos específicos. No caso de rodas múltiplas é feita a superposição de efeitos de todas as rodas em cada ponto considerado. Este procedimento é correto para deslocamentos, visto que toda a estrutura é elástica linear. Mas, para tensões, o procedimento é uma aproximação. O programa admite até cinco camadas, incluindo o subleito; e até dez cargas de roda com área de contato pneu-pavimento circular. As hipóteses são as mesmas da solução de Burmister. Os dados de entrada para cada camada são o módulo de elasticidade, a espessura e o coeficiente de Poisson.

O ELSYM-5 tem como principal vantagem o seu baixo tempo de processamento e a facilidade de uso rotineiro. Tem contra si o fato de não considerar a não linearidade dos materiais, fator importante num estudo mais apurado, mais relevante às aplicações práticas. Entretanto, é o

programa mais conhecido no Brasil para análise estrutural de pavimento. As condições de carregamento de carga é por meio de simulação do eixo simples de 82 kN (8,2 tf). A carga é representada por uma pressão vertical de contato $p = 5,6 \text{ kgf/cm}^2$ (0,56 MPa), distribuída uniformemente sobre um círculo de raio $r = 10,8 \text{ cm}$. O número de cargas aplicadas é caracterizado por quatro esforços verticais de 2050 kgf, dispostos geometricamente conforme mostra a figura 5.1.

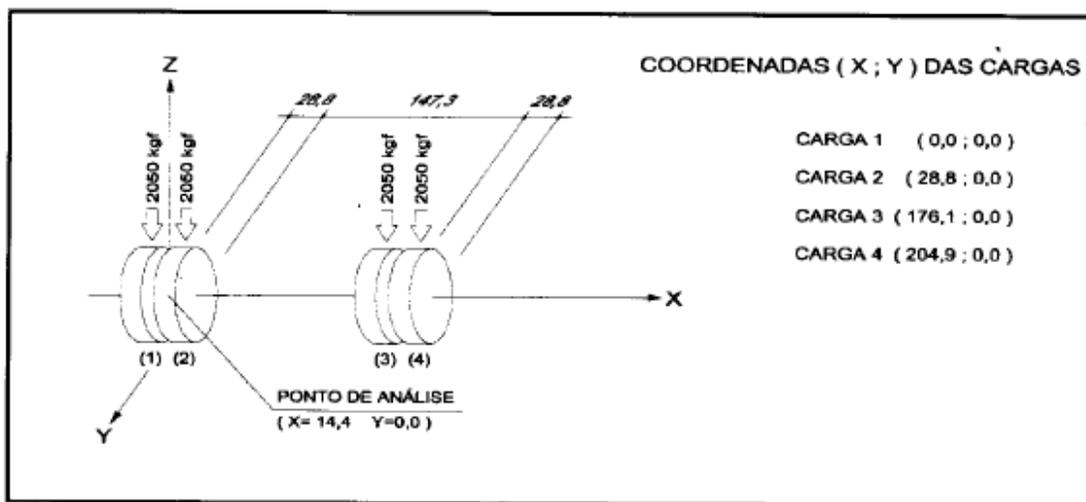


Figura 5.1 - Aplicação de cargas pelo cálculo mecanicista do programa ELSYM-5

Também é importante considerar que para os estudos dos efeitos atuantes de tensões, deformações e deslocamentos produzidos pelo eixo padrão, pode-se analisar somente o carregamento gerado por apenas um lado do eixo, visto que a distância entre os dois conjuntos de carga do eixo é considerável e não produz a superposição de efeitos nas respostas do pavimento.

5.2.5. Número “N” de operações e equivalência de eixo padrão

Foi calculado o número “N” de solicitações equivalentes ao eixo simples padrão de rodas duplas de carga de 80 kN (8,2 tf ou 18.000 lbs), com base no tráfego de veículos comerciais. As taxas de crescimento anual de tráfego consideradas na projeção do volume de veículos foram fornecidas pelo DER/SP, com base em estudos do Plano Diretor de Desenvolvimento de Transportes – PDDT, desenvolvidos pela Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo. As taxas de

crescimento anual para o período de 2003 a 2014 são: automóveis = 0,8 % e veículos comerciais = 3,1 %.

Foram adotadas as considerações de fatores de veículos do engenheiro Marcílio Augusto Neves, cujas premissas são de que os caminhões pequenos tipo C2 e C3 efetuam transportes locais com 70% da carga máxima e os outros 30%, vazio; e também que os caminhões pesados, reboques e semi-reboques, trafegam em trajetos de longa distância com cerca de 80% de carga máxima e os outros 20%, vazio. Para os veículos do tipo 2C2 e 2C3, com base em pesquisa de campo foram adotadas cargas máximas legais, mesmo porque não há indicação destes dois tipos de reboque na apostila do engenheiro Marcílio Augusto Neves. Ainda, atendendo solicitação do DER/SP se considerou que 30% dos veículos do Tipo C2 possuem aro de 16 polegadas e os outros 70% aro 22. Para os veículos 3C se considerou que 30% possuem aro 20 e 70% aro 22. Para determinar o fator de equivalência de carga, foram utilizadas as metodologias da USACE (United States Army Corps of Engineers) preconizada pelo DNER, bem como da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Por último, se adotou Fator Regional, “FR”, igual a 1,0; conforme resultados de pesquisas desenvolvidas pelo IPR/DNER (Manual de Pavimentação – DNER/1996). Os resultados foram:

Segmento	“N” (Período de projeto = 10 anos)	
	USACE	AASHTO
km 158,600 - km 168,300	$2,3 \times 10^7$	$7,9 \times 10^6$
km 168,300 - km 176,200	$1,9 \times 10^7$	$6,5 \times 10^6$
km 176,200 – km 184,100	$1,9 \times 10^7$	$6,9 \times 10^6$

5.2.6. Resultados das avaliações do desempenho funcional e estrutural

Enquanto o desempenho funcional é a capacidade do pavimento satisfazer sua principal função de fornecer uma superfície de boa qualidade de rolamento, o desempenho estrutural é a capacidade de um pavimento se manter íntegro do ponto de vista estrutural. Isto é, a capacidade de resistir às condições impostas pelas solicitações de cargas impostas pelo tráfego sem

apresentar falhas significativas. A qualidade estrutural pode ser avaliada por ensaios não destrutivos, como os deflectométricos, ou por ensaios destrutivos, com coleta de amostras para execução de ensaios laboratoriais. Para caracterizar o pavimento existente foram executados 12 poços de inspeção, cujos resultados foram colocados em uma tabela.

De uma forma simples se pode dizer que o aspecto funcional do pavimento, mais ligado ao conforto e à segurança, é fiscalizado mais pelo próprio usuário, enquanto o aspecto estrutural é fiscalizado quase que exclusivamente pelos técnicos rodoviários, pelo menos enquanto ele não é refletido no desempenho funcional do pavimento.

Comentário Adicional

O pavimento existente do trecho da rodovia SP-300 entre os km 158,600 e km 184,100 apresentava comportamento variando de ruim a péssimo quanto às condições funcionais, ou seja, elevados valores de IGG e QI longitudinal. As deflexões levantadas indicaram a necessidade de reforço estrutural considerável e/ou reconstrução de alguns segmentos.

6 – Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SP (SGP – DER/SP)

6.1 – Histórico

Os capítulos anteriores foram de certa forma preparação para esta que é a apresentação de um Sistema de Gerência de Pavimentos da Malha Rodoviária do DER/SP, que estamos desenvolvendo com base num Contrato de Prestação de Serviços celebrado entre a Autarquia e um Consórcio de três firmas especializadas de prestígio no mercado. O referido Sistema recebeu o nome de SGP-DER/SP e tem como um dos principais instrumentos um Programa Computacional cuja operação é de âmbito técnico e administrativo do DER/SP, em todo o Estado de São Paulo.

Basicamente o SGP é composto por um grande banco de dados, que deverão ser atualizados com a maior frequência possível, a fim de se garantir melhor aproveitamento e confiabilidade de análises periódicas sobre o desempenho e a necessidade de intervenção oportuna nos pavimentos existentes em operação. Este grande banco de dados é formado por bancos de dados específicos menores, dos quais se pode destacar o histórico dos pavimentos, o histórico de acidentes nas rodovias, a composição e o volume de tráfego, bem como as condições funcionais e estruturais dos pavimentos.

As análises das condições estruturais e funcionais dos pavimentos são feitas a partir de levantamento de campo, que dividido em três levantamentos específicos são: 1. Levantamento da Irregularidade Longitudinal (condição funcional), 2. Levantamento Deflectométrico (condição estrutural), e 3. Levantamento Visual Contínuo – LVC (condição funcional).

A condição de funcionalidade da superfície do pavimento pode ser avaliada pelo perfil da via, verificando a sua irregularidade longitudinal e, também, a presença de trilhas de rodas, uma vez que esses parâmetros estão relacionados diretamente com a segurança e conforto ao rolamento, influenciando no custo operacional dos veículos e na vida de serviço do pavimento (solicitação do pavimento).

Inicialmente já foi feito um Levantamento da Irregularidade Longitudinal de toda a malha do DER/SP com a utilização do equipamento Perfilômetro Inercial com Sensores Laser, efetuando medidas em segmentos de 200 m. O perfilômetro laser utilizado foi o DYNATEST 5051 Mk-III RSP. O sistema RSP foi desenvolvido para ser bastante flexível, incorporando um conceito modular que permite uma variedade de combinação de sensores e configurações, variando de um a três acelerômetros e de dois até 21 sensores laser. É considerado um perfilômetro de Classe I, conforme definido pela norma ASTM E 950, o que significa medidas de elevada repetibilidade e precisão.

Os “módulos laser” do sistema funcionam por triangulação: um feixe laser de média potência que é apontado perpendicularmente ao pavimento tem sua posição registrada por um sensor especial, para o qual o reflexo do laser no pavimento é direcionado. A barra que suporta os sensores pode ser fixada tanto na parte dianteira quanto na parte traseira do veículo de análise. A velocidade de operação do veículo é variável, sendo recomendáveis velocidades superiores a 30 km/h.

O sistema é composto por três sensores laser para medição de “altura” ou “profundidade” da pista, dois acelerômetros para compensação de esforços inerciais e um sensor óptico de partida assentados em uma barra transdutora. Há também um hodômetro de precisão montado na roda dianteira para definição da posição longitudinal. As medições do perfil do pavimento são, então, obtidas pela soma das duas acelerações medidas integradas com os apropriados deslocamentos “veículo-rodovia”. Diferentemente dos equipamentos tipo resposta, este tipo de equipamento não necessita de uma base de calibração, porque utiliza uma gama de sinais elétricos provenientes de diversos componentes e o perfil é obtido matematicamente. Dessa forma, os componentes devem ser calibrados isoladamente. O IRI é calculado de acordo com as especificações do Banco Mundial, em ambas as trilhas de roda dos veículos.

Para se chegar à condição estrutural do pavimento, foi feito um estudo da deflectometria com o equipamento FWD (Falling Weight Deflectometer), que consiste na análise da resposta em graus de deformações apresentadas pela aplicação de uma carga padronizada em determinados pontos. Também o Levantamento Deflectométrico foi efetuado em toda a malha a cada 120 m, visando definir as condições estruturais do pavimento. Também se processou a passagem da Viga Benkelman. Três equipamentos FWD utilizados foram calibrados de acordo com a recomendação “Falling Weight Deflectometer Relative Calibration Analysis – FWDCAL Version 3.0”, de março de 1994, elaborada pelo U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration através do programa Long-Term Pavement Performance. A especificação se baseia fundamentalmente na verificação da compatibilidade relativa e repetibilidade dos sensores deflectométricos, já que as cargas são verificadas periodicamente por testes através de células de carga.

Nos levantamentos iniciais com o FWD foram empregados os espaçamentos para os geofones de 0, 20, 30, 45, 65, 90 e 120 cm. Tem-se, então, que o primeiro geofone mediu a deflexão sob a ação da carga (Df_1), o segundo geofone mediu a deformação do pavimento a 20 cm do ponto de aplicação da carga (Df_2) e assim sucessivamente. O levantamento de dados de deflectometria com o equipamento FWD foi totalmente automatizado. A configuração de massas necessárias e a respectiva altura de queda necessária à obtenção do carregamento desejado foram previamente ajustadas. A posição dos geofones também foi alterada de acordo com a necessidade e a bacia resultante da aplicação de carga.

Com a configuração de cargas e posição de geofones ajustados o processo tornou-se automático. Posicionava-se o equipamento sobre o ponto de aplicação de carga, o prato era apoiado sobre o pavimento e a carga aplicada. Tanto a aplicação de carga, quanto as leituras da carga e dos valores dos geofones foram registrados por meio de equipamento computacional acoplado no interior do veículo.

Ainda, foi feita análise estrutural deflectométrica a partir de dados fornecidos pela Viga Benkelman, com base no método CGRA (Canadian Good Roads Association), modelo do Bureau

of Public Roads dos Estados Unidos. As dimensões da VB utilizada são: distância entre a articulação e a ponta de prova de 244 cm; distância entre a articulação e o extensômetro de 122 cm; distância entre a articulação e os pés dianteiros de 25 cm; distância entre a articulação e os pés traseiros de 16,6 cm; e espaçamento lateral entre os pés dianteiros de 33 cm. Utilizou-se um caminhão de prova com 8,2 tf de carga no eixo traseiro, igualmente distribuído entre os dois jogos de rodas duplas. Os pneus foram calibrados com a pressão de 5,6 kgf/cm² e estavam dentro das recomendações de medidas de 1000 x 20 ou 900 x 20, com 12 lonas, do tipo “com câmara” e com frisos na banda de rodagem. O levantamento seguiu o método DNER-ME 024.

Como já dito anteriormente, uma maneira mais rápida de avaliar a condição superficial do pavimento e caracterizar o seu estado funcional é por meio do Levantamento Visual Contínuo (LVC), pelo qual se atribui valores de frequência e severidade dos defeitos constatados, quais sejam: trincas, afundamento de trilha de roda, ondulação, panelas, remendos, desgaste, exsudação e escorregamento de massa. Neste levantamento é também atribuída ao segmento uma nota subjetiva (VSA), que corresponde ao conforto de rolamento do pavimento. Os índices VSA e o Índice de Defeitos de Superfície (IDS) combinados determinam a condição funcional do pavimento, representada pelo Índice de Condição Funcional (ICF), dado pela Tabela 6.1.

DESCRIÇÃO		ICF	CÓDIGO	CONCEITO
IDS < 65	VSA > 4,0	0	A	ÓTIMO
	VSA ≤ 4,0	1	B	BOM
65 ≤ IDS < 160	VSA > 3,5	2		
	VSA < 3,5	3	C	REGULAR
160 ≤ IDS < 300	VSA > 2,5	4	D	RUIM
	VSA ≤ 2,5	5		
300 ≤ IDS < 530	VSA > 2,5	7	E	PÉSSIMO
	VSA ≤ 2,5	8		
IDS ≥ 530		10		

Tabela 6.1 - Classificação da condição funcional do pavimento

Como subsídio para o banco de dados do SGP integra o LVC a caracterização da rodovia no que diz respeito ao relevo, sinuosidade, material do revestimento e características do acostamento (largura, material e degrau). Como o DER/SP não possuía método normativo para esse tipo de cadastro, foi desenvolvido um para o LVC. Também foram elaboradas planilhas-modelo para os levantamentos e atribuídos valores numéricos para as frequências e severidades de cada defeito, visando se obter para cada segmento um índice que reflita as condições superficiais do pavimento, o chamado Índice de Defeitos de Superfície (IDS).

Relevo	Descrição
Plano	Não há rampas
Ondulado	Rampas suaves ao longo do trecho
Montanhoso	Rampas medianas ao longo do trecho
Serrano	Transposição de serras

Tabela 6.2 - Classificação resumida de tipos de relevo utilizada no LVC

Observação: Baseada na apresentada pelo HCM

Sinuosidade	Superfície
Alta	Desenvolvimento em curva maior que 50% do segmento ou mais que duas curvas fechadas por quilômetro
Baixa	Desenvolvimento em curva menor que 50% do segmento e até duas curvas fechadas por quilômetro

Tabela 6.3 - Classificação de sinuosidade utilizada no LVC

6.2 – Método do LVC do DER/SP

O LVC em questão deve ser realizado por avaliadores treinados que, do interior de um veículo trafegando a velocidade entre 20 e 40 km/h, devem identificar as ocorrências, a frequência (alta, média ou baixa) e a severidade (1, 2 ou 3) de cada tipo de defeito. Os segmentos estabelecidos

para as anotações das ocorrências predominantes devem ser de 1,0 quilômetro de comprimento. Além das anotações citadas, os avaliadores devem atribuir notas subjetivas para os segmentos, de maneira que seja refletida a condição de conforto e segurança para o usuário da rodovia. A variação da nota deve estar entre 0 e 5, com precisão de 0,5 ponto, representando o chamado Valor de Serventia Atual (VSA). Este levantamento deve obedecer ao método aprovado pelo DER/SP, desenvolvido dentro do SGP-DER/SP, que estará sendo implantado gradativamente. O levantamento pressupõe a determinação de três parâmetros técnicos já citados, que são:

IDS: Índice de Defeitos de Superfície, que representa o grau de deterioração da superfície do pavimento a partir do somatório da ponderação das frequências e dos pesos relativos às severidades das ocorrências dos diferentes tipos de defeitos constatados.

VSA: Valor de Serventia Atual, que representa as condições de conforto e segurança ao rolamento para os usuários da rodovia.

ICF: Índice de Condição Funcional, que caracteriza a condição funcional do pavimento envolvendo os defeitos de superfície e a serventia, a partir de critério decisório envolvendo os dois índices anteriores.

Os avaliadores deverão cadastrar informações referentes às características do trecho em análise, a fim de possibilitar a utilização de softwares de gerência de pavimentos no âmbito de rede como, por exemplo, o HDM-4, especialmente quanto ao tipo de revestimento, tipo de relevo e características de sinuosidade (baixa ou alta). A classificação dos tipos de relevo utilizada no LVC é baseada na apresentada pelo Highway Capacity Manual - HCM.

Os acostamentos adjacentes às faixas de tráfego avaliadas devem ser objetos de análise quanto à sua largura, ao material de revestimento (terra, CA, TS, etc) e ao desnível em relação à pista de rolamento (degrau), que pode ser classificado em: sem degrau, degrau baixo, até 5 cm (B) e degrau alto, acima de 5 cm (A). Deve ser atribuído um conceito da situação atual do acostamento, entre bom (B) ou ruim (R).

6.2.1 - Índice de Defeitos de Superfície (IDS)

Foi respeitada a homogeneidade dos trechos quanto ao tráfego solicitante e as características estruturais (tipo de estrutura e materiais constituintes). Os trechos tinham extensão máxima de 1 quilômetro. Os defeitos registrados são os já conhecidos, neste método num total de dez. Foi anotada a frequência de ocorrência (A, M ou B) e a respectiva severidade (1, 2 ou 3) para cada tipo de defeito.

Foram elaboradas duas tabelas específicas com valores adotados para o cálculo do IDS (Tab. 6.4 e Tab. 6.5) em função da frequência, sendo uma tabela para todos os defeitos exceto panelas e remendos e uma outra tabela apenas para panelas e remendos. Foram elaboradas, também, mais oito tabelas específicas com valores adotados para severidade e peso (Tab. 6.6 até Tab. 6.13) em função do tipo e do grau de evolução dos defeitos: trincas isoladas (TR), trincas em bloco (TB) e “couro de jacaré” (TJ), panelas (P), afundamentos, desgastes (D), remendos (R), ondulações ou corrugações (O), exsudação do ligante betuminoso (EX).

O cálculo do IDS é feito por meio da equação (6.1):

$$IDS = \sum (F_i \cdot P_i) + \sum (N_j \cdot P_j) \quad (6.1)$$

Onde:

F_i – Frequência individual dos seguintes defeitos: trincamento, afundamento, desgaste, ondulação e exsudação;

P_i – Peso individual dos seguintes defeitos: trincamento, afundamento, desgaste, ondulação e exsudação;

N_j – Número de ocorrências individual dos seguintes defeitos: panelas e reparos;

P_j – Peso individual dos seguintes defeitos: panelas e reparos.

Deve-se verificar o produto de frequência e severidade para cada um dos três tipos de trincamento e adotar somente o maior para a composição do IDS. O valor do IDS varia de 0 (zero) para a condição excelente de superfície do pavimento até 1.000 (mil), quando há

freqüência alta de todos os tipos de defeitos em sua maior severidade. A seguir são apresentadas algumas tabelas dos valores mencionados para o Levantamento Visual Contínuo (LVC) do SGP-DER/SP, para que se possa desenvolver um exercício de determinação do ICF mais à frente.

- Quanto à freqüência:

Código	Conceito	Área total de abrangência (%)	Valor adotado para cálculo do IDS
B	Baixa	$a < 10$	5
M	Média	$10 < a > 50$	30
A	Alta	$a > 50$	75

Tabela 6.4 - Freqüência para todos os defeitos, exceto *panela* e *remendo*

Código	Conceito	Número de ocorrências	Valor adotado para cálculo do IDS
B	Baixa	$n < 2$	2
M	Média	$2 < n > 5$	5
A	Alta	$n > 5$	10

Tabela 6.5 - Freqüência para *panela* e *remendo* (P e R)

- Quanto à severidade do defeito:

Severidade	Descrição	Peso
1	Trincas com abertura menor que 3 mm	0,10
2	Trincas com abertura maior que 3 mm e sem erosão de borda	0,32
3	Trincas com erosão de borda	0,64

Tabela 6.6 - Severidade e peso para *trinca isolada* (TR)

Severidade	Descrição	Peso
1	Trincas com abertura menor que 3 mm	0,25
2	Trincas com abertura maior que 3 mm e sem erosão de borda	0,80
3	Trincas com abertura maior que 3 mm e com erosão de borda	1,60

Tabela 6.7 - Severidade e peso para *trincas em bloco* e “*couro de jacaré*” (TB e TJ)

Severidade	Diâmetro aproximado da panela (cm)	Peso
1	$d < 20$	15
2	$20 \leq d \leq 40$	20
3	$d > 40$	25

Tabela 6.8 - Severidade e peso para *panela* (P)

Severidade	Profundidade (mm)	Peso
1	$p < 5$	0,75
2	$5 \leq p \leq 20$	1,50
3	$p > 20$	2,26

Tabela 6.9 - Severidade e peso para *afundamento* (FL)

Severidade	Descrição	Peso
1	Início de perda de betume	0,50
2	Agregado preso aparente	1,00
3	Perda de agregado (desagregação)	1,60

Tabela 6.10 - Severidade e peso para *desgaste* (D)

Severidade	Superfície	Peso
1	Em boas condições ou quase nenhuma desagregação	4
2	Com desagregação moderada	8
3	Muito deteriorado	13

Tabela 6.11 - Severidade e peso para *remendo* (R)

Severidade	Descrição	Peso
1	Leve	0,50
2	Média	1,00
3	Severa	2,00

Tabela 6.12 - Severidade e peso para *ondulação* (O)

Severidade	Descrição	Peso
Não se aplica	-	0,80

Tabela 6.13 - Severidade e peso para *exsudação* (EX)

6.2.2 – Valor de Serventia Atual (VSA)

Dentro da escala de 0 a 5, com precisão de 0,5, avaliadores treinados devem atribuir ao pavimento uma nota subjetiva relacionada ao conforto e segurança ao rolamento, procurando refletir a mesma sensação dos usuários da estrada. Para o VSA foi elaborada uma tabela relacionando intervalo de nota subjetiva com as condições gerais do pavimento e um conceito que pode ser péssimo, mau, regular, bom ou ótimo. No final da descrição das condições gerais do pavimento correspondente a cada conceito é feita uma recomendação quanto ao tipo de intervenção necessária para o eventual trabalho de reabilitação.

CONCEITO	DESCRIÇÃO	VSA
Ótimo	Necessita apenas de manutenção rotineira	$VSA > 4,0$
Bom	Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas (lama asfáltica/micropavimento)	$3,0 < VSA \leq 4,0$
Regular	Pavimento trincado, com painelas pouco freqüentes e com irregularidade longitudinal ou transversal (correção de pontos localizados ou recapeamento)	$2,0 < VSA \leq 3,0$
Mau	Defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas – remendos superficiais ou profundos (recapeamento com correções prévias)	$1,0 < VSA \leq 2,0$
Péssimo	Defeitos localizados com correções prévias em toda a extensão. Deterioração do revestimento e das demais camadas – infiltração de água e descompactação da base (reconstrução)	$VSA \leq 1,0$

Tabela 6.14 Conceitos para Valor de Serventia Atual (VSA)

6.2.3 – Índice de Condição Funcional (ICF)

Estabelecendo uma relação entre o IDS e o VSA, se elaborou a Tabela 6.1 de fls 118, que fornece os valores do Índice de Condição Funcional – ICF, com variação de 0 (melhor condição funcional do pavimento) a 10 (pior condição funcional do pavimento). Exemplo no item 6.2.5.

6.2.4 – Fluxograma do SGP do DER/SP

O fluxograma desenvolvido para o SGP do DER/SP é o da folha seguinte, constante da figura 6.1.

FLUXOGRAMA DO SOFTWARE SGP - DER/SP

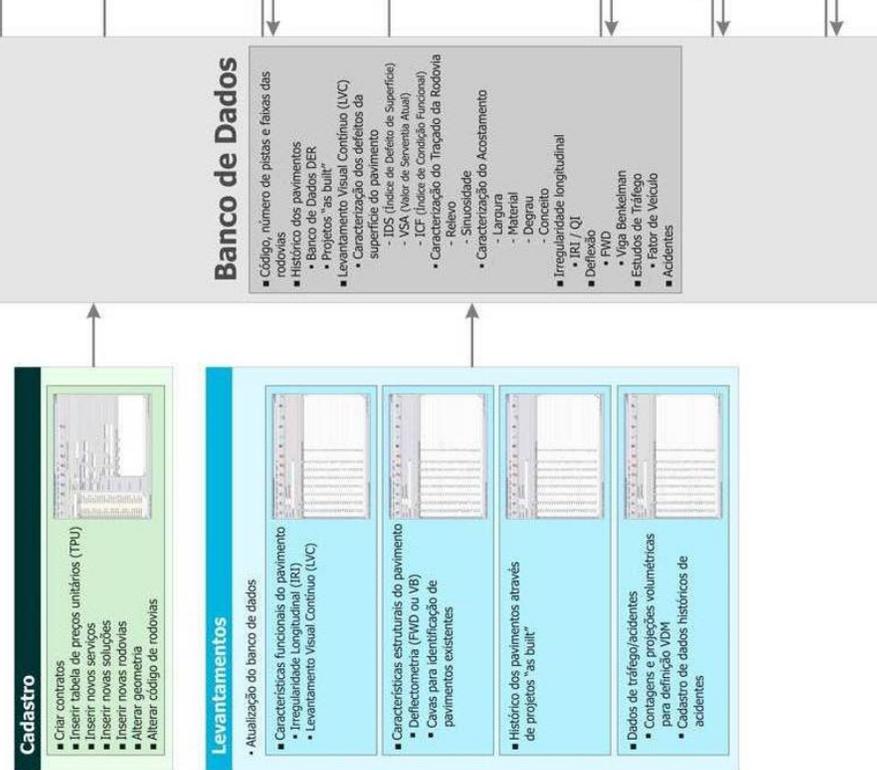
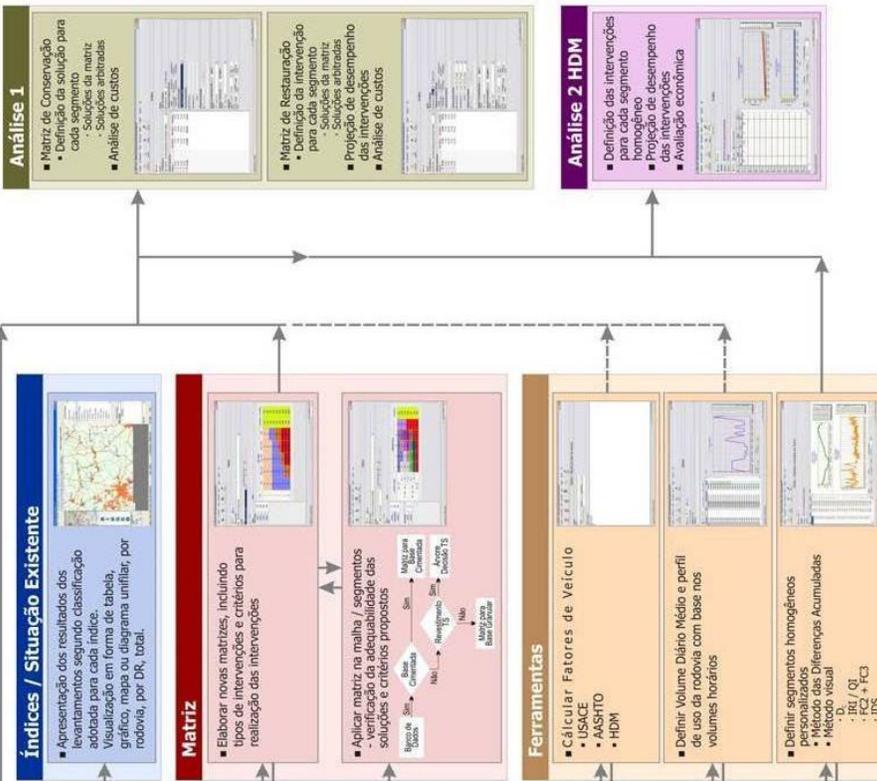
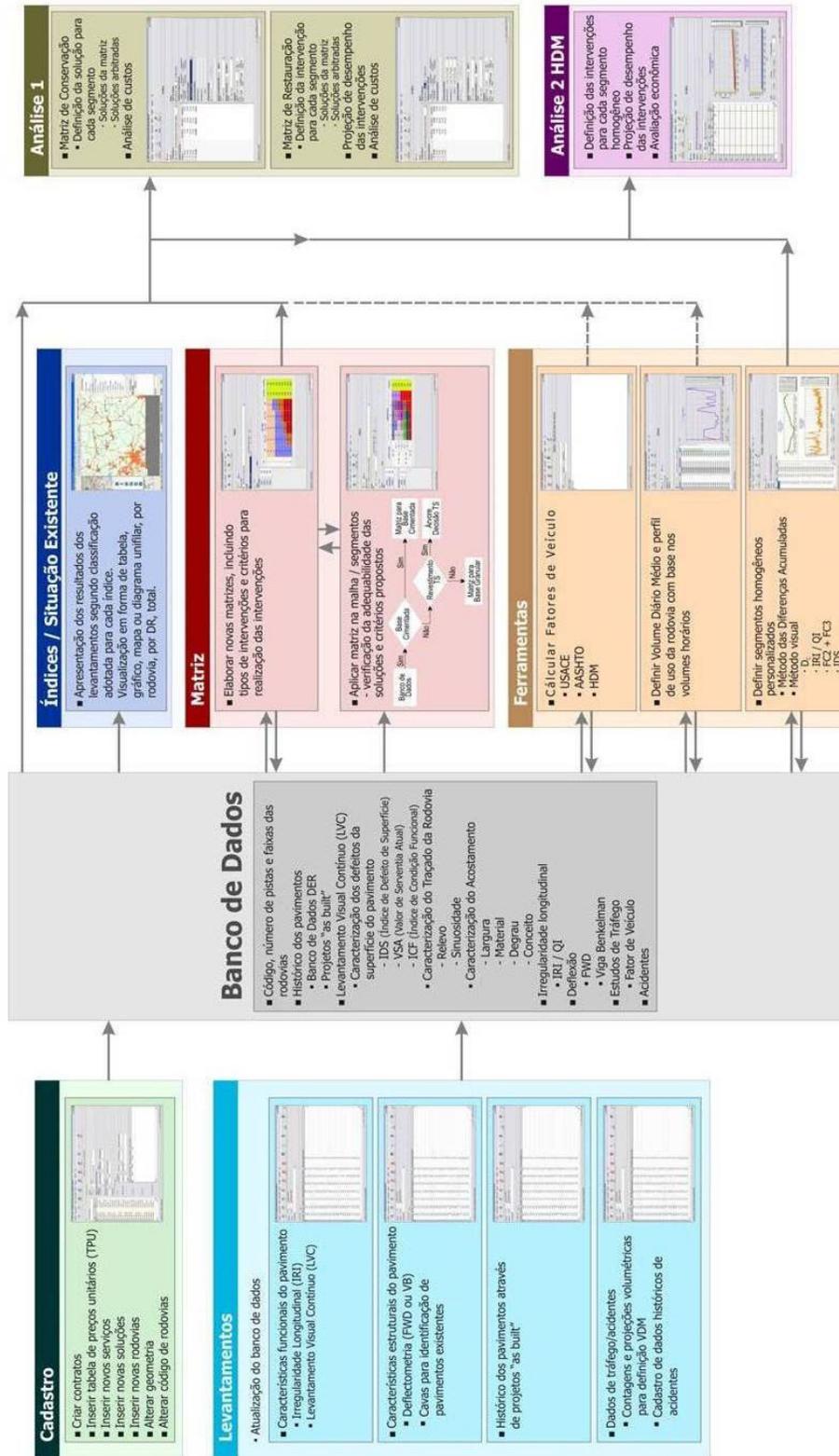


Figura 6.1 - Fluxograma do SGP – DER/DP

6.2.5 - Exemplo de cálculo do IDS e com o VSA o cálculo do ICF

A seguir é apresentado um exemplo de cálculo do Índice de Defeitos de Superfície (IDS) e do Índice de Condição Funcional (ICF).

Primeiro devem ser calculados os produtos dos pesos e severidades para as trincas e avaliar qual dos valores será utilizado na somatória do IDS, lembrando que apenas o maior valor será utilizado na somatória, conforme exemplo apresentado depois da tabela seguinte (parte da tabela é preenchida com dados colhidos no campo e parte com valores calculados)

SEGMENTO			FREQUÊNCIA DE DEFEITOS										IDS	VSA	ICF
HODÔMETRO (km)			TRINCAS (A,M,B/1,2,3)			OUTROS DEFEITOS									
						(A, M, B / 1, 2, 3)					(A, M, B)				
INICIO	FIM	EXT	TR	TJ	TB	FL	O	P	R	D	EX	E			
135,5	136,5	1,0	B2	A2	B2	A2	0	A2	0	0	M	0	396,5	3,0	7
136,5	137,5	1,0	A2	M3	B2	A2	0	B2	A2	0	0,0	B2	261,5	3,5	4
137,5	138,5	1,0	B3	M2	B2	A2	0	M3	A2	0	B	0	331,1	3,0	7

Tabela 6.15 - Com dados colhidos no campo, obtenção do IDS, VSA e ICF

Para o primeiro subtrecho, entre os quilômetros 135,5 e 136,5 (extensão de 1,0 quilômetro):

Trincas Isoladas: $TR/B2 = 5 \cdot 0,32 = 1,6$

Trincas “couro de jacaré”: $TJ/A2 = 75 \cdot 0,80 = 60,0$ (maior)

Trincas em bloco: $TB/B2 = 5 \cdot 0,80 = 4,0$

Portanto, neste caso para se determinar o IDS do primeiro subtrecho considera para efeito de cálculo o maior valor dos três tipos de trincas, mais as ponderações correspondentes à frequência e à severidade das flechas na trilha de roda (FL), painelas (P) e exsudação (EX), como segue:

$$\text{IDS} = (75 \cdot 0,80) + (75 \cdot 1,50) + (10 \cdot 20) + (30 \cdot 0,8) = 396,5$$

Considerando que a superfície do pavimento está em estado regular, tendo recebido uma nota subjetiva para o VSA igual a 3,0; entra-se na tabela de fls. 118 e se obtém $\text{ICF} = 7$. Pela mesma tabela, o conceito do pavimento no trecho em questão é considerado ruim (lembrando que $\text{ICF} = 0$ é a melhor condição funcional do pavimento e $\text{ICF} = 10$ é a pior).

7 – Avaliação Final

Após a sua concepção o Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SP está em processo de implantação para ser operado por estações de trabalho com micro computadores, que acessem uma base de dados centralizada em um servidor por meio de uma rede local e de forma remota pela internet. Este aplicativo tem uma interface amigável ao usuário e permitirá o seu relacionamento virtual com a atual base de dados relativa aos pavimentos das estradas do DER/SP, com o programa de análise econômica de investimentos em rodovias HDM-4 e, também, com o programa de georeferenciamento existente no órgão, chamado Sirgeo. .

O software permitirá acesso e pesquisa dos dados disponibilizados no banco de dados por meio da intranet/internet conforme o tipo e nível de acesso do usuário cadastrado, centralizando a base de conhecimento (banco de dados), universalizando a informação, permitindo que cada engenheiro/técnico desenvolva consultas e análise referentes a um trecho ou malha rodoviária, com grande interface gráfica em tabelas, diagramas e mapas.

Esta ferramenta será de grande importância no planejamento de investimentos em conservação e restauração do sistema viário estadual, permitindo a realização de análise de efeitos mediante distintos cenários técnicos e de restrição econômico em programas plurianuais de investimento. O SGP – DER/SP visa continuar aprimorando o processo de gerenciamento da Malha Rodoviária Estadual, ao permitir que: a) Todos os administradores da Autarquia tenham informações técnicas e de custos a respeito das necessidades de restauração e manutenção de todas as rodovias com detalhamento quilométrico; b) As Diretorias Regionais terão informações mais precisas e tempestivas às soluções de restauração e de conservação de sua malha; c) As Diretorias Regionais terão mais facilidade em conhecer as suas reais necessidades orçamentárias por unidade do sistema (km), podendo distinguir obra de restauração e serviço de manutenção,

levando em consideração os cenários de investimentos: sem restrições orçamentárias, com restrições orçamentárias e quais as conseqüências decorrentes dessas restrições orçamentárias; d) As Diretorias Regionais terão acesso à programação orçamentária plurianual, para períodos de 20 anos, podendo indicar as obras e serviços mais adequados para cada ano futuro em função da disponibilidade financeira; e) Haverá uma maior incorporação de aspectos técnicos, sociais e econômicos na priorização dos trabalhos a serem realizados pelo Departamento; f) E, finalmente, possibilitar que as Diretorias Regionais ao final de cada ano, conhecer os benefícios gerados pelas obras e serviços, quantificados pelo HDM-4, em termos de redução dos custos de transportes. Portanto, passa a ser um sistema que compreende um conjunto de elementos interdependentes, que solidários entre si por determinadas leis, normas, disposições, especificações, critérios técnicos, ocupa uma posição funcional central nas atividades do DER/SP.

O DER/SP vem procurando desenvolver essas novas tecnologias que no seu conjunto recebe o nome de Sistema de Gerência de Pavimentos, por ser o pavimento uma das partes de maior complexidade da rodovia e por ele estar mais diretamente relacionado com a segurança e o conforto do usuário, constituindo a maior área do leito carroçável da via. E dentro do SGP são fundamentais os softwares para análises e cálculos no âmbito do trecho e da rede como um todo. O software mais conhecido e mais importante para análise no âmbito da rede é o HDM que hoje está na versão HDM-4. Este programa é avançado e tornou-se uma meta que a maioria dos órgãos rodoviários mais evoluídos busca gradativamente atingir, conforme os seus recursos técnicos e as suas disponibilidades financeiras. O que se pretende hoje com muito empenho e com muita esperança é que o Sistema de Gerência de Pavimentos do DER/SP (SGP – DER/SP) seja um novo marco na rica história do rodoviarismo paulista e brasileira. A partir do princípio fundamental de que os recursos públicos devem ser aplicados da forma mais eficiente possível, o contribuinte e particularmente o usuário são os principais beneficiários final de um sistema de gerência de pavimentos. Ele é importante para o aprimoramento da tecnologia rodoviária e para a eficácia de análise das necessidades especialmente de manutenção, visando decisões sobre investimentos em nível de rede e de projeto.

Embora hoje no Brasil o acompanhamento sistemático e periódico para a avaliação dos pavimentos em serviço ainda seja uma prática restrita, a tendência é a gradativa generalização em função de uma ordem econômica e tecnológica mais acurada. A avaliação do pavimento fornece informações para as fases de programação de investimentos e manutenção da gerência de pavimentos, detectando diferenças em trechos existentes e identificando as necessidades de intervenção. No caso de novas obras de pavimentação, as informações sobre os pavimentos já existentes são utilizadas como retroalimentação para novos projetos e futura construção. A avaliação prática da capacidade de um pavimento suportar satisfatoriamente a demanda de seu tráfego geralmente é feita compreendendo também ensaios em laboratório dos materiais empregados na pavimentação e com os procedimentos de campo, que incluem ensaios no local, testes e métodos experimentais. Deste modo, a avaliação é essencial para uma boa gerência e está vinculada a todas as suas fases e para se trabalhar com eficiência são necessárias cada vez mais informações precisas e confiáveis. O grau de detalhamento e a frequência das diversas medições necessárias à avaliação dos pavimentos dependem da situação geral e das exigências particulares de cada órgão público.

É atribuição do Departamento de Estradas de Rodagem, órgão rodoviário oficial do Estado de São Paulo, oferecer para seus usuários um transporte rodoviário seguro, confortável e econômico. Para tanto, precisa estar sempre apto a comparar alternativas de investimentos, coordenar as atividades de dimensionamento, construção, manutenção e avaliação particularmente dos pavimentos, utilizando eficientemente os conhecimentos atualizados e as práticas existentes nesta área. Considerando que compete ao órgão público o ônus de oferecer para o usuário a infraestrutura viária, cabe a ele estar sempre inteirado das avaliações técnicas, econômicas e financeiras também da construção e manutenção, o que pode ser relativamente simples desde que se disponha de dados precisos gerados por atividades assemelhadas anteriores, devidamente armazenados. A esses dados, mantidos atualizados, devem ser sempre agregados novos atributos por meio de equipamentos e metodologias adequadas, tornando-se conhecimento valioso e imprescindível.

Como compete ao usuário arcar com as despesas da sua viagem, um dos principais benefícios que lhe deve ser proporcionado é a redução de custos ou economia na operação de cada tipo de

veículo na rodovia. Para tanto, o DER/SP e os seus concessionários devem estar continuamente em evolução, buscando melhorar a sua capacidade técnica e gerencial. É fundamental que o órgão público tenha a sua adequada estrutura, mesmo que a delegação de diversas atividades para terceiros seja uma realidade inexorável. Mas cabe a ele preservar uma filosofia tecnológica e gerencial que seja contínua e progressivamente transferida às futuras gerações por meio de acervo, complementada pela importante tradição oral rodoviária (que passa de boca em boca), tudo integrando a chamada experiência profissional rodoviária.

Para suprir a atual falta de uma melhor estrutura própria tem-se optado pela contratação de empresas especializadas no mercado de trabalho especialmente para participar da elaboração e implantação de diferentes programas, particularmente de conservação de rodovias estaduais e vicinais. Só que a terceirização quando tem como objetivo a simples redução de custos, traz em curto prazo perda de eficiência, qualidade e produtividade, indesejável para uma organização que deve estar comprometida com o cumprimento de sua missão. Se a terceirização por um lado é boa, por outro lado acaba provocando em alguns casos solução de continuidade técnica e administrativa, especialmente em função das mudanças de rumo da política pública na Administração Superior, como é próprio de um regime democrático.

Com mais de setenta anos de existência o órgão está carecendo de reestruturação particularmente técnica para o atendimento das atuais exigências. Não se pretende mais que o DER/SP volte a ter os 20.000 funcionários do passado, quando era absoluto no campo rodoviário do Estado de São Paulo. Mas, que seja uma nova estrutura enxuta composta de equipes que dominem o estado atual da arte, mesmo que somente para saber contratar e saber fiscalizar como se gasta os bilhões de reais investidos anualmente nesta área no Estado de São Paulo. Dentro desta nova mentalidade de concessões, terceirizações, parcerizações e de contratações próprias de um Estado considerado moderno, o DER/SP precisa melhorar a sua qualidade tecnológica em todas as áreas, para ser, inclusive, referência nacional também em termos culturais, políticos, econômicos e financeiros.

Referências Bibliográficas

1. AASHTO – American Association of State Highways and Transportation Officials (1993) – **Guide for Design of Pavment Structures** – Washington – DC-USA.
2. Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT: **Palestra de Jose Alexandre Resende**.
www.enaex.com.br/palestras/08.JoseAlexandreResende.pdf - Acesso no dia 12/09/05 às 21:00 hs.
3. Andrade, M.H.F; Domingues, F.A.A; (1995) – **Diretrizes para um Programa de Garantia de Qualidade na Conservação Rodoviária**. 29a Reunião Anual de Pavimentação – RAPv – Cuiabá.
4. Aps, M.; (2000) – **Análise de Métodos de Avaliação de Superfície de Pavimentos Asfálticos Aplicados em Vias Urbanas**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. USP. São Paulo.
5. Archondo-Callao, R.; (1995)) – **HDM Manager Version 3.0: User-friendly Shell Environment for the Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM** – Washington – DC – USA. The World Bank.
6. Arnovitch, L; (1978) – **Avaliação de Pavimentos**. 18a Reunião Anual de Pavimentação – RAPv – Porto Alegre.
7. ASTM – American Society for Testing and Material; (1992) – **E691 – Standard Practice for Conducting and Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method** – EUA.
8. **Avaliação da Resistência à Derrapagem nas Rodovias do Estado do Espírito Santo**- Firmino Sávio Vasconcellos de Souza, Marcílio Augusto Neves e Rodrigo Magalhães de Vasconcellos Barros – 28ª RAPv/ 94.

9. Baksay, J.; Beremisza, T.; (1994) – **Correlation Between Dynamic (FWD) and Traditional Deflection Measurement Methods** – 4th International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields Minneapolis – USA.
10. Balbo, J.T.; (1997) – **Pavimentos Asfálticos – Patologias e Manutenção**; Editora Plêiade – São Paulo – SP.
11. Bernucci, Profa. Dra. Liedi Bariani - **Materiais e Técnicas Construtivas de Pavimentação - PTR 2301** - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
12. Bertollo, S.A.M.; (1997) – **Considerações sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede**; Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da USP.
13. Bodi, J.; (1998) – **Aplicação do Conceito de Serventia na Priorização dos Serviços de Manutenção de Pavimentos Urbanos**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo.
14. Bulletin de liaison des laboratoires de ponts et chaussées – **Adhérence des chaussées** – n.º 185/mai-juin/93
15. Carneiro, Engenheiro Francisco Bolívar Lobo (1965) – **Viga Benkelman – Instrumento Auxiliar do Engenheiro de Conservação**. Trabalho Premiado no I Simpósio sobre Pesquisas Rodoviárias realizado no Rio de Janeiro entre 16 e 21 de agosto de 1965 – Instituto de Pesquisas Rodoviárias, IPR.
16. Carvalho, M.V.G.S.de A; (1999) – **Uma Análise Crítica de Alguns Processos Empíricos de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas.
17. **Catálogo de Soluções de Reabilitação de Pavimentos** – 35ª Reunião Anual de Pavimentação – RAPs - Rio de Janeiro/RJ – Brasil - 19 a 21 de Outubro de 2004. Autores:

Marcílio Augusto Neves, Ernesto Simões Preussler, Luiz Somacal Neto, João Virgílio Merighi e Amaury Vignoli.

18. Chou, E.P; Woo, CL; (1997) – **Evaluation of Panel Characteristics and User – Based Pavement Serviceability-** Pavement Management and Performance – Transportation Research Record n° 92 – TRB – National Research Council – Washington – DC – USA.
19. **Considerações sobre a Micro e a Macrot textura de Pavimentos** – Eduardo de Souza Fernandes e Felipe Augusto Aranha Domingues – 27^a RAPv/93.
20. Consorcio: Enger/Dynatest/Planservi – **Desenvolvimento de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos da Malha Rodoviária do DER/SP.** Duas apostilas: 1^a) Apostila para Treinamento – Operação do SGP e 2^a) Apostila para Treinamento – Levantamento de Campo.
21. Curso ministrado no DER/SP pelo Engenheiro Prof.Dr. João Virgilio Merighi e pela Engenheira Prof. Dra. Rita Moura Fortes
22. Daleiden, J.F.; Simpson, A.L.; (1998) – **“Off- the- Wall” Pavement Distress Variability Study;** Pavement Management and Monitoring of Traffic and Pavements – Transportation Research Record n. ° 1643 – TRB – National Research Council – Washington – DC – USA.
23. DER ; (1988) - **Boletim Técnico do DER/SP** – Ano I - N.º 3/4 - julho/88 a dezembro/89.
24. DER ; (1989) - **Boletim Técnico do DER/SP** – Ano II - N.º 5/6 - janeiro/89 a dezembro/89.
25. DER-SP; (1978 a 1995) – **Estatística de Transito.** Diretoria de Planejamento do DER de São Paulo. São Paulo.
26. DNER – (1979-a) – **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos** – PRO 159/85 – Departamento nacional de Estradas de Rodagem – Rio de Janeiro.

27. DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem; (1978-b); **Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**; DNER-TER 001/78 – Ministério dos Transportes – Rio de Janeiro.
28. DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem; (1994-b) – **Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos**; DNER-PRO 007/94 – MT.
29. DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem; (1998) – **Avaliação de Pavimentos Rodoviários**; Apostila de Curso – MT.
30. DNER; (1979) – **Delineamento da Linha de Influência Longitudinal da Bacia de Deformação por Intermédio da Viga Benkelman** – DNER-me-61-79, pp 1-7.
31. DNER; (1985) – **Calibração e Controle de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta** – Procedimento no 164/85 – Rio de Janeiro.
32. DNER; (1986) – **Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta** – Especificação de Serviços – no 173/86 – Rio de Janeiro.
33. Domingues, F.A.A.; (1992) - **Métodos de Avaliação para Gerencia de Pavimentos** – PTR – 773.- Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da USP – São Paulo.
34. Domingues, F.A.A; (1993) – **MID – Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos**; São Paulo.
35. Duarte, J.C.; (1984) – **Avaliação dos Procedimentos DNER – PRO – 08/78, DNER – PRO - 10/79 e DNER – PRO – 11/79, para Pavimentos Semi-Rígidos**; Anais da 19ª Reunião Anual de Pavimentação – ABPv – Vol. 1 – Rio de Janeiro.
36. **Elaboração e Implantação de Política de Preços de Rodovias Estaduais** – Contrato da empresa maubertec com o DER/SP de nº 7953-4/90 – Volumes I e II (anexos) – Agosto/91.
37. ENGENHARIA - **Revista editada pelo Instituto de Engenharia. Nº 566/2004 - ANO 62.** Edição comemorativa dos 70 ANOS DO DER/SP.

38. Fabrício, J.M.; (1998) – **Levantamento Visual Contínuo para Avaliação de Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos através de determinação do ICPF – Índice da Condição dos Pavimentos Flexíveis, IGGE – Índice de Gravidade Global Expedito e IES – Índice de Estado da Superfície do Pavimento** – Projeto de Norma – Rio de Janeiro.
39. Fabrício, J.M.; Vasconcelos, J.F.; Silva, M.D.; (1995) – **Estudo Comparativo entre o ICPF – Índice de Condições de Pavimento Flexível, QI – Quociente de Irregularidade e o IGG – Índice de Gravidade Global em Rodovias do DNER**; Anais da 29ª Reunião Anual de Pavimentação – ABPv – vol.4 – Cuiabá.
40. Felipe, R. A; Pedrini, G.; Evany, F.; Carvalho, R.L.E.; Preussler, E.; Negrão, D.P.; (1998) – **Programa de Recuperação dos Pavimentos da Rodovia Castelo Branco – Considerações sobre o projeto do trecho entre os km 13+700m e 79+380m**; Anais da 31ª Reunião Anual de Pavimentação – ABPv – vol. 2 – São Paulo.
41. **Flexible Pavement Evaluation with the Benkelman Beam Investigation nº 603 – Summary Report/1968** – Prepared by C. G. Kruse, Research Project Engineer – Minnesota Highway Department and E. L. Skok, Jr. – University of Minnesota, Under the Direction and Supervision of F. C. Fredrickson, Materials Engineer – P. A. Jensen, Research Engineer - Office of Materials Minnesota Department of Highways, in cooperation with U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Bureau of Public Roads and Minnesota Local Road Research Board (the opinions, findings and conclusions expressed in this publication are those of the authors and not necessarily those of the Bureau of Public Roads).
42. GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes; (1982) – **Pesquisa de inter-relacionamento de Custos Rodoviários** – Brasília.
43. Gontijo, P.R.A.; Guimarães, F.H.R.; (1995) – **Método Paragon para a Definição, Identificação e Agrupamento de Segmentos Homogêneos**; 29ª Reunião da ABPv – Cuiabá.
44. Gontijo, P.R.A.; Guimarães, F.H.R.; (1995) – **Método Paragon para Avaliação e Diagnóstico de Pavimentos Rodoviários**; 29ª Reunião da ABPv – Cuiabá.

45. Gontijo, P.R.A.; Guimarães, F.H.R.; (1995) – **Método Paragon para Caracterização Estrutural de Pavimentos Rodoviários**; 29ª Reunião da ABPv – Cuiabá.
46. Gontijo, P.R.A.; Guimarães, F.H.R.; Nogueira, C.L.; (1994) – **Metodologia Brasileira para Avaliação das Características Funcionais e Estruturais de Pavimentos Rodoviários – O Estado da Arte**; 28ª Reunião da ABPv – Belo Horizonte.
47. Gontijo, P.R.A.; (1994) – **Medição das Pressões de Enchimento de Pneumáticos de Veículos Pesados e Definição das Impressões de Contato Pneu-pavimento** – Relatório Interno de Pesquisa STR 005/94 – Strata Engenharia Rodoviária Ltda – Belo Horizonte.
48. Hass, R.; (1995) – **Principles and Applications of Pavement Management** – Second International Conference on Road & Airfield Pavement Technology – vol. 1 – Center for Transportation Research – National University of Singapore – Singapore.
49. Hass, R.; Hudson, W.R., (1978) – **Pavement Management Systems** – McGRAW – HILL, Inc. – USA.
50. HRB – Highway Research Board; (1962) – **The AASHO Road Test** – Special Report 73 – National Academy of Sciences – National Research Council – Washington – DC – USA.
51. ISO – International Standard Organization; (1994) – **Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method** – ISO 5725-2/94 – Sluice.
52. Marcon, A. F; (1996) – **Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**; Tese (Doutorado) – ITA – Instituto Tecnológico da Aeronáutica – São José dos Campos.
53. Marcon, A. F; Cardoso, S.H.; Aps, Márcia (1995) – **Considerações sobre Métodos de Avaliação de Superfície de Pavimentos**; Anais da 29ª Reunião Anual de Pavimentação – vol. 4 – Cuiabá.

54. Medina, Jacques de; (1997) – **Mecânica dos Pavimentos** – Editora Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.
55. Merighi, J.V.; Bernucci, L.B; Suzuki, C.Y.; (1995) – **Utilização de Simulador de Trafego para Analise de Comportamento de Misturas Asfálticas** – Anais da 29ª RAPv, vol. 3 – Cuiaba/MT.
56. Nacional de Estradas de Rodagem; (1994-a) – **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**; DNER-PRO 008/94 – MT.
57. **Pavement Management Guide** – 1977 by Roads and Transportation Association (RTAC)- 1765 Saint Laurent Blvd – Ottawa, Canada.
58. Pereira, A. M.; (1976) – **Um Método Expedito de Avaliação de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**. Publicação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias n.º 607 – DNER – Rio de Janeiro.
59. Pereira, A. M.; Gontijo, P.R.A.; (1990) – **Diretrizes Metodológicas para Avaliação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis e Semi-Rígidos**; Anais do 10º Encontro de Asfalto – IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo – Comissão de Asfalto – Rio de Janeiro
60. Pereira, A. M.;(1979) – **Considerações sobre o Procedimento de Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos Normalizado pelo DNER – Fundamentos Metodológicos – Algumas Modificações Possíveis**. Anais do Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projeto de Reforço – Conferência n.º 4 – Rio de Janeiro.
61. Pinto, Salomão – **Pavimentação Rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**/ Salomão Pinto, Ernesto Preussler. Rio de Janeiro: S.Pinto, 2002.
62. Pitta, D.M.; (1998) – **Contribuição à Retroanálise das Superfícies Deformadas em Pavimentos Asfálticos Típicos da Região Sul do Brasil** – Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo.

63. Pontes Filho, G.; Felex, J.B.; Rodrigues, J.K.G.; (1996)- **Automatização do Cálculo do Índice de Gravidade Global – IGG**; Anais da 7ª Reunião Anual de Pavimentação Urbana – São José dos Campos.
64. Queiroz, C.A.V.; Gillespie, T.D.; Paterson, W.D.O.; Autret, P.; Reichert, J.; (1984) – **Índice Internacional de Irregularidade para Calibração e Correlação de Sistemas de Medição: Resultados de Uma Pesquisa Internacional**. In International Road Federation, World Meeting, 10 – Rio de Janeiro, 1984. Anais. P. 339-352.
65. Queiroz, C.A.V.; Hudson, W.R.; Haas, R.; (1992) – **Pavement Management end Performance** – Washington – DC – TRB, TRR – 1344.
66. Queiroz, C.A.V.; Hudson, W.R.; Visser, A.T.; Butler, B.C.; (1984) – **A Stable, Consistent and Transferable Roughness Scale for Worldwide Standardzation**. – TRB, TRR – no 997.
67. Queiroz, C.A.V.; (1984) – **Modelo de Previsão de Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil** – GEIPOT/DNER.
68. Rodovias & Vias - **A Revista da Infra-Estrutura e do Desenvolvimento**. Publicação da Rodovias Editora e Publicações Ltda. Ano IV - n.º 18 - Maio/Junho - 03. Circulação nacional/Distribuição dirigida. Tiragem - 20 mil.
69. RTCC - Research and Tecnology Coordinating Committee; (1997) - **Developing Long-Lasting, Lower-Maintenance Highway Pavement - Research Needs** - Transportation Research Board - National Research Council - Washington - DC - USA.
70. Sayers, M.W; Gillespie, T.D.; Queiroz, C.A.V. (1986) - **Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements** - The International Road Roughness Experiment - World Bank Techical Paper nº 5 - Washington - DC - USA.
71. Sestini, V.M.; (1997) – **Uma Adaptação dos Modelos de Deterioração do HDM III a Região Centro de São Paulo**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo – USP, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos.

72. SHRP - Strategic Highway Research Program; (1993) - **Distress Identification Manual for the Long - Term Pavement Performance Project**; National Research Council - National Academy of Sciences - Washington - DC - USA.
73. SHRP-LTPP; (1989) – **Manual for FWD Testing: Version 1.0** – Strategic Highway Research Program – Washington – DC. .
74. SINICESP – **Órgão Oficial do Sindicato da Indústria da Construção Pesado do Estado de São Paulo**; Representando a Categoria Econômica da Construção de Estradas, Pavimentação, Obras de Terraplenagem em Geral, Barragens, Aeroportos, Canais e Engenharia Consultiva. Ano XVI – n. 128 – Julho/Agosto/2003. Bimestral.
75. Smith, R.E; Freenon, T.J.; Pendleton, O.J.; (1998) - **Contracting for Pavement Distress Data Collection**; Pavement Management and Monitoring of Traffic and Pavements – Transportation Research Record no 1643 – TRB – National Research Council – Washington – DC – USA.
76. Smith, R.E.& Lytton, R.L.; (1985) – **Operating Characteristics and User Satisfaction of Commercially Available NDT Equipment** – Transportation Research Board – TRR – 1007.
77. Transporte Rodoviário – Entraves e Perspectivas. Confederação Nacional dos Transportes (CNT).http://www.senado.gov.br/comunica/debatebrasil/Apres_Bruno%20Martins.pps#277 ,4,Slide 4> Acesso em 25 ago.2005.
78. U.S. Department of Transportation; (1987) – **Techniques for Pavement Rehabilitation**. A training Course. ERES Consultants, Inc.; Federal Highways Administration. National Highway Institute (Publication, FHWA – HI – 90-022).
79. **Uso do Mu-Meter para Avaliação do Coeficiente de Atrito em Pavimentos de Rodovias e Vias Urbanas** – Samuel Hanthequeste Cardoso, Felipe Augusto Aranha Domingues, Márcia Aps, Antonio Fortunato Marcon e Elomir Colen.- 29^a RAPv/95.

80. Vasconcelos, J.F.; Pamplona, B.S.L.; Araújo, M.F.C.A. de; Santana, H.; Dorigo, D.; (1989) - **Reflexões Sobre a Aplicação de Levantamentos da Condição do Pavimento em Projetos de Restauração**; Anais do 2º Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço - Rio de Janeiro.
81. Visser, A.T.; Queirós, C.A.V.; (1979) – **Paved and Unpaved Road Performance Parameters**. GEIPOT, Brasília. (Research on the Interrelationships Between Costs of Highway Construction, Maintenance and Utilization – Working Documents, 15).
82. Visser, A.T.; Queirós, C.A.V.; (1979) – **Traffic Flow Information**. Brasília, Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (Research on the Interrelationships Between Costs of Highway Construction, Maintenance and Utilization – Working Documents, 13).
83. Yoder, E.J.; Witczak M.W. ; (1975) - **Principles of Pavement Design** - John Wiley & Sons, Inc. - Second Edition – USA.

Obras Consultadas

1. AASHTO - American Association of State Highways and Transportation Officials (1993) – **Guide for Design of Payment Structures** – Washington – DC-USA.
1. Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT: **Palestra de Jose Alexandre Resende**. www.enaex.com.br/palestras/08JoseAlexandreResende.pdf - Acesso no dia 12/09/05 às 21:00 hs.
2. Andrade, M.H.F; Domingues, F.A.A; (1995) – **Diretrizes para um Programa de Garantia de Qualidade na Conservação Rodoviária**. 29ª Reunião Anual de Pavimentação – RAPv – Cuiabá.
3. Aps, M.; (2000) – **Análise de Métodos de Avaliação de Superfície de Pavimentos Asfálticos Aplicados em Vias Urbanas**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. USP. São Paulo.
4. Arnovitch, L; (1978) – **Avaliação de Pavimentos**. 18ª Reunião Anual de Pavimentação – RAPv – Porto Alegre.
5. ASTM – American Society for Testing and Material; (1992) – **E691 – Standard Practice for Conducting and Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method** – EUA.
6. **Avaliação da Resistência à Derrapagem nas Rodovias do Estado do Espírito Santo**- Firmino Sávio Vasconcellos de Souza, Marcílio Augusto Neves e Rodrigo Magalhães de Vasconcellos Barros – 28ª RAPv/ 94.
7. Balbo, J.T.; (1997) – **Pavimentos Asfálticos – Patologias e Manutenção**; Editora Plêiade – São Paulo – SP.

8. Bernucci, Profa. Dra. Liedi Bariani - Materiais e Técnicas Construtivas de Pavimentação - PTR 2301 - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
9. Bertollo, S.A.M.; (1997) – **Considerações sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede**; Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da USP.
10. Bodi, J.; (1998) – **Aplicação do Conceito de Serventia na Priorização dos Serviços de Manutenção de Pavimentos Urbanos**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo.
11. Carneiro, Engenheiro Francisco Bolívar Lobo (1965) – **Viga Benkelman – Instrumento Auxiliar do Engenheiro de Conservação**. Trabalho Premiado no I Simpósio sobre Pesquisas Rodoviárias realizado no Rio de Janeiro entre 16 e 21 de agosto de 1965 – Instituto de Pesquisas Rodoviárias, IPR.
12. Carvalho, M.V.G.S.de A; (1999) – **Uma Análise Crítica de Alguns Processos Empíricos de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas.
13. **Catálogo de Soluções de Reabilitação de Pavimentos** – 35ª Reunião Anual de Pavimentação – RAPs - Rio de Janeiro/RJ – Brasil - 19 a 21 de Outubro de 2004. Autores: Marcílio Augusto Neves, Ernesto Simões Preussler, Luiz Somacal Neto, João Virgílio Merighi e Amaury Vignoli.
14. **Considerações sobre a Micro e a Macrotextura de Pavimentos** – Eduardo de Souza Fernandes e Felipe Augusto Aranha Domingues – 27ª RAPv/93.
15. **Consórcio: Enger/Dynatest/Planservi – Desenvolvimento de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos da Malha Rodoviária do DER/SP**. Duas apostilas: 1ª) Apostila para Treinamento – Operação do SGP e 2ª) Apostila para Treinamento – Levantamento de Campo.

16. Corrêa, F.C.; (1976) – **Comportamento de Trechos Experimentais com Bases de Solo Arenoso Fino**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo-USP, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos.
17. **Curso ministrado no DER/SP** pelo Engenheiro Dr. João Virgílio Merighi e pela Engenheira Dra. Rita Moura Fortes
18. Daleiden, J.F.; Simpson, A.L.; (1998) – **“Off- the- Wall” Pavement Distress Variability Study**; Pavement Management and Monitoring of Traffic and Pavements – Transportation Research Record n. ° 1643 – TRB – National Research Council – Washington – DC – USA.
19. Departamento de Estradas de Rodagem; **Boletim Técnico do DER/SP** – Ano I - N.º 3/4 - julho/88 a dezembro/89.
20. Departamento de Estradas de Rodagem; (1989) - **Boletim Técnico do DER/SP** – Ano II - N.º 5/6 - janeiro/89 a dezembro/89.
21. Departamento de Estradas de Rodagem; (1978 a 1995) – **Estatística de Transito**. Diretoria de Planejamento do DER de São Paulo. São Paulo.
22. DNER – (1979-a) – **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos** – PRO 159/85 – Departamento nacional de Estradas de Rodagem – Rio de Janeiro.
23. DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem; (1978-b); **Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**; DNER-TER 001/78 – Ministério dos Transportes – Rio de Janeiro.
24. DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem; (1994-b) – **Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos**; DNER-PRO 007/94 – MT.
25. DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem; (1998) – **Avaliação de Pavimentos Rodoviários**; Apostila de Curso – MT.

26. DNER; (1979) – **Delineamento da Linha de Influência Longitudinal da Bacia de Deformação por Intermédio da Viga Benkelman** – DNER-me-61-79, pp 1-7.
27. DNER; (1985) – **Calibração e Controle de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta** – Procedimento no 164/85 – Rio de Janeiro.
28. DNER; (1986) – **Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta** – Especificação de Serviços – no 173/86 – Rio de Janeiro.
29. Domingues, F.A.A.; (1992) - **Métodos de Avaliação para Gerencia de Pavimentos** – PTR – 773.- Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da USP – São Paulo.
30. Domingues, F.A.A; (1993) – **MID – Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos**; São Paulo.
31. Duarte, J.C.; (1984) – **Avaliação dos Procedimentos DNER – PRO – 08/78, DNER – PRO - 10/79 e DNER – PRO – 11/79, para Pavimentos Semi-Rígidos**; Anais da 19ª Reunião Anual de Pavimentação – ABPv – Vol. 1 – Rio de Janeiro.
32. **Elaboração e Implantação de Política de Preços de Rodovias Estaduais** – Contrato da empresa Maubertec com o DER/SP de nº 7953-4/90 – Volumes I e II (anexos) – Agosto/91.
33. ENGENHARIA - **Revista editada pelo Instituto de Engenharia. Nº 566/2004 - ANO 62.** Edição comemorativa dos 70 ANOS DO DER/SP.
34. Fabrício, J.M.; (1998) – **Levantamento Visual Contínuo para Avaliação de Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos através de determinação do ICPF – Índice da Condição dos Pavimentos Flexíveis, IGGE – Índice de Gravidade Global Expedito e IES – Índice de Estado da Superfície do Pavimento** – Projeto de Norma – Rio de Janeiro.
35. Fabrício, J.M.; Vasconcelos, J.F.; Silva, M.D.; (1995) – **Estudo Comparativo entre o ICPF – Índice de Condições de Pavimento Flexível, QI – Quociente de Irregularidade e o IGG – Índice de Gravidade Global em Rodovias do DNER**; Anais da 29ª Reunião Anual de Pavimentação – ABPv – vol.4 – Cuiabá.

36. Felipe, R. A.; Pedrini, G.; Evany, F.; Carvalho, R.L.E.; Preussler, E.; Negrão, D.P.; (1998) – **Programa de Recuperação dos Pavimentos da Rodovia Castelo Branco – Considerações sobre o projeto do trecho entre os km 13+700m e 79+380m**; Anais da 31ª Reunião Anual de Pavimentação – ABPv – vol. 2 – São Paulo.
37. **Flexible Pavement Evaluation with the Benkelman Beam Investigation nº 603 – Summary Report/1968** – Prepared by C. G. Kruse, Research Project Engineer – Minnesota Highway Department and E. L. Skok, Jr. – University of Minnesota, Under the Direction and Supervision of F. C. Fredrickson, Materials Engineer – P. A. Jensen, Research Engineer - Office of Materials Minnesota Department of Highways, in cooperation with U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Bureau of Public Roads and Minnesota Local Road Research Board (the opinions, findings and conclusions expressed in this publication are those of the authors and not necessarily those of the Bureau of Public Roads).
38. GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes; (1982) – **Pesquisa de inter-relacionamento de Custos Rodoviários** – Brasília.
39. Gontijo, P.R.A.; Guimarães, F.H.R.; (1995) – **Método Paragon para a Definição, Identificação e Agrupamento de Segmentos Homogêneos**; 29ª Reunião da ABPv – Cuiabá.
40. Gontijo, P.R.A.; Guimarães, F.H.R.; (1995) – **Método Paragon para Avaliação e Diagnóstico de Pavimentos Rodoviários**; 29ª Reunião da ABPv – Cuiabá.
41. Gontijo, P.R.A.; Guimarães, F.H.R.; (1995) – **Método Paragon para Caracterização Estrutural de Pavimentos Rodoviários**; 29ª Reunião da ABPv – Cuiabá.
42. Gontijo, P.R.A.; Guimarães, F.H.R.; Nogueira, C.L.; (1994) – **Metodologia Brasileira para Avaliação das Características Funcionais e Estruturais de Pavimentos Rodoviários – O Estado da Arte**; 28ª Reunião da ABPv – Belo Horizonte.
43. Gontijo, P.R.A.; (1994) – **Medição das Pressões de Enchimento de Pneumáticos de Veículos Pesados e Definição das Impressões de Contato Pneu-pavimento** – Relatório Interno de Pesquisa STR 005/94 – Strata Engenharia Rodoviária Ltda – Belo Horizonte.

44. GPS – **Apostilas fornecidas pela empresa Alezi teodolini** – Equipamentos Topográficos e Comércio.
45. HRB – Highway Research Board; (1962) – **The AASHO Road Test** – Special Report 73 – National Academy of Sciences – National Research Council – Washington – DC – USA.
46. Marcon, A. F; (1996) – **Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**; Tese (Doutorado) – ITA – Instituto Tecnológico da Aeronáutica – São José dos Campos.
47. Marcon, A. F; Cardoso, S.H.; Aps, Márcia (1995) – **Considerações sobre Métodos de Avaliação de Superfície de Pavimentos**; Anais da 29ª Reunião Anual de Pavimentação – vol. 4 – Cuiabá.
48. Medina, Jacques de; (1997) – **Mecânica dos Pavimentos** – Editora Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.
49. Merighi, J.V.; Bernucci, L.B; Suzuki, C.Y.; (1995) – **Utilização de Simulador de Trafego para Analise de Comportamento de Misturas Asfálticas** – Anais da 29ª RAPv, vol. 3 – Cuiaba/MT.
50. Nacional de Estradas de Rodagem; (1994-a) – **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**; DNER-PRO 008/94 – MT.
51. **Pavement Management Guide** – 1977 by Roads and Transportation Association (RTAC)- 1765 Saint Laurent Blvd – Ottawa, Canada.
52. Pereira, A. M.; Gontijo, P.R.A.; (1990) – **Diretrizes Metodológicas para Avaliação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis e Semi-Rígidos**; Anais do 10º Encontro de Asfalto – IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo – Comissão de Asfalto – Rio de Janeiro
53. Pereira, A. M.;(1979) – **Considerações sobre o Procedimento de Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos Normalizado pelo DNER – Fundamentos Metodológicos – Algumas Modificações Possíveis**. Anais do Simpósio

- Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projeto de Reforço – Conferência n.º 4 – Rio de Janeiro.
54. Pinto, Salomão – Pavimentação Rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis/ Salomão Pinto, Ernesto Preussler. Rio de Janeiro: S.Pinto, 2002.
55. Pontes Filho, G.; Felex, J.B.; Rodrigues, J.K.G.; (1996)- **Automatização do Cálculo do Índice de Gravidade Global – IGG**; Anais da 7ª Reunião Anual de Pavimentação Urbana – São José dos Campos.
56. Queiroz, C.A.V.; Gillespie, T.D.; Paterson, W.D.O.; Autret, P.; Reichert, J.; (1984) – **Índice Internacional de Irregularidade para Calibração e Correlação de Sistemas de Medição: Resultados de Uma Pesquisa Internacional**. In International Road Federation, World Meeting, 10 – Rio de Janeiro, 1984. Anais. P. 339-352.
57. Queiroz, C.A.V.; (1984) – **Modelo de Previsão de Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil** – GEIPOT/DNER.
58. Rodovias & Vias - **A Revista da Infra-Estrutura e do Desenvolvimento**. Publicação da Rodovias Editora e Publicações Ltda. Ano IV - n.º 18 - Maio/Junho - 03. Circulação nacional/Distribuição dirigida. Tiragem - 20 mil.
59. Sestini, V.M.; (1997) – **Uma Adaptação dos Modelos de Deterioração do HDM III a Região Centro de São Paulo**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo – USP, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos.
60. **the Long - Term Pavement Performance Project**; National Research Council - National Academy of Sciences - Washington - DC - USA.
61. Silveira, A.; (1993) – **Introdução ao Estudo do Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis** – Campinas/Unicamp – EESC/USP.
62. SINICESP – **Órgão Oficial do Sindicato da Indústria da Construção Pesado do Estado de São Paulo**; Representando a Categoria Econômica da Construção de Estradas,

Pavimentação, Obras de Terraplenagem em Geral, Barragens, Aeroportos, Canais e Engenharia Consultiva. Ano XVI – n. 128 – Julho/Agosto/2003. Bimestral.

63. Transporte Rodoviário – Entraves e Perspectivas. Confederação Nacional dos Transportes (CNT).http://www.senado.gov.br/comunica/debatebrasil/Apres_Bruno%20Martins.pps#277,4, Slide 4> Acesso em 25 ago.2005.

64. **Uso do Mu-Meter para Avaliação do Coeficiente de Atrito em Pavimentos de Rodovias e Vias Urbanas** – Samuel Hanthequeste Cardoso, Felipe Augusto Aranha Domingues, Márcia Aps, Antonio Fortunato Marcon e Elomir Colen.- 29^a RAPv/95.

65. Vasconcelos, J.F.; Pamplona, B.S.L.; Araújo, M.F.C.A. de; Santana, H.; Dorigo, D.; (1989) - **Reflexões Sobre a Aplicação de Levantamentos da Condição do Pavimento em Projetos de Restauração**; Anais do 2º Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço - Rio de Janeiro.